

**Boru Hatları Sistemleri Üzerinde Deprem Etkilerinin Coğrafi
Bilgi Sistemleri (CBS) İle Değerlendirilmesi**

Proje No: 106M252

Doç. Dr. Selçuk TOPRAK
Yard. Doç. Dr. A. Cem KOÇ
Engin Nacaroğlu
Orhan A. Çetin

ARALIK 2010
DENİZLİ

ÖNSÖZ

Altyapı (candamarı) sistemleri içinde yer alan gömülü boru hatları petrol, doğal gaz, su ve atık su gibi insan hayatında önemli yer tutan malzemelerin iletiminde temel rol oynamaktadır. Son yıllarda Türkiye gibi deprem kuşaklarında yaşayan ülkelerde, yerleşim bölgelerine yakın gerçekleşen depremler bu sistemlerin depremin olumsuz etkilerine maruz kalabildiğini ve ciddi sayıda hasarların oluşabildiğini göstermiştir (Örneğin, 1994 Northridge, Amerika Birleşik Devletleri; 1995 Kobe, Japonya; 1999 Chi-Chi, Tayvan; ve 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri gibi). Bu çalışmanın amacı boru hatları sistemlerinin deprem performansının değerlendirilmesini ve riskli boruların belirlenmesini sağlayabilecek ve bunu gerçekleştirirken bir bölgedeki ya da bir şehirdeki boru hatları sistemini bir bütün olarak ele alan, zemin-boru etkileşimini de gözönünde tutan ve coğrafi bilgi sistemlerini (CBS) kullanan yaklaşımlar geliştirmektir. CBS boru hatları gibi geniş bir alana yayılmış olan sistemleri değerlendirme açısından güçlü bir araç olduğundan ve boru hatlarını işleten kuruluşlar tarafından bilinen bir sistem olduğu için bu proje için tercih edilmiştir. Bu proje, aynı zamanda iki yüksek lisans tez çalışmalarını kapsamaktadır.

Bu proje, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) Mühendislik Araştırma Grubu (MAG) tarafından 106M252 proje numarası ile desteklenmiştir. Proje, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Mekanik ve Geoteknik Ana Bilim Dallarında görevli Doç.Dr. Selçuk Toprak yürütücülüğünde gerçekleştirilmiştir. Hidrolik Anabilim Dalı'ndan Yard.Doç.Dr. A. Cem Koç araştırmacı olarak, yüksek lisans öğrencisi Engin Nacaroğlu ve Orhan A. Çetin bursiyer olarak proje ekibinde yer almışlardır.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	12
2. GENEL BİLGİLER	14
2.1 Boru Hasarları	14
2.1.1 Boru Hatlarının Deprem Performansını Etkileyen Faktörler	15
2.1.2 Geçici Yer Deformasyonları Etkisiyle Oluşabilecek Hasar Tahmini.....	20
2.1.3 Kalıcı Yer Deformasyonları (KYD) Etkisiyle Oluşabilecek Hasarlar ve Tahmini ile Basit KYD Modelleri	27
2.2 Kümeleme Analizi	34
2.2.1 Kümeleme Analizi Algoritmaları	34
2.2.2 Kümeleme Geçerlilik İndeksleri	37
2.3 Zemin Boru Etkileşimi ve Sonlu Elemanlar	40
2.4 Coğrafi Bilgi Sistemleri	42
2.4.1 Los Angeles Şehri Su Sistemi ve Northridge Depremi Etkilerinin Değerlendirilmesi	43
3. GEREÇ VE YÖNTEM	47
3.1 Hasar İlişkileri	47
3.1.1 Farklı PGV aralıkları ve grid boyutları için hasar ilişkileri	47
3.2 Kümeleme Analizi	53
3.2.1 Kümeleme Geçerlilik İndekslerinin Değerlendirilmesi	53
3.3 Sonlu Elemanlar Analizleri	64
3.3.1 Sonlu Elemanlar programı (DIANA) ile boru modellemeleri	66
3.4 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yazılımı	70
3.4.1 Sürekli Boruların Değerlendirilmesi	80
3.4.2 Parçalı Boruların Değerlendirilmesi	87
4. BULGULAR	94
4.1 Hasar İlişkileri	94
4.1.1 Farklı PGV aralıkları ve grid boyutları için hasar ilişkileri	94
4.1.2 Hasar ilişkilerinin karşılaştırılması	107
4.1.3 Probalistik hasar görülebilirlik eğrileri	112
4.2 Kümeleme Analizleri	115
4.2.1 Bulanık C-Ortalamalar Kümeleme Analizi İle Konuma Göre Boru Hasarlarının Değerlendirilmesi	116
4.2.2 Çıkarımlı Kümeleme Analizi İle Boru Hasarlarının Değerlendirilmesi	123
4.2.3 Çıkarımlı Kümeleme Parametrelerinin Kümeleme Analizine Etkisi	124
4.3 Sonlu Elemanlar Analizleri	132
4.4 Coğrafi Bilgi Sistemleri Yazılımı	139
5. TARTIŞMA/SONUÇ	145
6. REFERANSLAR	147
EKLER	154

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 PGV veri tabanını oluşturan depremler ve veri noktaları (ALA 2001)	23
Tablo 2.2 Geçici yer deformasyonları için boru hasar ilişkileri (Toprak ve Taskın, 2007)	29
Tablo 3.1. Sürekli borular için kalıcı yer deplasmanının standart tasarım değeri kullanılarak belirlendiği durumlar	74
Tablo 3.2. Sürekli borular için kalıcı yer deplasmanı verileri kullanıldığı durumlar	75
Tablo 3.3. Sürekli borular için geçici yer deplasmanı durumu	76
Tablo 3.4. Parçalı borular için kalıcı yer deplasmanının standart tasarım değeri kullanılarak belirlendiği durumlar	77
Tablo 3.5. Parçalı borular için kalıcı yer deplasmanı verileri kullanıldığı durumlar	78
Tablo 3.6. Parçalı borular için geçici yer deplasmanı durumu	79
Tablo 3.7 Orta ve Düşük Basıncılı Boru Hatlarının Depreme Dayanıklı Tasarım Akış Diyagramı	81
Tablo 3.8 Sismik bölge faktörü (α_1)	82
Tablo 3.9 Boru hattı ve zemin özelliklerine bağlı olarak belirlenen α_2 faktörü	82
Tablo 3.10 Temel deprem direnci kontrol kriteri	88
Tablo 3.11 Boru hattı bileşenlerinin sınıflandırılması	93
Tablo 5.4.1 Boru hasarları için kümeleme geçerlilik indeksleri (PC, CE, MPC ve Xie-Beni)	121
Tablo 5.4.2 Boru hasarları için kümeleme geçerlilik indeksleri (Fukuyama-Sugeno)	122
Tablo 5.4.3 Etki aralığı = 0.1 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)	126
Tablo 5.4.4 Etki aralığı = 0.2 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	126
Tablo 5.4.5 Etki aralığı = 0.3 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	126
Tablo 5.4.6 : Etki aralığı = 0.4 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	127
Tablo 5.4.7 Etki aralığı = 0.5 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	127
Tablo 5.4.8 Etki aralığı = 0.6 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	127
Tablo 5.4.9 Etki aralığı = 0.7 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	128
Tablo 5.4.10 Etki aralığı = 0.8 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	128
Tablo A.1. Sürekli borular için kalıcı yer deplasmanının standart tasarım değeri kullanılarak belirlendiği durumlar	154
Tablo A.2. Sürekli borular için kalıcı yer deplasmanı verileri kullanıldığı durumlar	155
Tablo A.3. Sürekli borular için geçici yer deplasmanı durumu	156
Tablo A.4. Parçalı borular için kalıcı yer deplasmanının standart tasarım değeri kullanılarak belirlendiği durumlar	157
Tablo A.5. Parçalı borular için kalıcı yer deplasmanı verileri kullanıldığı durumlar	157
Tablo A.6. Parçalı borular için geçici yer deplasmanı durumu	159

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Depremin oluşturduğu KYD sonucunda zemin-boru hattı etkileşimi (O'Rourke, 1998; Toprak ve Yoshizaki, 2003).....	15
Şekil 2.2 Boruda fay kırığı hareketi sonucu oluşan buruşma (Eidinger ve diğ., 2002).....	16
Şekil 2.3 Vida eklemli gaz boru hattındaki hasar (Editorial Committee for the Report on the Hanshin – Awaji Earthquake Disaster, 1997; Oka 1996).....	17
Şekil 2.4 Su boru hatlarındaki hasarlar (Editorial Committee for the Report on the Hanshin – Awaji Earthquake Disaster, 1997; Matsushita, 1995).....	18
Şekil 2.5 Asbest boru hasarları	19
Şekil 2.6 En büyük yer hızı (PGV) ile boru hattı hasar onarım oranı arasındaki ilişki (Toprak 1998, 2004).....	21
Şekil 2.7 En büyük yer hızı (PGV) ile boru hattı onarım oranı arasındaki ilişkiler (O'Rourke ve Jeon 1999, 2000)	22
Şekil 2.8 Ortalama PGV grup değerleri (ALA 2001).....	24
Şekil 2.9 PGV'ye bağlı geliştirilen hasar fonksiyonlarının karşılaştırılması (ALA 2001).....	25
Şekil 2.10 Meksika şehri gömülü boru hatları için hasar fonksiyonu (Pineda ve Ordaz 2003)	26
Şekil 2.11 İstatistiksel olarak kabul edilebilir sismik dalga yayılması hasar eğrisi (O'Rourke ve Deyoe 2004).....	27
Şekil 2.12 Gömülü boru hattı sistemleri için hasar ilişkileri (Toprak ve Taskın, 2007)	28
Şekil 2.13 Sıvılaşmadan etkilenen yeraltı gaz iletim hatlarının depreme dayanıklılığının değerlendirilmesi (JGA, 2000; Masuda ve diğ., 2002)	31
Şekil 2.14 Boru eksenine dik yönde KYD hali için analitik model (O'Rourke, 1989)	31
Şekil 2.15 Boru eksenine paralel yönde KYD durumunda, KYD etkileri için kayan blok modeli (O'Rourke ve Nordberg, 1992; Toprak, 1998).....	32
Şekil 2.16 Balboa Bulvarındaki KYD bölgesindeki borular (O'Rourke ve Palmer, 1994)	32
Şekil 2.17 Kalıcı yer deformasyonları (KYD) ile hasar oranları (RR) arasındaki ilişki	33
Şekil 2.18 Sentetik veri setinin bulanık c-ortalamlar ile kümelenmesi örneği	37
Şekil 2.19 Winkler Modeli	41
Şekil 2.20 Zeminde elasto-plastik yaylarla sağlanan davranış.....	41
Şekil 2.21 Gömülü boru elemanın yeraltındaki görünüşü.....	42
Şekil 2.22 CBS'de raster ve vektör veri gösterimi (Yomralıoğlu 2000).....	43
Şekil 2.23 Los Angeles şehri su şebekesi haritası (Toprak, 1998).....	44
Şekil 2.24 Los Angeles şehri su iletim ve dağıtım hatlarının boru cinsi ve uzunluğuna göre istatistik değerleri (O'Rourke ve Toprak, 1997).....	44
Şekil 2.25 1994 Northridge depremi için font boru hatları eş onarım oranı eğrileri (O'Rourke ve Toprak 1997).....	45
Şekil 2.26 Boru hattı onarım oranı eğrileri ve Northridge depremi en büyük yer hızları (O'Rourke ve Toprak 1997).....	46
Şekil 3.1 Boru hattı ve PGV konturları. (Toprak ve diğ., 2008)	48
Şekil 3.2 Grid 4x4 km	48
Şekil 3.3 Noktasal PGV değerleri ve Grid 4x4 km.....	49
Şekil 3.4 Grid 4x4 km ile kesiştirilmesi sonucu ortaya çıkan PGV noktaları.....	50
Şekil 3.5 Kriging sonucu oluşan hücre (raster) tipi PGV değerleri	50
Şekil 3.6 Grid 4x4 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi	51
Şekil 3.7 2 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi	51
Şekil 3.8 5 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi	52

Şekil 3.9	10 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi	52
Şekil 3.10	15 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi	52
Şekil 3.11	20 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi	53
Şekil 3.12	6_2 veri seti	54
Şekil 3.13	6_2 veri setinin 6 kümeye bölünmesi	54
Şekil 3.14	6_2 veri seti için bölümlenme katsayısı değerleri	55
Şekil 3.15	6_2 veri seti için sınıflandırma entropisi değerleri	55
Şekil 3.16	6_2 veri seti için MPC indeksi değerleri	55
Şekil 3.17	6_2 veri seti için Xie-Beni indeksi değerleri	56
Şekil 3.18	6_2 veri seti için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri	56
Şekil 3.19	6_2 veri seti için PBMF indeksi değerleri	56
Şekil 3.20	6_2 veri seti için Dunn indeksi değerleri	57
Şekil 3.21	10_2 veri seti	57
Şekil 3.22	10_2 veri setinin 10 kümeye bölünmesi	58
Şekil 3.23	10_2 veri seti için bölümlenme katsayısı değerleri	58
Şekil 3.24	10_2 veri seti için sınıflandırma entropisi değerleri	58
Şekil 3.25	10_2 veri seti için MPC indeksi değerleri	59
Şekil 3.26	10_2 veri seti için Xie-Beni indeksi değerleri	59
Şekil 3.27	10_2 veri seti için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri	59
Şekil 3.28	10_2 veri seti için PBMF indeksi değerleri	60
Şekil 3.29	10_2 veri seti için Dunn indeksi değerleri	60
Şekil 3.30	6_2 veri setinin genişletilmiş hali	61
Şekil 3.31	6_2 veri setinin genişletilmiş halinin 6 kümeye bölünmesi	61
Şekil 3.32	6_2 veri setinin genişletilmiş hali için bölümlenme katsayısı değerleri	61
Şekil 3.33	6_2 veri setinin genişletilmiş hali için sınıflandırma entropisi değerleri	62
Şekil 3.34	6_2 veri setinin genişletilmiş hali için MPC indeksi değerleri	62
Şekil 3.35	6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Xie-Beni indeksi değerleri	62
Şekil 3.36	6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri	63
Şekil 3.37	6_2 veri setinin genişletilmiş hali için PBMF indeksi değerleri	63
Şekil 3.38	6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Dunn indeksi değerleri	63
Şekil 3.39	Boru eksenine dik yönde kuvvete maruz bir boruda deplasmanlar	64
Şekil 3.40	Boru eksenine dik yönde kuvvete maruz bir boruda gerilmeler	65
Şekil 3.41	Boru eksenine paralel yönde kuvvete maruz bir boruda deplasmanlar	65
Şekil 3.42	Boru eksenine paralel yönde kuvvete maruz bir boruda gerilmeler	65
Şekil 3.43	Balboa Bulvarındaki KYD bölgesindeki borular (O'Rourke ve Palmer, 1994)	67
Şekil 3.44	Zeminde elasto-plastik yaylarla sağlanan davranış	67
Şekil 3.45	Balboa Bulvarında blok zemin hareketine maruz kalan Mobil petrol borusunun modellenmesi	68
Şekil 3.46	Mobil petrol borusu sonlu elemanlar analizinin sonuçları	69
Şekil 3.47	Balboa Bulvarında blok zemin hareketine maruz kalan Yeni Gaz Hattı 120 borusunun modellenmesi	70
Şekil 3.48	Yeni Gaz Hattı 120 borusunun sonlu elemanlar analizinin sonuçları	71
Şekil 3.49	Balboa Bulvarında blok zemin hareketine maruz kalan Gaz Hattı 3003 borusunun modellenmesi	72
Şekil 3.50	Gaz Hattı 3003 borusunun sonlu elemanlar analizinin sonuçları	73
Şekil 3.51	Zemin Koşulları I, II ve IIIa için zemin deplasman girdileri	83
Şekil 3.52	Zemin Durumu IIIb içinde yer alan, bir ucundan sabitlenmiş bir boru üzerine uygulanan zemin deplasmanı	84
Şekil 3.53	Zemin Koşulları I, II ve IIIa için boru eksenine dik yönde zemin deplasman girdisi	85
Şekil 3.54	Zemin Durumu IIIb içinde yer alan, bir ucundan sabitlenmiş bir boru için boru eksenine dik yönde zemin deplasman girdisi	86
Şekil 3.55	Gömülü boru hatlarında deprem direnci hesabı için akış diyagramı	89
Şekil 4.1	Grid 2x2 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi	94

Şekil 4.2	2 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi	95
Şekil 4.3	5 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi	95
Şekil 4.4	10 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi	95
Şekil 4.5	15 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi	96
Şekil 4.6	20 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi	96
Şekil 4.7	Grid 1x1 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi	97
Şekil 4.8	2 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi	97
Şekil 4.9	5 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi	97
Şekil 4.10	10 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi	98
Şekil 4.11	15 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi	98
Şekil 4.12	20 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi	98
Şekil 4.13	Grid 0.5x0.5 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi	99
Şekil 4.14	2 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi	99
Şekil 4.15	5 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi	100
Şekil 4.16	10 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi	100
Şekil 4.17	15 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi	100
Şekil 4.18	20 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi	101
Şekil 4.19	2 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi	101
Şekil 4.20	5 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi	102
Şekil 4.21	10 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi	102
Şekil 4.22	15 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi	102
Şekil 4.23	20 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi	103
Şekil 4.24	2 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)	103
Şekil 4.25	4 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi	104
Şekil 4.26	5 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)	104
Şekil 4.27	8 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi	104
Şekil 4.28	10 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)	105
Şekil 4.29	12 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi	105
Şekil 4.30	15 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)	105
Şekil 4.31	16 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi	106
Şekil 4.32	20 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)	106
Şekil 4.33	24 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi	106
Şekil 4.34	28 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi	107
Şekil 4.35	Çeşitli PGV aralıkları için grid 4x4 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması.....	107
Şekil 4.36	Çeşitli PGV aralıkları için grid 2x2 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması.....	108
Şekil 4.37	Çeşitli PGV aralıkları için grid 1x1 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması.....	108
Şekil 4.38	Çeşitli PGV aralıkları için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması.....	108
Şekil 4.39	Çeşitli PGV aralıkları için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması... ..	109
Şekil 4.40	Çeşitli PGV aralıkları için eş PGV konturları hasar ilişkileri karşılaştırması.....	109
Şekil 4.41	2 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması.....	110
Şekil 4.42	5 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması.....	111
Şekil 4.43	10 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması.....	111
Şekil 4.44	15 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması.....	111
Şekil 4.45	20 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması.....	112

Şekil 4.46 10 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi	113
Şekil 4.47 10 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)	113
Şekil 4.48 10 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)	114
Şekil 4.49 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)	114
Şekil 4.50 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)	114
Şekil 4.51 10 cm/s PGV aralığı için farklı grid boyutlarından elde edilen probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)	115
Şekil 4.52 10 cm/s PGV aralığı için farklı grid boyutlarındaki probabilistik hasar görebilirlik eğrileri (Toprak ve diğ. , 2011)	115
Şekil 4.53 1994 Northridge depremi için font boru hatları eş onarım oranı eğrileri (O'Rourke ve Toprak, 1997)	117
Şekil 4.54 1994 Northridge depreminde yüksek boru hasarlarının gerçekleştiği alanların geoteknik özellikleri (O'Rourke, ve diğ. , 2001)	118
Şekil 4.55 Boru hasarları için bölümlenme katsayısı değerleri	118
Şekil 4.56 Boru hasarları için sınıflandırma entropisi değerleri	119
Şekil 4.57 Boru hasarları için MPC indeksi değerleri	119
Şekil 4.58 Boru hasarları için Xie-Beni indeksi değerleri	119
Şekil 4.59 Boru hasarları için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri	120
Şekil 4.60 Boru hasarları için PBMF indeksi değerleri	120
Şekil 4.61 Boru hasarları için Dunn indeksi değerleri	120
Şekil 4.62 Boru hasarlarının 6 kümeye bölünmesi	122
Şekil 4.63 Boru hasarlarının 13 kümeye bölünmesi	123
Şekil 4.64 Boru hasarlarının 15 kümeye bölünmesi	123
Şekil 4.65 Çıkarımlı kümeleme analizi kullanılarak boru hasarlarının beş kümeye bölünmesi (Toprak ve diğ., 2009)	124
Şekil 4.66 Boru hattı hasarları için farklı parametreler ile küme merkezlerinin bulunması ...	125
Şekil 4.67 SF=1.25 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)	129
Şekil 4.68 SF=1.25 ve AR=0.3 için Şekil 4.67'deki A serisinin küme merkezleri (Toprak ve diğ., 2010)	130
Şekil 4.69 SF=1.1 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)	131
Şekil 4.70 SF=1.5 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)	131
Şekil 4.71 SF=1.75 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)	132
Şekil 4.72 SF=2 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)	132
Şekil 4.73 Sonlu Eleman Modelleri	133
Şekil 4.74 Birinci model sonuçları	134
Şekil 4.75 İkinci model sonuçları	135
Şekil 4.76 Üçüncü model sonuçları (d=10 m)	136
Şekil 4.77 Üçüncü model sonuçları (d=30 m)	137
Şekil 4.78 Üçüncü model sonuçları (d=50 m)	138
Şekil 4.79 Dördüncü model sonuçları	139
Şekil 4.80 Borular tabakasının özellikler tablosunun boş durumu	140
Şekil 4.81 Borular ve kalıcı yer değiştirme tabakalarını içeren bir ArcGIS projesi	140
Şekil 4.82 Yazılımın araç çubuğu	141
Şekil 4.83 Parçalı ve sürekli boru sorgusu	141
Şekil 4.84 Yer deplasmanı sorgusu	141

Şekil 4.85 Boruları içeren tabakanın sıra numarası sorgusu.....	142
Şekil 4.86 Tablo 3.1'e göre oluşturulmuş özellikler tablosu ("attribute table").....	142
Şekil 4.87 Tablo 1'de kullanıcının girmesi gereken parametreler.....	143
Şekil 4.88 "Tablo oluştur" düğmesinin son mesajı.....	143
Şekil 4.89 "Değerlendir düğmesi" ile istenen boru tabaka numarası sorgusu.....	143
Şekil 4.90 Programın sonuç mesajı.....	144

ÖZET

Altyapı (candamarı) sistemleri içinde yer alan boru hatları petrol, doğal gaz, su ve atık su gibi insan hayatında önemli yer tutan malzemelerin iletiminde temel rol oynamaktadır. Son yıllarda özellikle doğal gazın büyük şehirler dışındaki illerimizde de yaygınlaşması ile ciddi altyapı yatırımları gerçekleşmektedir. Ayrıca Avrupa Birliği (AB) fonlarından sağlanan desteklerle pek çok belediye, su ve kanalizasyon dağıtım şebekelerini yenilemektedir. Bununla birlikte bu yatırımlar yapılırken ve şehirlerde boru hatları sistemleri kurulurken gelecekte olabilecek depremlerin borular üzerindeki etkileri gözönüne alınmamaktadır. Mevcut sistemler için ise deprem etkilerinin bu dağıtım sistemlerine olan etkilerinin analizi çalışmaları ya yoktur ya da tatmin edici seviyede değildir. Son yıllarda Türkiye gibi deprem kuşaklarında yaşayan ülkelerde, yerleşim bölgelerine yakın gerçekleşen depremler bu ihmalin bedelinin çok yüksek olduğunu göstermiştir (Örneğin, 1994 Northridge, Amerika Birleşik Devletleri; 1995 Kobe, Japonya; 1999 Chi-Chi, Tayvan; ve 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri). Bu konuda temel ihtiyaç, depremlerin etkilerini, bir bölgedeki ya da bir şehirdeki boru hatları sistemini bir bütün olarak ele alacak şekilde değerlendiren ve zemin-boru etkileşimini de gözönünde tutan kapsamlı bir yaklaşımın üretilmesi ama aynı zamanda bu yaklaşımın hazırlanacak uygun yazılımlar ve yöntemlerle deprem etkileri ve boru hatları konusunda ileri derecede uzman olmayan kurum, kuruluşlar ve kişilere de yol gösterici olması ve kullanılabilmesidir.

Bu çalışmanın amacı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile nümerik ve istatistik metodları kullanarak boru hatları üzerinde depremlerin etkilerini değerlendirecek kapsamlı bir yaklaşım ortaya çıkarmaktır. CBS altında çalışan yazılımlarla değerlendirmenin yapılması sistematik ve kullanışlı hale getirilmiştir. İlgili yazılımların CBS altına hazırlanması için teknik açıdan ve bu çalışmanın özgün ürünlerinin kullanımı açısından pek çok sebep vardır: CBS boru hatları gibi geniş bir alana yayılmış olan sistemleri değerlendirme açısından güçlü bir araçtır. CBS'nin kapsamlı bir şekilde ilk defa Los Angeles (A.B.D.) gibi büyük bir şehrin boru hatları sistemlerinin deprem performansının değerlendirilmesinde kullanılması (O'Rourke ve Toprak, 1997; O'Rourke vd., 1998; ve Toprak, 1998) diğer çalışmalara örnek olmuş ve günümüzde CBS bu amaçlar için kullanılan yaygın bir araç haline gelmiştir. Ayrıca CBS ile ilgili programlar oldukça ekonomik fiyatlarla elde edilebilmektedir ve CBS'nin kullanımı ve öğrenilmesi, diğer pek çok yazılımlara göre daha kolaydır. Bu projenin ürünleri vasıtasıyla, yeni kurulan boru hatları sistemlerinin deprem performanslarının değerlendirilmesi, mevcut sistemler için ise dağıtım sistemi içinde riskli boru hatlarını ve risk derecesini belirlemek mümkün olacaktır. Projenin sonuçları, ulusal ve uluslararası literatüre önemli bir katkı olmasının yanında Türkiye gibi deprem kuşağında bulunan ülkeler için deprem güvenli altyapılara sahip olma yönünde önemli bir araç sağlayacaktır.

ABSTRACT

Buried pipeline systems convey materials such as petroleum, gas and water which are very crucial for urban society. Large investments on laying pipeline systems in urban areas have been made in recent years as natural gas use increase in Turkey. Also, many municipalities replace their water and sewage distribution systems using available European Union (EU) funding. Most of the time, however, the earthquake effects on the pipelines and related soil-pipeline interaction considerations are not taken into account during the design stage of the pipeline system. Furthermore, the earthquake risk assessment studies for existing pipeline systems in the urban areas are very limited or have not been performed. Neglecting or ignoring the earthquake effects on the pipeline systems has proven to be very costly as shown by recent earthquakes close to the urban areas (e.g., 1994 Northridge, U.S.A.; 1995 Kobe, Japan; 1999 Chi-Chi, Taiwan; and 1999 Kocaeli and Düzce earthquakes). There is a certain and urgent need for a new approach which can be used to evaluate buried pipeline networks. Also this new approach should be designed and served with appropriate user friendly interfaces so that companies, organizations, or institutions which are interested in having earthquake-resistant pipelines should be able to benefit from it without going through extensive and advanced technical training.

The objective of this study is to develop a new methodology for the assessment of earthquake effects on buried pipeline systems by using geographical information systems (GIS) with numerical and statistical methods. The methodology is presented and can be used in a systematic and user-friendly fashion by the help of GIS-based software prepared in this project. There are many reasons to use GIS as main application in this project. GIS is very powerful on working spatial features like pipeline system and relatively easy to use. Following the publication of the comprehensive results on the evaluation of Los Angeles, California, U.S.A. water pipeline system by using GIS (O'Rourke and Toprak, 1997; O'Rourke and others, 1998; and Toprak, 1998), many studies around the world adopted GIS to assess the pipeline damage in the pipeline systems during the earthquakes and use of GIS applications on pipeline systems has become more common. Also GIS programs can be obtained recently at competitive costs and they are relatively easy to learn and use compared with many other analytical programs. By using the products of this research, one can evaluate earthquake resistance of their new pipeline distribution system or determine the earthquake risk to pipelines and also risk levels of their existing pipeline system. The methodology and its products are expected to be an important contribution to the literature, fill a significant gap in the science and also provide powerful tools for the studies aiming earthquake resistant infrastructures in urban areas in the seismically active parts of the world.

1. GİRİŞ

Son yıllarda gerçekleşen depremlerde meydana gelen hasarlar gömülü boru sistemlerinin deprem etkilerine yüksek derecede maruz olduğunu göstermiştir. Örneğin 1994 Northridge, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri (A.B.D.), 1995 Kobe, Japonya ve 1999 Kocaeli ve Düzce, Türkiye depremleri boru hatları sistemlerine geniş ölçüde zarar verdiler. 1994 Northridge depreminde su dağıtım borularında yaklaşık 1100 noktada hasar meydana geldi ve sistem çalışamaz durumdaydı (O'Rourke ve Toprak, 1997). 1995 Kobe depreminden sonra meydana gelen hasarlardan dolayı 60 gün su sıkıntıları devam etti. Doğal gaz boru hatlarında ise meydana gelen 27000 civarındaki hasardan dolayı gaz dağıtımının tekrar eski haline dönmesi 3 ay süre aldı (O'Rourke, 1998). Oluşan hasarların büyüklüğü ve kentlerde bu sebeple meydana gelen sorunlar boru hatları sistemlerinin yapılırken deprem güvenli tasarlanmasını ve mevcut sistemlerinde deprem performanslarının önceden değerlendirilmesi gerekliliğini gündeme getirmiştir. Bu amaçla, geçmişte gözlenen hasarlardan yapılan tespitler ve yeni araştırmalar sonucunda deprem yönetmeliklerinde bazı değişiklikler yapılması yönünde gelişmeler sağlanmıştır. Böylece yeni boru hatlarının deprem açısından daha dayanıklı olarak tasarlanacağı düşünülmüştür. Bu çalışmalar genellikle Japonya'da yürütülmüş ve yönetmelikler değiştirilmiştir (Örneğin, Hamada, 2002; Japan Gas Association, 2000; Japan Water Works Association, 1997). Bu konunun ayrıntılı irdelenmesi Toprak ve Yoshizaki (2003) de sunulmuştur. Mevcut sistemlerin deprem performansının depremler gerçekleşmeden önce değerlendirilmesi ve gerekli iyileştirmeler ile önlemlerin alınması konusunda da ilk aşama olarak boru hatları sistemlerinin geçmiş depremlerdeki performanslarının değerlendirilmesi konusunda çalışmalar mevcuttur. Örneğin, O'Rourke ve Toprak (1997), O'Rourke ve diğ. (1998) ve Toprak (1998), 1994 Northridge depremi ve Los Angeles şehri şebekesinin bu deprem esnasındaki performansını detaylı olarak incelemişler ve ileriye dönük deprem zarar tahminlerinin yapılması için yeni ilişkiler ileri sürmüşlerdir.

Bu çalışma kapsamında Toprak (1998) veri seti tekrar değerlendirilmiş ve bu veri seti için farklı metotlar kullanılarak yeni hasar ilişkileri farklı en büyük yatay hız ve grid aralıkları için geliştirilmiştir. Ayrıca probabilistik hasar görebilirlik eğrileri diye tanımlanan ve boru hasar görme olasılığıyla PGV değerleri arasındaki ilişkileri gösteren eğriler çıkartılmıştır.

Son yıllarda gittikçe popüler hale gelen kümeleme analizi; örüntü tanıma, yapay zekâ, bilgi teknolojisi, görüntü işleme, biyoloji ve tıp gibi birçok bilimsel alanda kullanılmasına rağmen gömülü boru hatları sistemlerinde kullanılmasına rastlanılmamıştır. Kümeleme analizi, bir veri setine ait elemanların, benzer özelliklerine göre homojen gruplara ayrılmasını sağlayan çok değişkenli istatistik teknikler içinde yer alan bir analiz yöntemidir. İlk olarak kümeleme analizinin bu alanda kullanılmasını Toprak ve diğ. (2009) gerçekleştirmiştir. Kümeleme analizi birçok alt kola ayrılmakla beraber bu çalışmada özellikle bulanık c-ortalamalar metodunu üzerinde yoğunlaşmış ve kümeleme geçerlilik indekslerinin uygulaması yapılmıştır. Ayrıca boru hasarları çıkarımlı kümeleme analiziyle değerlendirilmiş, çıkarımlı kümeleme parametrelerinin kümelemeye etkisi tartışılmıştır.

Depremlerde boru-zemin etkileşimi karmaşık bir yapıya sahiptir ve zemin ile boru arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek için birçok çalışmalar yapılmış ve farklı yaklaşımlar izlenmiştir. Bu çalışmada deprem esnasında oluşan zemin hareketine bağlı olarak boruların davranışının belirlenmesi için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler dünyada yaygın olarak kullanılan DIANA sonlu elemanlar programı ile yapılmıştır. Analizlerde tek bir borudan ziyade borunun farklı şekilde diğer borularla birleştiği durumlarda göz önüne alınarak farklı modeller oluşturulmuştur.

Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin (CBS) kapsamlı bir şekilde ilk defa Los Angeles (A.B.D.) gibi büyük bir şehrin boru hatları sistemlerinin deprem performansının değerlendirilmesinde kullanılması (O'Rourke ve Toprak, 1997; O'Rourke ve diğ., 1998; ve Toprak, 1998) diğer çalışmalara örnek olmuş ve günümüzde CBS bu amaçlar için kullanılan yaygın bir araç haline gelmiştir. Bu projede ARCGIS CBS programı altında çalışacak bir yazılım hazırlanmıştır. Program depremlerin etkilerini, bir bölgedeki ya da bir şehirdeki boru hatları sistemini bir bütün olarak ele alacak şekilde değerlendiren ve zemin-boru etkileşimini de gözönünde tutan kapsamlı bir yaklaşım olarak çalışmaktadır. Böylece deprem etkileri ve boru hatları konusunda ileri derecede uzman olmayan kurum, kuruluşlar ve kişilere de yol gösterici olması beklenmektedir. Program aracılığı ile değerlendirmeler standart zemin deplasmanları ile yapılabildiği gibi kullanıcı, deprem esnasında oluşması beklenen zemin deplasmanlarına sahipse (analizlerle belirlediyse) bunları daha detaylı bir analiz için kullanabilecektir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Boru Hasarları

Depremi 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 tepkisi iken KYD deprem sonrasında zeminde oluşan ve geri dönmeyen son yer değiştirmelerdir. GYD bazen küçük miktarda kalıcı deformasyonlar oluşturabilir fakat bunlar genelde yüzeysel etkilerdir. KYD genellikle büyük olmakta, örneğin fay hatlarının hareketlerini, şev kaymalarını, sıvılaşma sonucu oluşan yer değiştirmeleri ve kohezyonsuz topraklarda oluşan farklı oturmaları içine almaktadır (Toprak ve Yoshizaki, 2003).

Şekil 2.1 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 2.1a). Normal fay, borularda çekme gerilmesi oluştururken ters fay basınç gerilmesine sebep olur. Yanal atılımlı fay ise boru ile fay kırığı doğrultusu arasındaki açıya bağlı olarak boruda çekme ya da basınç gerilmesi oluşturabilir. Şekil 2.1b bir şev kaymasının ya da sıvılaşma sonucu oluşan yanar 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 2.1c). 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.

1999 Kocaeli depreminde 3 metrelik sağ atılımlı 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 ve diğ., 2002). Boru hattının fay hattına göre yerleştirilme konumundan dolayı boru hattı basınç gerilmesine maruz kalmış ve boruda üç yerde buruşma ve yırtılmalar gözlenmiştir. Şekil 2.2 borunun iç çapının 1.4 metreye indiği buruşma noktasında borunun içten görünüşünü göstermektedir.

GYD genellikle 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 ya da tersi durum gerçekleşir. Boru hatları üzerinde GYD genellikle KYD'ye 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 ya da paslanma gibi sebeplerle parçaların zayıfladığı boru hattı sistemleri üzerinde GYD oldukça yaygın etkiler gösterebilir. KYD ise daha yerel bölgelerde gerçekleşmesine rağmen, etkilediği bölgede çok büyük zararlara sebep olur.

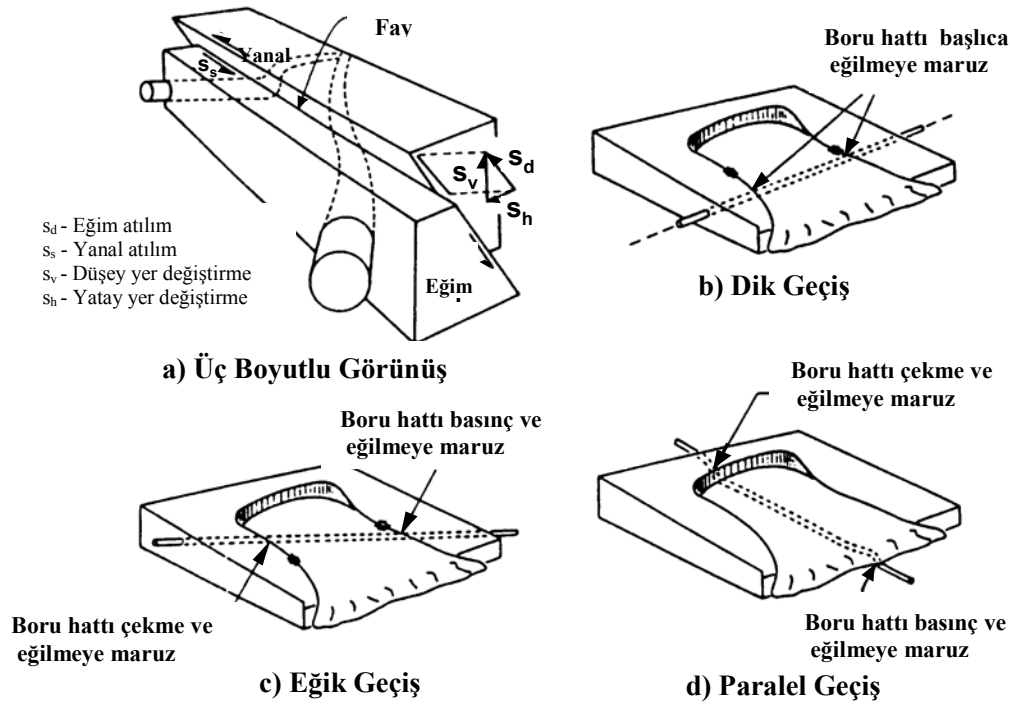
KYD etkisiyle yüksek boru hattı onarım oranlarının gözlemlendiği iyi bir örnek 1971 San Fernando, A.B.D. depremidir. Boru hattı hasarını belirtmekte yaygın olarak kullanılan onarım oranı, seçilmiş bir bölge içerisindeki toplam onarım sayısının yine aynı bölgedeki boru hattı

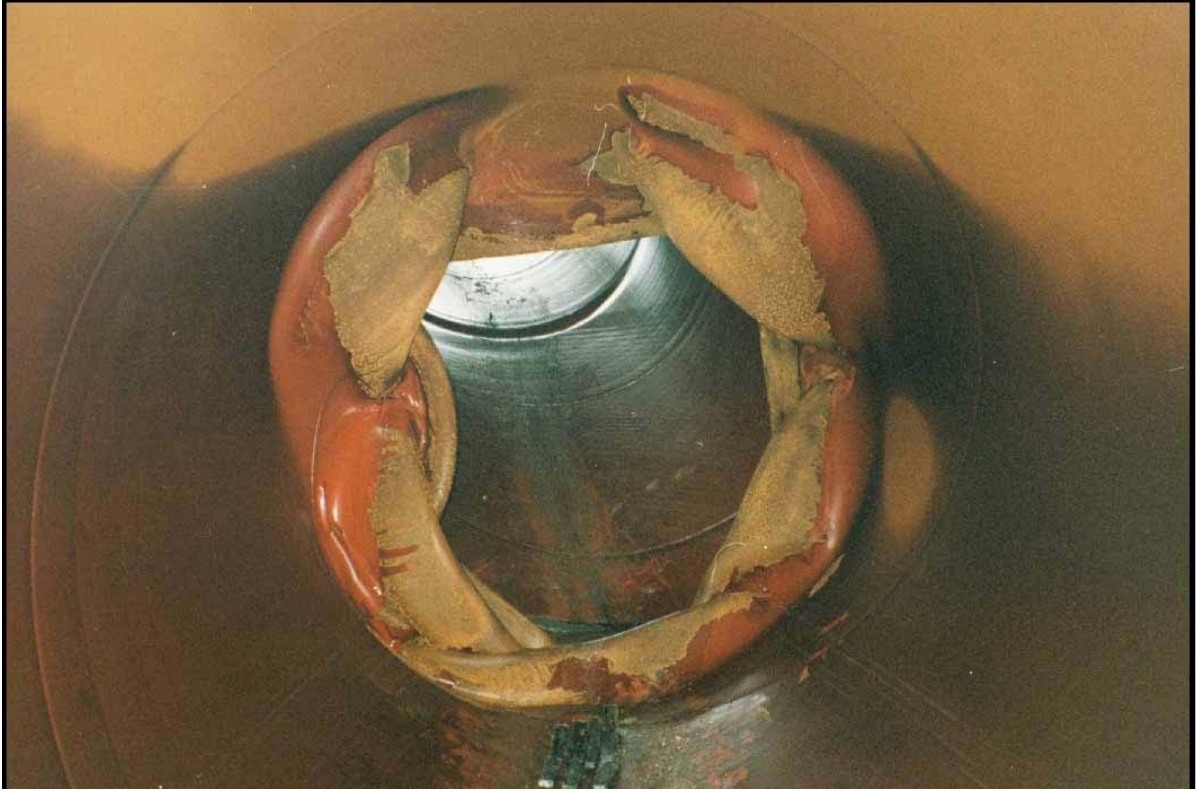
uzunluğuna bölünmesiyle elde edilir. Eguchi (1982) Kuzey San Fernando Vadisi içinde 1971 San Fernando depreminin sebep olduğu boru hattı zararlarını değerlendirmiştir. Fay kırığı, zemin deformasyonları ve GYD tarafından oluşan zararları kıyasladığında dağıtım hatlarındaki zararların hemen hemen yarısının fay kırığı olan ya da zemin deformasyonlarının gözlendiği yerel alanlarda gerçekteştiği sonucuna varmıştır.

GYD etkisiyle yüksek boru hattı onarım oranlarının gözlendiği iyi bir örnek 1985 Michoacan, Meksika depremidir. Bu deprem Meksika şehrindeki su şebekesine büyük zararlar vermiştir. Ayala ve O'Rourke (1989) bu zararları rapor etmiş, sıvılaşmanın olmadığını da gözlemleyerek borulardaki zararların esas olarak deprem dalgalarının etkisiyle oluştuğu sonucuna varmışlardır.

2.1.1 Boru Hatlarının Deprem Performansını Etkileyen Faktörler

Gömülü boru hattı sistemlerinde oluşabilecek hasarlarda; boru cinsi, boru çapı, ek türleri, korozyon 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 kırılđan olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Örneğin düktil demir ve günümüzdeki çelik borular düktil borular grubuna dahilken, font ve asbestli çimento (AÇB) borular kırılđan borular grubuna girmektedir. HAZUS (FEMA 1999) düktil borular için onarım oranı değerlerinin kırılđan borular için olanların üçte biri olarak alınmasını önermektedir.

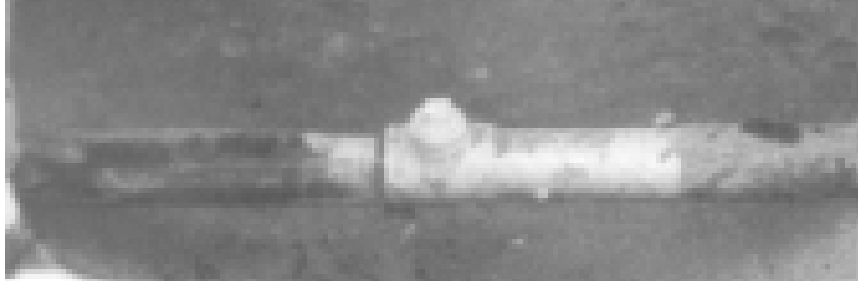




Şekil 2.2 Boruda fay kırığı hareketi sonucu oluşan buruşma (Eidinger ve diğ., 2002)

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 2.3'te depremde vida eklemeli bir çelik gaz borusunun aldığı hasar görülmektedir. Bunlardan farklı olarak; boru hattının bitişik yapılara (su deposu, binalar, köprüler) olan bağlantılarında lokal olarak yüksek gerilmeler 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



Şekil 2.3 Vida eklemli gaz boru hattındaki hasar (Editorial Committee for the Report on the Hanshin – Awaji Earthquake Disaster, 1997; Oka 1996)

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 2.4'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. 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).

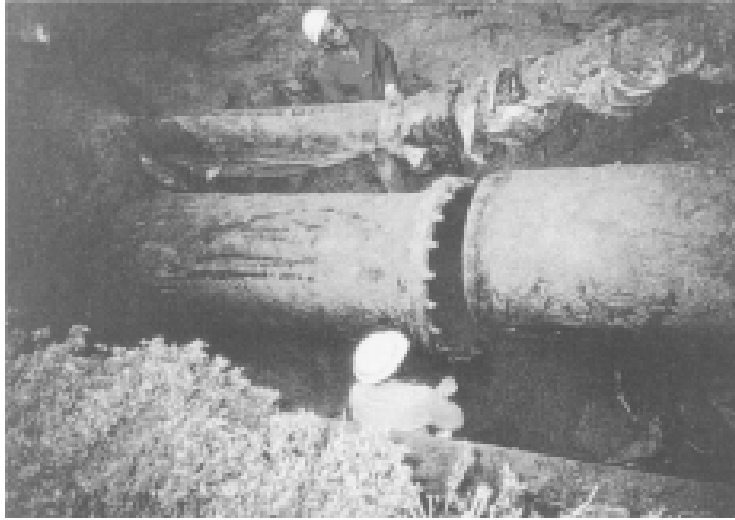
Asbest (AÇB) boruların da ek türleri sismik performansını etkilemektedir. Örneğin; kauçuk contalı asbest boru font borudan daha iyi performans gösterirken, çimento ekli asbest borunun performansı font borununkiyle benzerdir. Çimentolu eklerin boruların esnekliğini sınırladığı ise bilinen bir gerçektir. Şekil 2.5a'da 1979 Guerrrero Meksika depreminde asbest borunun aldığı hasar görülmektedir. Şekil 2.5b'de ise, 1985 Michoacan Meksika depreminde asbest boruda bağlantı noktasında meydana gelen kırılma görülmektedir.

Gömülü boru hattı sistemlerinde oluşabilecek hasarlarda boru çapının ve zeminden kaynaklanan korozyonun 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 korozyonu arttıran zeminlerdeki küçük çaplı çelik boruların, korozyona etkisi olmayan zeminlerdeki küçük çaplı çelik borulardan üç kat daha fazla hasar alabileceğini belirtmiştir (ALA 2001). Zeminden kaynaklanan korozyonun 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 basınca ve zemin yüküne karşı büyük çaplı çelik boruların dayanımı daha fazla olmaktadır.



(a) 0.8 m çaplı düktil boruda birleşim noktasında ayrılma



(b) 0.8 m çaplı font boru hasarı

Şekil 2.4 Su boru hatlarındaki hasarlar (Editorial Committee for the Report on the Hanshin – Awaji Earthquake Disaster, 1997; Matsushita, 1995)



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



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

Şekil 2.5 Asbest boru hasarları

Çelik boruların sismik performansı üzerinde; boru çapı ve bağlantılarda kullanılan kaynak eklerinin kalitesi doğrudan ilişkili olduğu gibi, zemin korozyon etkisi de önemli rol oynamaktadır. Zeminin korozyona etkisi 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).

Zeminin korozyona etkisi; 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.

2.1.2 Geçici Yer Deformasyonları Etkisiyle Oluşabilecek Hasar Tahmini

Boru hatlarında oluşan zararlar ile farklı deprem parametreleri arasında coğrafi etkileşimi tespit edebilmek için değişik araştırmacılar tarafından hasar ilişkileri ve metodlar 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 ve diğ. (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.

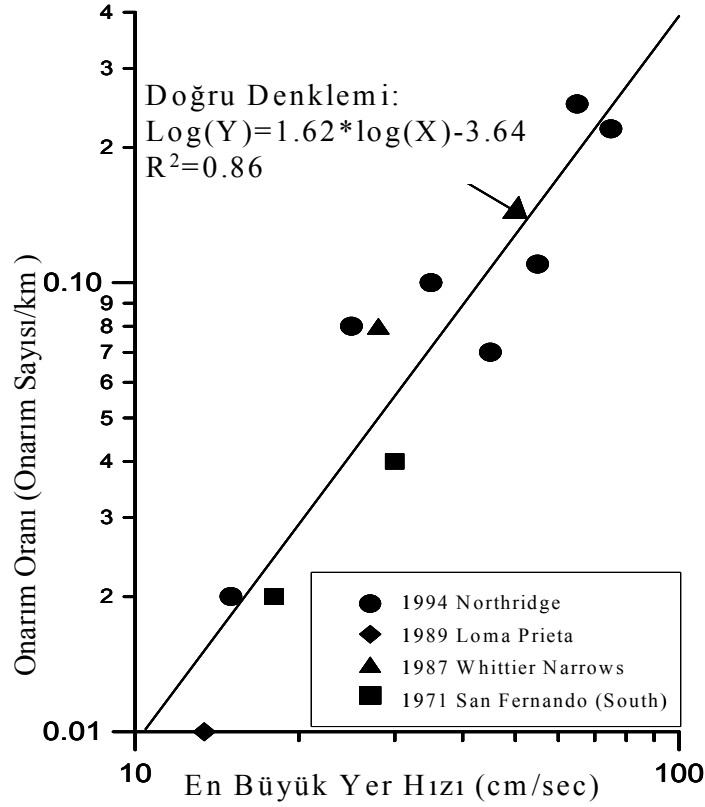
Sismik dalga yayılmalarına bağlı olarak zemin içindeki boyuna gerilmeler PGV ile ilişkilendirilmiştir. Bu ilişki denklem 2.1'de verilmiştir (Committee on Gas and Liquid Fuel Lifelines 1984).

$$\epsilon_g = V_{\max} / C \quad (2.1)$$

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 2.6'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.

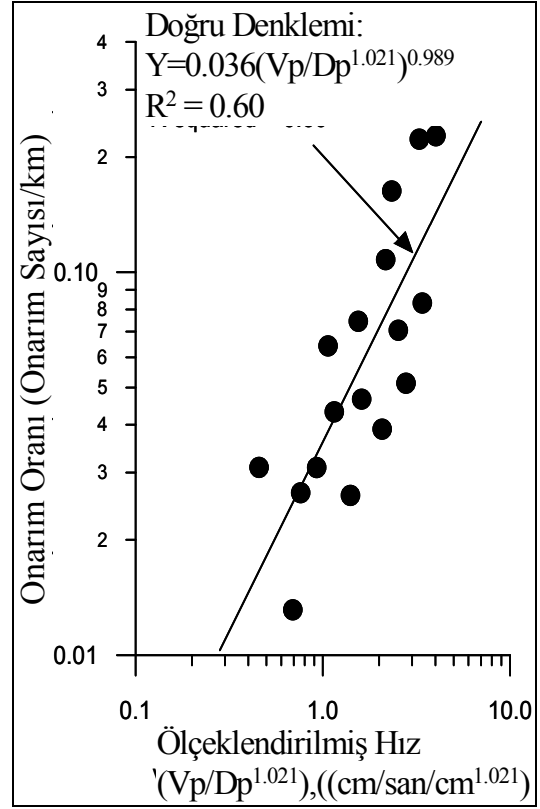
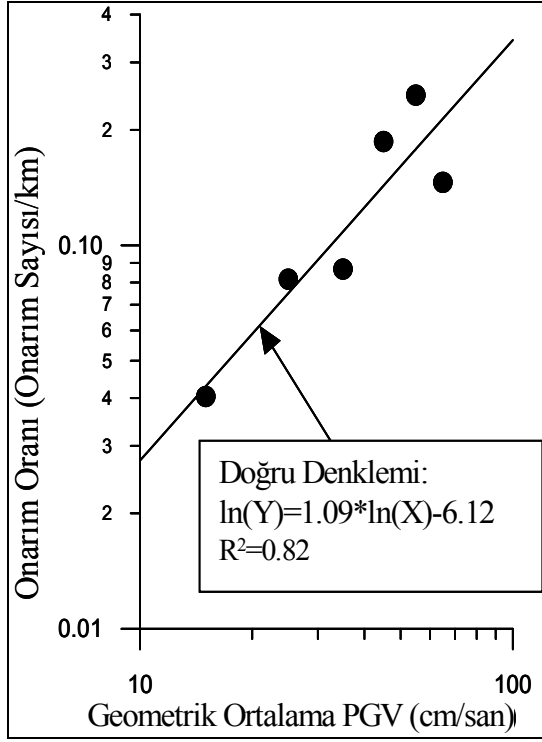


Şekil 2.6 En büyük yer hızı (PGV) ile boru hattı hasar onarım oranı arasındaki ilişki (Toprak 1998, 2004)

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

$$RR=10^{(1.62*\text{Log}(\text{PGV})-3.64)} \quad (2.2)$$

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 2.6'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 ≥ 600 mm) olarak iki gruba ayırarak analiz etmiştir. Şekil 2.6'daki ilişki 600 mm den küçük çaplı borular için geçerlidir.



(a) Geometrik Ortalama Hız

(b) Boru Çapı ile Ölçeklendirilmiş Hız

Şekil 2.7 En büyük yer hızı (PGV) ile boru hattı onarım oranı arasındaki ilişkiler (O'Rourke ve Jeon 1999, 2000)

Şekil 2.7'de ortalama PGV kullanılarak Northridge depreminde zarar gören borular için elde edilmiş boru hasar ilişkisi görülmektedir (O'Rourke ve Jeon 1999, 2000). O'Rourke ve Jeon (1999) hasar ilişkisi aşağıdaki denklemle verilmiştir.

$$RR=e^{(1,09*\ln(PGV)-6,12)} \quad (2.3)$$

Bu ilişki temelde çapı 600 mm den küçük font borular için geliştirilmiştir ve ortalama PGV (geometrik ortalama) değeri kullanılmıştır (Şekil 2.7a). O'Rourke ve Jeon (1999, 2000) çalışmalarında en büyük yatay yer hızının maksimum değerini de kullanmıştır. Bu hasar ilişkileri ise eşitlik 2.4'te verilmiştir.

$$RR=e^{(1,21*\ln(PGV)-6,78)} \quad (2.4a)$$

$$RR = e^{(1,84*\ln(PGV)-9,40)} \quad (2.4b)$$

Bu ilişkide çapı 600 mm den küçük font borular için 2.4a denklemi, 600 mm den küçük düktil demir borular için 2.4b denklemi önerilmiştir. Geçmiş depremlerde boru hatlarının performansı değerlendirildiğinde boru çaplarıyla onarım oranları arasında bir ilişki gözlenmiştir. Bu konuyu irdileyen O'Rourke ve Jeon (1999, 2000), hem yatay yer hızını hem de boru çapını, boru hattı onarım oranı ile ilişkilendiren bir bağıntı geliştirmiştir (Şekil 2.7b). 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. Denklem 2.5a'da font

borular için, 2.5b'de ise düktil borular için geliştirilen boru çapıyla ölçeklendirilmiş hasar oranları verilmiştir. Her iki denklemde de maksimum PGV kullanılmıştır.

$$RR=0,036*(PGV/D_p^{1,021})^{0,989} \quad (2.5a)$$

$$RR=0,004*(PGV/D_p^{0,468})^{1,378} \quad (2.5b)$$

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). HAZUS metodolojisinde kullanılan boru hasar ilişkisi aşağıdadır.

$$RR=0,0001*(PGV)^{2,25} \quad (2.6)$$

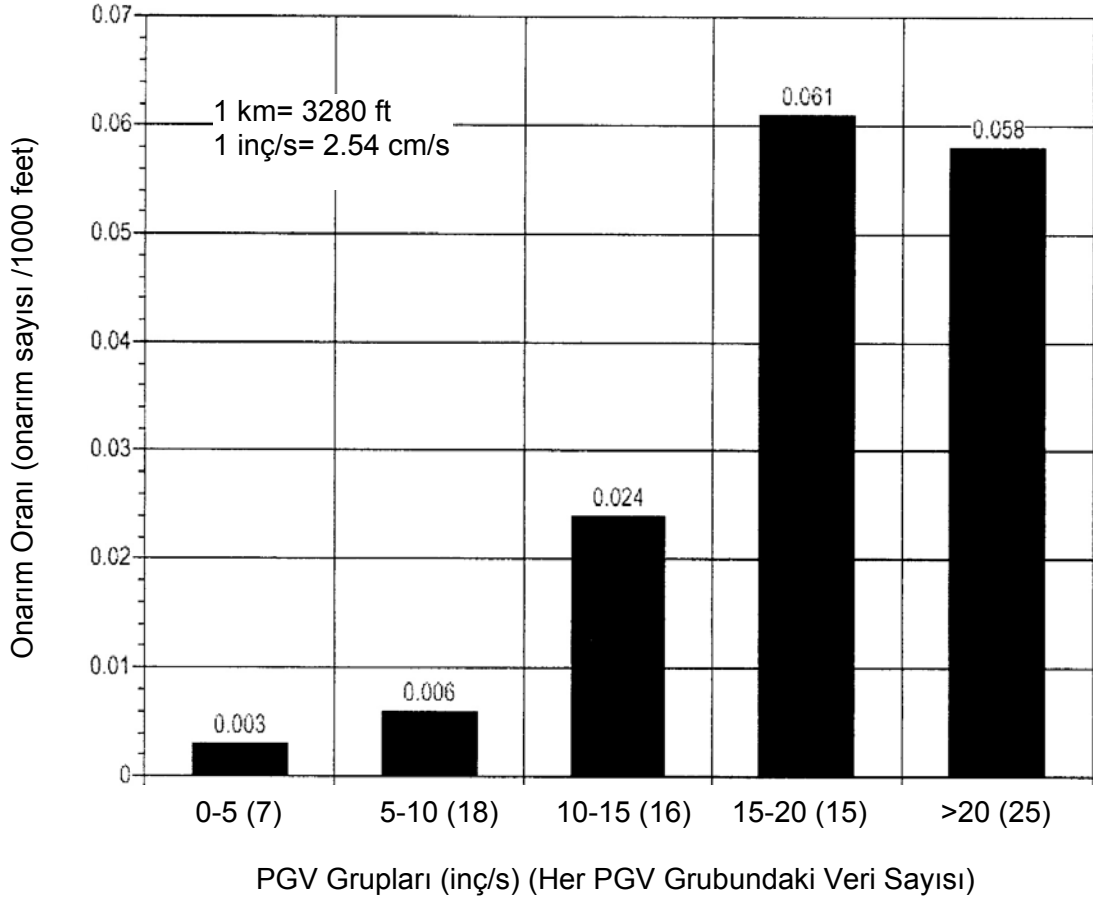
Bu ilişki farklı çaptaki kırılğan borular için geliştirilmiştir ve maksimum PGV kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1998 yılında su dağıtım sistemlerinde deprem tehlikesiyle meydana gelebilecek hasarları değerlendirip, su dağıtım sistemlerinde uygulanabilecek ayrıntılı metotlar geliştirmek amacıyla bir proje başlatılmıştır. 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 2.1'de 12 adet depremden elde edilen veriler verilmiştir.

Tablo 2.1 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 materyaller 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 materyaller 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 2.8'de ortalama PGV grup değerleri ve bunlara karşılık gelen onarım oranları görülmektedir.



Şekil 2.8 Ortalama PGV grup değerleri (ALA 2001)

Bu yaklaşımdan yola çıkarak 2 farklı model geliştirilmiştir. Bu modeller Ortalama Lineer Model ve Üstel Modellerdir. Şekil 2.9'da geliştirilen bu lineer modelin; HAZUS Modeli 1999 (FEMA 1999), Eguchi Modeli 1983 (Eguchi ve diğ. 1983), Eidinger Modeli 1998 (Eidinger ve diğ. 1998) ve Toprak Modeli 1998 (Toprak 1998) ile olan ilişkisi verilmiştir (Taşkın, 2005).

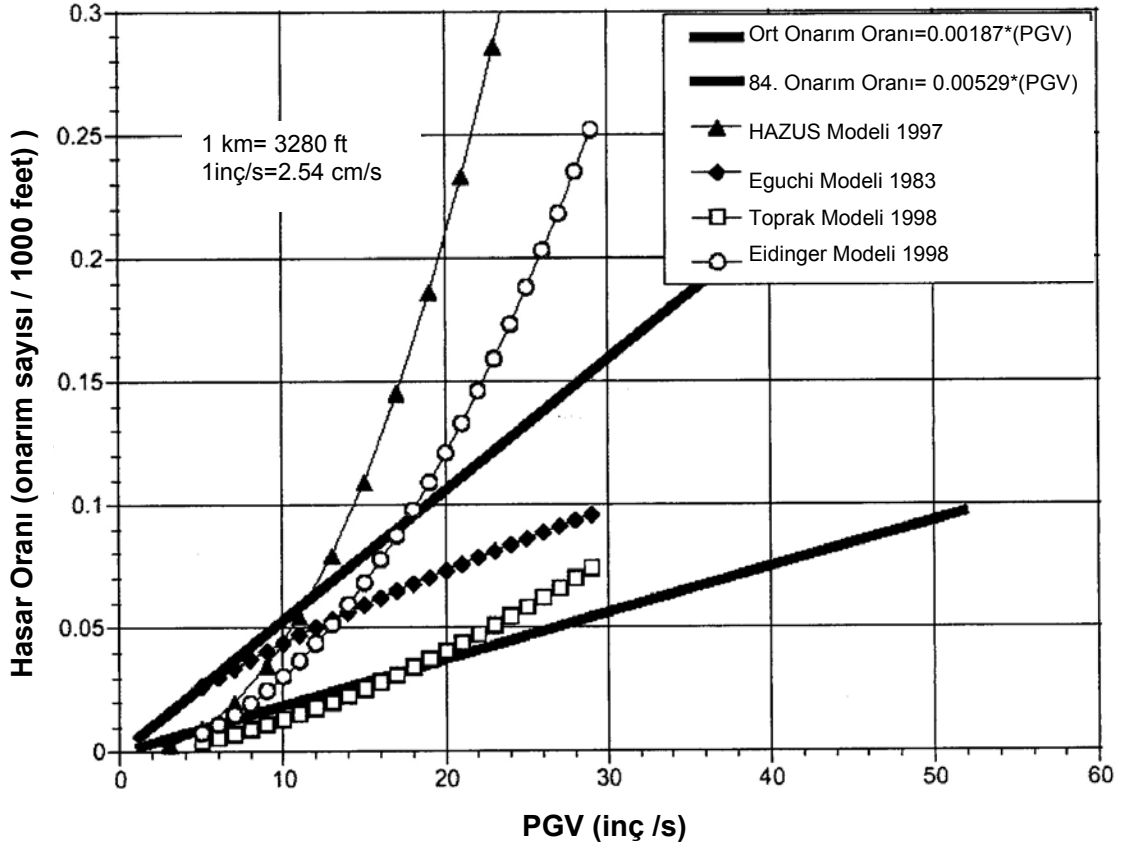
ALA (2001) ilişkisi ana ve tali hat borular için önerilen hasar fonksiyonunu göstermektedir. Bu hasar fonksiyonu boru cinsi, boruların bağlantı şekli, boru çapı ve korozyon gibi boruların deprem performansını etkileyen faktörler hakkında herhangi bir bilginin bulunmadığı durumlar için kullanılmaktadır.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

$$RR=0,0024*PGV \quad (2.7)$$

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.

$$RR=K_1*(0,0024)*PGV \quad (2.8)$$

Burada ortalama PGV değeri kullanılmıştır ve farklı boruların deprem performansını etkileyen faktörler doğrultusunda değişen K_1 katsayıları ALA (2001)'de ayrıntılı olarak verilmiştir. 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 alınabilmektedir.



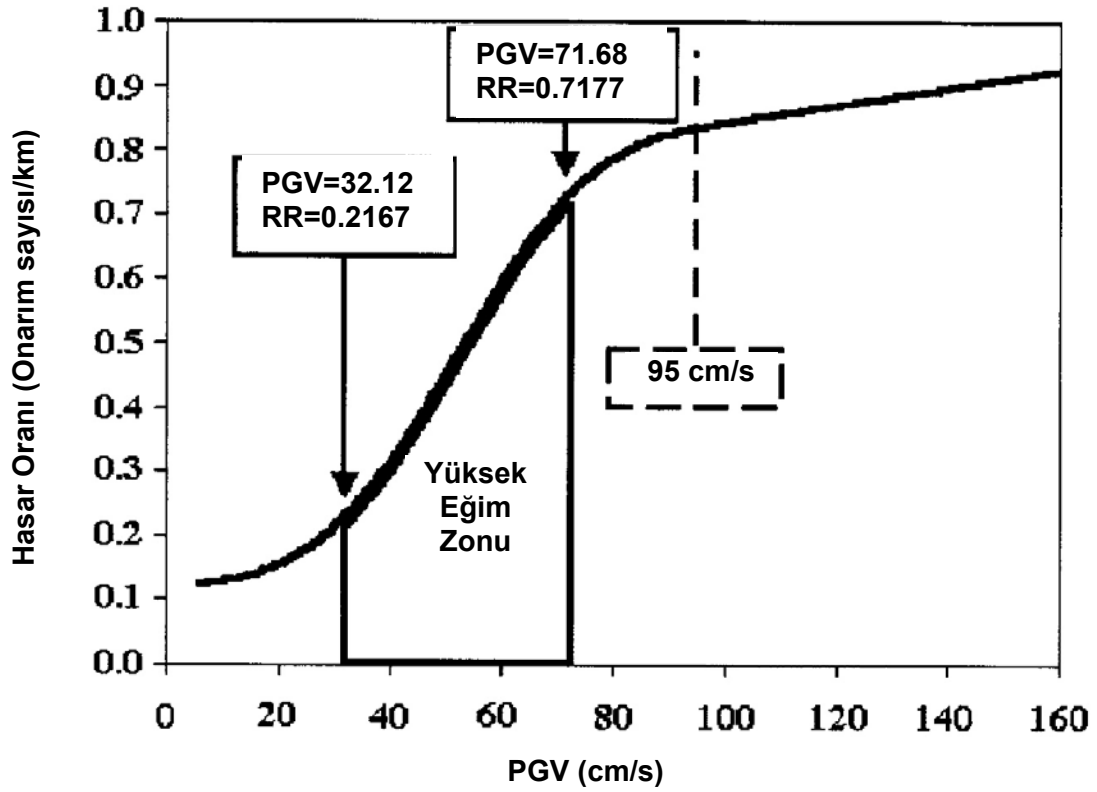
Şekil 2.9 PGV'ye bağlı geliştirilen hasar fonksiyonlarının karşılaştırılması (ALA 2001)

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 ve Ordaz, 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 2.10'da bu hasar fonksiyonu görülmektedir.

Eğrinin eğiminin arttığı zon hasarın hızla arttığı bölgedir.

$$RR = 0.1172 + 0.7281 * \int_{-\infty}^{PGV} \frac{1}{\sqrt{2\pi} * 19.7811} e^{-\frac{1}{2} \left[\frac{PGV - 51.8964}{19.7811} \right]^2} d(PGV) \quad (2.9)$$

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



Şekil 2.10 Meksika şehri gömülü boru hatları için hasar fonksiyonu (Pineda ve Ordaz 2003)

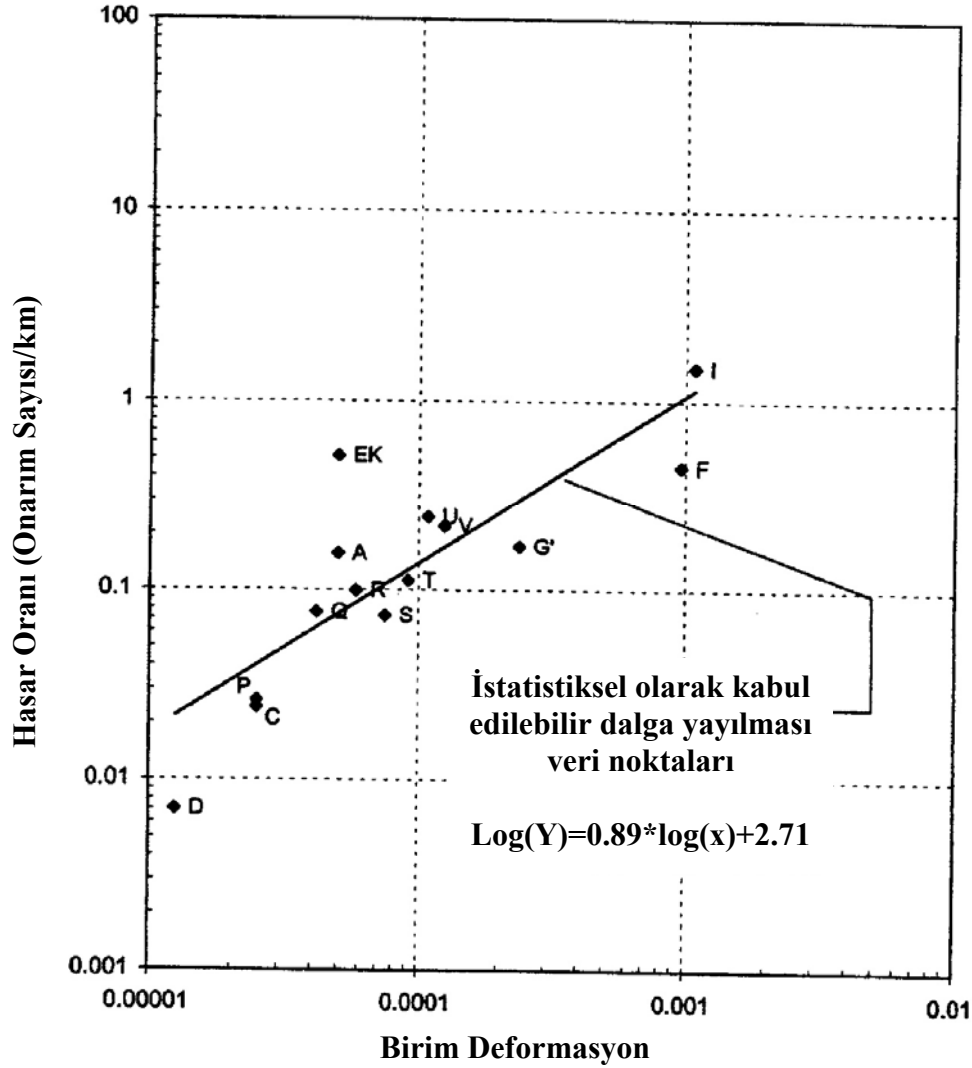
O'Rourke ve Deyoe (2004) geliştirilen HAZUS hasar ilişkisiyle, 1994 Northridge depreminden sonra geliştirilen hasar ilişkileri arasında neden önemli ölçüde farklılıklar olduğunu araştırmışlardır. Yaptıkları bu araştırmada, veri tabanlarındaki farklılığın sismik dalga türünden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır. Şekil 2.11'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 2.11).

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.

$$RR = 0.0035 * PGV^{0.92} \quad (2.10a)$$

$$RR = 0.034 * PGV^{0.92} \quad (2.10b)$$

Bu ilişki farklı çaptaki kırılgen borular için önerilmiş ve ilişkide maksimum PGV kullanılmıştır. Denklem 2.10a S(Secondary) dalgası için, 2.10b ise R(Rayleigh) dikkate alınarak geliştirilmiştir.



Şekil 2.11 İstatistiksel olarak kabul edilebilir sismik dalga yayılması hasar eğrisi (O'Rourke ve Deyoe 2004)

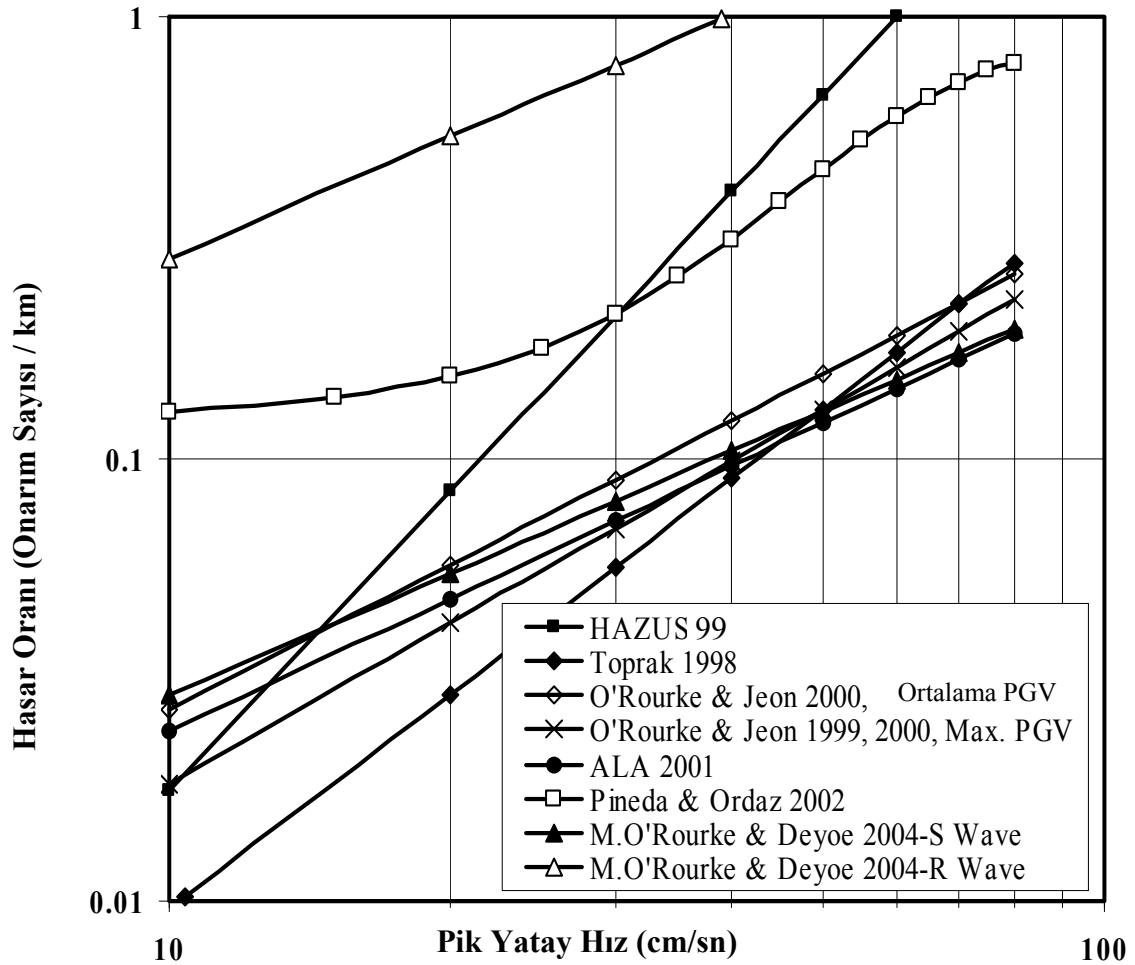
Şekil 2.12'de bu bölümde sunulan hasar ilişkileri ve bu hasar ilişkilerinin birbirleriyle olan korelasyonunu görülmektedir. Ayrıca Tablo 2.2'de bu hasar ilişkilerine ait denklemler verilmiştir.

2.1.3 Kalıcı Yer Deformasyonları (KYD) Etkisiyle Oluşabilecek Hasarlar ve Tahmini ile Basit KYD Modelleri

Geçmiş depremlerde alt yapı sistemlerinde meydana gelen büyük hasarların özellikle KYD gerçekleşen alanlarda çok yoğunlaştığı gözlenmiştir. Buna en iyi örneklerden birisi 1995 Kobe depremidir. Batı Japonya'nın endüstri ve kültür merkezi olan toplam 15 milyon nüfuslu Hanshin bölgesi, Kobe ve Osaka'da su, atık su, gaz, elektrik ve telekomünikasyon sistemleri gibi candamarı sistemlerinin gördüğü zarardan en az 3 milyon kişi ciddi şekilde etkilendi. Eski borular ve onların birleşim noktaları daha duktıl ve esnek olan yeni borulara kıyasla daha çok zarar görmüştür. Geçmiş depremlerde meydana gelen büyük hasarlar alt yapı sistemleri ile

ilgili deprem yönetmeliklerinin gelişmesini hızlandırmıştır. 1995 Kobe depremini izleyen yıllarda gaz, su ve atık su sistemlerini de içine alan candamarı sistemleri için Japonya'daki deprem yönetmeliklerinde değişiklikler yapıldı (Japanese Society of Civil Engineers (JSCE), 2000a). Bu değişiklikler depremi izleyen yıllarda yapılan çalışmaları ve "İnşaat Mühendisliği Yapıları için Depreme Dayanıklılık Üzerine Önerileri" (JSCE, 1995; JSCE,1996; JSCE, 2000b) yansıtmaktadır. Japon Gaz Birliği (JGA) 2000 yılında "Gaz İletim Boru Hatları Tasarımı için Tavsiye Edilen Uygulamalar" adlı deprem tasarım ana hatlarını değiştirdi (JGA, 2000). Temel değişiklikler şöyle özetlenebilir (Hamada, 2002; Kobayashi ve diğ., 2001; Masuda ve diğ., 2002).

- (a) Deprem Hareketi: Depreme dayanıklı tasarımda Seviye 1 ve 2 deprem hareketlerinin her ikisi de gözönüne alınmalıdır. Seviye 1 deprem hareketleri yapıyı kullanımda olduğu süre içinde bir veya iki defa etkileyebilir. Seviye 2 deprem hareketleri plak içi veya karaya yakın plaklar arası depremler tarafından oluşur ve yapıyı kullanımda olduğu süre içinde etkileme ihtimali çok azdır ama gerçekleştiğinde etkisi çok büyüktür. Seviye 2 deprem hareketi Kobe depreminde deprem kaynağına yakın 16 kayıttan elde edilen ve maksimum hızı 1 m/s'ye karşılık gelen hız spektrasi ile tanımlanmıştır.



Şekil 2.12 Gömülü boru hattı sistemleri için hasar ilişkileri (Toprak ve Taskın, 2007)

Tablo 2.2 Geçici yer deformasyonları için boru hasar ilişkileri (Toprak ve Taskın, 2007)

Boru Hasar İlişkileri	PGV	Boru Cinsi	Boru Çapı	Hasar Oranı (Onarım Sayısı/km) Denklemi
HAZUS(1999)	Maksimum	Kırılgan 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	$e^{(1.21*\ln(PGV) - 6.78)}$
		Düktül 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)	-	$0.036*(PGV/D_p^{1.021})^{0.989}$
		Düktül 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	Kırılgan 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	Kırılgan Karışık	Karışık	$0.0035*PGV^{0.92}$ S (Secondary) Dalgası İçin
		Kırılgan Karışık	Karışık	$0.034*PGV^{0.92}$ R (Rayleigh) Dalgası İçin

- (b) Gerekli Performans : Seviye 1 deprem hareketine karşı boru hattında aşırı deformasyon olmamalı ve onarım gerekmemelidir. Boru hattındaki deformasyon, % 1 veya boru kalınlığının çapına oranının 0.35 katından az nominal şekil değiştirme oranına karşılık gelmelidir. Seviye 2 deprem hareketine karşı boru hattında büyük deformasyon gözlenebilir ama gaz sızıntısı olmamalıdır ve deformasyonlar % 3 nominal birim şekil değiştirmeye karşılık gelen değerden küçük olmalıdır.

Güçlü deprem hareketlerine karşı, tasarımda ve değerlendirmede kullanılacak ana hatların belirlenmesinin yanında JGA, "Sıvılaşmaya Maruz Alanlardaki Gaz İletim Boru Hatları Tasarımı için Tavsiye Edilen Uygulamaları" oluşturmak için 1996 yılından 2000 yılına kadar

bir araştırma projesi gerçekleştirilmiştir. Bu proje şu teknik konuları incelemiştir (Kobayashi ve diğ., 2001; Masuda ve diğ., 2002): sıvılaşma sonucu oluşan yer değiştirmeler; toprak ve boru etkileşimi; boru hattındaki deformasyonların değerlendirilmesi; gaz sızıntısı olmaması şartını sağlayan boru deformasyonu. Bu konular üzerinde deneysel ve analitik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Miki ve diğ., 2000a; 2000b) ve yüksek şekil değiştirme oranlarıyla büyük deformasyonlar, hazırlanan ana hatlarda tanımlanmıştır. Bu projeye ilaveten KYD ye maruz gömülü boru hatlarının değerlendirilmesi için analitik modellerin geliştirilmesi amacıyla gerçek ölçekte deneyler yapılmıştır (Yoshizaki ve diğ., 2002). Şekil 2.13 sıvılaşma sonucu oluşan KYD etkisine maruz gaz iletim hatlarının depreme dayanıklılığını değerlendirmek için kullanılabilecek yöntemde izlenmesi gereken adımları göstermektedir.

Boruların etkilendiği kalıcı yer deformasyonları boru eksenine dik veya paralel doğrultuda olabilir (Toprak, 2007). Şekil 2.14 boru eksenine dik doğrultuda KYD hali için örnek bir analitik modeli göstermektedir (O'Rourke, 1989). KYD bölgesinin genişliğinin büyük olması durumunda boru göreceli olarak düktil gibi davranacak ve zemin hareketine yakın bir yer değiştirmeye maruz kaldığı kabul edilebilecektir. KYD bölgesinin genişliğinin küçük olması durumunda ise boru göreceli olarak rijit gibi davranacak ve zemin hareketine göre çok az bir yer değiştirmeye maruz kalacaktır. Her iki durum için eğilme birim uzamaları denklem 2.11 ve 2.12'te verilmiştir:

$$\varepsilon_b = \pm \frac{\pi^2 \delta D}{W^2} \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_b = \pm \frac{p_u W^2}{3 \pi E t D^2} \quad (2.12)$$

Burada p_u birim yanal basınç gerilmesi, E boru için elastisite modülüdür. Diğer parametreler Şekil 2.14'te gösterilmiştir.

KYD'nin boru eksenine paralel olduğu hal için borular üzerinde KYD etkisi, O'Rourke ve Nordberg (1992) tarafından önerilen kayan blok modeliyle değerlendirilebilir. Bu modelde iki farklı durum gözönüne alınmaktadır. Durum I'de KYD bölgesinin uzunluğu (L), boru ile KYD bölgesi içinde borunun etrafındaki zemin arasında sıfır-kayma geliştirebilecek yeterlikte büyüklüğe sahiptir. Durum II'de KYD bölgesinin uzunluğu (L), sıfır-kayma oluşturacak değerden büyüktür. Bu nedenle borudaki şekil değiştirme durum I'de KYD bölgesinin uzunluğu, durum II'de ise KYD miktarı (δ) tarafından kontrol edilmektedir. Borudaki eksenel yer değiştirme, kuvvet ve şekil değiştirme dağılımı, Şekil 2.15'te durum I ve II için gösterilmiştir. Şekilde f_m , zemin-boru arayüzünde birim sürtünme kuvvetini ve L_e , sürtünmenin etkilediği etkin uzunluğu göstermektedir. Birim sürtünme kuvveti şöyle ifade edilebilir:

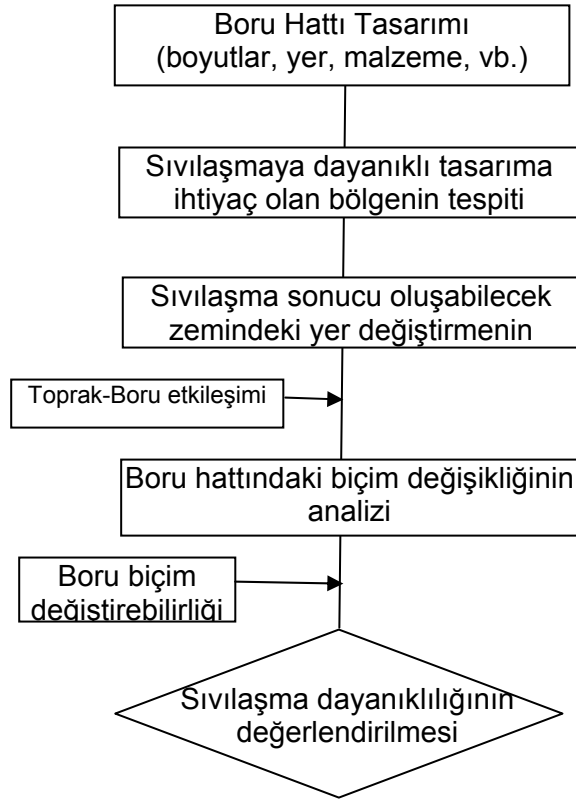
$$f_m = (c + \mu \gamma H) \pi D \quad (2.13)$$

burada c zemin kohezyonu, μ zemin-boru arayüzünde sürtünme kuvveti katsayısını, γ efektif birim ağırlığı, H yüzeyden boru ortasına olan derinliği ve D borunun dış çapını göstermektedir. Her iki durum için de, AB kısmı arasında borudaki kuvvet A'dan ölçülen mesafe ile doğrusal ilişkiye sahiptir. Boru malzemesi için Ramberg-Osgood modeli kullanarak, durum II için maksimum uzama oranı, ε_{maks} şöyle yazılabilir.

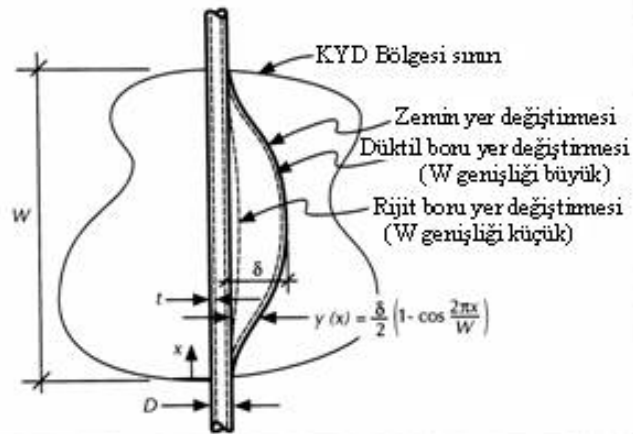
$$\varepsilon_{maks} = \frac{\beta_p L_e}{E} \left\{ 1 + \frac{n}{1+r} \left(\frac{\beta_p L_e}{\sigma_y} \right)^r \right\} \quad (2.14)$$

burada n ve r Ramberg-Osgood parametreleri, E boru için elastisite modülü, σ_y akma gerilmesi, β_p is boru gömme parametresi, ve L_e Şekil 2.15b'de A noktasından B noktasına olan mesafedir. Şekil 2.15'te görüldüğü gibi benzer bir eşitlik durum I için de yazılabilir.

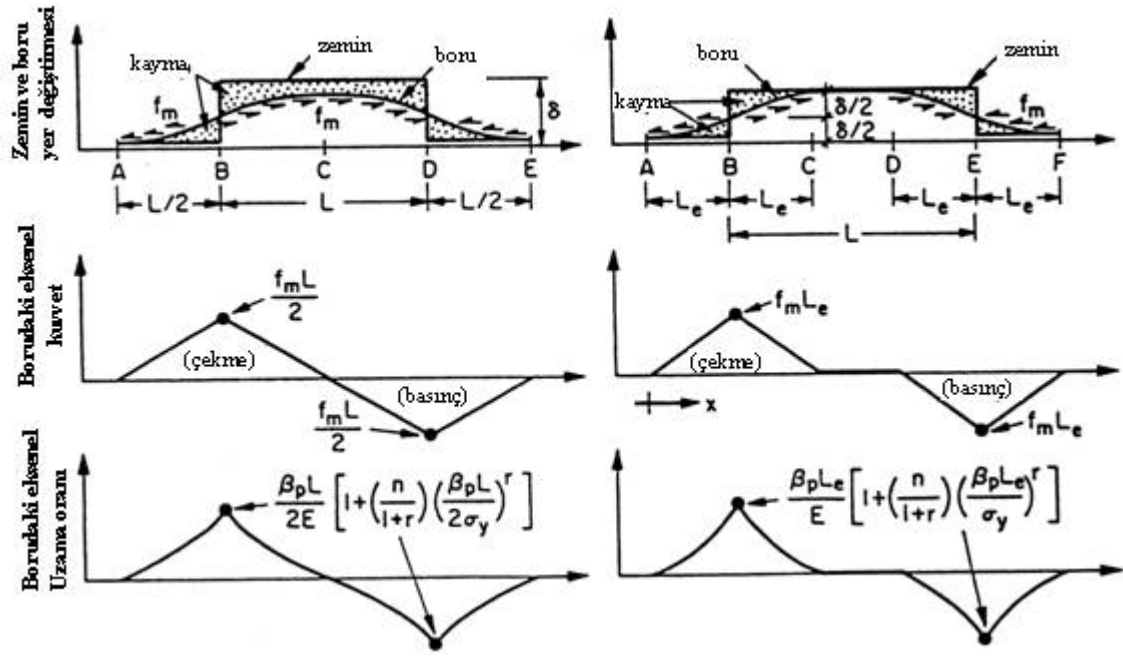
1994 Northridge depremi esnasında Balboa Bulvarı ve McLennon caddesi civarındaki Holosen Alüvyal zeminlerde meydana gelen kalıcı yer deformasyonları dört gaz boru hattını, 2 ana su hattını ve bir petrol hattını etkilemiştir (Şekil 2.16). Bu hatlardan 3 tanesi ciddi sonuçlar doğuracak şekilde hasar görmüş, dört tanesi ise zarar görmemiştir. Zarar gören borular 2 çelik ana su borusu (1245 mm ve 1727 mm çaplarında) ve eski çelik doğal gaz hattı 120 (559 mm çaplı) dır. Aynı bölgede hasar gören ve görmeyen bu boruların vakasının değerlendirilmesi gömülü boruların deprem performansını etkileyen faktörlerin anlaşılması, analitik metodların kalibre edilmesi ve performansın artırılması amacıyla önlemlerin alınması açısından çok önemlidir. Balboa Bulvarında oluşan kalıcı yer deformasyonu, zemin kütesinin hemen hemen bir bütün olarak boruların doğrultusuna paralel olarak hareket etmesi şeklinde gerçekleşmiştir. Değişik araştırmacıların hareketin büyüklüğünü belirlemek için yaptıkları çalışmaları değerlendiren Toprak (1998) yer hareketinin yaklaşık 50 cm alınabileceğini belirtmiştir.



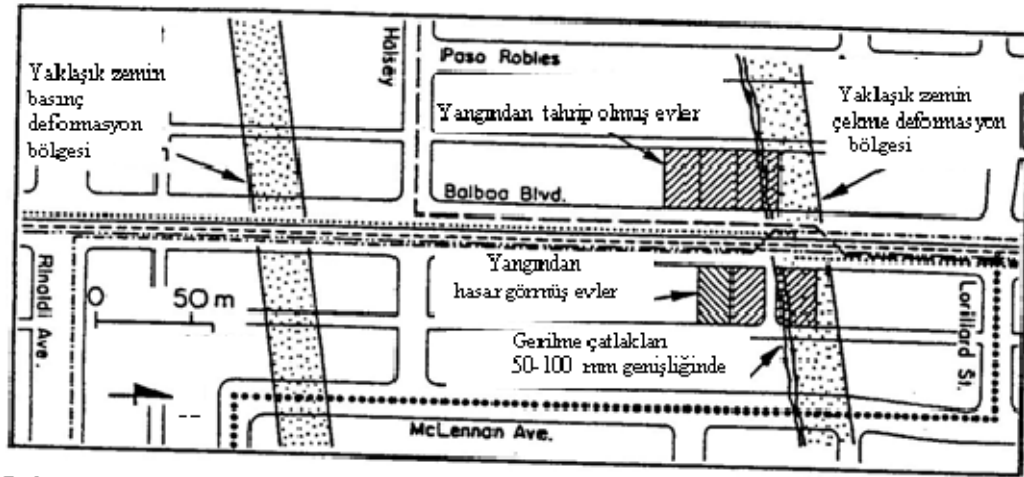
Şekil 2.13 Sıvılaşmadan etkilenen yeraltı gaz iletim hatlarının depreme dayanıklılığının değerlendirilmesi (JGA, 2000; Masuda ve diğ., 2002)



Şekil 2.14 Boru eksenine dik yönde KYD hali için analitik model (O'Rourke, 1989)



a) Durum I Şartları b) Durum II Şartları
 Şekil 2.15 Boru eksenine paralel yönde KYD durumunda, KYD etkileri için kayan blok modeli (O'Rourke ve Nordberg, 1992; Toprak, 1998)



Lejant:

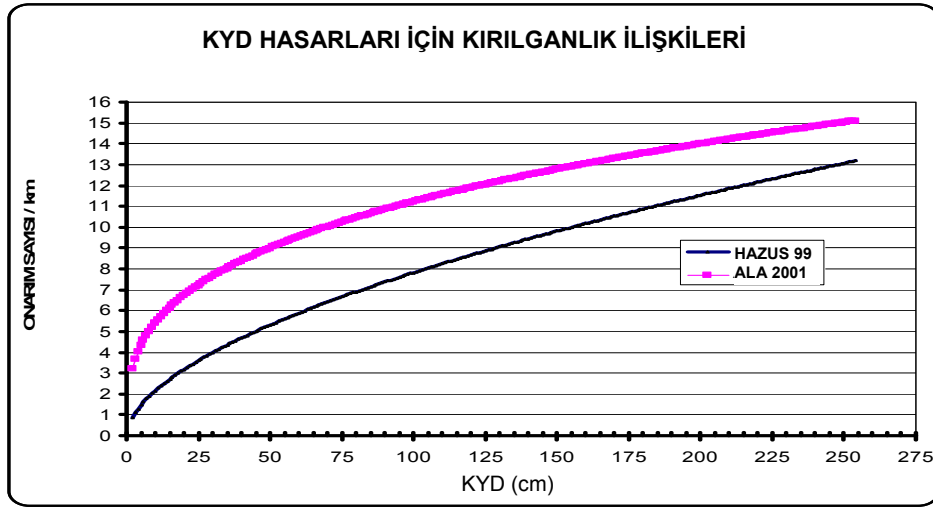
- | | |
|---------------------------------------|--|
| — 762 mm çaplı gaz hattı 3003 | — 1245 mm çaplı Granada ana su hattı |
| - - - 762 mm çaplı gaz hattı 3000 | - - - 1727 mm çaplı Rinaldi ana su hattı |
| - - - 559 mm çaplı eski gaz hattı 120 | ▨ tahrip olmuş ev |
| ••••• 610 mm çaplı yeni gaz hattı 120 | ▨ hasarlı ev |
| ••••• 406 mm çaplı mobil petrol hattı | |

Şekil 2.16 Balboa Bulvarındaki KYD bölgesindeki borular (O'Rourke ve Palmer, 1994)

Toprak (1998), O'Rourke ve Palmer (1994) tarafından sunulan verilerin üzerine ek çalışmalar yaparak bu lokasyondaki boruların analizini gerçekleştirmiştir. Analizde kullanılan metod, KYD etkisi için O'Rourke ve Nordberg (1992) tarafından önerilen kayan blok modelidir. Analizlerde gözönüne alınan parametreler şunlardır: borular ve zemin arasındaki sürtünme

katsayısı, boru malzeme özellikleri ve boru ek özellikleridir. Analiz sonuçları göstermiştir ki: Mobil petrol hattı, gaz hattı 3000, gaz hattı 3003, ve yeni gaz hattı 120 yapıldıkları çeliğin yüksek gerilmelere dayanabilmesiyle ve aynı zamanda yüksek dayanımlı kaynak ekleriyle hasarsız bir şekilde deprem yüklemelerini karşılayabilmiştir. Bu özellikler olmasaydı gaz hatları 3000 ve 3003'ün oluşan büyük birim uzamalara direnebilmeleri mümkün olmazdı. Analizler özellikle Mobil petrol hattı ve yeni gaz hattı 120'nin boru kaplama cinsinden dolayı düşük birim uzamalara maruz kaldığını göstermiştir. Hasar gören su ve gaz hatlarında zararlar boru ek noktalarında meydana gelmiştir.

Günümüzde KYD etkisiyle oluşabilecek hasar tahmininde kullanılan en yaygın hasar ilişkileri HAZUS (FEMA 1999) ve ALA (2001)'dir. Şekil 2.17'de HAZUS ve ALA'da belirtilen kalıcı yer deformasyonları ile hasar oranları arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 2.17 Kalıcı yer deformasyonları (KYD) ile hasar oranları (RR) arasındaki ilişki

HAZUS metodolojisinde, kalıcı yer hareketleri (KYD) sonucunda meydana gelen gömülü boru hattı hasarları yanal hareketler (deplasmanlar) ile karakterize edilmektedir. Denklem 4.5'te bu hasar ilişkisi verilmiştir.

$$RR = 0.394 (KYD)^{0.56} \quad (2.15)$$

Denklem 4.5'te 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 kırılgen boru hattı hasar oranlarının tahmininde geçerlidir, ancak HAZUS'da belirtildiği üzere düktil boru hattı hasar oranları kırılgen için olanların üçte biri olarak kullanılmaktadır. ALA (2001)'de önerilen hasar ilişkisi ise denklem 4.6'da verilmiştir.

$$RR = K_2 * 1.291 * (1.06) * KYD^{0.319} \quad (2.16)$$

Denklem 4.6'da 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 kırılgen 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; kırılgen boru sınıfına giren font ve AÇB borular için K_2 , 1 değerini almaktadır.

2.2 Kümeleme Analizi

Kümeleme analizi, bir veri setine ait elemanların, benzer özelliklerine göre homojen gruplara ayrılmasını sağlayan çok değişkenli istatistik teknikler içinde yer alan bir analiz yöntemidir. Analiz sonucu elde edilen kümeler yüksek düzeyde küme içi homojenlik ve yüksek düzeyde kümeler arası heterojenlik gösterirler (Sharma 1996). Son yıllarda gittikçe popüler hale gelen kümeleme analizi; örüntü tanıma, yapay zekâ, bilgi teknolojisi, görüntü işleme, biyoloji ve tıp gibi birçok bilimsel alanda kullanılmasına rağmen altyapı sistemlerinde kullanılmasına rastlanılmamıştır. İlk olarak kümeleme analizinin bu alanda kullanılmasını Toprak ve diğ. (2009) gerçekleştirmiştir.

Kümeleme analizi birçok alt kola ayrılmakla beraber bu çalışmada bazı kümeleme algoritmaları açıklandıktan sonra bulanık kümeleme analizi ve çıkarımlı kümeleme analizi konularının üzerinde durulup altyapı sistemleri üzerlerinde değerlendirmeleri yapılmıştır.

2.2.1 Kümeleme Analizi Algoritmaları

2.2.1.1 Çıkarımlı küme algoritması

Çıkarımlı kümeleme yöntemi, Yager ve Filev (1992) tarafından önerilen dağ kümeleme yönteminin gelişmiş bir modeli olarak Chiu (1994) tarafından literatüre girmiştir. Aşağıda dağ algoritmasından kısaca bahsedilip, çıkarımlı kümeleme algoritmasıyla farkı anlatılmıştır.

Dağ kümeleme algoritması, küme merkezlerinin sayısını ve başlangıç konumlarını kolay ve etkili bir şekilde belirleyen bir algoritmadır. Bu algoritma veri alanından grid sistemi oluşturarak her bir grid noktasının asıl veri noktalarına olan uzaklığını ölçer. Yakınında fazla sayıda veri noktası olan grid noktasının küme merkezi olma potansiyel değeri daha fazladır. En yüksek potansiyel değere sahip grid noktası ilk küme merkezi olarak seçilir. Seçilen ilk grid noktasının yakınındaki noktaların potansiyel değeri hızlıca düşürülüp, ikinci küme merkezi seçimi için aynı işlem tekrarlanır. İlk başta belirlenen eşik değerine kadar algoritma devam ettirilir. Dağ kümeleme yöntemi kolay ve etkili bir yöntem olmakla beraber veri seti büyüdükçe işlem hacmi çok arttığı için büyük bir dezavantajı vardır. Bu yüzden çalışmada potansiyel küme merkezleri için grid noktalarını kullanmak yerine asıl veri noktalarını kullanan çıkarımlı kümeleme metodu tercih edilmiştir. Çıkarımlı kümeleme metodunda her bir veri noktası potansiyel küme merkezi olarak farz edilir ve her veri noktasını çevreleyen veri noktalarının, yoğunluğuna dayalı olarak küme merkezi olma ihtimalinin derecesi hesaplanır. Daha fazla komşu verisine sahip olan verinin, küme merkezi olma şansı, daha az komşu veriye sahip olan veriye göre fazladır. Algoritması ise

- i) En yüksek potansiyele sahip veri noktasını ilk küme merkezi olarak seç,
- ii) İlk küme merkezinin yakınında olan tüm veri noktalarını (komşuluk yarıçapı olarak tanımlanır), sıradaki küme merkezini tanımlamak ve yerini bulmak için kaldır,
- iii) Bu aşamaları tüm veriler, küme merkezi komşuluk yarıçapı dâhilinde olana kadar devam ettir, şeklindedir.

Her bir veri noktasının potansiyel değeri etrafındaki veri noktalarının yoğunluğuna dayanarak Chiu (1994) tarafından aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$P_i = \sum_{j=1}^n e^{-4 * \|x_i - x_j\|^2 / R_a^2} \quad (2.17)$$

Formülde x_i, x_j , veri noktaları ve R_a ise komşuluğu belirten pozitif bir katsayıdır. Bu sınırın dışında kalan verilerin potansiyele az etkisi vardır. Tüm verilerin potansiyellerinin hesaplanmasından sonra en yüksek potansiyele sahip veri noktası ilk küme merkezi olarak seçilir. Eğer x_1^* ilk küme merkezinin yeri ve P_1^* bunun potansiyel değeri ise geriye kalan veri noktalarının x_i , potansiyeli, R_b nin pozitif olduğu yerde ($R_b > R_a$) aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$P_i \Rightarrow P_i - P_1^* e^{-4 * \|x_i - x_1\|^2 / R_b^2} \quad (2.18)$$

Genellikle, k-inci küme merkezi elde edildikten sonra, her veri noktasının potansiyeli aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$P_i \Rightarrow P_i - P_k^* e^{-4 * \|x_i - x_k\|^2 / R_b^2} \quad (2.19)$$

Böylece ilk küme merkezinin yakınındaki veri noktalarının potansiyeli büyük ölçüde azalacak ve bundan dolayı sıradaki küme merkezi seçilme ihtimali çok düşük olacaktır. R_b katsayısı komşuluğu tanımlayan yarıçap olup, potansiyeldeki ölçülebilir azalmalara sahip olacaktır. Birbirine yakın küme merkezlerini elde etmekten kaçınmak için R_b, R_a ' dan daha büyük seçilerek işleme başlanır. R_a ve R_b parametreleri birbirleriyle çok yakın ilişkili ve R_b her zaman R_a ' dan büyük olduğundan, R_b parametresi, R_a ve R_b arasındaki oran olan çarpım faktörü (SF) diye adlandırılan başka bir parametreyle değiştirilebilir. Çarpım faktörünün denklemi şu şekildedir.

$$SF = \frac{R_b}{R_a} \quad (2.20)$$

Yukarda tanımlanan süreç daha fazla küme merkezi bulunmayana kadar devam eder. Veri noktasının küme merkezi olarak seçilip seçilmediğine gelince burada kabul oranı (AR) ve Çıkarma Oranı (RR) olarak adlandırılan iki parametre işleme dâhil olur. Bu iki parametreyle beraber etki aralığı ve çarpım faktörü küme merkezlerinin seçimi için belirlenir.

2.2.1.2 Bulanık c-ortalamlar algoritması

Bulanık C-Ortalamlar (BCO) algoritması bulanık kümeleme metotlarından en iyi bilinen ve en yaygın olarak kullanılan algoritmadır. Dunn (1973) tarafından ortaya atılmış ve Bezdek (1981) tarafından geliştirilmiştir. Belirli sayıda farklı kümelerin çok boyutlu uzayda yerleştirilmesi ve veri noktalarının nasıl gruplandığının gösterilmesini sağlayan bir metottur. Bu metot klasik kümeleme metotlarının aksine bir veri noktasının, kümelerin her birine $[0,1]$ arasında değişen ve üyelik derecesi olarak adlandırılan bir değerle ait olmasına dayanır. Herhangi bir veri hangi küme merkezine en yakınsa o kümeye ait üyelik derecesi en büyük olur. Söz konusu verinin üyelik dereceleri toplamı ise bire eşittir. BCO algoritması öklid uzaklığını kullanır. Öklid uzaklığının denklemi aşağıda verilmiştir.

$$d(x_i, x_j) = \left(\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right)^{1/2} = \|x_i - x_j\| \quad (2.21)$$

İki veya üç boyutlu uzayda nesnelere yakınlığını değerlendirmek için kullanılan öklid uzaklığı, kümeler sıkı veya izole bir şekilde ise iyi sonuçlar vermektedir (Mao ve Jain, 1996). Temel olarak k-ortalama metoduna benzemekle beraber başlıca farklılığı, klasik kümeleme yöntemlerinde olduğu gibi verilerin her birinin yalnızca bir kümeye aitlik zorunluluğunun olmamasıdır. BCO yöntemi de birçok bulanık kümeleme yönteminde olduğu gibi amaç fonksiyonunun minimize edilmesine dayanmaktadır. Amaç fonksiyonu denklem (2.22)'de verilmiştir.

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (2.22)$$

Burada m, 1 den büyük bir reel sayı olmak üzere bulanıklık indeksi; u_{ij} , j. kümedeki x_i nin üyelik derecesi; x_i , d boyutlu ölçülen verinin i. verisi; c_j , d boyutlu kümenin merkezi ve $\|\cdot\|$ herhangi bir veri ile küme merkezi arasındaki benzerliğin bir ölçümüdür ve norm adı verilir. BCO' da öklid uzaklık normu kullanılır. Bulanık bölümlenme yukarıda gösterilen amaç fonksiyonunun tekrarlı optimizasyonunu, u_{ij} ve c_j küme merkezlerinin üyeliklerinin güncellenmesi ile gerçekleştirilir. U üyelik matrisi rastgele atanarak algoritma başlatılır. İkinci adımda ise merkez vektörleri hesaplanır. Merkezler denklem (2.23)'ye göre hesaplanır.

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \quad (2.23)$$

Hesaplanan küme merkezlerine göre U matrisi denklem (2.24) kullanılarak yeniden hesaplanır. Eski U matrisi ile yeni U matrisi karşılaştırılır.

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (2.24)$$

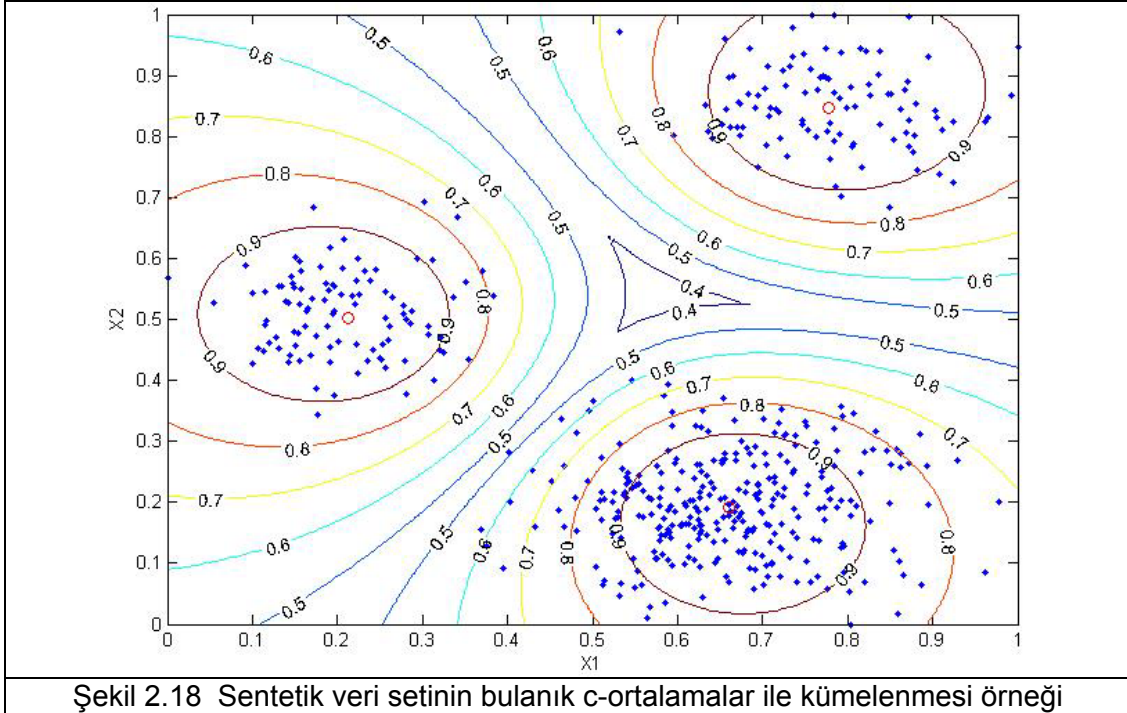
Aşağıdaki şart sağlandığında döngü duracaktır.

$$\max_{i,j} \left\{ \left| u_{ij}^{(k+1)} - u_{ij}^{(k)} \right| \right\} < \varepsilon \quad (2.25)$$

Burada ε , değeri 0 ve 1 arasında olan sonlandırma ölçütü ve k ise tekrarlanma sayısıdır. Bu işlem sayesinde J_m yerel bir minimuma veya dönüm noktasına yakınsar.

Şekil 2.18'de sentetik veri setinin bulanık c-ortalama algoritmasıyla kümeleneceği görülmektedir. Şekilde küme merkezleri (içi boş daireler), verilerin (içi dolu noktalar) üyelik

derecelerini gösteren çizgiler ve hangi verinin hangi kümeye ait olduğu gösterilmiştir. Sentetik veri setini oluştururken MATLAB programının hazır fonksiyonları kullanılmıştır. Veri sayısı olarak 100, küme sayısı olarak ise 3 seçilmiştir.



Şekil 2.18 Sentetik veri setinin bulanık c-ortalamlar ile kümelenmesi örneği

2.2.2 Kümeleme Geçerlilik İndeksleri

Kümeleme analizi daha öncede belirtildiği gibi benzer kümelerin aynı küme içine girmesini amaçlamaktadır. Bulanık kümeleme gibi bazı kümeleme algoritmalarında küme sayısı sisteme girdi olarak verilmekte yani küme sayısının önceden bilinmesi gerekmektedir. Birçok çalışmada küme sayısının önceden bilinmesi mümkün olmadığından yapılan kümelemenin ne kadar doğru olduğu tartışmaya açıktır. Optimal küme sayısını belirlemek için ortaya çıkan bu gereksinime literatürde kümeleme geçerliliği adı verilmektedir. Kümeleme geçerliliğini belirlemede ise kümeleme geçerlilik indeksleri kullanılmaktadır.

Çoğu kümeleme geçerlilik indeksleri yoğunluk ve ayrılma gibi kavramlara dayalı olarak çıkartılmıştır. Yoğunluk, küme elemanlarının birbirleri arasındaki yakınlığı ölçerken buna en iyi örnek varyans olarak verilebilir. Ayrılma ise iki kümenin birbirlerinden ne kadar ayrıldıklarını göstermekte bir başka deyişle kümeler arası mesafeleri ölçmektedir. Bu bölümde bölümlendirme katsayısı (PC indeksi), sınıflandırma entropisi (CE), MPC indeksi, Xie-Beni indeksi, Fukuyama-Sugeno indeksi, Pakhira (PBMF) indeksi ve Dunn indeksi olmak üzere yedi farklı indeks incelenmiştir. Bu indekslerin hazır veri setleri (6_2 ve 10_2) ve 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için verdiği sonuçlar anlatılmış ve karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar hangi yöntemin daha etkin bir şekilde küme sayısını belirlediğini tespit etme açısından önemlidir. Benzeri karşılaştırmalar özellikle literatüre yeni bir indeks sunan ya da bir indekste geliştirmeler yapan araştırmacılar tarafından yapılmıştır (örneğin, Zhang ve diğ., 2008). 6_2 ve 10_2 veri setleri, Bandyopadhyay ve Maulik (2001, 2002), Bandyopadhyay ve Pal (2007) çalışmalarıyla literatürde yer almaktadır. Bu veri setleri, <http://www.isical.ac.in/~sanghami/data.html> adresinden alınmıştır. Hazır veri setlerinin özellikleri kümeleme geçerlilik indekslerinin değerlendirilmesi kısmında verilmiştir.

2.2.2.1 Bölümlene katsayısı (PC indeksi)

Kümeler arası üst üste kesişme miktarını ölçen indeks, Bezdek (1974) tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$PC(c) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^2 \quad (2.26)$$

Burada u_{ij} , i. kümedeki j veri noktasının üyelik derecesini, n veri sayısını, c ise küme sayısını göstermektedir. Bölümlene katsayısının dezavantajı verilerin bazı özelliklerine direkt bağlantı eksikliğinin bulunmasıdır. Bölümlene katsayısının en büyük değerinde küme sayısı optimumdur.

2.2.2.2 Sınıflandırma entropisi (CE)

Bölümlene katsayısına benzer olarak sadece küme bölümünün bulanıklılığını ölçen sınıflandırma entropisi Bezdek (1974) tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$CE = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij} \log(u_{ij}) \quad (2.27)$$

Sınıflandırma entropisinin en küçük değeri için küme sayısı optimum olarak tanımlanmıştır.

2.2.2.3 MPC indeksi

Dave (1996) tarafından tanımlanan MPC indeksi, PC indeksinin küme sayısına bağlı olarak revize edilmesinde bulunmuştur.

$$MPC = 1 - \frac{c}{c-1} * (1-PC) \quad (2.28)$$

Denklemden de görüldüğü gibi MPC indeksi, PC indeksi ve küme sayısına (c) bağlıdır. Optimum küme sayısını en büyük değerinde vermektedir.

2.2.2.4 Xie-Beni indeksi

Xie-Beni (1991) tarafından tanımlanmış olup, toplam değişimin oranını kümeler ve kümelerin ayrımı dâhilinde ölçmeyi amaçlamıştır.

$$XB(c) = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^m \|x_j - v_i\|^2}{n \min_{i,j} \|v_i - v_j\|^2} \quad (2.29)$$

Xie-Beni İndeksinin en küçük değerinde küme sayısı optimumdur.

2.2.2.5 Fukuyama ve Sugeno indeksi

Fukuyama ve Sugeno (1989) tarafından optimum küme sayısını bulmak için önerilmiştir.

$$J_m(U, V) - K_m(U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^m \|x_j - v_i\|^2 - \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^m \|v_i - \bar{v}\|^2 \quad (2.30)$$

Fukuyama-sugeno indeksi küçük değerlere gittikçe yoğun ve iyi ayrılmış kümeler verir.

2.2.2.6 Pakhira (PBMF) indeksi

Pakhira ve Bandyopadhyay (2004), tarafından geliştirilen indeksin hesaplanma adımları aşağıda verilmiştir.

$$PBMF = \left(\frac{1}{c} * \frac{E_1}{J_m} * D_c \right) \quad (2.31)$$

PBMF indeksi aslında PBM indeksinin bulanık kümeler için revize edilmesiyle bulunmuştur.

$$E_1 = \sum_{j=1}^n \|x_j - v\| \quad (2.32)$$

$$D_c = \max_{i,j=1}^c \|v_i - v_j\| \quad (2.33)$$

$$J_m(U, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ij})^m \|x_j - v_i\| \quad (2.34)$$

PBMF indeksinde m olarak 1.5 değeri alınmıştır.

2.2.2.7 Dunn indeksi

Bu indeks ilk olarak sıkı ve iyi ayrılmış kümelerin belirlenmesinde kullanılmak için geliştirilmiştir. Bu yüzden kümelemenin sonuçları zor bölümlenme algoritması sebebiyle tekrar hesaplanmalıdır. Dunn (1973) tarafından geliştirilmiştir.

$$DI(c) = \min_{i \in c} \left\{ \min_{j \in c, i \neq j} \left\{ \frac{\min_{x \in C_i, y \in C_j} d(x, y)}{\max_{k \in c} \left\{ \max_{x, y \in C} d(x, y) \right\}} \right\} \right\} \quad (2.35)$$

Dunn indeksinin en büyük dezavantajı hesaplanmasıdır. Çünkü c küme sayısı ve n veri sayısı arttığında hesaplama bunlara bağlı olarak zorlaşır. Dunn indeksi optimum küme sayısını en büyük değerinde verir.

2.3 Zemin Boru Etkileşimi ve Sonlu Elemanlar

Boru-zemin etkileşimi karmaşık bir yapıya sahiptir ve zemin ile boru arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek için birçok çalışmalar yapılmış ve farklı yaklaşımlar izlenmiştir. Bu modellerden en çok kullanılanlardan biri Winkler zemin modelidir. Winkler zemin modelinin yoğun olarak kullanılmasının nedeni basitleştirilmiş model olarak boru elemanın kiriş eleman, zeminin ise yaylarla modellenmesi ve bu şekilde hızlı sonuca ulaşılmasıdır (Winkler, 1867).

Boru-zemin etkileşimi ve davranışı ile ilgili yapılan çalışmalarda Marston ve öğrencisi Spangler'ın yaptığı çalışmalar milat olarak kabul edilebilir. Marston, yapı üzerindeki zemin prizmasında gelişen kesme kuvvetleri açısından rijit boru hatlarındaki yüklerden bahsetmiştir (Marston, 1930). Marston teorisinin en önemli ölçütlerinden biri boru ve boruyu saran zemin sıklıkları arasındaki farktır. Marston, hendek içindeki dolgu malzemesinin herhangi bir hasara uğramamış hendek yanal yüzeyi boyunca oluşan kayma gerilmeleri tarafından destekleneceğini düşünerek teorisini bu temele oturtmuştur. Marston'un teorisi borunun göreceli dönmesini ve zeminin oturmasını da hesaba katmıştır. Çalışma Marston'un öğrencisi Spangler tarafından ileriye taşınmıştır. Göreceli olarak hafif ağırlıklı ve düşük dayanıklılığa sahip borular zemine doğru hareket etmeye çalışan kenarlarla çevrelenmiş zemine tesir eden pasif basıncı kullanarak hatırı sayılır yükseklikteki dolgulara destek sağlar. Kaynak hattındaki pasif basıncın etkisiyle ince çeperli boruların yüksek deformasyon özelliğinin büyük bir avantaj olabileceğini ortaya koymuştur (Spangler, 1941).

1970'li yıllarda Einstein ve Shwartz (1979), esnek gömülü boru hatları ile ilgili yaptıkları çalışmalarda doğrusal (lineer) model, Duncan (1979), Moore ve Booker (1987) ise gömülü boru hatları için sıkı doğrusal olmayan (nonlineer) modeller geliştirmişlerdir. O'Rourke ve diğ. (1991) çökme ya da yıkılma mekanizmasına dayalı bir model sunmuştur. Düşey yüklemeler borunun üst noktasına sürekli davranış gösterecek şekilde transfer edilir. Bu model boru birim uzunluğu başına düşen toprak yükü için boru kesitlerindeki burju delme işleminden çıkan sonuçlardan analitik bir temel sağlar.

Gerçeğe yakın sonuçlar vermesi nedeniyle sonlu elemanlar metodu günümüzde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Son zamanlarda geoteknik alanında da sıkça kullanılan bir yöntem olmuştur. Zemin-yapı etkileşimi farklı şekillerde ele alınarak analizleri yapılabilmektedir. Turner ve diğ. (1956) ilk kez sonlu elemanlar metodunu mühendislik uygulamalarıyla tanıştıran kişi olmuştur. Bu zamandan sonra geoteknik mühendisliğinde çeşitli zemin ve zemin-yapı sistemlerinin statik ve dinamik gerilme analizleri yapılmaya başlanmıştır (Watkins ve Anderson, 2000).

Sonlu elemanlar metodu kullanılırken belli başlı prensipler vardır. Bir sistemi sonlu elemanlarla çözebilmek için öncelikli olarak global rijitlik matrisinin oluşturulması gerekir. Bununla beraber sisteme ait düğüm deplasman vektörü ve düğüm yük vektörünün de bulunması gerekmektedir. Rijitlik matrisi, düğüm deplasmanı ile ilişkilidir. Geoteknik sistemlerin büyük bir çoğunluğu iki boyutlu olarak idealize edilerek modellenilebilir. Fakat üç boyutlu sistemlerde sistemin doğasından kaynaklanan problemler olabilmektedir. Geoteknik sistemlerin çözümüne örnek olarak tank modeli verilebilir. Bu sistemde tank uç plağı ile silindirik duvarlar arasındaki sızmanın incelenmesi sağlanabilmektedir. Yapılan sistemlerde simetri kullanılarak zamandan da tasarruf sağlanabilmektedir.

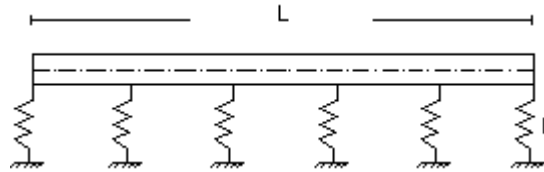
Clough ve diğ. (1972) sonlu elemanlar metodunu esas alarak zemin-yapı etkileşimi ile ilgili çalışmalarda bulunmuştur. Sonlu elemanlar metodundaki mantığın bütünü oluşturan parçalar ve parçaların süreklilik arz etmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bu bölünen bütünün her bir parçasında gerilme ve şekil değiştirmenin bulunabilirliğini göstermiştir. Goodman ve diğ. (1968) teorik olarak sıfır kalınlık alarak gerilme ve göreceli deplasmanlara bağlı doğrusal bir

ilişkiyi ortaya koymuştur. Sonlu elemanlar metodu işleyişine uygun bir bağlantı elemanı önermiştir.

Ghaboussi ve diğ. (1973) karşılıklı iki kırık yüzey arasındaki görelî deplasmanı kullanarak plastisite teorisine dayalı sonlu elemanlar metodu mantığını esas alan bir bağlantı elemanı önermiştir. Sonlu kalınlıktaki kırık boyunca görelî deplasmanların kullanımının kırık elemanlara ait bilinmeyen sayısını yarı yarıya düşürdüğünü tespit etmiştir. Goodman bağlantı elemanlarında olduğu gibi dört düğüm noktası yerine 2 düğüm noktası tanımlanmıştır. Komplike zemin durumları için sonlu elemanlar metodu kullanarak birçok yaklaşım geliştirilmiş ve sunulmuştur Ghosh ve Kikuchi (1991), Griffiths (1982), Hu ve Randolph (1998), Sloan ve Randolph (1982).

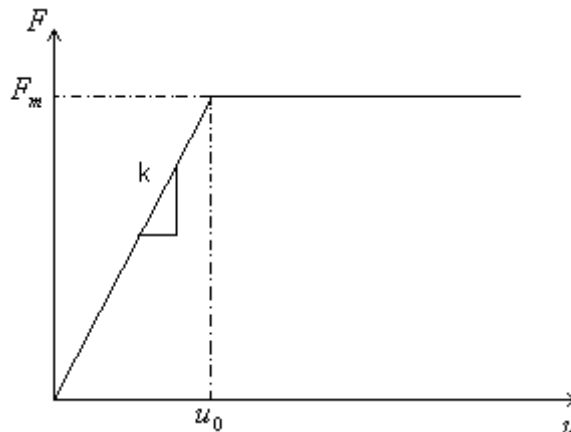
Boru-zemin etkileşimi analizleriyle ilgili yapılan son çalışmalarda elasto-plastik yay elemanların kullanımı sıkça görülmektedir. Boru hattının yanal ve aksel hareketleri etki seviyesine bağlı olduğundan modelin en gerekli kısmı zemin etkileşim modelidir. Boru hattı ile zemin arasındaki etkileşim üç serbestlik derecesi ile ifade edilmiştir. Bunlar, boru hattının yerleştirildiği yatağa doğru hareket, boru hattı eksenî boyunca aksel hareketler ve boru hattına dik yanal hareket olarak belirtilmiştir (Heddal, 2008).

Daha önce bahsedilen Winkler modelinde zemin lineer elastik davranış göstermektedir ve yayda kuvvet ile deplasman arasındaki ilişki yay sabiti, k ile gösterilmektedir: $F=ku$. Burada F : sisteme uygulanan kuvvet, u ise yük etkisinde meydana gelen deplasmanlardır. Winkler zemin modeline ait gösterim Şekil 2.19'da verilmiştir.



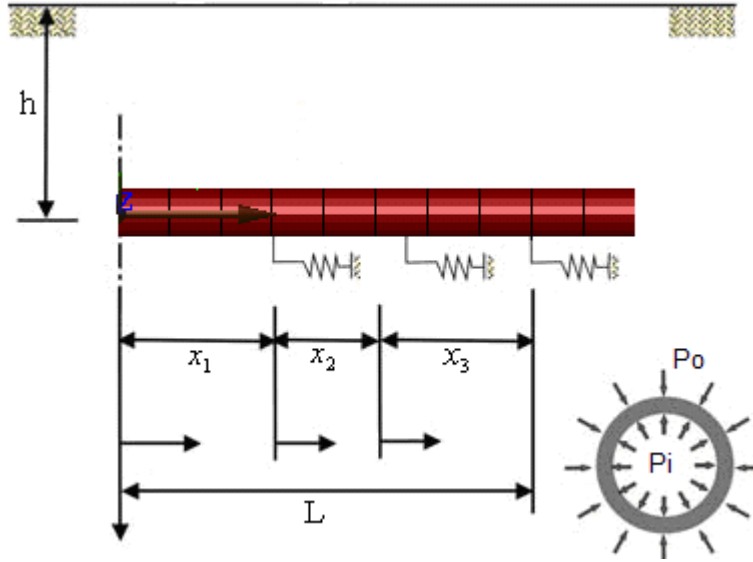
Şekil 2.19 Winkler Modeli

Yayın lineer elastik olarak çalıştığı zemin modeli çalışmalarından farklı olarak zemini temsil etmek üzere elasto-plastik davranışlar gösteren yay elemanları ile boru elemanlardan oluşan yaklaşımlar geliştirilmiştir. Bu yaklaşım sonlu eleman modellemelerinde gerçeğe yakın bir davranış elde edebilmek için daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada yayın taşıyacağı maksimum kuvvet F' 'ye ulaşana kadar yay eleman elastik olarak davranır ve elastik olarak şekil değiştirir. Bu kuvvete ulaştıktan sonra yayda şekil değiştirmeler sabit kuvvet altında devam eder. Yayın elasto-plastik davranışını gösteren grafiksel gösterim Şekil 2.20'de verilmiştir.



Şekil 2.20 Zeminde elasto-plastik yaylarla sağlanan davranış.

Şekil 2.21 yüzeyden h gibi bir derinliğe gömülü bir boruyu göstermektedir. Burada borunun içine gömülü olduğu zeminin davranışı yay elemanlarla modellenmiştir. Borunun içindeki basınç P_i ile dış basınç ise P_o olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.21 Gömülü boru elemanın yeraltındaki görünüşü.

2.4 Coğrafi Bilgi Sistemleri

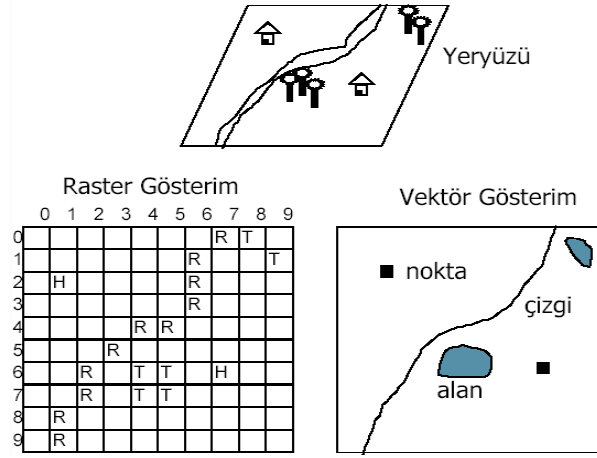
Coğrafi bilgi sistemleri-CBS (Geographic Information Systems-GIS), her türlü coğrafi referanslı bilginin etkin olarak elde edilmesi, depolanması, güncellenmesi, kullanılması, analizi ve görüntülenmesi için bilgisayar donanımı, yazılımı, personel ve yöntemlerin organize olarak bir araya toplanmasıdır. 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).

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 coğrafik veriler toplanarak, CBS'de kullanılmadan önce mutlaka sayısal yani dijital formata dönüştürülmelidir. 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 yansıtılması 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 hücresel veri modelidir (raster veri modeli). Şekil 2.22'de bu veri modelleri görülmektedir.



Şekil 2.22 CBS'de raster ve vektör veri gösterimi (Yomralıoğlu 2000)

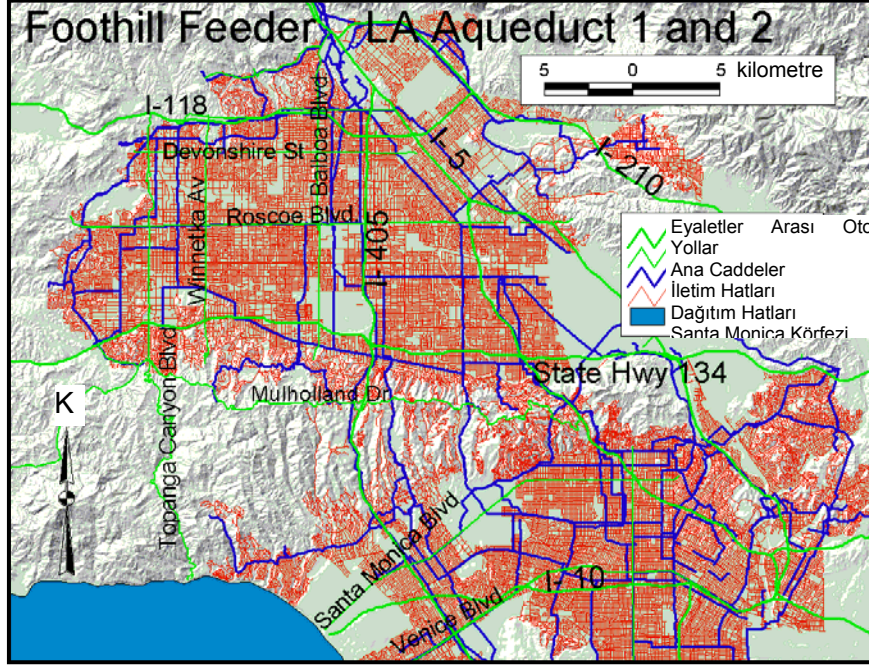
Coğrafi veriler, vektörel veri modelinde tıpkı bir harita görünümüne sahiptir. Vektörel veri modelinde gerçek bir veri nokta, çizgi ve poligon olmak üzere üç farklı şekilde ifade edilebilir. Örneğin elektrik direği gibi ya da kanalizasyon rogar kapağı gibi veriler nokta veri kaynağı, boru hatları gibi veriler çizgi veri kaynağı, bina parselleri gibi alansal veriler ise poligon veri kaynağı olarak düşünülür. 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. Coğrafi özelliklerin gösterimleri için kullanılan bir diğer veri modeli de "hücresel" ya da diğer bir deyişle raster veri modelidir. 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.

2.4.1 Los Angeles Şehri Su Sistemi ve Northridge Depremi Etkilerinin Değerlendirilmesi

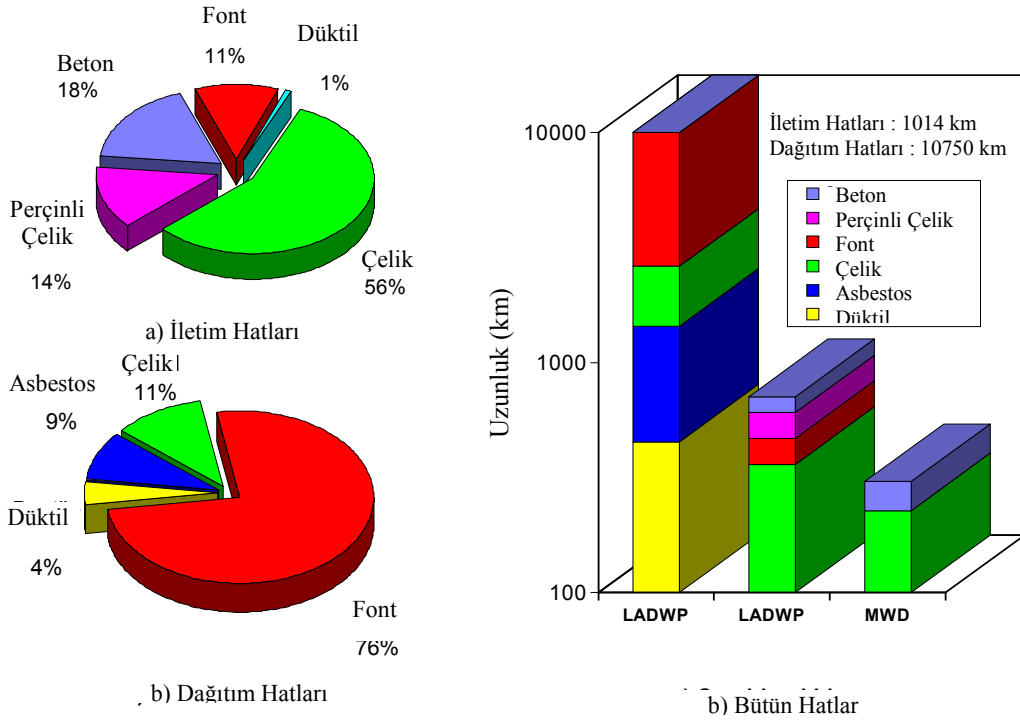
1994 Northridge depremi, 1906 San Fransisco depreminden sonra A.B.D.'de bir su dağıtım şebekesinde meydana gelen en büyük zararı vermiştir. Los Angeles şehri içme suyu arıtma tesislerine kuzeyden su getiren Aqueduct 1, Aqueduct 2 ve Foothill Feeder adlı üç ana iletim hattı şehrin içme suyu ihtiyacının % 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, 1998; 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 ve diğ. (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 2.23). Şekil 2.24'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, 1998).

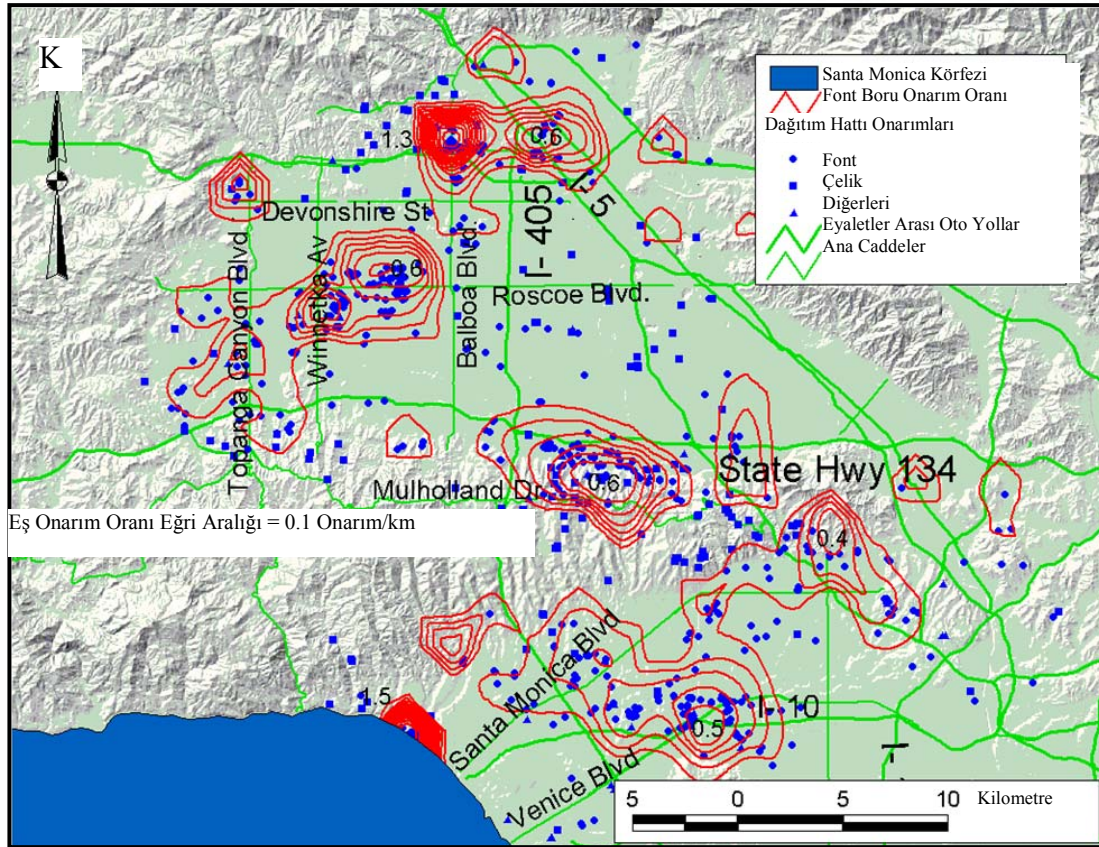


Şekil 2.23 Los Angeles şehri su şebekesi haritası (Toprak, 1998)



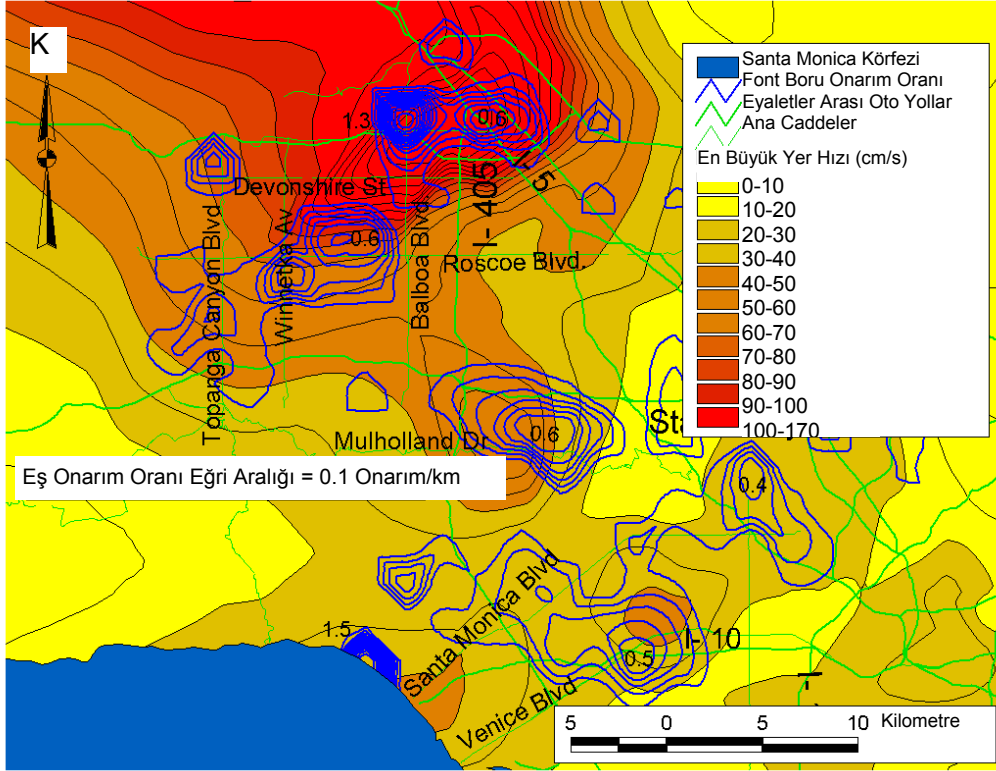
Şekil 2.24 Los Angeles şehri su iletim ve dağıtım hatlarının boru cinsi ve uzunluğuna göre istatistik değerleri (O'Rourke ve Toprak, 1997)

Şekil 2.25’de su dağıtım hatlarındaki onarım noktalarını ve font borular için eş onarım oranı eğrilerini harita üzerinde göstermektedir (O’Rourke ve Toprak, 1997). Değişik alan ölçütleri denenmiş ve 2x2 km’lik ölçü, bu çalışma bölgesi ve harita ölçeği için en uygunu olarak tespit edilmiştir (Toprak ve diğ., 1999). Sonuçta, 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. Eş onarım oranı eğrilerinin en yoğun olduğu bölgeler dağıtım hatlarında oluşan hasarların en fazla olduğu yerleri göstermektedir.



Şekil 2.25 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 2.26 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.



Şekil 2.26 Boru hattı onarım oranı eğrileri ve Northridge depremi en büyük yer hızları (O'Rourke ve Toprak 1997)

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1 Hasar İlişkileri

Bu çalışma kapsamında Toprak (1998) veri seti tamamıyla gözden geçirilmiş. Boru hasar bilgileriyle boru hatları bilgilerinin CBS ile karşılaştırılması gerçekleştirilerek, uyuşması sağlanacak şekilde değişiklikler yapılmıştır. Değiştirilmiş veri seti kullanılarak elde edilen hasar ilişkileri Toprak ve diğ. (2008) tarafından sunulmuştur. Yeni hasar ilişkileri çıkartılırken bir değişiklikte PGV değerlerinin, ShakeMap'ten (Wald et al., 2005) alınmasıdır. ShakeMap adı verilen sistem, gerçekleşen depremler için deprem parametrelerinin belli bir coğrafi alanda dağılımını göstermektedir ve <http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/shakemap/> adresinden ulaşılabilmektedir.

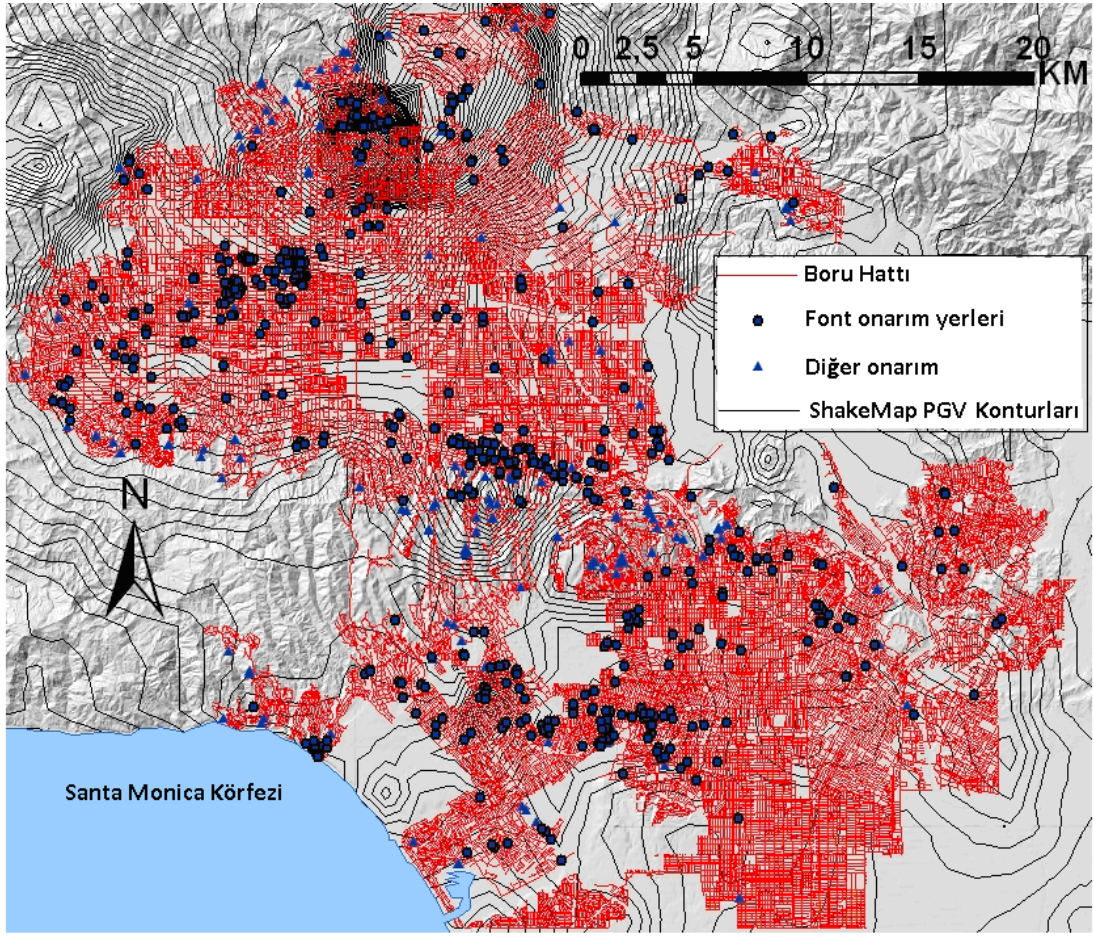
Boru hattı onarım oranı-PGV ilişkilerinin geliştirilmesi esnasında Toprak (1998), 1994 Northridge depremine ait 164 düzeltilmiş güçlü yer hareketi kaydını kullanmıştır. 1994 Northridge depreminin kuvvetli yer hareket veri tabanı, boru hattı hasar korelasyonları için 1994'e kadar bu tipteki en kapsamlı veriyi sağladı. Yine de çoğu durumlarda istasyonlar arasında onlarca kilometre aralık vardı. ShakeMap uygulama sistemi ise belli aralıklı enlem boylam çiftleri için (yaklaşık 1.5-2 km aralıkla) sismik parametrelerin ilgili şiddet değerleriyle iyi örneklenmiş grid modelini üreterek istasyonlar arasındaki boşlukları doldurmaya çalışmaktadır. Aralıklı istasyonlardan daha sık ve düzenli aralıklara geçiş esnasında mevcut ölçümlerin yanında zemin büyütmesi vs. gibi faktörleri de göz önüne aldığından ShakeMap haritasının sadece istatistiksel interpolasyondan daha iyi sonuç vermesi beklenebilir. PGV değerleri, bir grid sistemi ve eş PGV eğrileri haritası olarak 1994 Northridge depremi için aşağıdaki web sitesinden elde edildi: http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/shakemap/sc/shake/Northridge/#Peak_Ground_Velocity. Şekil 3.1'de su dağıtım hatları ve onarımlar ile birlikte eş PGV eğrileri gösterilmektedir.

3.1.1 Farklı PGV aralıkları ve grid boyutları için hasar ilişkileri

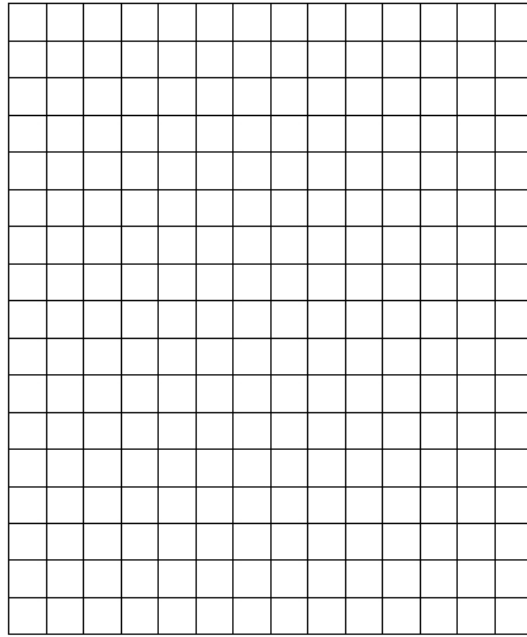
Bu bölümde Los Angeles şehri su sistemi verileri için CBS yardımı ile hasar ilişkileri çıkartılacaktır. Hasar ilişkileri, grid sistemi ve eş PGV konturları kullanılarak farklı PGV aralıkları için iki farklı şekilde geliştirilmiştir. Grid sistemi için geliştirilen hasar ilişkilerinde, beş farklı PGV aralığı kullanılarak yine beş farklı grid boyutu için hasar ilişkileri geliştirilmiştir. Kullanılan PGV aralıkları 2, 5, 10, 15, 20 cm/s olup, kullanılan grid boyutları ise 4x4, 2x2, 1x1, 0.5x0.5, 0.25x0.25 km'dir. Grid sistemi için geliştirilen hasar ilişkilerinin çıkarılması grid 4x4 km'de ayrıntılı olarak anlatılıp diğer grid boyutları için direk sonuçlar verilmiştir. Eş PGV konturları için çıkartılan hasar ilişkilerinde ise gridler için çıkarılan hasar ilişkilerine göre daha pratik yol izlenmiş olup ayrı bir bölüm olarak anlatılmıştır.

3.1.1.1 Grid 4x4 km için hasar ilişkileri

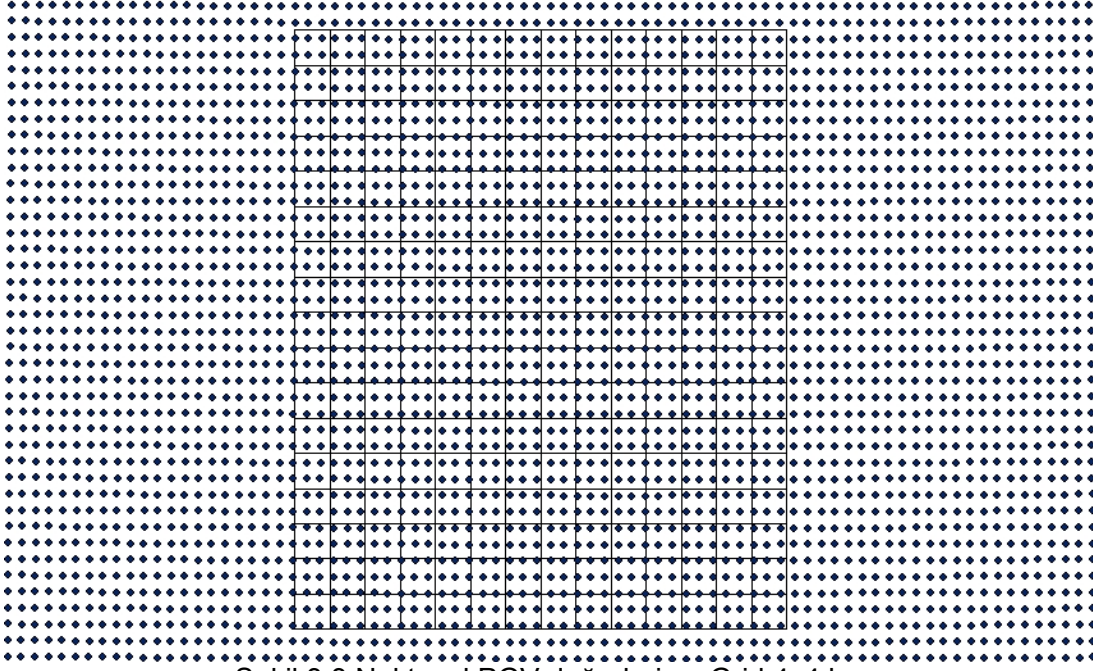
Grid 4x4 km (Şekil 3.2) için hasar ilişkilerini çıkartırken ilk önce grid sistemini oluşturan her bir gride PGV değeri atanması gerekmektedir. Bu PGV değerlerini elde ederken yukarıda bahsedilen ShakeMap haritalarından yararlanılmıştır. Arc-Map programına aktarılan aralarında yaklaşık 'x' eksenine göre 1.5 km, 'y' eksenine göre 2 km uzaklık olan noktasal PGV değerleri (Şekil 3.3), Grid 4x4 km ile üst üste getirilip (Şekil 3.3), intersect (kesiştirme) komutuyla her bir grid ile kesiştirildikten sonra yaklaşık çalışma alanımız elde edilmiştir. Bundan sonra grid içine düşen noktasal PGV değerlerinin ortalamasının artık o gridin PGV değeri olarak atanması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Boru hattı ve PGV konturları. (Toprak ve diğ., 2008)



Şekil 3.2 Grid 4x4 km

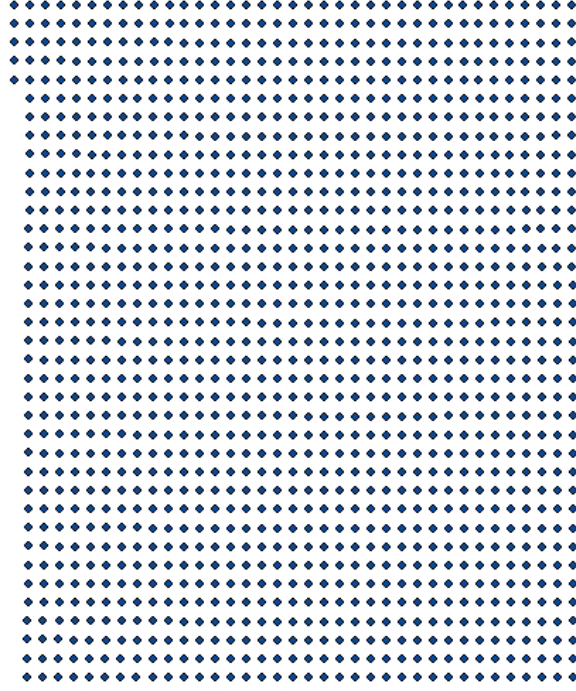


Şekil 3.3 Noktasal PGV değerleri ve Grid 4x4 km

Bu durumda grid 4x4 km için her bir gride yaklaşık olarak dört ile altı arasında noktasal PGV değeri düşmektedir. Bu şekilde ortalama alan bir yaklaşım PGV verilerinin sağlandığı aralıktan büyük gridler için uygun olsa bile küçük gridler için uygun olmayacaktır. Bu amaçla daha kısa mesafe aralıklarında PGV değerlerinin dağılışını belirlemek amacıyla tezin ikinci bölümünde ayrıntılı olarak anlatılan, daha fazla miktarda ve birbirine daha yakın olan noktasal PGV değerlerini verecek olan enterpolasyon yöntemlerinden kriging enterpolasyon yöntemi kullanılmıştır.. Kısaca kriging enterpolasyon yönteminin bu çalışmadaki kullanım amacı belirli noktalardaki PGV değerlerinden enterpolasyon yardımıyla ara noktalarda da PGV noktasal değerleri elde etmektir.

Grid 4x4 km ile geniş bir alana yayılmış olan noktasal PGV değerlerimizi kesiştirdikten sonra kriging yapılacak noktasal PGV değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 3.4). Bu noktasal PGV verilerinden, Arc-Map programının Arctoolbox menüsünde yer alan “spatial analyst” komutunun içerisindeki “interpolation” komutunun seçeneklerinden biri olan “kriging” komutuyla hücresel (raster) tip veriye geçilmiştir (Şekil 3.5).

Şekil 3.5’de görüldüğü gibi noktasal PGV değerleri, ızgara tipinde olan PGV haritasına dönüşmüştür. Bu haritayı Arc-Map programı yardımıyla istenilen şekle dönüştürmek mümkündür. Daha önce bahsedildiği gibi amaç her bir gride düşen noktasal PGV verilerini sayısını arttırmak olduğundan bu PGV haritasından aralarında istenilen mesafe girilerek istenilen sayıda PGV noktasal değerine sahip olunmuştur. Bu çalışmada mesafe olarak yatay ve düşey eksene göre aralarında yaklaşık olarak 0.218 km uzaklık olan PGV verilerine ulaşılmıştır. Böylece bu çalışmada kullanılan en küçük grid boyutu olan 0.25 km’den daha küçük mesafelerde PGV değerleri belirlenmiştir. Artık elde noktasal PGV verileri bulunduğu göre sıra hasar ilişkileri için gerekli olan farklı PGV aralıklarındaki onarım oranlarını bulmaya gelmiştir. Grid 4x4 km üzerinde onarım oranının bulunması ayrıntılı olarak anlatılacak diğer grid boyutlarında izlenen yol benzer olacaktır.



Şekil 3.4 Grid 4x4 km ile kesiştirilmesi sonucu ortaya çıkan PGV noktaları

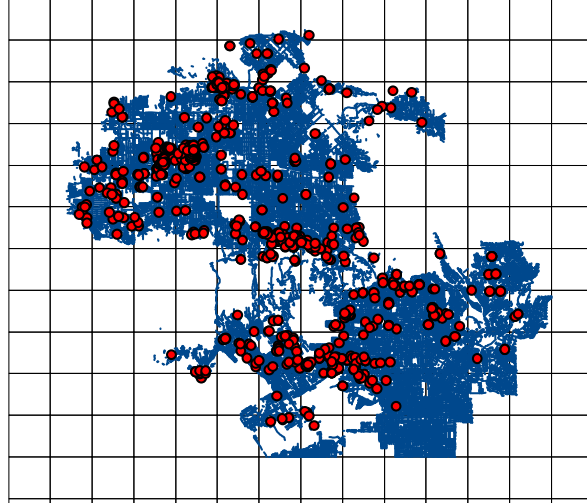


Şekil 3.5 Kriging sonucu oluşan hücre (raster) tipi PGV değerleri

Onarım oranı bulunurken gerekli olan parametrelerden olan, her bir hasar ve borunun PGV değerleri, içinde buldukları gridlerin PGV değeri olarak alınmıştır. Daha sonra her bir griddeki toplam hasar sayısı, toplam boru uzunluğu gibi değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeleri yaparken, Arc-Map programının kesiştirme (intersection), bağla (join),

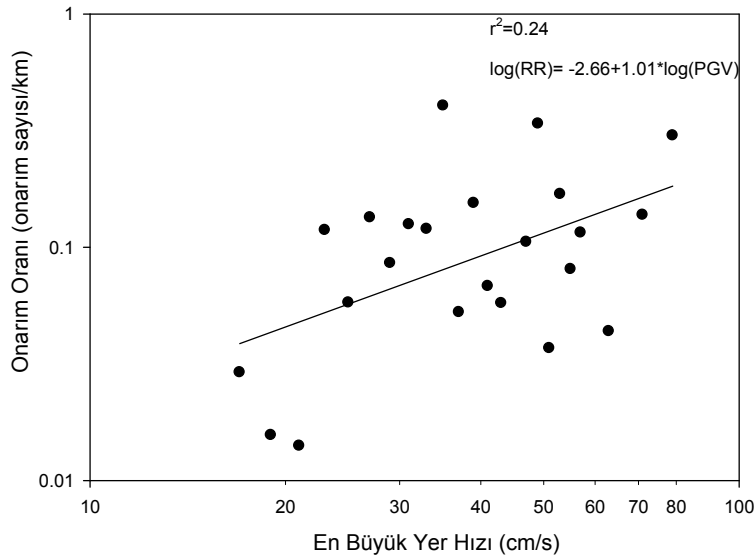
summary (özetle) gibi birçok komutundan yararlanılmıştır. Şekil 3.6'de grid 4x4 km üzerinde boru hasarları ve borular görülmektedir.

Onarım oranı, belirli PGV aralıklarında gridlerdeki toplam hasar sayısının, yine aynı PGV aralıklarında gridlerdeki toplam boru uzunluğuna bölünmesiyle bulunmuştur. Belli aralıklardaki PGV değerlerinin ortalaması o aralığın PGV değeri olarak alınmıştır. Daha sonra her bir PGV değeri için önceden bulunan onarım oranıyla regresyon analizi yapıp, hasar ilişkileri çıkartılmıştır. Çalışmada PGV sınırı olarak 80 cm/s gözönünde bulundurulmuştur.

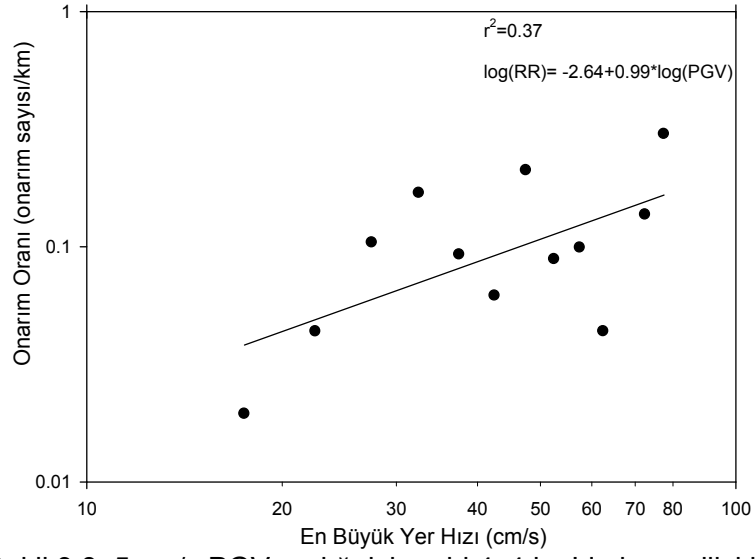


Şekil 3.6 Grid 4x4 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi

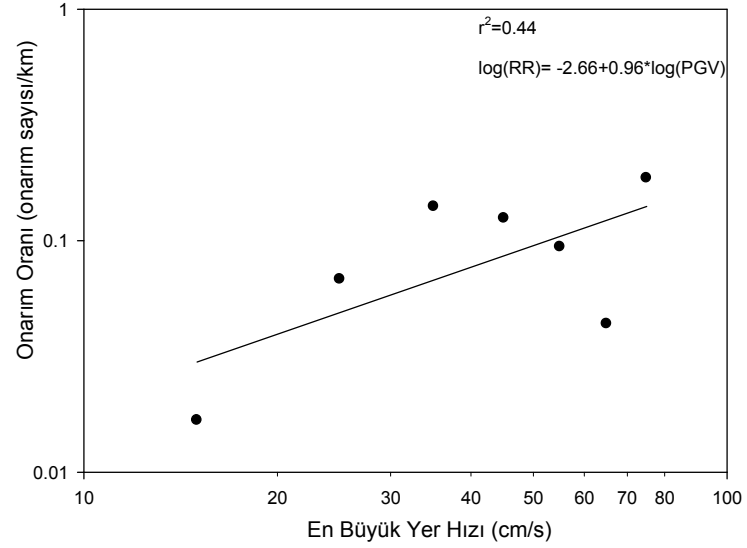
PGV değeri 80 cm/s'yi geçmemek koşuluyla toplam 61 griddede hasar ve 81 griddede ise boru bulunmaktadır. Toplam 734 hasar ve 7391.34 km uzunluğundaki borunun, 643 hasar ve 6834.11 km uzunluğundaki boru kısmı 80 cm/s hızı geçmemiştir. Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, ve Şekil 3.11 sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20 PGV aralıkları için hasar ilişki veri ve grafiklerini göstermektedir. Diğer grid boyutlarından elde edilen bulgular Bölüm 4'te sunulmuştur.



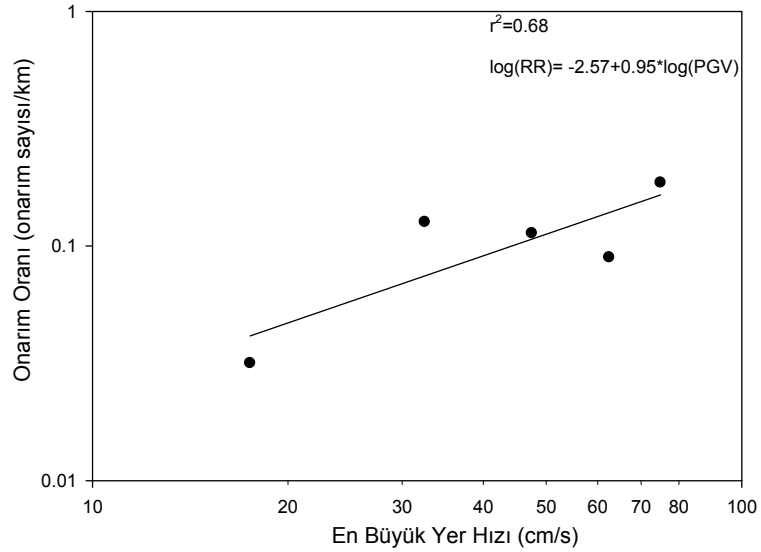
Şekil 3.7 2 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi



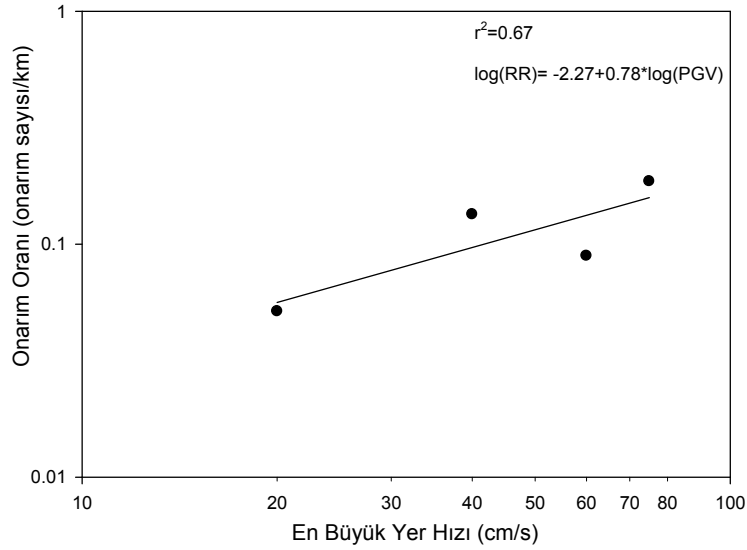
Şekil 3.8 5 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi



Şekil 3.9 10 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi



Şekil 3.10 15 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi



Şekil 3.11 20 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi

3.2 Kümeleme Analizi

3.2.1 Kümeleme Geçerlilik İndekslerinin Değerlendirilmesi

Önceki bölümlerde bazı kümeleme algoritmalarıyla, geçerlilik indekslerinin tanımı verilmiştir. Bu bölümde ise literatürde 6_2 ve 10_2 olarak adlandırılmış hazır veri setleri üzerinde bulanık c-ortalama kümeleme algoritmasının uygulanmasıyla oluşan kümelerin, kümeleme geçerlilik indeksleriyle değerlendirilmesi anlatılmıştır. Bu hazır veri setlerinin bir gruplama yapma durumunda görsel ve mantıksal olarak 6 ve 10 kümeye ayrılmasından dolayı, 6_2 ve 10_2 adları verilmiştir. Her iki veri seti de iki boyutlu olup hangi kümeleme indekslerinin bu hazır veri setleri üzerinde doğru sonuçlar verdiği tartışılmıştır. Ayrıca 6_2 veri setini hata verisiyle genişletip kümeleme indekslerinin bu durumdan nasıl etkilendikleri anlatılmıştır.

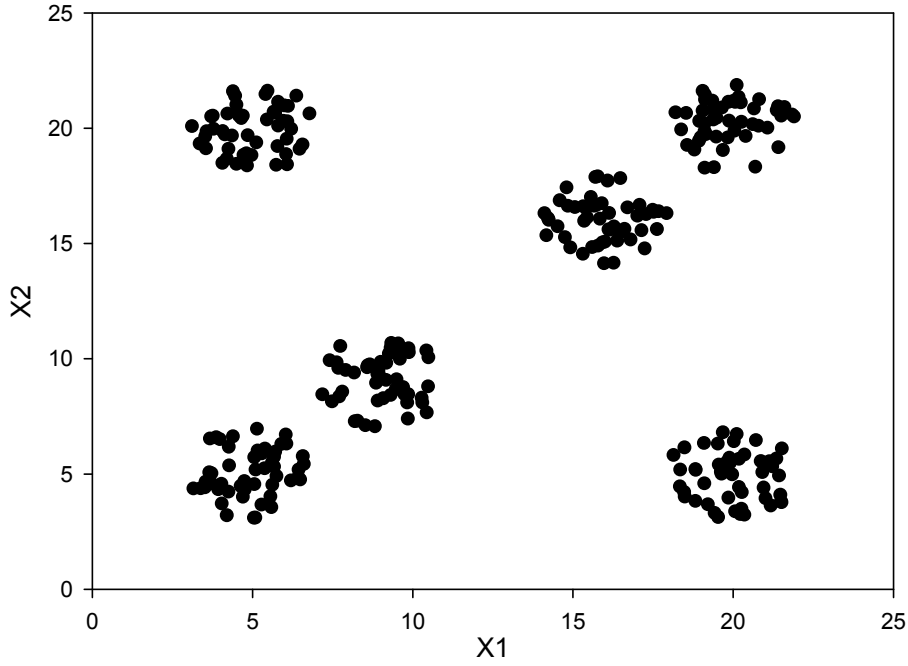
3.2.1.1 6_2 veri setinin geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi

6_2 veri seti 300 veriden oluşan iki boyutlu bir yapıya sahip olan bir veri setidir (Şekil 3.12). Bu veri seti üzerine bulanık c-ortalama kümeleme analizi uygulanarak kümeleme geçerlilik indekslerinin sonuçları bulunmuştur.

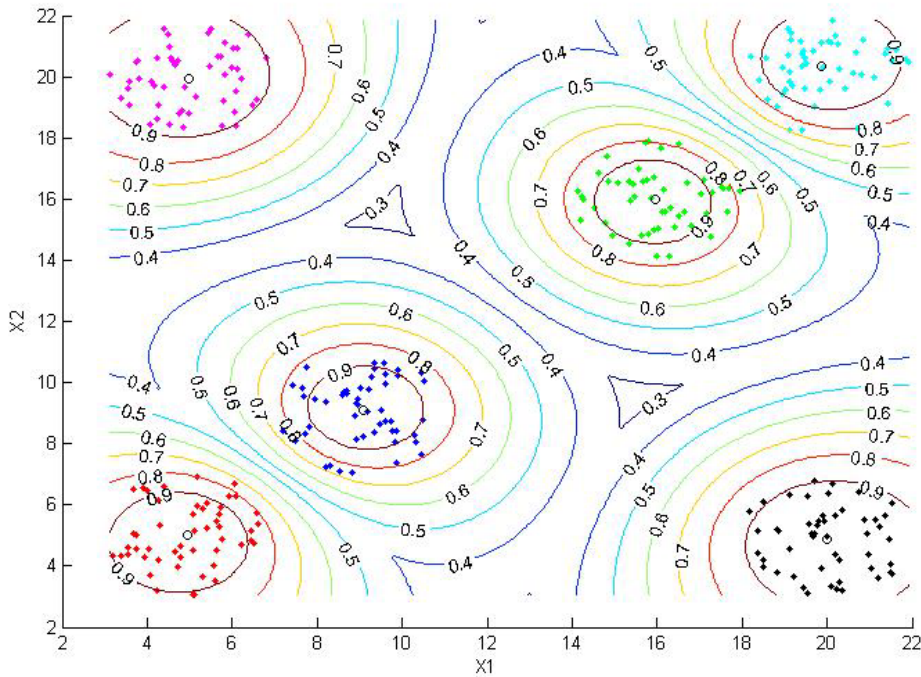
Burada tüm küme sayıları için kümeleme şekilleri verilmeyip sadece veri setinin 6 kümeye bölünmesi (Şekil 3.13) verilmiştir. Şekilde her bir küme elemanı farklı renklerde gösterilmiştir. Ayrıca üyelik derecelerini belirten çizgiler ve küme merkezleri de gösterilmiştir.

Kümeleme geçerlilik indeksleri hesaplanırken 2 kümeden başlanıp 6_2 veri seti için en büyük küme sayısı 18 olarak belirlenmiştir. Tez kapsamında bahsedilen geçerlilik indeksleri için değerlendirmeler verilmiştir.

Küme sayısına bağlı olarak bölümlenme katsayısının (PC İndeksi) değerleri Şekil 3.14'de verilmiştir. Bölümlenme katsayısına göre optimum küme sayısı 6 olarak görülmektedir.



Şekil 3.12 6_2 veri seti

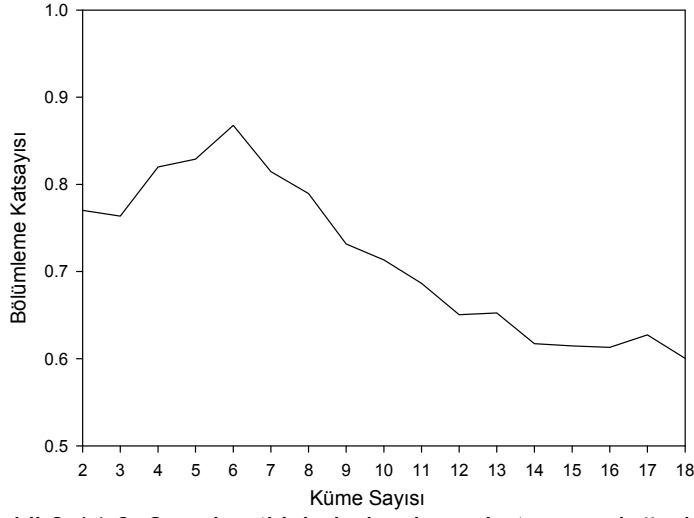


Şekil 3.13 6_2 veri setinin 6 kümeye bölünmesi

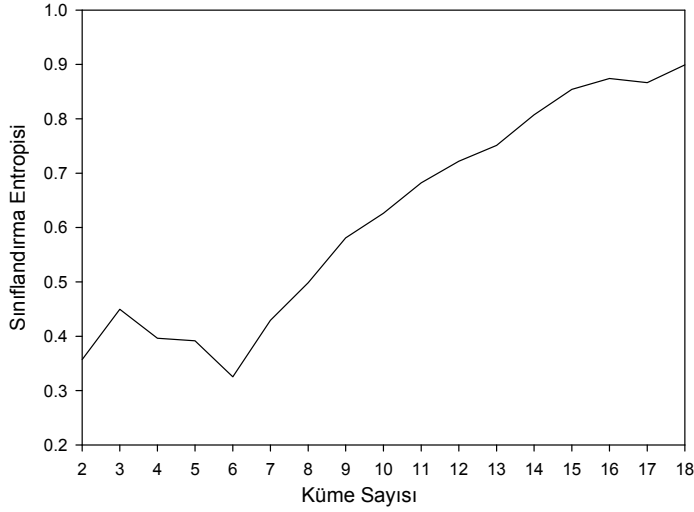
Şekil 3.15'de sınıflandırma entropisinin (CE) küme sayısı 6 için en küçük değeri verdiği görülmektedir. Sınıflandırma entropisi de bölümlene katsayısı gibi optimum küme sayısı olarak 6 kümeyi vermiştir. 6_2 veri seti için optimum küme sayısını 6 olarak veren başka bir indeks de MPC indeksidir. Şekil 3.16'da MPC indeksinin en büyük değeri 6 küme sayısını vermektedir.

Şekil 3.17, Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20 sırasıyla Xie-Beni, Fukuyama-Sugeno, PBMF ve Dunn indekslerinin küme sayılarına bağlı olarak bulunan değerlerinin grafikleri verilmiştir. Bu dört indeksden Fukuyama-Sugeno ve PBMF indeksleri optimum küme sayıları olarak 6

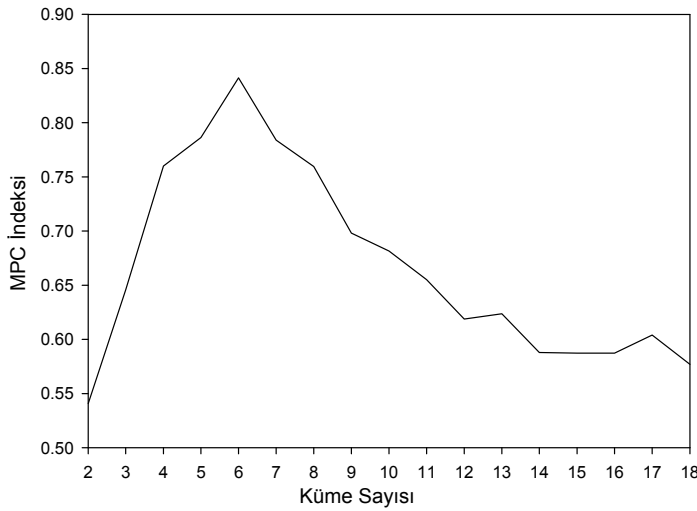
küme sayısını verirken Xie-Beni ve Dunn indeksinin 6 küme sayısını vermediği şekillerde gösterilmiştir.



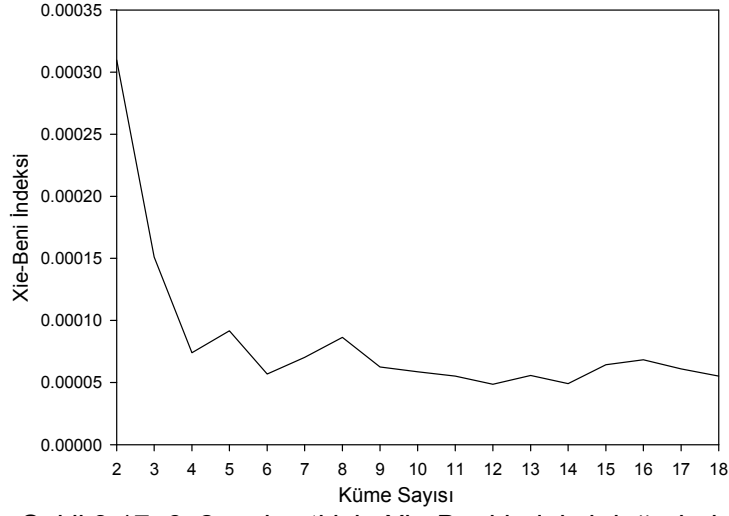
Şekil 3.14 6_2 veri seti için bölümlenme katsayısı değerleri



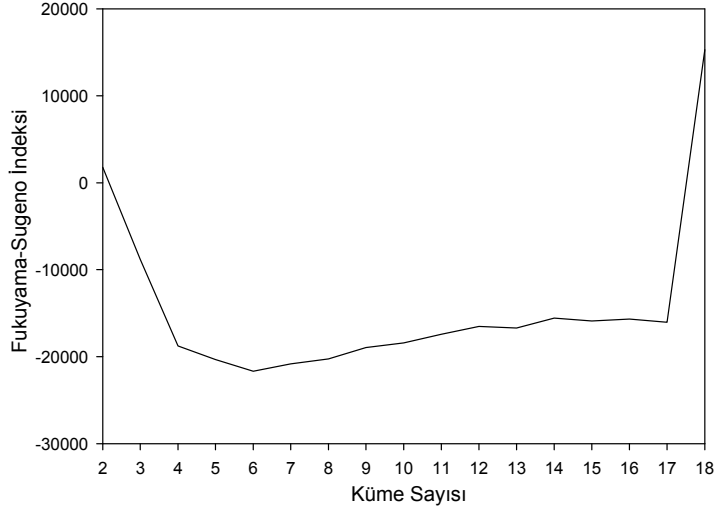
Şekil 3.15 6_2 veri seti için sınıflandırma entropisi değerleri



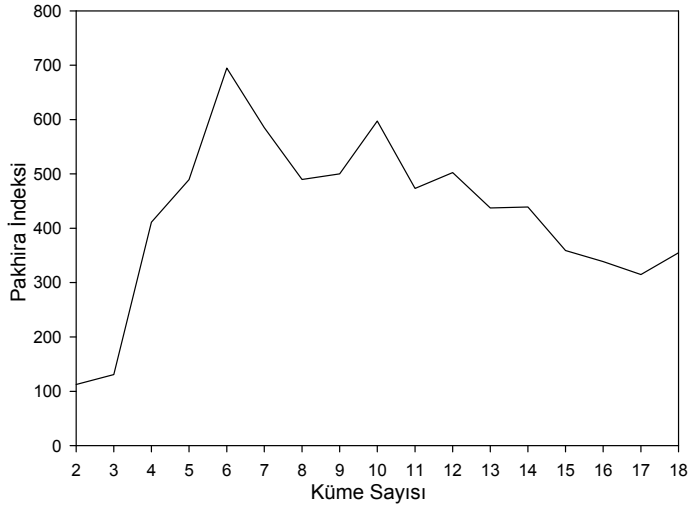
Şekil 3.16 6_2 veri seti için MPC indeksi değerleri



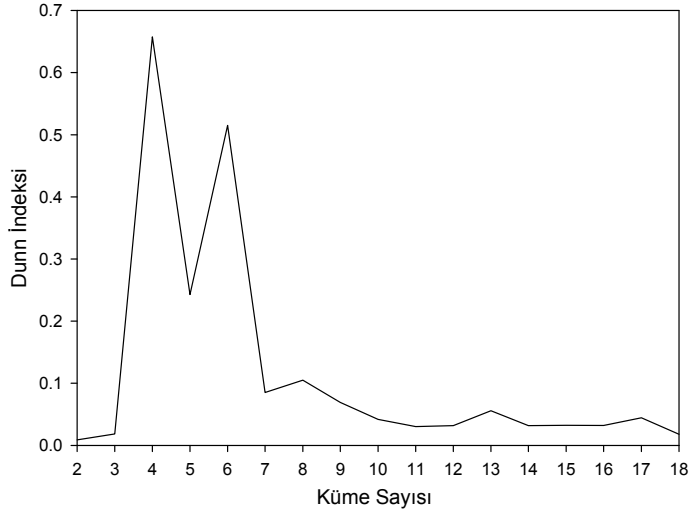
Şekil 3.17 6_2 veri seti için Xie-Beni indeksi değerleri



Şekil 3.18 6_2 veri seti için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri



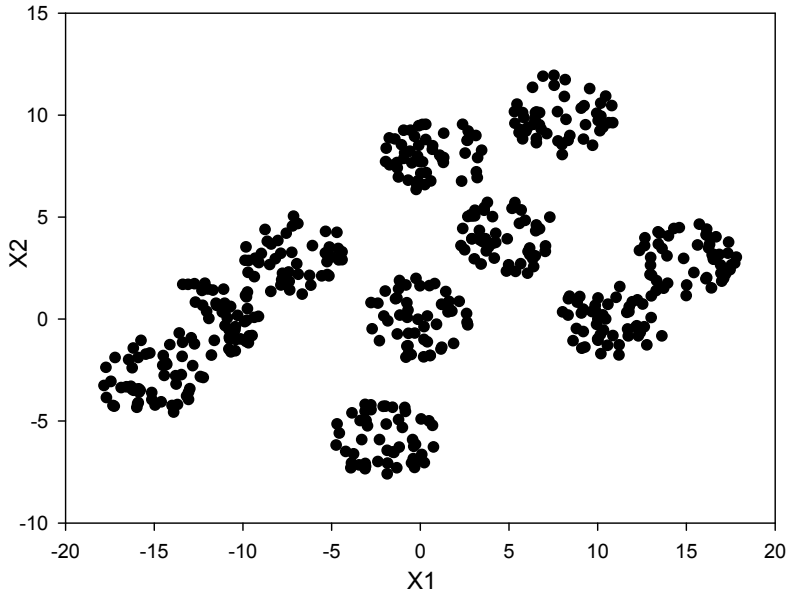
Şekil 3.19 6_2 veri seti için PBMF indeksi değerleri



Şekil 3.20 6_2 veri seti için Dunn indeksi değerleri

3.2.1.2 10_2 veri setinin geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi

10_2 veri seti 500 veriden oluşan iki boyutlu yapıya sahip olan bir veri setidir (Şekil 3.21). Bu veri seti üzerine bulanık c-ortalamalar kümeleme analizi uygulanarak kümeleme geçerlilik indekslerinin sonuçları bulunmuştur. Şekil 3.22'de 10_2 veri setinin bulanık c-ortalamalar metoduyla kümelenmesi görülmektedir.

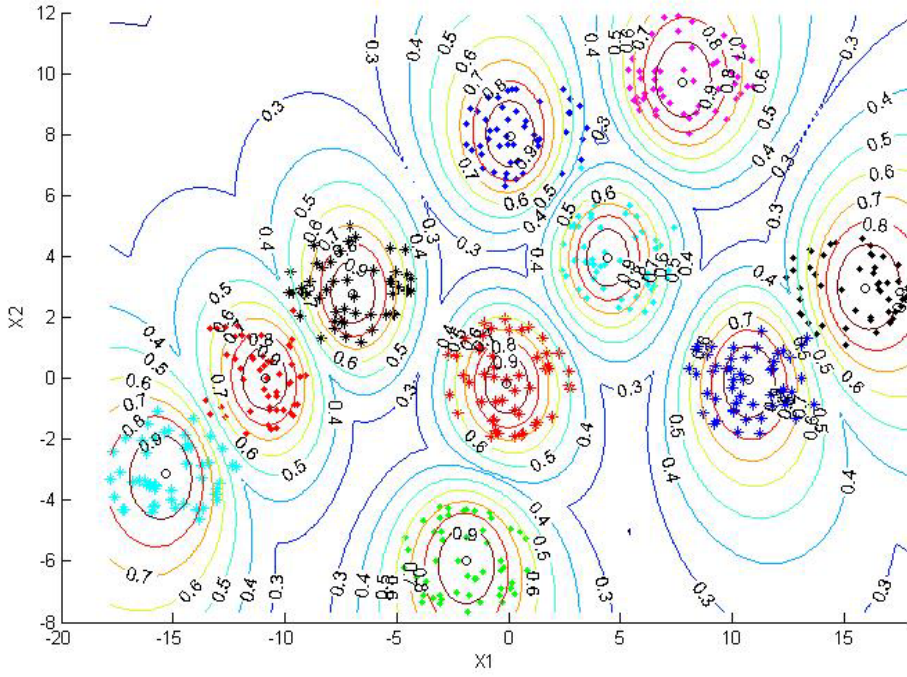


Şekil 3.21 10_2 veri seti

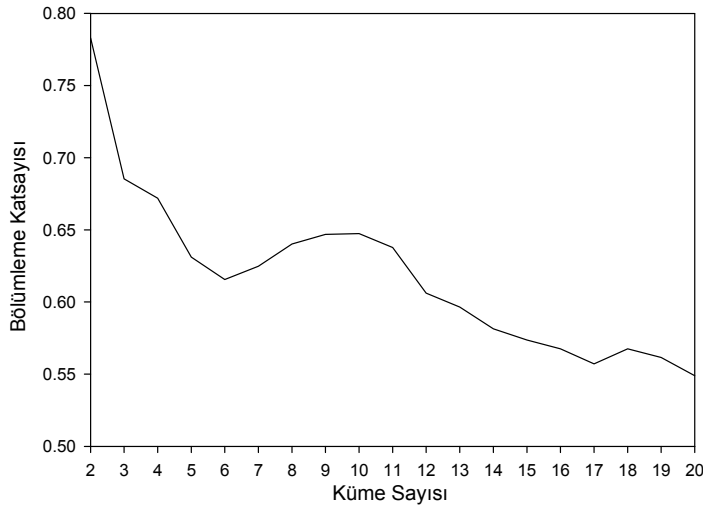
Şekil 3.23' da bölümlenme katsayısının 10_2 veri seti için optimum küme sayısını 2 olarak verdiği görülmektedir.

Sınıflandırma entropisi de 10_2 veri seti için optimum küme sayısını 2 olarak vermektedir (Şekil 3.24).

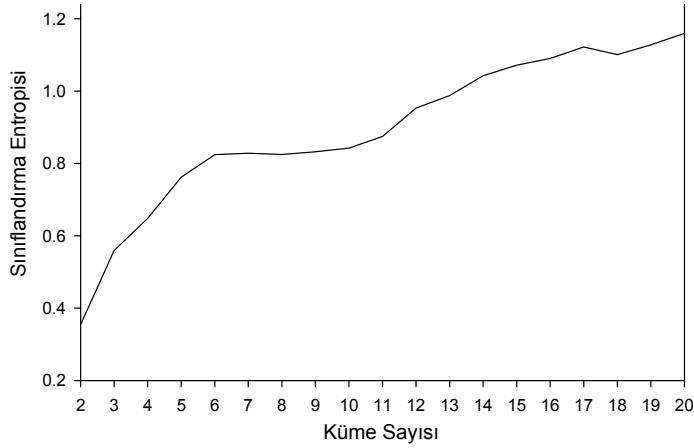
Bölümlenme katsayısının küme sayısı ile revize edilmesiyle bulunan MPC indeksi Şekil 3.25' de görüldüğü gibi küme sayısını 10 olarak vermiştir.



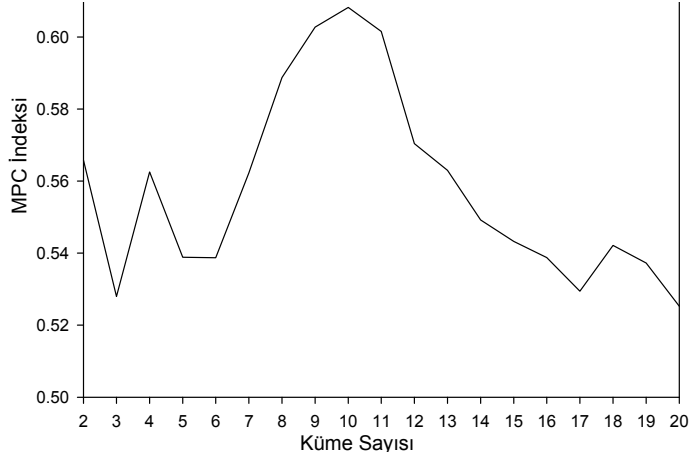
Şekil 3.22 10_2 veri setinin 10 kümeye bölünmesi



Şekil 3.23 10_2 veri seti için bölümleme katsayısı değerleri

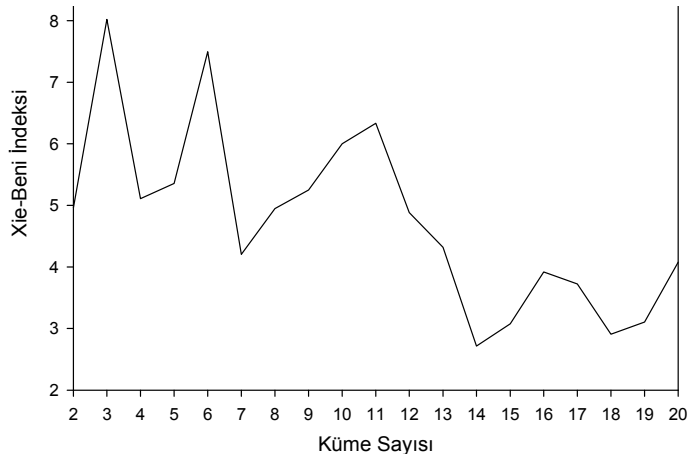


Şekil 3.24 10_2 veri seti için sınıflandırma entropisi değerleri

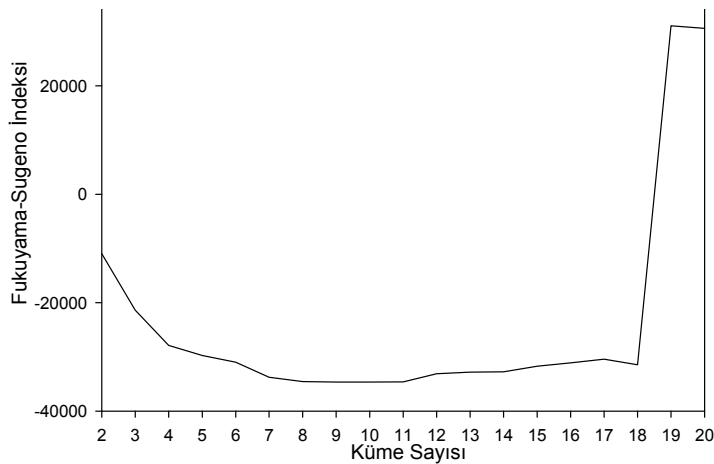


Şekil 3.25 10_2 veri seti için MPC indeksi değerleri

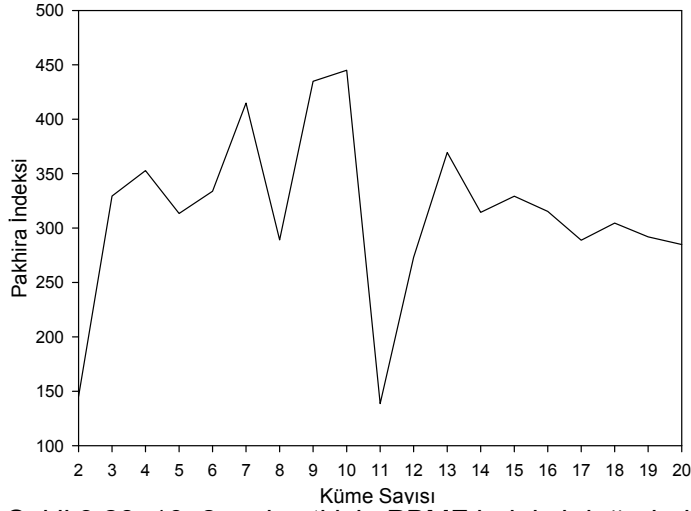
Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28 ve Şekil 3.29 sırasıyla Xie-Beni, Fukuyama-Sugeno, PBMF ve Dunn indekslerinin küme sayılarına bağlı olarak değişimlerini göstermektedir. Bu dört indeksten Fukuyama-Sugeno ve PBMF indeksleri optimum küme sayısı olarak 10 değerini verirken, Xie-Beni ve Dunn indeksleri optimum küme sayısı olarak 10 değerini vermemektedir.



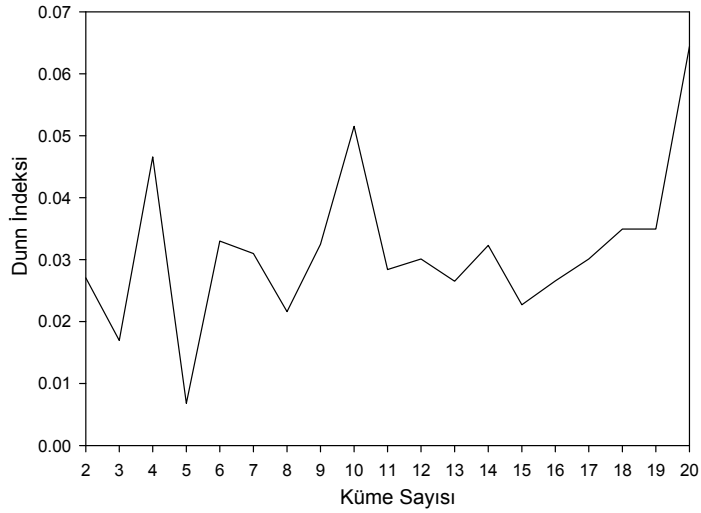
Şekil 3.26 10_2 veri seti için Xie-Beni indeksi değerleri



Şekil 3.27 10_2 veri seti için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri



Şekil 3.28 10_2 veri seti için PBMF indeksi değerleri



Şekil 3.29 10_2 veri seti için Dunn indeksi değerleri

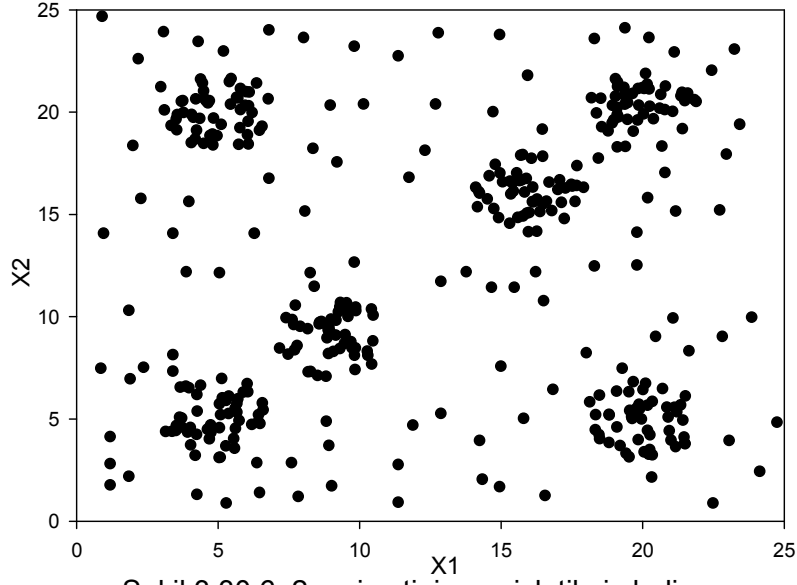
3.2.1.3 6_2 veri setinin hata verisiyle genişletilip değerlendirilmesi

6_2 ve 10_2 veri setlerinin kümeleme geçerlilik indeksleriyle değerlendirilmesi önceki bölümlerde verilmiştir. Tüm veri setleri bu iki veri seti gibi birbiriyle çok büyük ölçüde ayrılan kümelere sahip olmayabilir. Bazı nesnelere veri setinde dağınık halde bulunabilirler. Bu yüzden 6_2 veri setine rastgele dağılılan yüz nokta eklenerek bu şekildeki veri setlerinde kümeleme indekslerinin nasıl sonuçlar verebileceğinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 3.30'de 6_2 veri seti üzerine rastgele yüz nesne eklenmiş hali görülmektedir.

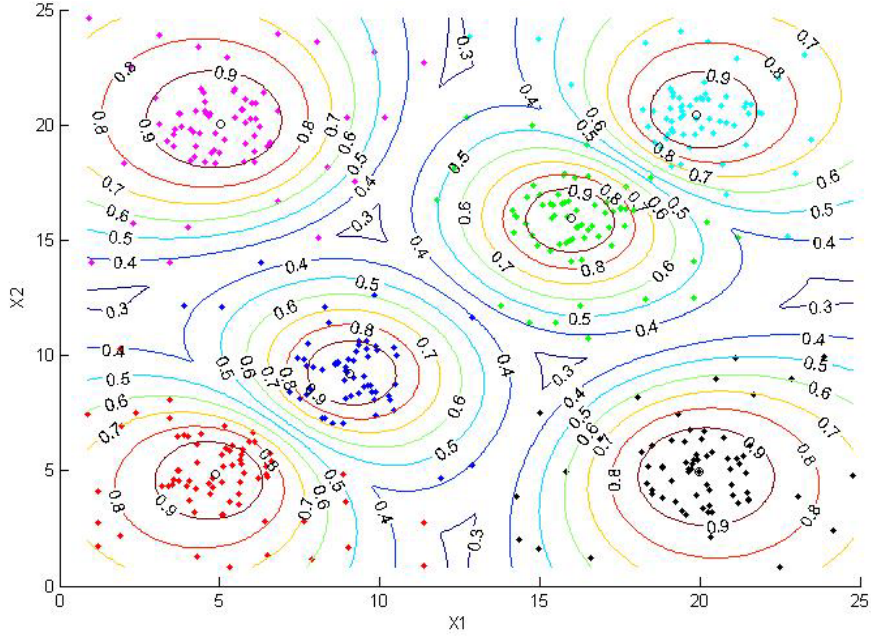
Şekil 3.31'de 6_2 veri setinin hata verileriyle genişletilmiş halinin bulanık c-ortalama yöntemine göre 6 kümeye bölünmesi görülmektedir. Her bir küme için küme merkezleri, üyelik derecelerini gösteren çizgiler şeklinde verilmiştir.

Şekil 3.32'de 6_2 veri setinin hata verisiyle genişletilmiş halinin küme sayısına bağlı olarak bölünme katsayısı değerlerinin değişimi görülmektedir. Optimum küme sayısı 6 olarak bulunmuştur.

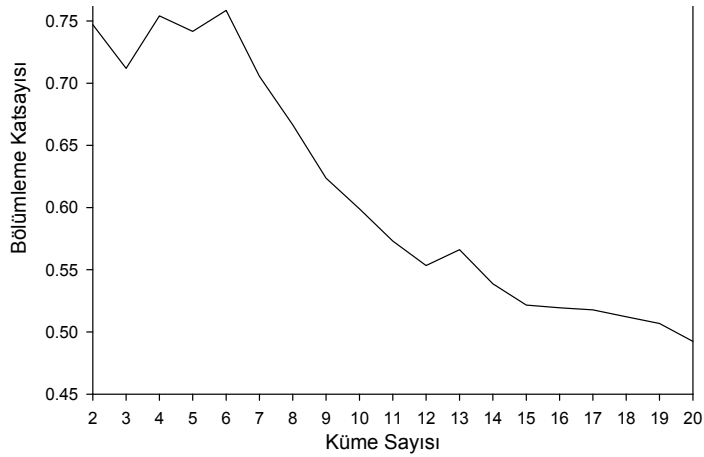
Şekil 3.33'te ise sınıflandırma entropisinin söz konusu veri setinde optimum küme sayısı olarak 2 değerini bulduğu gösterilmiştir.



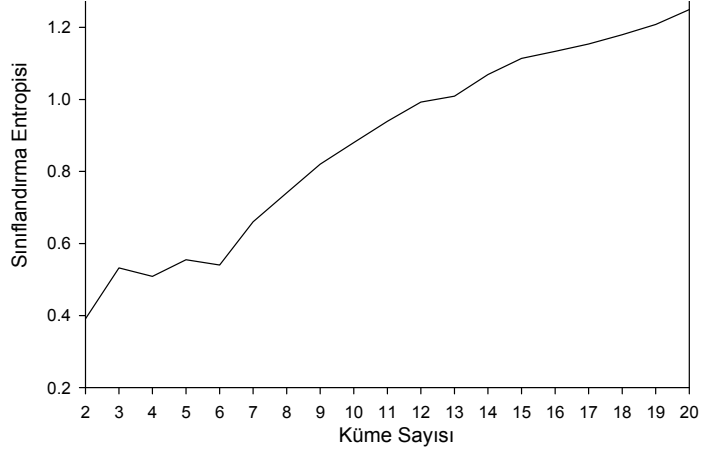
Şekil 3.30 6_2 veri setinin genişletilmiş hali



Şekil 3.31 6_2 veri setinin genişletilmiş halinin 6 kümeye bölünmesi



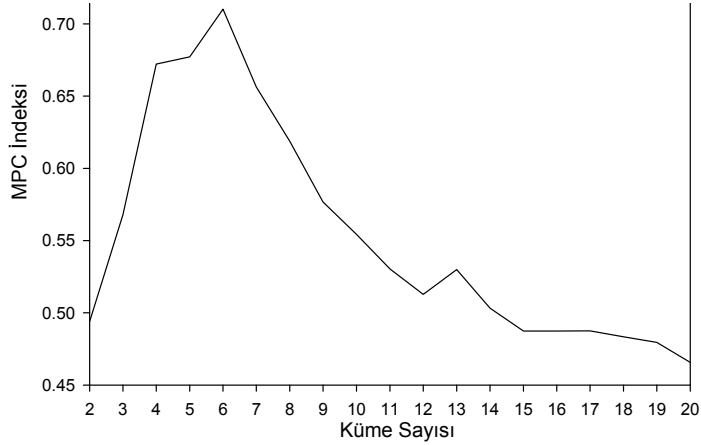
Şekil 3.32 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için bölümlenme katsayısı değerleri



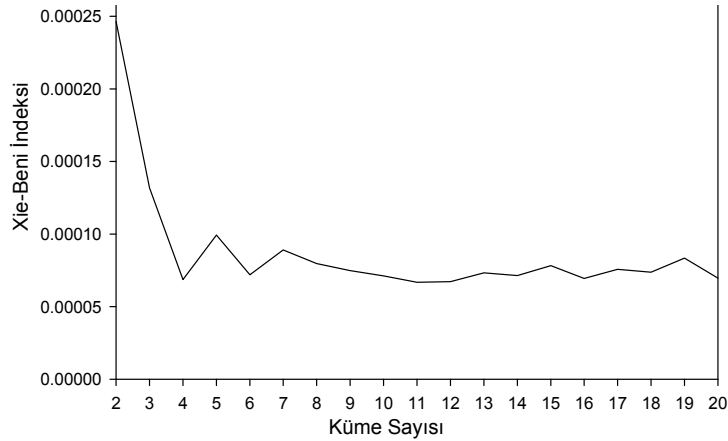
Şekil 3.33 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için sınıflandırma entropisi değerleri

Şekil 3.34'de MPC indeksinin optimum küme sayısı olarak hata verilerine rağmen yine 6 değerini verdiği gösterilmiştir. Xie-Beni indeksinin küme sayısına bağlı olarak değişimi ve optimum küme sayısı olarak 11 değerini verdiği Şekil 3.35'de gösterilmiştir.

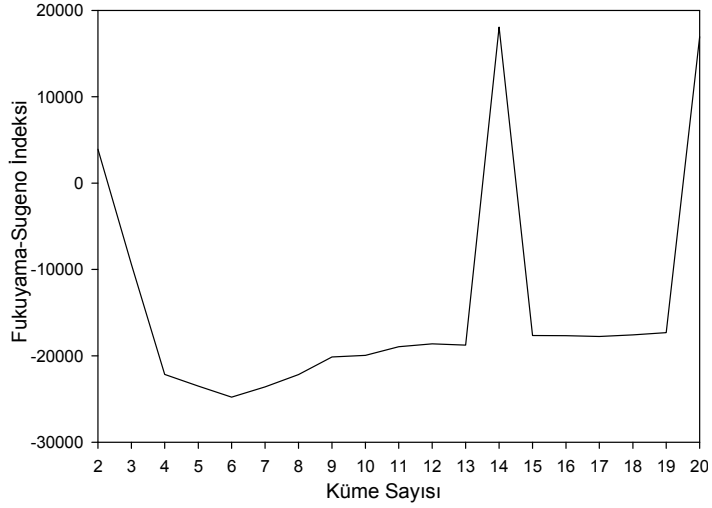
Şekil 3.36 ve Şekil 3.37'de Fukuyama-Sugeno ve PBMF indekslerinin 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için optimum küme sayısını 6 olarak verdiği gösterilmiştir. Dunn indeksi ise optimum küme sayısı olarak 17 olarak bulunmuştur (Şekil 3.38).



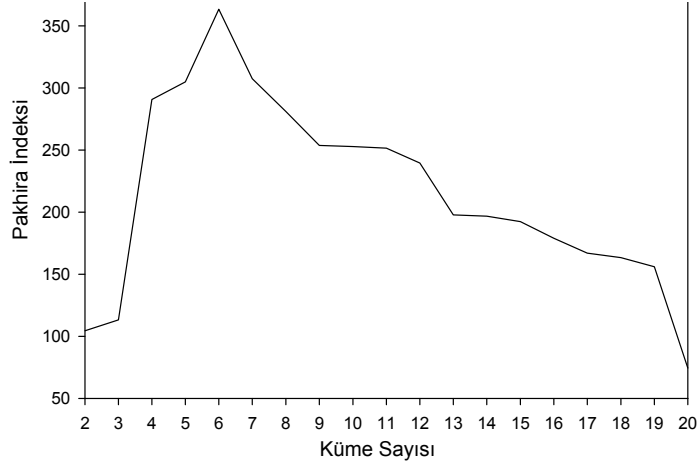
Şekil 3.34 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için MPC indeksi değerleri



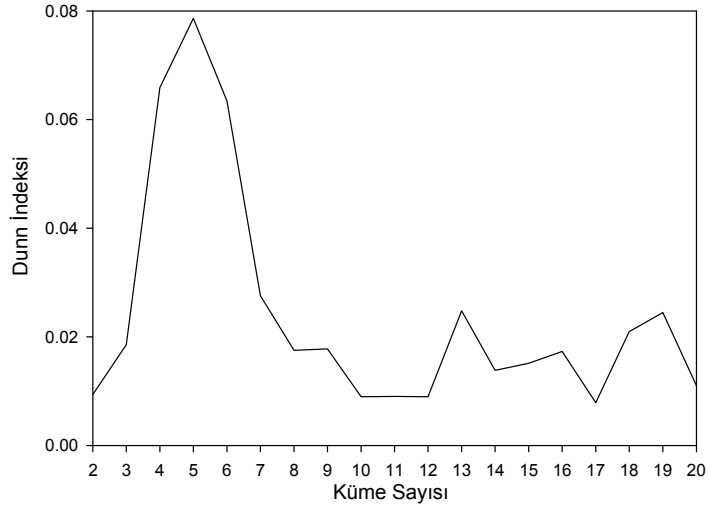
Şekil 3.35 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Xie-Beni indeksi değerleri



Şekil 3.36 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri



Şekil 3.37 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için PBMF indeksi değerleri



Şekil 3.38 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Dunn indeksi değerleri

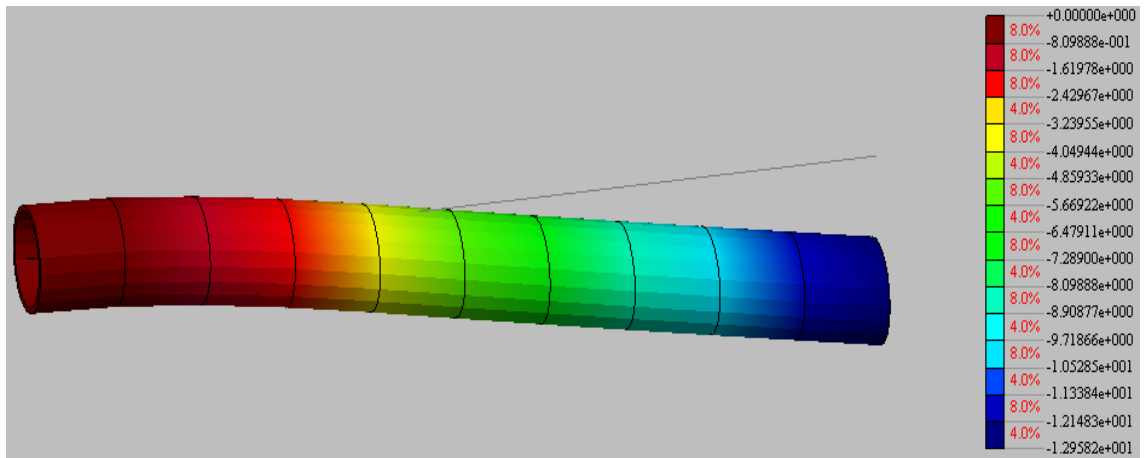
3.2.1.4 Hazır veri setleri üzerinde geçerlilik indeksleri sonuçları

6_2, 10_2 ve genişletilmiş 6_2 veri setleri yedi farklı kümeleme geçerlilik indekslerinin küme sayılarına bağlı olarak değişimleri önceki bölümlerde verilmiştir. Kümeleme geçerlilik indeksleri bulunurken bulanık c-ortalama metoduyla kümeleme yapılmıştır. Bu değerlendirmelerin yapılmasının amacı, hazır veri setlerinin kaç kümeye ayrılması gerekliliğinin bilinmesinden dolayı hangi kümeleme geçerlilik indekslerinin bu bilinen küme sayılarını verdiğini bulmaktır. Bahsi edilen yedi indeksten her üç veri seti için de doğru olan küme sayılarını veren geçerlilik indeksleri sırasıyla MPC, Fukuyama-Sugeno ve PBMF indeksleridir. Bölümlenme katsayısı 6_2 veri setinin her iki hali için de doğru küme sayısını verirken, 10_2 veri seti için optimum küme sayısını 2 vermektedir. Sınıflandırma entropisi sadece 6_2 veri seti için doğru optimum küme sayısını verirken, 10_2 veri seti ve 6_2 veri setinin hata verileriyle genişletilmiş hali için doğru optimum küme sayısı değerlerini vermemektedir. Xie-Beni ve Dunn indeksleri ise her üç veri seti için de doğru optimum küme sayılarını vermemektedir. Bu sonuçlardan yola çıkarak MPC, Fukuyama-Sugeno ve PBMF indekslerinin kümeleme geçerliliğinde diğer dört indekse göre daha güvenilir olduğu söylenebilir. Benzeri sonuçlar Zhang ve diğ. (2008) tarafından da gösterilmiştir.

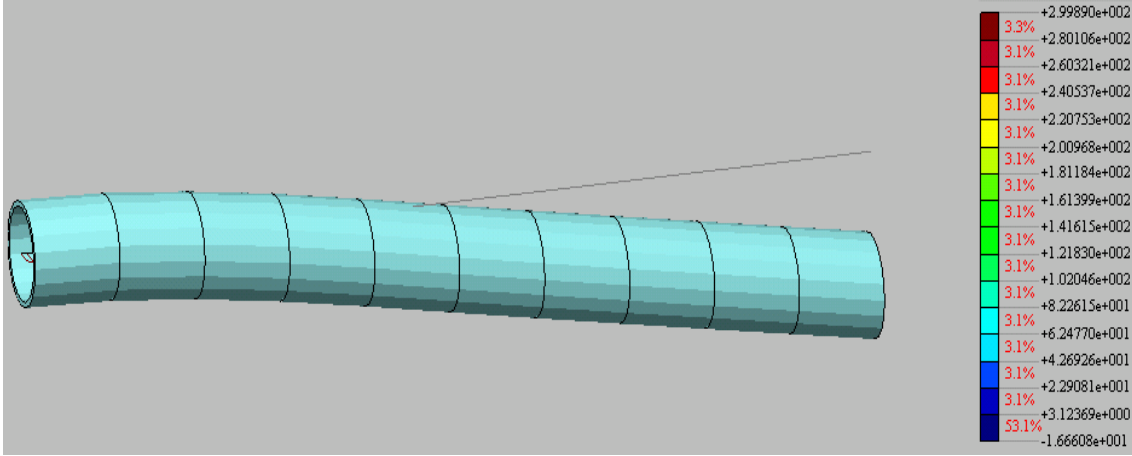
3.3 Sonlu Elemanlar Analizleri

Bu çalışmada DIANA programı Midas FX+ ara yüzüyle kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yaklaşımı altında boruları basit giriş olarak veya solid (katı) olarak modellemek mümkündür. Ara yüz kullanarak borular ve özellikleri, sınır şartları ve yükleme durumları ekrandan girilebilmekte ve tanımlanmaktadır. Borunun kaç elemana bölüneceği gibi aşamalarda gerçekleştirilmektedir. Yapılacak olan analizün yükleme aşamaları, sistemde yapılacak hesaplamalar sırasındaki iterasyon sayıları, toleransları ve yapılan analiz sonucunda sistemin görmek istediğimiz davranışları (elastik-plastik) bu kısımdan belirlenmektedir.

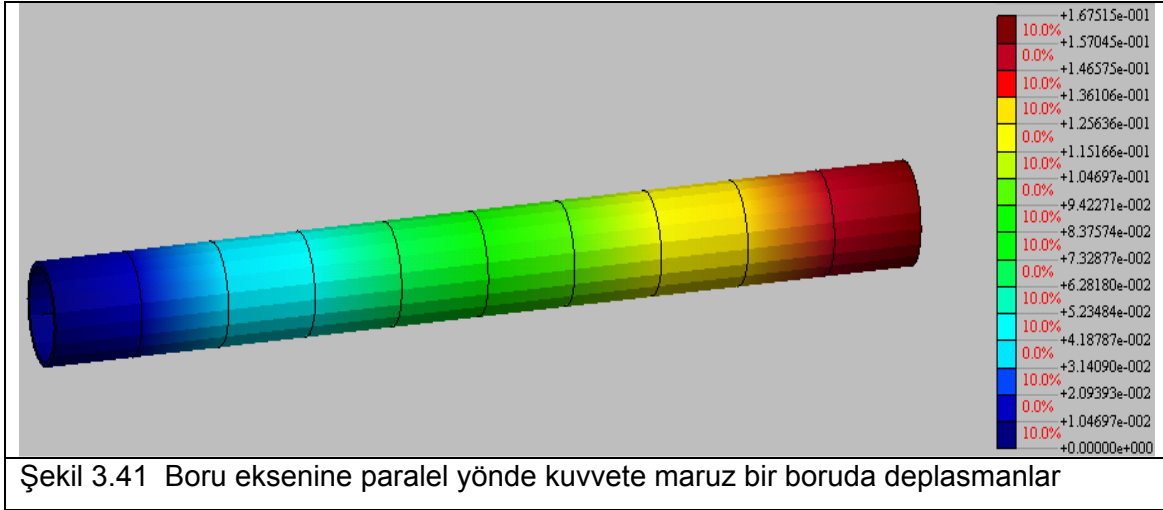
DIANA programı ile analiz gerçekleştirildikten sonra sonuçlar yine Midas FX+ ara yüzüyle görüntülenebilmektedir. Yapılan analiz sonucu olarak sisteme ait deplasmanlar (örneğin Şekil 3.39 ve Şekil 3.41), reaksiyon kuvvetleri, gerilmeler (örneğin Şekil 3.40 ve Şekil 3.42) ve şekil değiştirmeler elde edilebilmektedir.



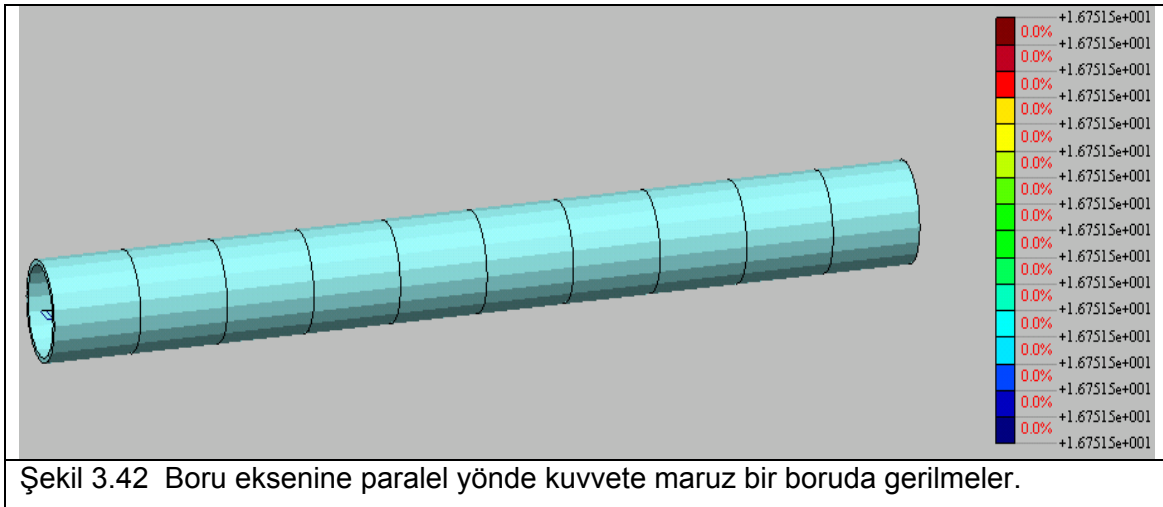
Şekil 3.39 Boru eksenine dik yönde kuvvete maruz bir boruda deplasmanlar



Şekil 3.40 Boru eksenine dik yönde kuvvete maruz bir boruda gerilmeler.



Şekil 3.41 Boru eksenine paralel yönde kuvvete maruz bir boruda deplasmanlar



Şekil 3.42 Boru eksenine paralel yönde kuvvete maruz bir boruda gerilmeler.

3.3.1 Sonlu Elemanlar programı (DIANA) ile boru modellemeleri

Sonlu elemanlarla boru modellemeleri çalışmalarında öncelikle, mevcut verilerin ve doğrulama imkanının olduğu vaka çalışması kullanılmıştır. Bu amaçla seçilen bölge Los Angeles şehrinde bulunan Balboa Bulvarı'dır. 1994 Northridge depremi esnasında Balboa Bulvarı ve McLennon caddesi civarındaki Holosen Alüvyal zeminlerde kalıcı yer deformasyonları meydana gelmiş ve neticesinde zemin hareketinden dört gaz boru hattı, 2 ana su hattı ve bir petrol hattı etkilenmiştir. Bu hatlardan 3 tanesi ciddi sonuçlar doğuracak şekilde hasar görmüş, dört tanesi ise zarar görmemiştir (Şekil 3.43). Toprak (1998), O'Rourke ve Toprak (1995) kayan blok modelini kullanarak bu boruların analizini analitik yöntemlerle değerlendirmiştir. Bu çalışmada DIANA sonlu elemanlar programı kullanılarak yer hareketi modellenmiş ve borularda meydana gelen tepkiler belirlenmiştir. DIANA sonlu elemanlar programı kullanılarak Toprak (1998) çalışmalarının ötesinde modellemeler mümkün olmuştur.

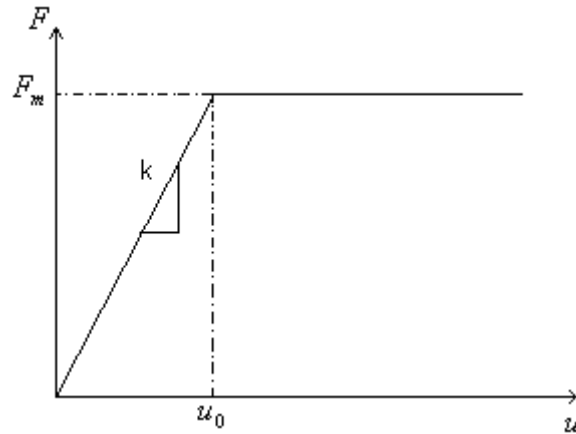
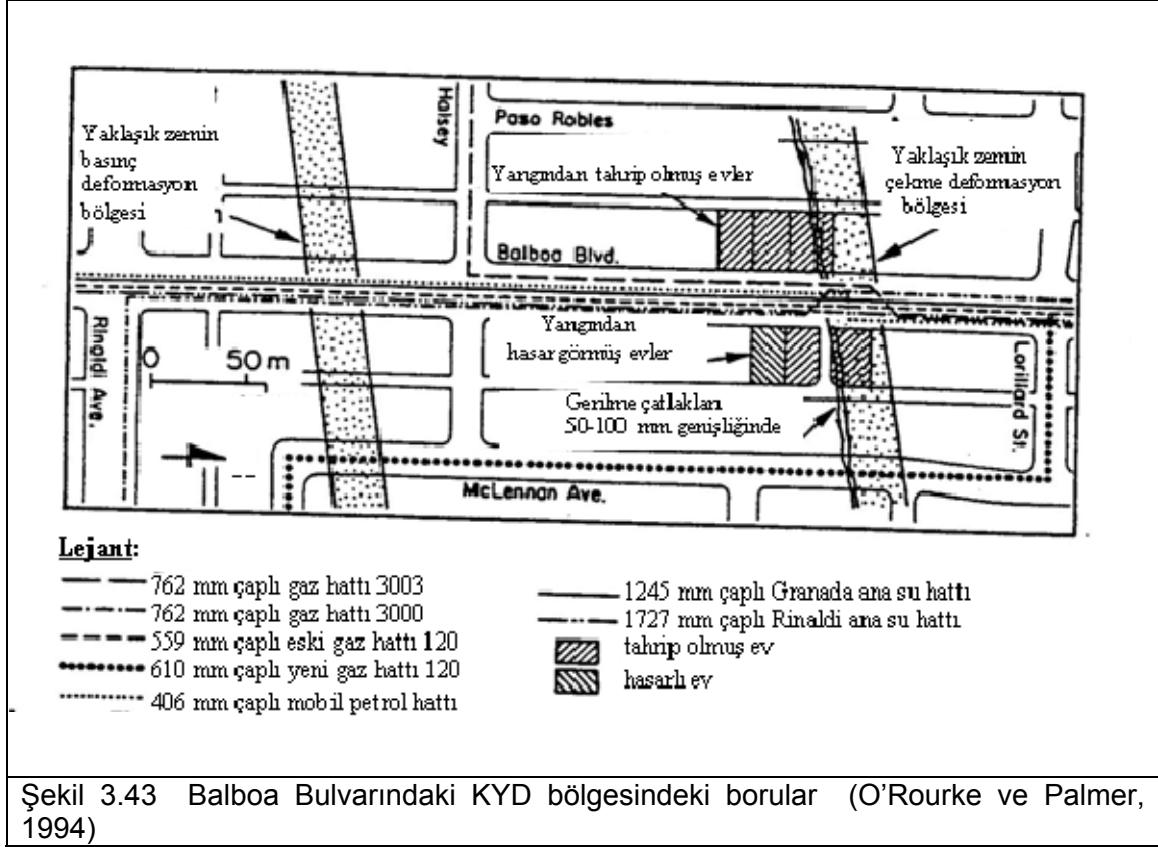
Bu bölgede yapılan çalışmalarda yaklaşık 10m derinliklerde sıvılaşma meydana geldiği ve bunun neticesinde 275 m'lik bir zemin bloğunun bir bütün olarak hareket ettiği önerileri yapılmıştır. Yüzeyle doğrudan ya da hava fotoğrafları ile yapılan ölçümler blok için hareket boyutunu yaklaşık 50 cm olarak belirlemişlerdir. Bu hareket miktarı borular üzerinde meydana gelen hasar ölçümleri ile de doğrulanmıştır. Mevcut çalışmada da bu yaklaşım kullanılmıştır. Bu bloğun kuzey kısmında borularda uzama etkileri güney kısmında da basınç etkileri gözlenmiştir.

Boru modellemelerinde zemini temsil etmek üzere elasto-plastik davranışlar gösteren yay elemanları kullanılmıştır. Bu davranış şekli boru zemin etkileşimini doğrusal elastik davranış gösteren yay modellemelerine göre daha gerçekçi olarak modellemektedir. Burada yayın taşıyacağı maksimum kuvvet F_y 'ye ulaşana kadar yay eleman elastik olarak davranır ve elastik olarak şekil değiştirir. Bu kuvvete ulaştıktan sonra yayda şekil değiştirmeler sabit kuvvet altında devam eder. Yayın elasto-plastik davranışını gösteren grafiksel gösterim Şekil 3.44'te verilmiştir.

Balboa Bulvarı civarındaki borular, kalıcı yer hareketinin (KYD) caddeye paralel yönde gerçekleşmesinden dolayı genel olarak boru eksenine doğrultusunda olan hareketten etkilenmişlerdir. Hareket sonucu olan etkileşme, boru ile zemin arasında gelişen sürtünme kuvveti olarak ortaya çıkmaktadır. Bu etkileşim ise sonlu elemanlar analizi içerisinde boru eksenine doğrultusunda çalışan yay elemanları kullanılarak modellenmiştir. Zeminle boru arasındaki sürtünme katsayısı, μ aşağıdaki formülle elde edilmiştir.

$$\mu = k \tan \phi \quad (3.1)$$

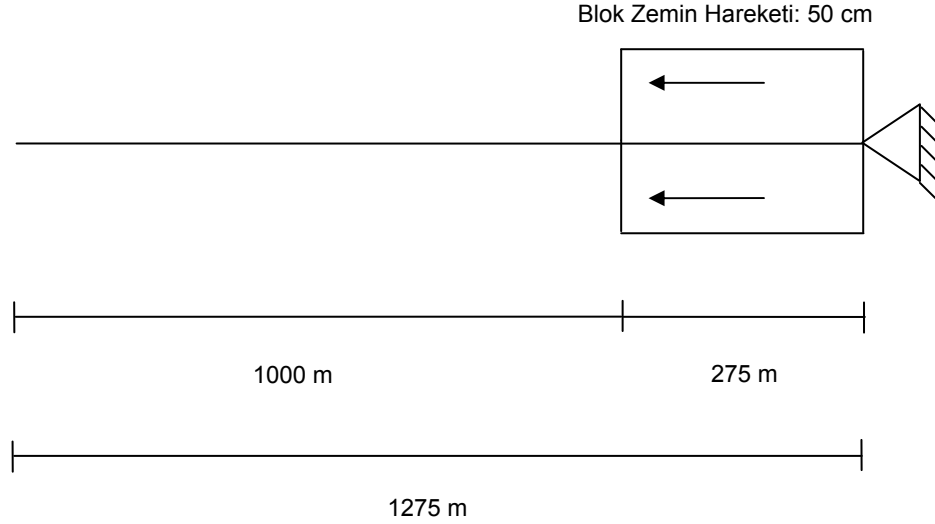
Burada ϕ , zeminin içsel sürtünme açısı ve k ise daneli zeminler ile değişik malzemeler (örneğin, beton, polimer yüzeyler gibi) arasında yapılan deneyler sonucu elde edilen ve bu yüzeyler arasında yüzeysel kayma direnciyle alakalı bir katsayıdır. Burada orta sıklıkta kumlu zemin tipik değeri olarak $\phi = 37^\circ$ kullanılmıştır. Beton kaplama yapılan boru yüzeyi pütürlü olduğu için k katsayısı yaklaşık olarak 1 alınırken polietilen gibi düzgün yüzeylerde 0.54 ve zift kaplı yüzeyler için 0.87 alınmıştır.



Şekil 3.44 Zeminde elasto-plastik yaylarla sağlanan davranış.

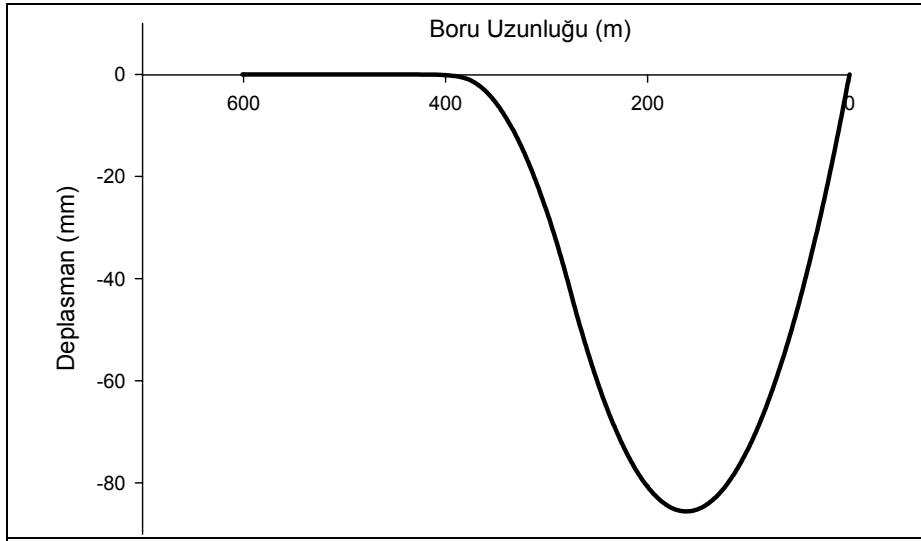
Örnek olarak burada üç boru hattı ile yapılan analiz sonuçları sunulacaktır. Birincisi Mobil petrol hattıdır. Bu hat 406 mm çaplı çelik bir borudur ve polietilen malzeme ile kaplıdır. Borunun et kalınlığı $t = 9.5$ mm, boru gömü derinliği 1.5 m, çeliğin akma gerilmesi 360 MPa'dır. Zeminle boru arasındaki sürtünme katsayısı, μ 0.41 değeri olarak hesaplanmıştır. Mobil petrol boru hattı 275 m'lik blok zemin hareketinin kuzey ucunda 90 derecelik bir kıvrıma sahiptir. Şekil 3.45'te gösterildiği gibi bu durum modellenirken boru hareketinin bu noktada engelleneceği düşünülerek mesnet kullanılmıştır. Diana programı ile yapılan analiz sonuçları Şekil 3.46'da gösterilmiştir. 50 cm'lik KYD sonucu boruda yaklaşık 85 mm'lik bir deformasyon meydana gelmiştir. Borunun hareketi mesnetten yaklaşık 400 m mesafe içinde gerçekleşmiş ve onun ötesinde bu KYD hareketinin etkisi hissedilmemiştir. Borudaki şekil değiştirmeler ve

gerilmeler incelendiğinde ise borunun gerilme-şekil değiştirme davranışının doğrusal olduğu bölgede kalındığı gözlenmektedir. Çıkan sonuçlar bu boruda deprem esnasında bir hasar olmaması gözlemiyle uyum içindedir.

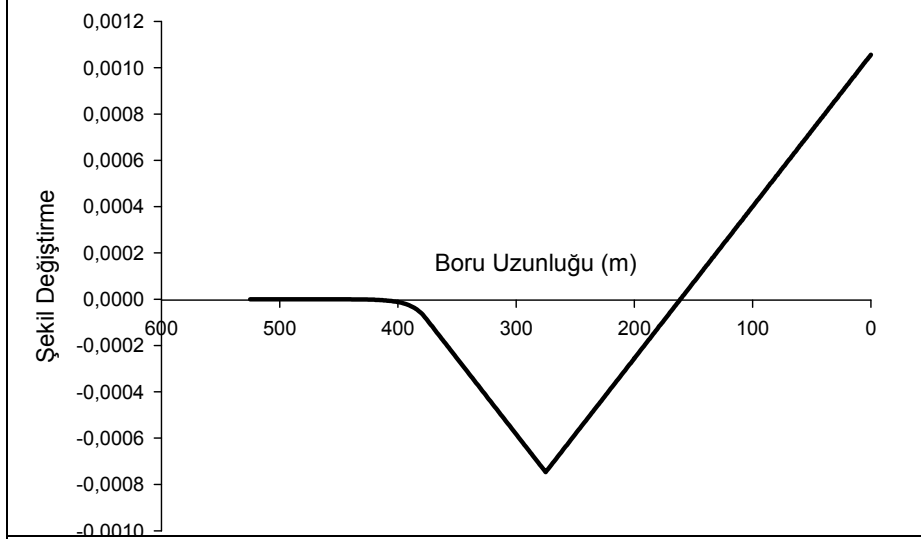


Şekil 3.45 Balboa Bulvarında blok zemin hareketine maruz kalan Mobil petrol borusunun modellenmesi

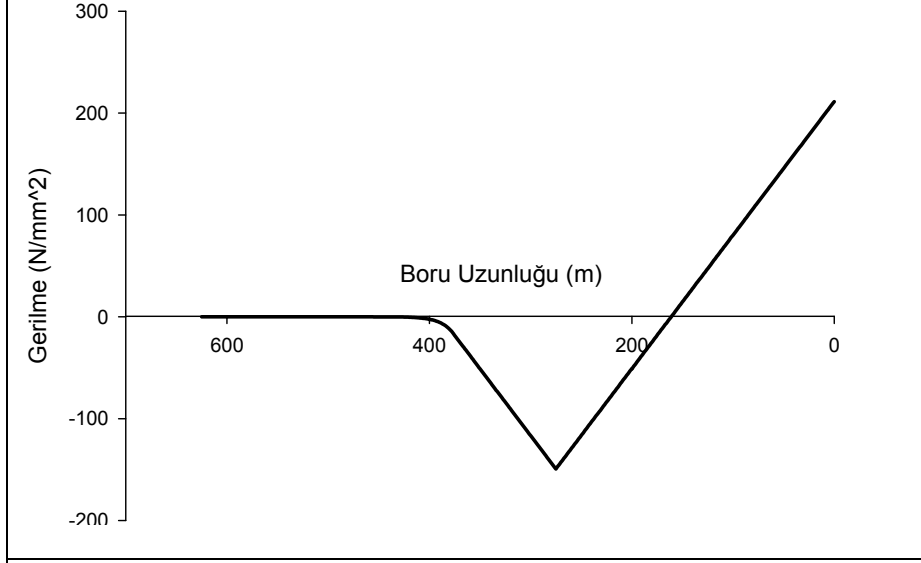
İkincisi Yeni Gaz Hattı 120 hattıdır. Bu hat 610 mm çaplı çelik bir borudur ve epoxy malzeme ile kaplıdır. Borunun et kalınlığı $t = 6.4$ mm, boru gömü derinliği 1.5 m, çeliğin akma gerilmesi 415 MPa'dır. Zeminle boru arasındaki sürtünme katsayısı, μ 0.41 değeri olarak hesaplanmıştır. Yeni Gaz Hattı 120 borusu, 275 m'lik blok zemin hareketinin kuzey ucuna yaklaşık 100 m mesafede, güney ucuna da yaklaşık 40 m mesafede 90 derecelik kıvrımlara sahiptir. Şekil 3.47'de gösterildiği gibi bu durum modellenirken boru hareketinin bu noktalarda engelleneceği düşünülerek mesnet kullanılmıştır. Diana programı ile yapılan analiz sonuçları Şekil 3.48'de gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre 50 cm'lik KYD sonucu boruda yaklaşık 155 mm'lik bir deformasyon meydana gelmiştir. Boru kuzey tarafında çekme uzaması etkisiyle %0.124 mertebesinde uzama şekil değiştirmesine güney tarafında ise basınç etkisiyle %0.143 mertebesinde kılma şekil değiştirmesine uğramıştır. Borudaki maksimum gerilmeler ise 248 MPa çekme gerilmesi ve 286 MPa basınç gerilmesi olmuştur. Bu gerilmeler borunun akma gerilmesinin çok altında gerçekleşmiş ve çıkan sonuçlar bu boruda deprem esnasında bir hasar olmaması gözlemiyle uyum içindedir.



a) Boruda deplasman sonuçları

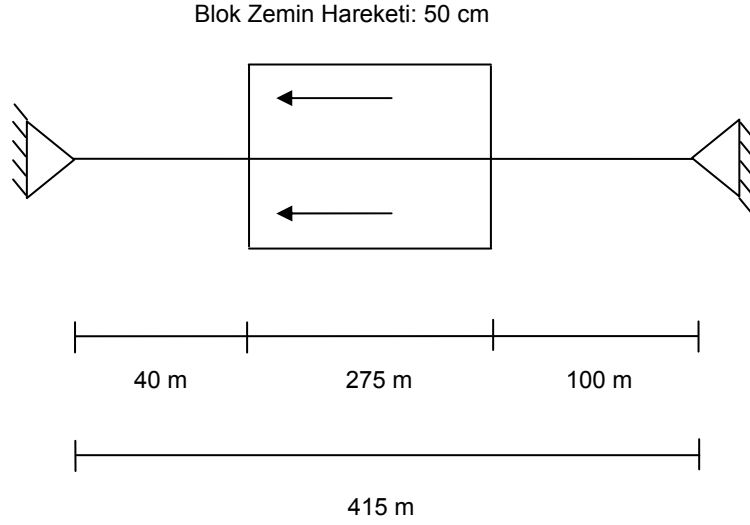


b) Boruda şekil değiştirme sonuçları



c) Boruda gerilme sonuçları

Şekil 3.46 Mobil petrol borusu sonlu elemanlar analizinin sonuçları

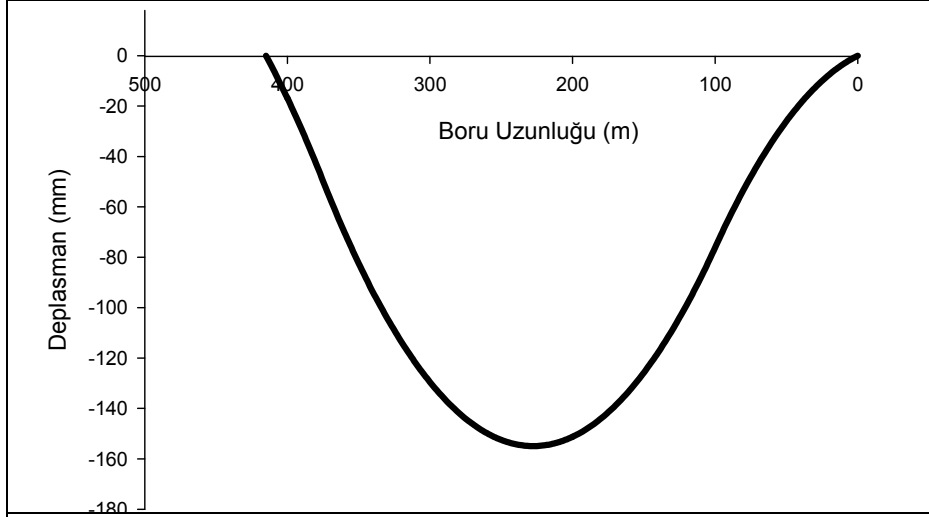


Şekil 3.47 Balboa Bulvarında blok zemin hareketine maruz kalan Yeni Gaz Hattı 120 borusunun modellenmesi

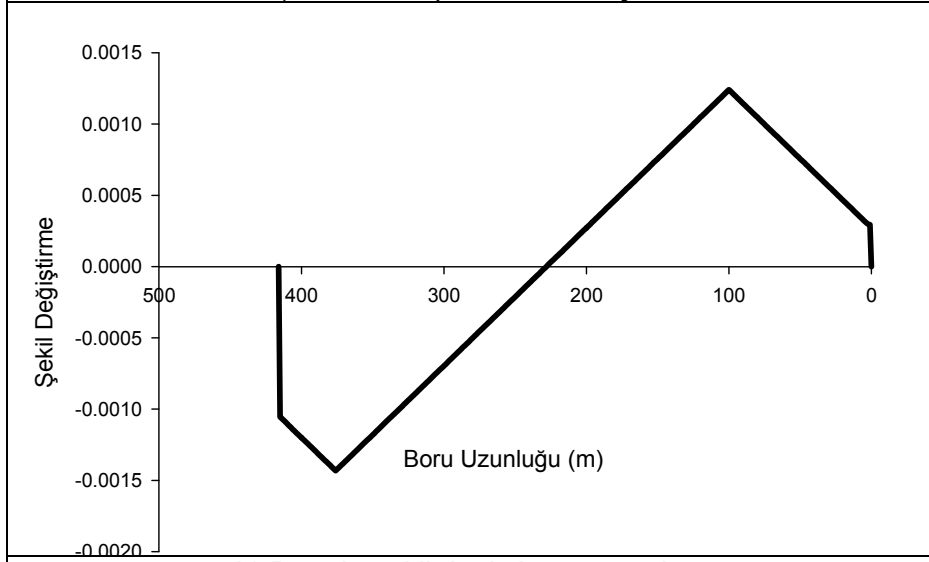
Üçüncüsü gaz hattı 3003'tür. Bu hat 762 mm çaplı çelik bir borudur ve zift epoxy malzeme ile kaplıdır. Borunun et kalınlığı $t = 9.5$ mm, boru gömü derinliği 2.4m, çeliğin akma gerilmesi 360 MPa'dır. Zeminle boru arasındaki sürtünme katsayısı, μ 0.65 değeri olarak hesaplanmıştır. Gaz hattı 3003, 275 m'lik blok zemin hareketinin kuzey ucunda 90 derecelik bir kıvrıma sahiptir. Şekil 3.49'da gösterildiği gibi bu durum modellenirken boru hareketinin bu noktada engelleneceği düşünülerek mesnet kullanılmıştır. Borunun güney ucu blok zemin hareketinin gerçekleştiği alanın içinde kalmaktadır. Diana programı ile yapılan analiz sonuçları Şekil 3.50'de gösterilmiştir. 500 mm'lik KYD sonucu boruda meydana gelen deformasyon 500 mm seviyesine ulaşmış ve böylece yer hareketi ile aynı düzeye ermiştir. Borudaki şekil değiştirmeler incelendiğinde %3.2 seviyesinde birim şekil değiştirmeler olduğu gözükmemektedir. Buna bağlı olarak borunun akma gerilme sınırının üzerine çıktığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Ciddi seviyede olan bu şekil değiştirme yine de kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Çıkan sonuçlar boruda doğrusal olmayan bir uzamanın oluştuğunu göstermekte bununla birlikte kabul edilebilir sınırdaki için bu boruda deprem sonrasında bir hasar rapor edilmemesi gözlemlenmiştir.

3.4 Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Yazılımı

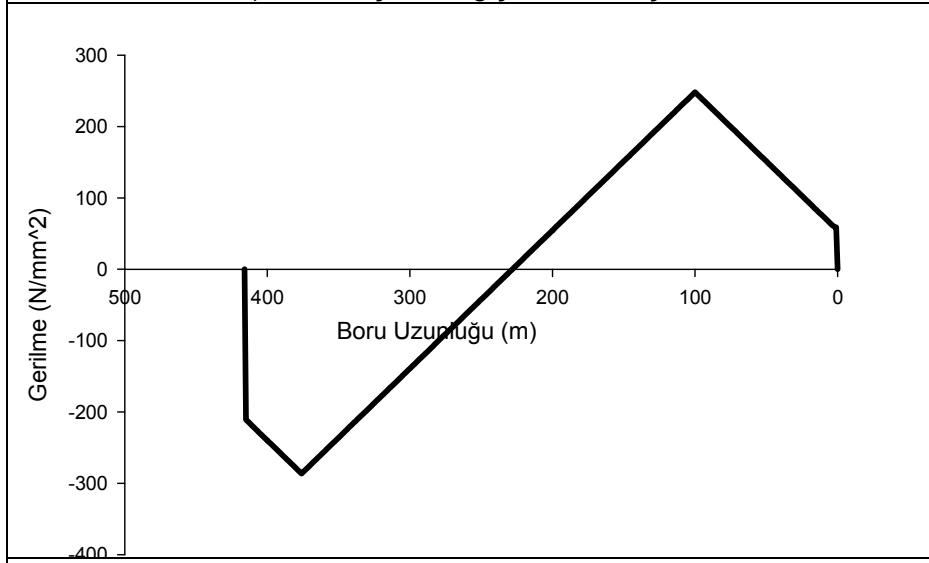
Boruların olası bir depreme karşı emniyetli olup olmadıklarını belirlemek amacıyla ArcGIS ortamında bir yazılım gerçekleştirilmiştir. Yazılım Visual Basic dilinde yazılmıştır. Borular öncelikli olarak parçalı ve sürekli olarak iki ana kısımda değerlendirilmektedir. Parçalı borular, standart uzunluktaki (genellikle 6 m) parçaların birbirine genellikle muflu (geçmeli) ek ile bağlanması şeklinde döşenir. Düktil demir, PVC, asbestli çimento gibi malzemelerden imal edilmektedir. Eklerin sızdırmazlığı genellikle plastik conta ile sağlanır. Sürekli borular ise standart uzunlukları parçalı borulardan daha fazla olan çelik veya polietilen malzemeden imal edilen ve birbirine genellikle aynı malzemeden yapılan kaynakla bağlanan borulardır.



a) Boruda deplasman sonuçları



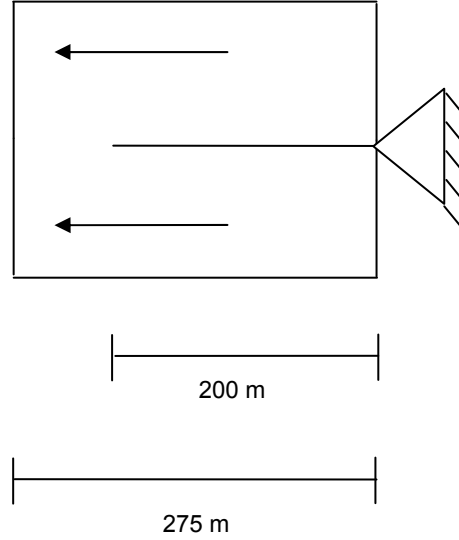
b) Boruda şekil değiştirme sonuçları



c) Boruda gerilme sonuçları

Şekil 3.48 Yeni Gaz Hattı 120 borusunun sonlu elemanlar analizinin sonuçları

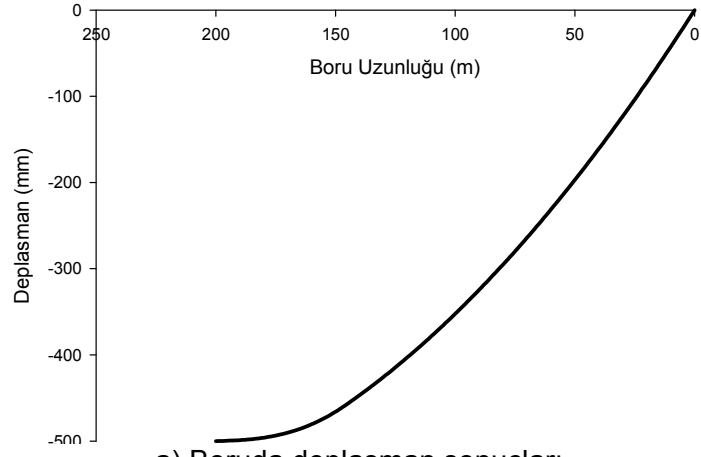
Blok Zemin Hareketi: 50 cm



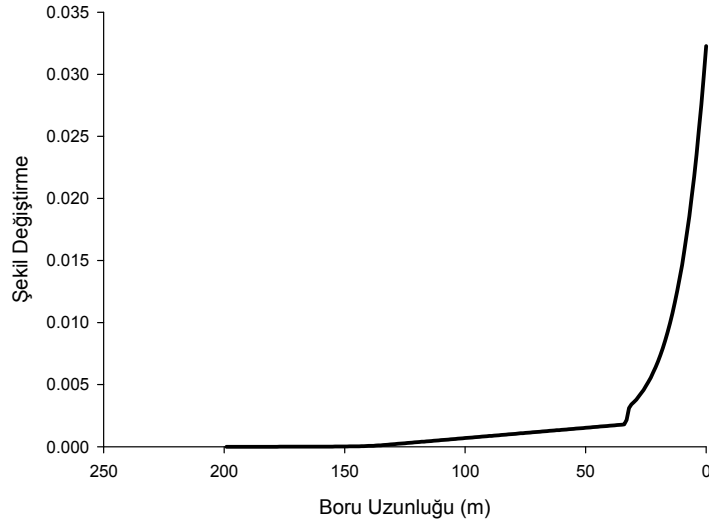
Şekil 3.49 Balboa Bulvarında blok zemin hareketine maruz kalan Gaz Hattı 3003 borusunun modellenmesi

Değerlendirilecek boruların sürekli veya parçalı ayrımı yapıldıktan sonra kalıcı yer deplasmanı veya geçici yer deplasmanına göre değerlendirme yapılması için kullanıcıdan tercih istenmektedir. Sürekli boruların deprem emniyetleri Japon yönetmeliğine (Earthquake resistant design codes in Japan) göre, parçalı boruların emniyetleri ise ISO 16134'e (Earthquake and subsidence resistant design of ductile iron pipes) göre kontrol edilmektedir. Geçici yer deplasmanı ise formülle hesaplanmaktadır. Kalıcı yer deplasmanı kullanıcı tarafından girilen sabit bir standart tasarım değeri olabilir veya başka bir çalışma ile belirlenen kalıcı yer deplasmanı değerleri o bölge için poligonlar şeklinde çizilirse makro o dosyadan deplasman değerlerini alabilir.

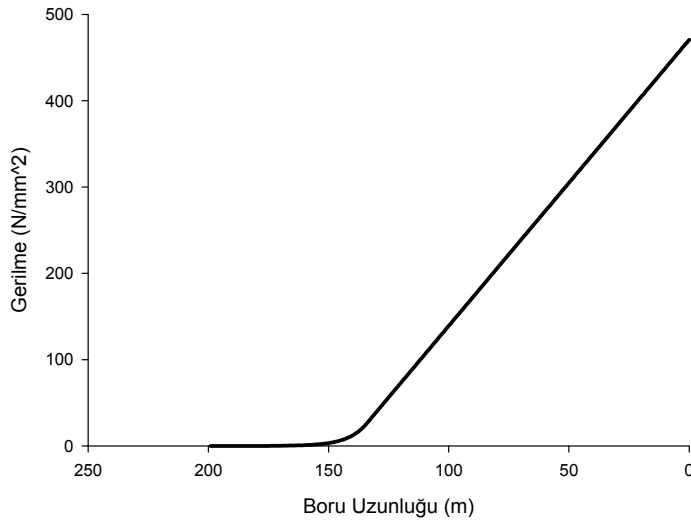
Değerlendirmesinin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için CBS'de incelenecek boru hatlarının verisinin belirli parametreler şeklinde girilmiş olması gerekmektedir. Kullanılan parametreler sürekli ve parçalı borular ile tasarım ya da kalıcı yer deplasmanı verilerine göre girilecek şekliyle Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3, Tablo 3.4, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da sunulmuştur. Parametrelerin birimleri, sabit değer olarak alındığı veya denklemden hesaplandığı, kullanıcı tarafından girilip girilmeyeceği gibi bilgiler eklerdeki tablolarda sunulmuştur.



a) Boruda deplasman sonuçları



b) Boruda şekil değişirme sonuçları



c) Boruda gerilme sonuçları

Şekil 3.50 Gaz Hattı 3003 borusunun sonlu elemanlar analizinin sonuçları

Tablo 3.1. Sürekli borular için kalıcı yer deplasmasının standart tasarım değeri kullanılarak belirlendiği durumlar

Sıra	Alan (Field)	Parametre
1	D	Boru çapı (Pipe diameter)
2	M	Boru malzemesi (Pipe material)
3	t	Boru et kalınlığı (Thickness of pipe)
4	C	Boru dış kaplama türü (Coating)
5	P	Boru iç basınç sınıfı (Pipe pressure category)
6	E	Boru malzemesi elastisite modülü (Elastic modulus of pipe material)
7	EPS0	Boru emniyetli uzama oranı (Allowable strain of pipe)
8	EPSV	Akma uzama oranı (Yield strain of pipe)
9	r	Boru dış yüzeyinin birim alanına karşılık gelen sirtünme kuvveti (Restraint force of ground per unit surface of pipe)
10	ER	Azaltılmış elastisite modülü (Reduced elastic modulus of pipe material)
11	I	Borunun atalet momenti (Moment of inertia of cross section)
12	A	Boru malzemesi alanı (Area of pipe material)
13	LAMDA	Tanjant elastisite modülü katsayısı (Coefficient used to tangent modulus)
14	SZ	Sismik bölge (Seismic zone)
15	S	Zemin sınıfı (Soil class)
16	k	Zemin yataklama katsayısı (Reduced coefficient of subgrade reaction)
17	ALFA1	Sismik bölge faktörü (Seismic zone factor)
18	ALFA2	Boru ve zemin koşulları faktörü (Factor according to the combination of pipeline type and ground conditions)
19	U0	Standart tasarım yer deplasmanı (Standard design ground displacement)
20	U	Zeminin yatay deplasmanı (horizontal displacement of ground)
21	V	Zeminin düşey deplasmanı (vertical displacement of ground)
22	Du	Eksenel yönde boru deplasman kapasitesi (Capability to absorb ground displacement in axial direction)
23	Dv	Eksene dik yönde boru deplasman kapasitesi (Capability to absorb ground displacement in direction transverse to axis)
24	EMNIYET	Borunun güvenlik kriterlerini sağlayıp sağlamama durumu (Position of pipe according to the safety criteria)

Tablo 3.2. Sürekli borular için kalıcı yer deplasmanı verileri kullanıldığı durumlar

Sıra	Alan (Field)	Parametre
1	D	Boru çapı (Pipe diameter)
2	M	Boru malzemesi (Pipe material)
3	t	Boru et kalınlığı (Thickness of pipe)
4	C	Boru dış kaplama türü (Coating)
5	E	Boru malzemesi elastisite modülü (Elastic modulus of pipe material)
6	EPS0	Boru emniyetli uzama oranı (Allowable strain of pipe)
7	EPSV	Akma uzama oranı (Yield strain of pipe)
8	r	Boru dış yüzeyinin birim alanına karşılık gelen sürtünme kuvveti (Restraint force of ground per unit surface of pipe)
9	ER	Azaltılmış elastisite modülü (Reduced elastic modulus of pipe material)
10	I	Borunun atalet momenti (Moment of inertia of cross section)
11	A	Boru malzemesi alanı (Area of pipe material)
12	LAMDA	Tanjant elastisite modülü katsayısı (Coefficient used to tangent modulus)
13	k	Zemin yataklama katsayısı (Reduced coefficient of subgrade reaction)
14	V	Zeminin düşey deplasmanı (vertical displacement of ground)
15	Du	Eksenel yönde boru deplasman kapasitesi (Capability to absorb ground displacement in axial direction)
16	Dv	Eksene dik yönde boru deplasman kapasitesi (Capability to absorb ground displacement in direction transverse to axis)
17	EMNIYET	Borunun güvenlik kriterlerini sağlayıp sağlamama durumu (Position of pipe according to the safety criteria)

Tablo 3.3. Sürekli borular için geçici yer deplasmanı durumu

Sıra	Alan (Field)	Parametre
1	D	Boru çapı (Pipe diameter)
2	M	Boru malzemesi (Pipe material)
3	t	Boru et kalınlığı (Thickness of pipe)
4	C	Boru dış kaplama türü (Coating)
5	E	Boru malzemesi elastisite modülü (Elastic modulus of pipe material)
6	EPS0	Boru emniyetli uzama oranı (Allowable strain of pipe)
7	EPSV	Akma uzama oranı (Yield strain of pipe)
8	r	Boru dış yüzeyinin birim alanına karşılık gelen sirtünme kuvveti (Restraint force of ground per unit surface of pipe)
9	ER	Azaltılmış elastisite modülü (Reduced elastic modulus of pipe material)
10	I	Borunun atalet momenti (Moment of inertia of cross section)
11	A	Boru malzemesi alanı (Area of pipe material)
12	LAMDA	Tanjant elastisite modülü katsayısı (Coefficient used to tangent modulus)
13	k	Zemin yataklama katsayısı (Reduced coefficient of subgrade reaction)
14	Uhx	Yerin yatay deplasman genliği (Horizontal displacement amplitude of ground)
15	TG	Zeminin etkin periyodu (Predominant period of subsurface layer)
16	ac	Tasarım ivmesi (Design acceleration on the ground surface)
17	H	Zemin tabaka kalınlığı (Thickness of the subsurface layer)
18	BD	Boru sırt derinliği (Burial depth)
19	x	Boru eksen derinliği (Depth of pipe center)
20	EPSILON_G	Boru eksen yönünde yer deplasmanı (Ground strain in pipe axis direction)
21	WL	Dalga uzunluğu (Wavelength)
22	PL	Boru uzunluğu (Pipe length)
23	U	Boru eksen doğrultusunda yatay deplasman (Amount of expansion/contraction of joint in pipe axis direction)
24	V	Borunun düşey deplasmanı (vertical displacement of pipe)
25	Du	Eksenel yönde boru deplasman kapasitesi (Capability to absorb ground displacement in axial direction)
26	Dv	Eksene dik yönde boru deplasman kapasitesi (Capability to absorb ground displacement in direction transverse to axis)
27	EMNIYET	Borunun güvenlik kriterlerini sağlayıp sağlamama durumu (Position of pipe according to the safety criteria)

Tablo 3.4. Parçalı borular için kalıcı yer deplasmanının standart tasarım değeri kullanılarak belirlendiği durumlar

Sıra	Alan (Field)	Parametre
1	D	Boru çapı (Pipe diameter)
2	SIGMA_X	Bileşik gerilme (Combined stres)
3	SIGMA_L	Eksenel gerilme (Axial stres)
4	SIGMA_B	Eğilme gerilmesi (Bending stres)
5	KSI_1	Boru gerilmesi düzeltme faktörü (Stress correction factor for pipeline)
6	KSI_2	Boru gerilmesi düzeltme faktörü (Stress correction factor for pipeline)
7	ALFA_1	Boru eksenine dik yönde yer deplasmanı transfer katsayısı (transfer coefficient of ground displacement in the pipe axis direction)
8	ALFA_2	Boru eksenine dik yönde yer deplasmanı transfer katsayısı (transfer coefficient of ground displacement in the pipe perpendicular direction)
9	E	Boru malzemesi elastisite modülü (Elastic modulus of pipe material)
10	WL	Dalga uzunluğu (Wavelength)
11	SIGMA_EM	Boru emniyet gerilmesi (Design stres of pipe)
12	Uhx	Yerin yatay deplasman genliği (Horizontal displacement amplitude of ground)
13	EPSILON_G	Boru eksenine dik yönde yer deplasmanı (Ground strain in pipe axis direction)
14	U	Boru eksenine doğru yatay deplasman (Amount of expansion/contraction of joint in pipe axis direction)
15	L	Standart boru uzunluğu (length between expansion flexible joints)
16	PL	Boru uzunluğu (Pipe length)
17	f	Yer deplasmanı azaltma oranı (reduction ratio of the amount of expansion of the joint fort he ground displacement)
18	n	Boru birleşim sayısı (number of joints)
19	EL	Birleşimin toplam genişmesi (Total amount of expansion/contraction of joint)
20	BETA	Borunun 100 metredeki genişleme miktarı (amount of expansion/contraction of the joint= $\pm 1\%$ of pipe length)
21	DELTA_A	Boru eksenine dik yönde yer deplasmanı (Ground displacement in pipe axis direction)
22	THETA	Birleşimin maksimum sagma açısı (Maximum deflection angle at joint)
23	DELTA_r	Eksene dik yönde kabul edilen yer deplasmanı (Assumed ground displacement in pipe perpendicular direction)
24	Hmax	Boruya dik yönde maksimum deplasman (maximum amount of displacement in the pipe perpendicular direction)
25	EMNIYET	Borunun güvenlik kriterlerini sağlayıp sağlamama durumu (Position of pipe according to the safety criteria)

Tablo 3.5. Parçalı borular için kalıcı yer deplasmanı verileri kullanıldığı durumlar

Sıra	Alan (Field)	Parametre
1	D	Boru çapı (Pipe diameter)
2	SIGMA_X	Bileşik gerilme (Combined stres)
3	SIGMA_L	Eksenel gerilme (Axial stres)
4	SIGMA_B	Eğilme gerilmesi (Bending stres)
5	KSI_1	Boru gerilmesi düzeltme faktörü (Stress correction factor for pipeline)
6	KSI_2	Boru gerilmesi düzeltme faktörü (Stress correction factor for pipeline)
7	ALFA_1	Boru eksenine dik yönde yer deplasmanı transfer katsayısı (transfer coefficient of ground displacement in the pipe axis direction)
8	ALFA_2	Boru eksenine dik yönde yer deplasmanı transfer katsayısı (transfer coefficient of ground displacement in the pipe perpendicular direction)
9	E	Boru malzemesi elastisite modülü (Elastic modulus of pipe material)
10	WL	Dalga uzunluğu (Wavelength)
11	SIGMA_EM	Boru emniyet gerilmesi (Design stres of pipe)
12	EPSILON_G	Boru eksenine dik yönde yer deplasmanı (Ground strain in pipe axis direction)
13	U	Boru eksenine doğru yatay deplasman (Amount of expansion/contraction of joint in pipe axis direction)
14	L	Standart boru uzunluğu (length between expansion flexible joints)
15	PL	Boru uzunluğu (Pipe length)
16	f	Yer deplasmanı azaltma oranı (reduction ratio of the amount of expansion of the joint fort he ground displacement)
17	n	Boru birleşim sayısı (number of joints)
18	EL	Birleşimin toplam genişmesi (Total amount of expansion/contraction of joint)
19	BETA	Borunun 100 metredeki genişleme miktarı (amount of expansion/contraction of the joint=±1% of pipe length)
20	DELTA_A	Boru eksenine dik yönde yer deplasmanı (Ground displacement in pipe axis direction)
21	THETA	Birleşimin maksimum sapma açısı (Maximum deflection angle at joint)
22	DELTA_r	Eksene dik yönde kabul edilen yer deplasmanı (Assumed ground displacement in pipe perpendicular direction)
23	Hmax	Boruya dik yönde maksimum deplasman (maximum amount of displacement in the pipe perpendicular direction)
24	EMNIYET	Borunun güvenlik kriterlerini sağlayıp sağlamama durumu (Position of pipe according to the safety criteria)

Tablo 3.6. Parçalı borular için geçici yer deplasmanı durumu

Sıra	Alan (Field)	Parametre
1	D	Boru çapı (Pipe diameter)
2	SIGMA_X	Bileşik gerilme (Combined stres)
3	SIGMA_L	Eksenel gerilme (Axial stres)
4	SIGMA_B	Eğilme gerilmesi (Bending stres)
5	KSI_1	Boru gerilmesi düzeltme faktörü (Stress correction factor for pipeline)
6	KSI_2	Boru gerilmesi düzeltme faktörü (Stress correction factor for pipeline)
7	ALFA_1	Boru eksenı yönünde yer deplasmanı transfer katsayısı (transfer coefficient of ground displacement in the pipe axis direction)
8	ALFA_2	Boru eksenine dik yönde yer deplasmanı transfer katsayısı (transfer coefficient of ground displacement in the pipe perpendicular direction)
9	E	Boru malzemesi elastisite modülü (Elastic modulus of pipe material)
10	H	Zemin tabaka kalınlığı (Thickness of subsurface layer)
11	WL	Dalga uzunluğu (Wavelength)
12	TG	Zeminin etkin periyodu (Predominant period of subsurface layer)
13	ac	Tasarım ivmesi (Design acceleration on the ground surface)
14	BD	Boru sırt derinliği (Burial depth)
15	x	Boru eksen derinliği (Depth of pipe center)
16	SIGMA_EM	Boru emniyet gerilmesi (Design stress of pipe)
17	Uhx	Yerin yatay deplasman genliği (Horizontal displacement amplitude of ground)
18	EPSILON_G	Boru eksenı yönünde yer deplasmanı (Ground strain in pipe axis direction)
19	U	Boru eksenı doğrultusunda yatay deplasman (Amount of expansion/contraction of joint in pipe axis direction)
20	L	Standart boru uzunluğu (length between expansion flexible joints)
21	PL	Boru uzunluğu (Pipe length)
22	f	Yer deplasmanı azaltma oranı (reduction ratio of the amount of expansion of the joint fort he ground displacement)
23	n	Boru birleşim sayısı (number of joints)
24	EL	Birleşimin toplam genişmesi (Total amount of expansion/contraction of joint)
25	BETA	Borunun 100 metredeki genişleme miktarı (amount of expansion/contraction of the joint= $\pm 1\%$ of pipe length)
26	DELTA_A	Boru eksenı yönünde yer deplasmanı (Ground displacement in pipe axis direction)
27	THETA	Birleşimin maksimum sapma açısı (Maximum deflection angle at joint)
28	DELTA_r	Eksene dik yönde kabul edilen yer deplasmanı (Assumed ground displacement in pipe perpendicular direction)
29	Hmax	Boruya dik yönde maksimum deplasman (maximum amount of displacement in the pipe perpendicular direction)
30	EMNIYET	Borunun güvenlik kriterlerini sağlayıp sağlamama durumu (Position of pipe according to the safety criteria)

3.4.1 Sürekli Boruların Değerlendirilmesi

Depreme dayanıklı orta ve düşük basınçlı boru hatları tasarlanırken hedef, boru hatlarını daha esnek yaparak boru hasarlarını azaltmaktır. Boru hatlarının nicel esneklik hesabında da esas olan boru hattının zeminde öngörülen deplasmanı absorbe etme kapasitesinin belirlenmesidir. Eğer borunun tasarım zemin deplasman değeri, zemin ve diğer koşullar tarafından belirlenen değeri geçerse, bu boru hattı depreme dayanıklıdır denilebilir. Depreme Dayanıklı Tasarım Prosedürü Tablo 3.7 Orta ve Düşük Basınçlı Boru Hatlarının Depreme Dayanıklı Tasarım Akış Diyagramı'nda verilmiştir ve temel olarak aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- 1- Gömme koşullarının seçilmesine
- 2- Tasarım zemin deplasmanının hesaplanmasına
- 3- Boru hattının zemin deplasmanını absorbe etme kapasitesinin hesaplanmasına
- 4- Yer deplasmanı girdilerinin seçilmesine
- 5- Standart uzama oranının ve standart deplasmanın seçilmesine
- 6- Deprem dayanımının hesaplanmasına

3.4.1.1 Tasarım Zemin Deplasmanı

Boru hatlarının esnekliğini hesaplamak için tasarım zemin deplasmanları aşağıdaki formülden hesaplanır:

1- Yatay deplasman (boru eksenine doğrultusunda) $U = \alpha_1 \alpha_2 U_0$ (3.2)

2- Dikey deplasman (boru eksenine dik doğrultuda) $V = \frac{1}{2} U$ (3.3)

Formüldeki α_1 , Tablo 3.8'de sismik bölgelere göre tanımlanmış değerlerden belirlenir. Bu bölgeler Japonya için tanımlanmış alanlardır. Özel A bölgesi sismik tehlikenin en yüksek olduğu bölgeyi C bölgesi ise en küçük olduğu bölgeyi tanımlamaktadır. Bu bölgeler yaklaşık olarak Türkiye'nin sahip olduğu 4 bölgeye benzer şekilde düşünülebilir. Tablo 3.8, α_1 değerlerini Türkiye deprem bölgeleri için de uyarlanmış haliyle göstermektedir.

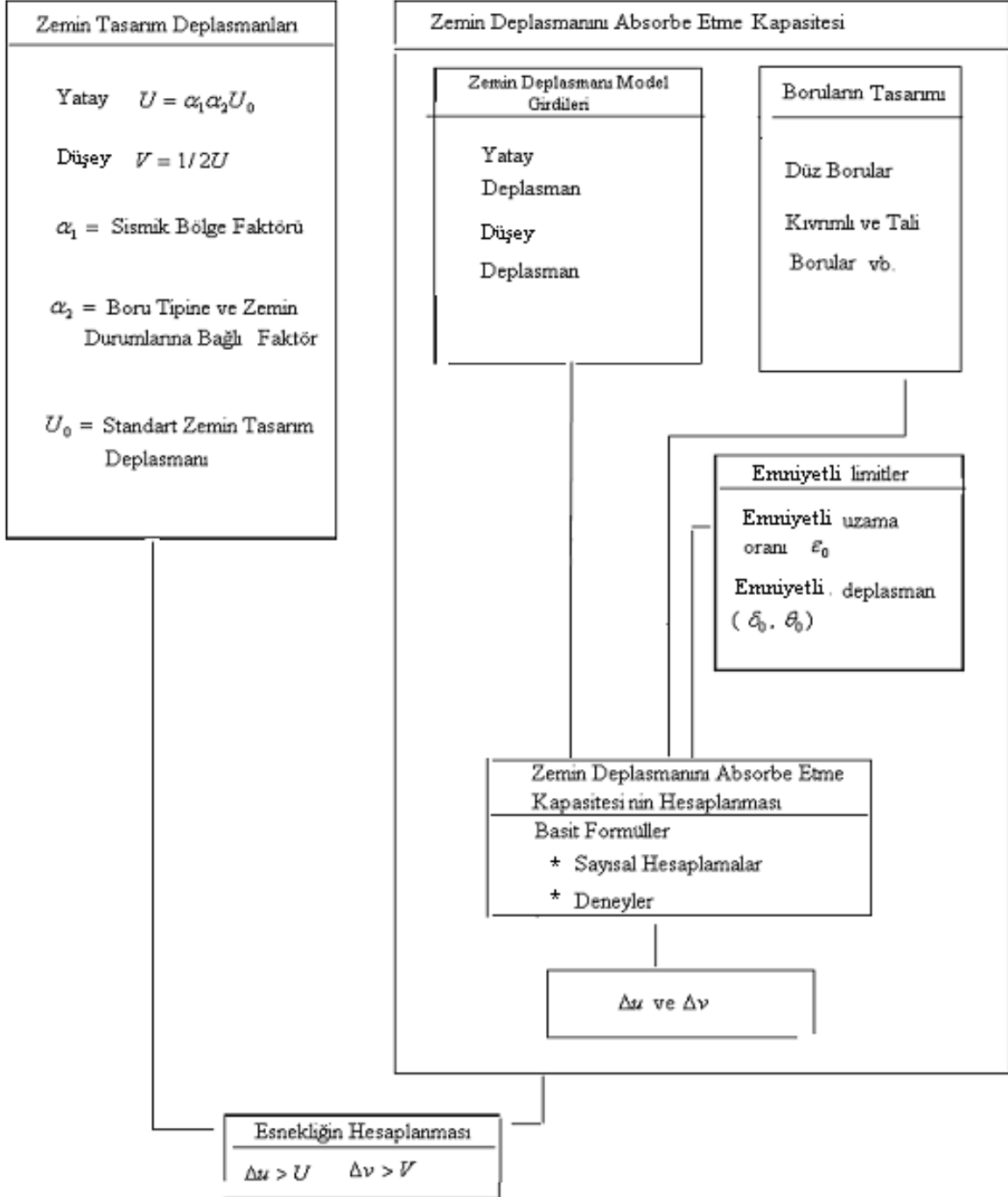
Formüldeki α_2 ise Tablo 4'te verildiği gibi boru hattının tipini ve zemin koşullarını temsil eden bir faktördür.

Herhangi bir bilginin olmadığı durumlarda varsayılan standart zemin tasarım deplasmanı U_0 , 5,0 cm olarak belirlenmiştir. U_0 temelde 1978 Miyagiken-oki depremi sonuçlarına göre belirlenmiştir. Kabul edilebilir deplasman 3 cm olarak tasarlanan boru sistemlerinde ciddi hasarlar meydana gelirken, 4 cm civarı olarak tasarlanan borularda göreceli olarak düşük hasarlar gözlemlenmiştir (Satoh ve diğ., 1992).

3.4.1.2 Zemin Koşulları

Zemin koşulları, boruların yerleştirildiği alandaki zeminin durumuna ve boru ve aksanın zemindeki coğrafik konumuna göre belirlenir. Zemin koşulları 3 grup olarak incelenmektedir: Zemin I, Zemin II, ve Zemin III. Bu zeminlere karşılık gelen özellikler aşağıda verilmiştir.

Tablo 3.7 Orta ve Düşük Basıncılı Boru Hatlarının Depreme Dayanıklı Tasarım Akış Diyagramı



Zemin I- Aşağıdaki üç zemin türünden herhangi birine sahip ya da üçünün değişik kombinasyonlar şeklinde bulunduğu alanlar

- (1) Triassik Döneme yada daha öncesine ait zemin tabakası (bundan sonraki bölümlerde kaya tabakası olarak anılacaktır)
- (2) Diluvyum tabakası
- (3) 10 m kalınlıktan daha az alüvyon tabakası ya da içinde 5 m'den daha az yumuşak tabaka bulunan zemin [Zemin profili içinde kaya tabakası yada sıkı diluvyum tabakası (SPT N değeri >50 veya kayma dalga hızı 300 m/san'den fazla) bulunması şartı ile]

Zemin II- Zemin profili içinde başlıca 10 m'den fazla alüvyon tabakasından ya da 5 m'den fazla yumuşak tabakadan oluşan alan

Zemin III- Şu iki durumdan birinin mevcut olduğu zeminler

a- Zemin I ile Zemin II'nin katmanlar halinde birlikte olduğu veya karışık halde bulunduğu zeminler

b- Zemin ile yapı temelinin (Zemin II şartlarına sahip zemin üzerine oturmuş) sınır oluşturduğu veya zeminde şekil değiştirmenin bariz olarak süreksiz olduğu durumlar

Türkiye'de kullanılan zemin sınıfları açısından bakıldığında buradaki Zemin I sınıfının yaklaşık olarak Z1, Z2 ve Z3 zeminlerine, Zemin II sınıfının ise Z4 sınıfına karşılık geldiği belirtilebilir. Zemin IIIa ise Z1-Z2-Z3 ve Z4 türü zeminlerin aynı alanda bulunduğu veya karışık olduğu bölgelere karşılık gelmektedir. Zemin IIIb türü analizler, borunun yapı ile birleşim hususunu ve yapı temelinin nerede oturduğu gibi konuyu kapsamakta ve bu çalışmanın dışında kalmaktadır.

Tablo 3.8 Sismik bölge faktörü (α_1)

Bölge Sınıflandırması (Japonya)	Özel A Bölgesi	A Bölgesi	B Bölgesi	C Bölgesi
Bölge Sınıflandırması (Türkiye)	1. Deprem Bölgesi	2. Deprem Bölgesi	3. Deprem Bölgesi	4. Deprem Bölgesi
α_1	1,0	0,8	0,6	0,4

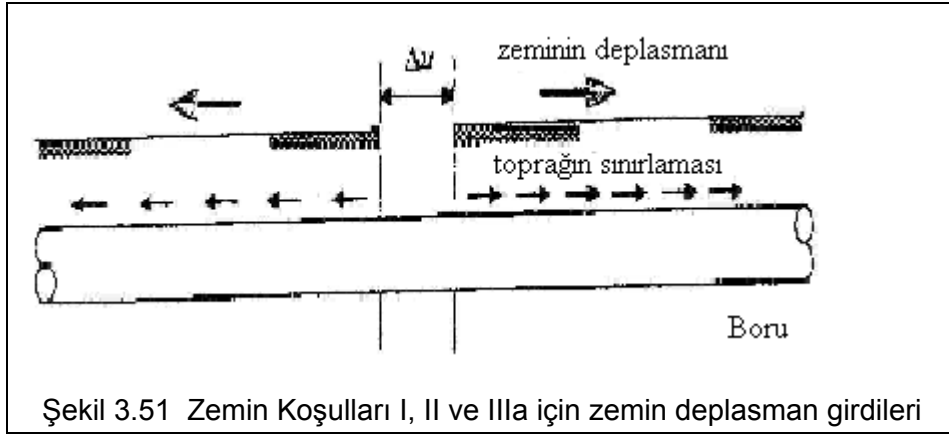
Tablo 3.9 Boru hattı ve zemin özelliklerine bağlı olarak belirlenen α_2 faktörü

Borunun Basınca Göre Sınıflandırılması	Zemin Durumu		
	Zemin I	Zemin II	Zemin III
Orta Basınç A ($3 \leq P < 10 \text{ kgf/cm}^2$)	0,9	1,3	1,8
Orta Basınç B ($1 \leq P < 3 \text{ kgf/cm}^2$)	0,7	1,0	1,4
Düşük Basınç (ana hatlar) ($P < 1 \text{ kgf/cm}^2$)	0,5	0,7	1,0
Düşük Basınç (servis hatları) ($P < 1 \text{ kgf/cm}^2$)	0,7	1,0	1,0

3.4.1.3 Boru Hatlarının Zemin Deplasmanını Absorbe Etme Kapasitesi

1- Düz Boruların Eksenel Yönde Zemin Deplasmanını Absorbe Etme Kapasitesi

Düz bir borunun eksenel doğrultuda absorbe edebileceği zemin deplasmanı (Δu), Zemin I, II ve IIIa durumları için Şekil 3.51'da gösterildiği üzere zemin yüzeyinde bir noktada deplasman girdisine odaklanarak hesaplanır.



i) Eksenel doğrultuda süreklilik arz eden, zemin sürtünme kuvvetinin sabit bir şekilde aktarıldığı boru hatları

(a) Azaltılmış elastisite modülü modeli (polietilen borular, vb. gibi)

Bu tür boruların absorbe edebileceği yer deplasmanı miktarı şu formülle hesaplanabilir:

$$\Delta u = \frac{A \bar{E} \varepsilon_0^2}{\pi D r} [mm] \quad (3.4)$$

Burada,

A : Kesit alanı (mm²)

D : Boru Çapı (mm)

\bar{E} : azaltılmış elastisite modülü (N/ mm²)

r : Boru dış yüzeyinin birim alanına karşılık gelen sürtünme kuvveti (N/ mm²)

ε_0 : Emniyetli uzama oranı

(b) Elastoplastik hesaplama modeli (kaynaklanmış çelik boru)

Bu tür boruların absorbe edebileceği yer deplasmanı miktarı şu formülle hesaplanabilir:

$$\Delta u = \frac{AE \{ \varepsilon_v^2 + \lambda (\varepsilon_0^2 - \varepsilon_v^2) \}}{\pi D r} \quad (3.5)$$

Burada,

ε_v : Borunun akma uzama oranı

ε_0 : Emniyetli uzama oranı
E : Elastisite modülü (N/ mm²)
 λE : Borunun tanjant modülü

ii) Birleşim noktalarında kesit alanında azalma bulunan ve çekme gerilmesi açısından dayanımda düşüş olan borular (ör. Vidalı geçmeli çelik borular)

Bu tür boruların absorbe edebileceği yer deplasmanı miktarı şu formülle hesaplanabilir:

$$\Delta u = \frac{F^2}{\pi D r A E} \quad (3.6)$$

Burada,

F: Vida Ekli boru için Emniyetli Çekme Dayanımı

iii) Mekanik ek ile bağlı borular

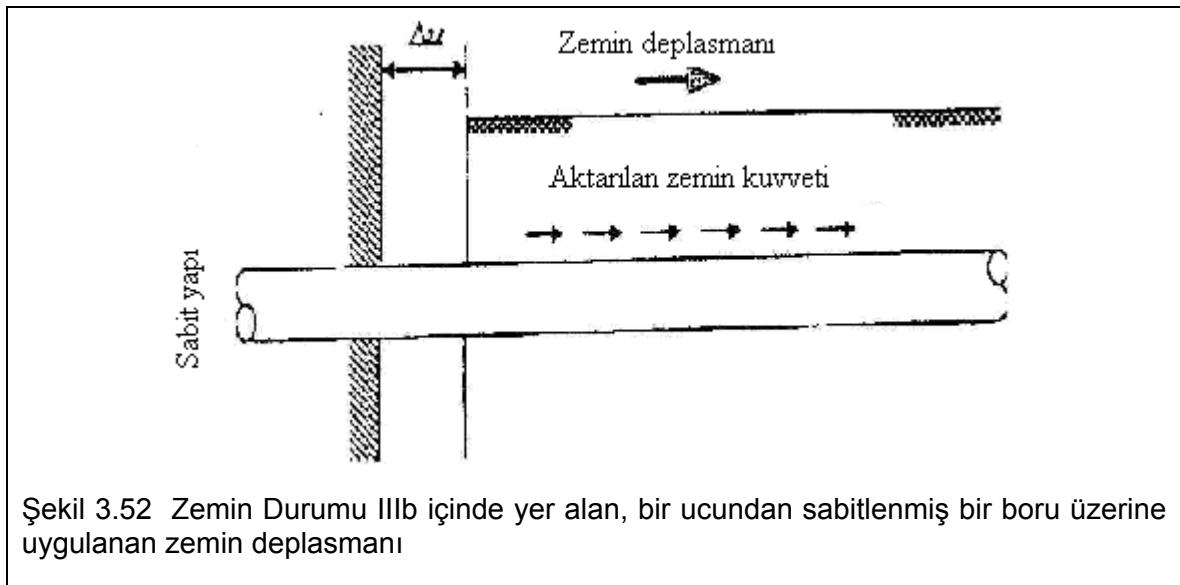
Bu tür boruların absorbe edebileceği yer deplasmanı miktarı şu formülle hesaplanabilir:

$$\Delta u = \delta_0 + 2(\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n) \quad (3.7)$$

Burada,

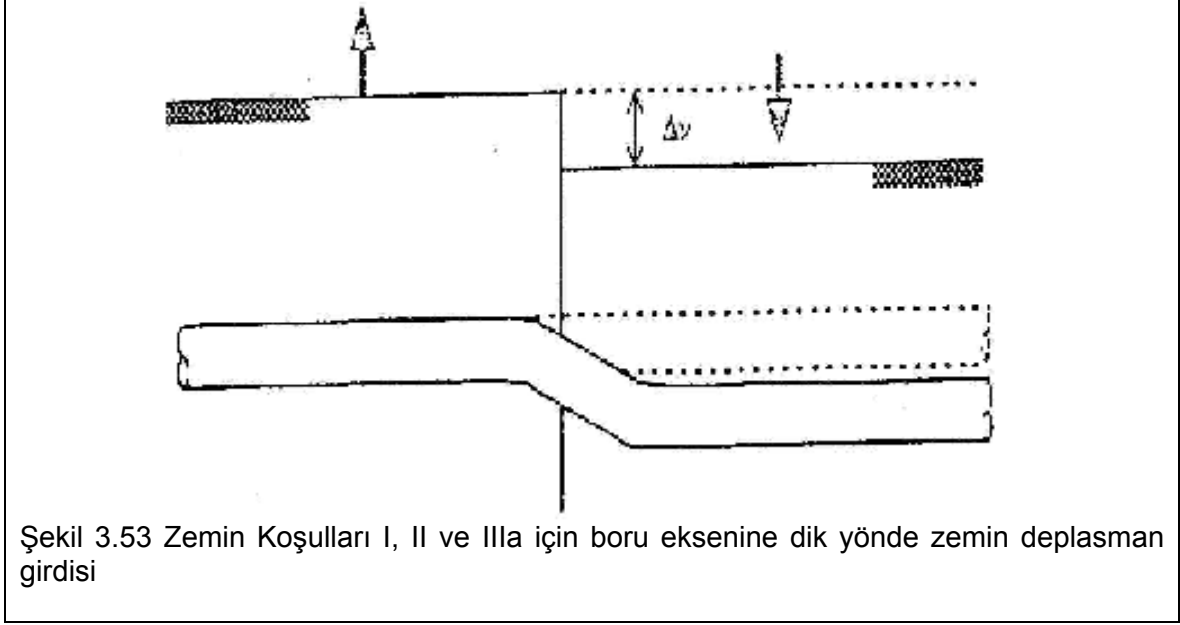
δ_0 : borunun içinde bulunduğu yer değiştiren bölgenin merkezindeki, boru ek noktasında sızıntının veya önemli ek zararlarının beklenebileceği maksimum deplasmandır. $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ ise merkezdeki eke komşu diğer eklerin izin verilen deplasmanlarını göstermektedir. Bu değerlerde ekler arasında boruya etki eden sürtünme kuvvetinin yük azaltmadaki etkisi de göz önüne alınmalıdır.

Zemin Sınıfı IIIb içinde yer alan, bir ucundan sabitlenmiş bir düz borunun aksenal zemin deplasmanını absorbe etme kapasitesi hesaplanırken zemin ile yapı arasındaki sınırın hareketi ile zeminin hareketin toplamı göz önüne alınmalıdır (Şekil 3.52).



2- Düz Boruların Eksenlerine Dik Yönde Zemin Deplasmanını Absorbe Etme Kapasitesi

Zemin I, II ve IIIa durumunda düz borunun, eksenine dik yönde zemin deplasmanını absorbe etme kapasitesi (Δv), Şekil 3.53'de gösterildiği gibi bir blok deplasman uygulandığı duruma karşılık gelir.



- i) Eksenini boyunca homojen rijitliğe sahip boru (kaynak bağlantılı çelik boru yada polietilen boru gibi)

Bu tür boruların absorbe edebileceği yer deplasmanı miktarı şu formülle hesaplanabilir:

$$\Delta V = \frac{2\sqrt{2}e^{\pi/4}}{D} \sqrt{\frac{4EI}{kD}} \varepsilon_0 \quad (3.8)$$

Burada:

I : Boru kesitinin atalet momenti (mm^4)
 k : Zemin yataklama katsayısı, k (N/mm^3)

- ii) Eğilme momentine bağlı yerel mukavemet düşüşlerinin olduğu borular (vidalı geçmeli çelik borular gibi)

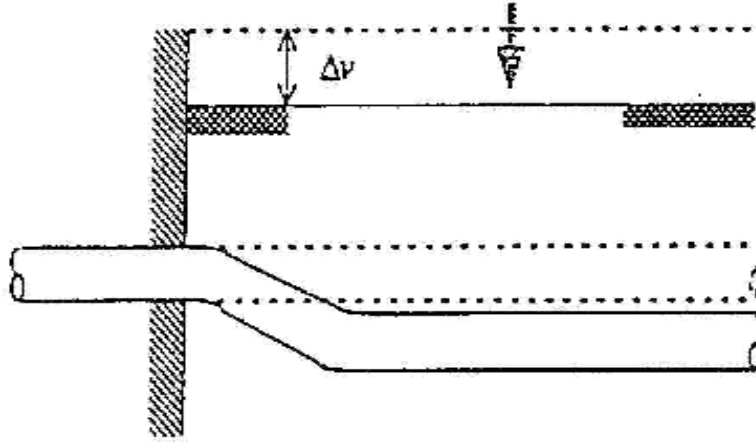
Bu tür boruların absorbe edebileceği yer deplasmanı miktarı şu formülle hesaplanabilir:

$$\Delta v = \frac{\sqrt{2}e^{\pi/4}}{EI} \sqrt{\frac{4EI}{kD}} M_0 \quad (3.9)$$

Burada,

M_0 : Yerel mukavemet düşüşünün olduğu yerdeki moment (N.mm)

Zemin Durumu IIIb içinde yer alan, bir ucundan sabitlenmiş bir borunun (Şekil 3.54'de gösterildiği gibi), boru eksenine dik yönde absorbe edebileceği zemin deplasmanı zemin ile yapı arasındaki göreceli deplasman göz önüne alınarak belirlenir.



Şekil 3.54 Zemin Durumu IIIb içinde yer alan, bir ucundan sabitlenmiş bir boru için boru eksenine dik yönde zemin deplasman girdisi

3.4.1.4 Emniyetli Uzama Oranı ve Deplasman

(1) Boru Malzemesinde Emniyetli Uzama Oranı (ε_0) ve Elastisite Modülü (\bar{E})

Malzemeye bağlı olarak borunun zemin deplasmanını absorbe etme kapasitesi hesaplanırken plastik limitin üzerinde olacak şekilde emniyetli uzama oranı ve azaltılmış elastisite modülü aşağıda gösterildiği şekilde uygulanır:

1-Çelik Boru : Emniyetli uzama oranı $\varepsilon_0 = 3[\%]$

Azaltılmış elastisite modülü..... $\bar{E} = 3,0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

2-Esnek Font Boru : İzin verilen uzama oranı $\varepsilon_0 = 2[\%]$

Azaltılmış elastisite modülü..... $\bar{E} = 3,0 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$

3-Polietilen Boru : İzin verilen uzama oranı $\varepsilon_0 = 20[\%]$

Azaltılmış elastisite modülü..... $\bar{E} = 3,0 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$

Eğer çelik ve düktil font borular için azaltılmış elastisite modülü uygulanamaz ise uygulanan elastiklik bölgesindeki Young's modülü uygulanır. Bu durumda genelde değerler şöyledir:

Çelik Boru : $2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

Düktil Font Boru : $1,6 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$

Tanjant modülü (λE) değerini hesaplamak için kullanılacak λ katsayısı çelik için $\lambda = 7,1 \times 10^3$ olarak alınabilir.

(2) Açılma Kapasitesine Sahip Mekanik Ekler için Emniyetli Deplasman

Boruları birleştirmek için kaynak yerine kullanılan, açılma kapasitesine sahip mekanik ekler için emniyetli değerler olarak standartlarla tanımlanan deplasmanlar ya da borunun sızdırmasına sebep olacak, ağır hasar doğurabilecek deplasmanlar kullanılır.

3.4.2 Parçalı Boruların Değerlendirilmesi

Genel olarak, gömülü boru hatlarında sismik tehlikelerin çeşitli ana nedenleri vardır:

- a) sismik zemin sarsıntısının neden olduğu zemin yer değiştirmesi ve uzama oranları;
- b) zemin deformasyonları, örneğin yer yüzeyi çatlağı, yer oturması ve sıvılaşma sonucu oluşan yanılma;
- c) yapıyla birleşen kısımdaki göreceli yer değiştirme, v_b ;
- d) fay zonu boyunca zemin yer değiştirmesi ve fay kırılması.

Düktil demir borunun yüksek çekme dayanımı ve ek noktasında sahip olduğu uzama-kısalma ve dönme kapasitesi, bu tür boru hatlarına deprem esnasında yer hareketiyle birlikte davranma kabiliyeti vermektedir. Borunun kendisi üzerinde oluşan gerilmeler nispeten küçüktürler. Geçmişteki depremler sırasında oluşan hasarların çok azı boru gövdesinde oluşmuştur. Bu yüzden boru hattının deprem direnci göz önüne alınırken boru hattının zemin yer değiştirmelerini ve zemin uzama oranını ek yerinden ayrılmadan takip edip edemeyeceği önemlidir. Sismik sarsıntısının neden olduğu iç hidrodinamik basınçlar göz önüne alınmayacak derecede küçüktür. Diğer cins parçalı borularda da benzer yaklaşım düktil borular için burada tanımlanan yaklaşım kullanılmıştır. Temel farklılık borunun kendisine gelen gerilmelere dayanma kapasitesinde olacaktır.

Boru hatlarının deprem etkilerine karşı direncini kontrol ederken hesaplama, normal yükleme durumu (ölü yük ve normal hareketli yük) deprem etkisiyle birleştirilerek uygulanır (Şekil 3.55). Boru gövde gerilimi, ektaki uzama/kısalma değeri ve ek dönme açısı tepki yer değiştirme metodu ile hesaplanır. Deprem direnci, bu değerlerle emniyetli değerlerin karşılaştırılmasıyla kontrol edilir. Bu temel kriter Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10 Temel deprem direnci kontrol kriteri

Yükleme durumu	Kriter	
Deprem hareketi yüklemesi ve normal yükleme	Boru gövde gerilimi	\leq Borunun emniyet gerilmesi
	Ek uzama/kısalma değeri	\leq Boru ekinin emniyetli uzama/kısalma değeri
	Ekin dönme açısı	\leq Boru ekinin emniyetli dönme açısı

Zeminin yatay yer değiştirme miktarı, Denklem (3.10) 'da görüldüğü gibi hesaplanır:

$$U_h(x) = \left(\frac{T_G}{2\pi} \right)^2 \cdot a \cdot \cos \frac{\pi \cdot x}{2H} \quad (3.10)$$

$U_h(x)$ zemin yüzeyinden x m derinlikte ki, borunun orta çizgisine olan, zeminin yatay yer değiştirme miktarı, (birimi m);

x zemin yüzeyinden derinlik, (birimi m);

T_G yer altındaki tabakanın baskın periyodu, (birimi s, saniye);

a tasarım için zemin yüzeyindeki ivme, her saniye karedeki metre cinsinden (birimi m/s^2);

H yer altındaki tabakanın kalınlığı, (birimi m);

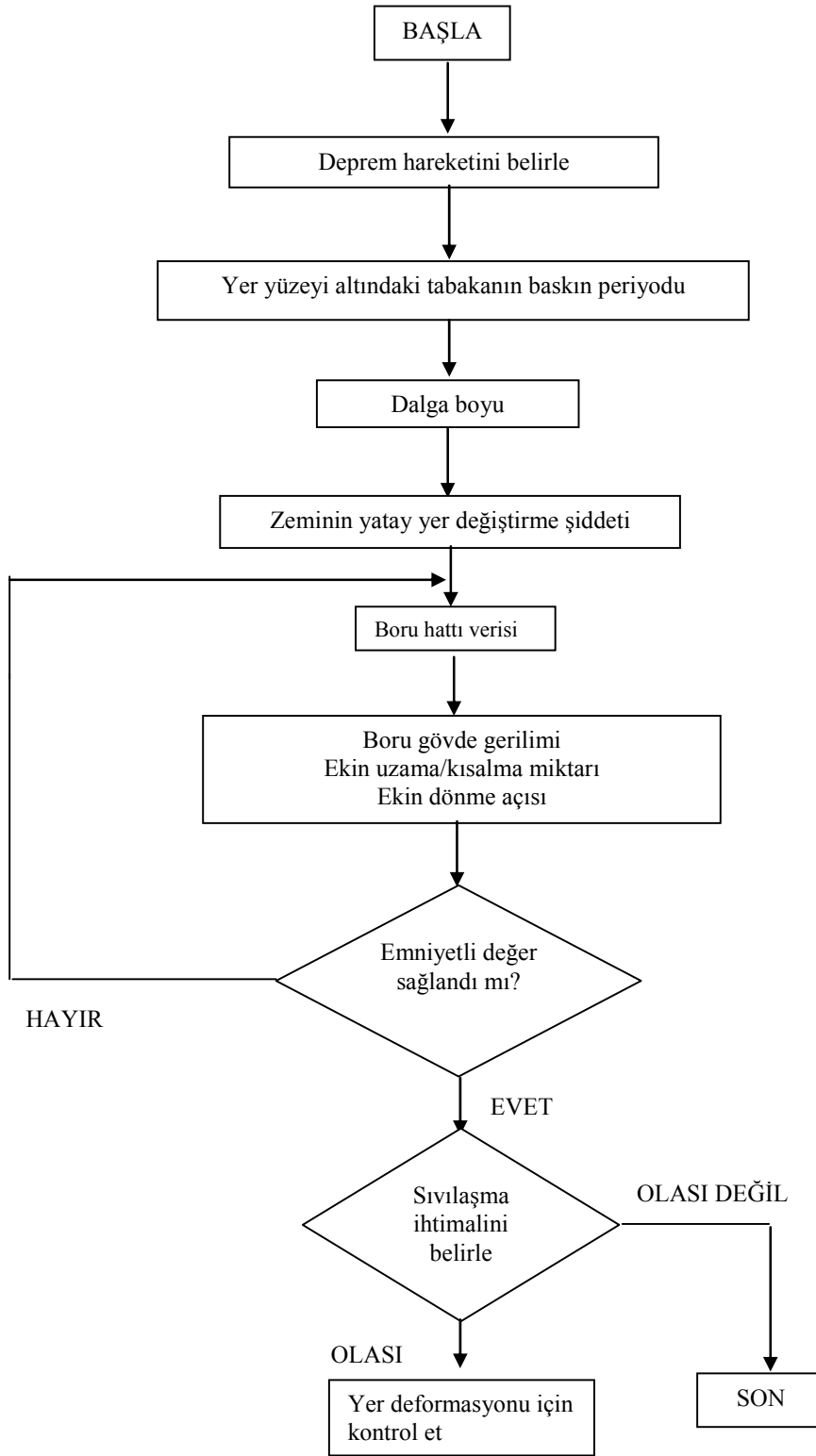
Boru gövde gerilmesi, Denklem (3.11), (3.12) ve (3.13) 'de görüldüğü gibi hesaplanır.

Eksenel gerilme:

$$\sigma_L = \xi_1 \cdot \alpha_1 \cdot \frac{\pi \cdot U_h(x)}{L} \cdot E \quad (3.11)$$

Eğilme gerilmesi:

$$\sigma_B = \xi_2 \cdot \alpha_2 \cdot \frac{2\pi^2 \cdot D \cdot U_h(x)}{L^2} \cdot E \quad (3.12)$$



Şekil 3.55 Gömülü boru hatlarında deprem direnci hesabı için akış diyagramı

Birleşik gerilme:

$$\sigma_x = \sqrt{3,12 \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2} \quad (3.13)$$

σ_L, σ_B	sırasıyla aksenal ve eğilme gerilmesi (birimi Pascal, Pa);
σ_x	aksenal ve eğilme gerilmesinin birleşimi (birimi Pascal, Pa);
ξ_1	açılabilen esnek ekler için aksenal gerilme düzeltme faktörü;
ξ_2	açılabilen esnek ekler için eğilme gerilmesi düzeltme faktörü
α_1, α_2	sırasıyla boru ekseni ve dikey doğrultulardaki zemin yer değiştirilmelerinin transfer katsayıları
$U_h(x)$	zemin yüzeyinden x metre derinlikte, zeminin yatay yer değiştirme büyüklüğü, (birimi m);
L	dalga boyu, (birimi m);
D	gömülü boru hattının dıştaki çapı, (birimi m);
E	gömülü boru hattının elastisite modülü, (birimi Pascal, Pa);

Boru aksenal doğrultusundaki ekin uzama/kısalma miktarının hesaplanmasında Denklem (3.14) kullanılabilir:

$$u = \pm \varepsilon_G \cdot l \quad (3.14)$$

u	boru aksenal doğrultusundaki ekin uzama/kısalma miktarı, (birimi m);
ε_G	zemin uzama oranı= $\frac{\pi \cdot U_h}{L}$
L	dalga boyu, (birimi m);
U_h	zemin yüzeyinden x metre derinlikte, zeminin yatay yer değiştirme büyüklüğü, (birimi m);
l	boru uzunluğu, (birimi m);

Ek dönme açısı Denklem (3.15) kullanılarak hesaplanır:

$$\theta = \pm \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot l \cdot U_h}{L^2} \quad (3.15)$$

θ	Ek dönme açısı, (birimi radyan, rad);
l	boru uzunluğu, (birimi m);
U_h	zemin yüzeyinden x metre derinlikte, zeminin yatay yer değiştirme büyüklüğü, (birimi m);
L	dalga boyu, (birimi m);

Yukarıda gösterilen, ekin uzama/kısalma miktarının tepki yer değiştirme metodunca hesaplanması gibi bağıntılar zeminin üniform bir şekilde deformasyon yapacağı varsayımına dayanır. Bununla birlikte, deprem sırasında uzama oranları bölgesel olarak yoğunlaşabileceğinden (zeminin heterojenliğinden) ve bu değerlerin hesaplama sonucundan daha büyük olabilme ihtimaline karşı, belirli güvenlik sınır değeri – örneğin, iki katı kadar önerilmektedir.

Deprem sırasında sıvılaşma ile birlikte zemin çatlakları, zemin oturması ve iksa duvarları yakınında ve eğimli zeminlerdeki yanal yer değiştirme gibi geniş ölçekli yer deformasyonları meydana gelebilir. Bu tür yer deformasyonları gömülü boru hatlarını etkileyebileceğinden, bu ihtimal göz önünde bulundurulmalı ve boru hattı tasarımında hesaba katılmalıdır.

Sıvılaşma ihtimali, aşağıdaki durumlar mevcudiyetinde zemin tabakaları için değerlendirilebilir:

- a) doymun zemin \leq zemin yüzeyinden 25 m;
- b) ortalama dane çapı, D_{50} , \leq 10 mm;
- c) küçük daneli parçacıkların ağırlığının muhtevası (dane çapıyla \leq 0,075 mm) \leq 30 %

Sıvılaşma ihtimali, sıvılaşma direnç katsayısı, F_L , Denklem (3.16) ile hesaplanarak değerlendirilebilir:

$$F_L = R / L \quad (3.16)$$

R sıvılaşmaya karşı direnci gösteren dinamik kayma mukavemeti oranı;

L depremden dolayı zeminde oluşan kayma gerilmesini gösteren, deprem sırasındaki zemin kayma gerilmesi oranı.

$F_L < 1,0$, olduğu zaman tabaka sıvılaşmış olarak düşünülür.

Sıvılaşmanın neden olduğu, yanal yer değiştirme ve zemin çökmesi gibi yer deformasyonu için boru hattının temel direnci, borunun ektaki uzama/kısalma ve dönme ile zemin hareketini absorbe edip edemeyeceğinin araştırılmasıyla kontrol edilebilir.

Boruları yumuşak zemine gömerken, zemin oturmasının miktarı; boruların ağırlığının, borulardaki su ağırlığının ve dolgunun toprak basıncının göz önüne alınmasıyla çukur tabanında artan toprak basıncının hesaplanmasıyla Denklem (3.17), (3.18), (3.19) kullanılarak belirlenir:

$$\delta_c = \frac{e_0 - e}{1 + e_0} \cdot H_c \quad (3.17)$$

$$\delta_c = m_v \cdot \Delta P \cdot H_c \quad (3.18)$$

$$\delta_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot H_c \cdot \log \frac{P + \Delta P}{p} \quad (3.19)$$

δ_c konsolidasyon oturması, (birimi m);

e_0 zeminin başlangıç boşluk oranı;

e yüklemeden sonraki boşluk oranı;

H_c konsolide olmuş tabakaların kalınlığı, (birimi m);

m_v zemin hacim değişim oranı (hacim sıkışma katsayısı), (birimi m^2 / N);

C_c zemin sıkışma indisi

P zemin ön yüklemesi, (birimi N / m^2);

ΔP farklı derinliklerde ilave yükleme etkisi, (birimi N / m^2);

$$\Delta P = I_\sigma \cdot \Delta W$$

I_σ derinlik etkisi faktörü

ΔW ilave yük, (birimi N / m^2);

Islah edilmiş zeminler gibi yumuşak zeminlerdeki oturmalar için; güvenlik, borunun ekteki uzama/kısalma ve dönme ile zemin hareketini absorbe edip edemeyeceğinin araştırılmasıyla kontrol edilebilir.

Boru ekinde uzama/kısalma, boru ekinin çekilmeye karşı direnci ve ekteki dönme hesaplarının sonuçlarına göre boru hatları sistemi bütün borular için aynı ek türünü ya da alternatif olarak boru hatları sistemini oluşturan bileşenleri gruplayarak tasarlanabilir. Gerekirse boru hatları sistemi bileşenleri Tablo 3.11'te verildiği gibi sınıflandırılabilir:

Tablo 3.11 Boru hattı bileşenlerinin sınıflandırılması

Parametre	Sınıf	Öge performansı
Ekin uzama/kısalma performansı	S-1	$\pm 1 \% L$ veya fazlası
	S-2	$\pm 0.5 \% \leq L < \pm 1 \%$
	S-3	$\leq \pm 0.5 \% \text{ of } L$
Boru ekinin çekmeye karşı direnci	A	$3*d$ kN veya fazlası
	B	1,5 kN ile 3 kN arası
	C	0,75 kN ile 1,5 kN arası
	D	$0,75*d$ kN dan az
Ek dönme açısı	M-1	$\pm 15^0$ veya fazlası
	M-2	$\pm 7,5^0$ ile $\pm 15^0$ arası
	M-3	$\pm 7,5^0$ den az
L : boru bileşen uzunluğu, (birimi mm)		
d: borunun nominal çapı, (birimi mm)		

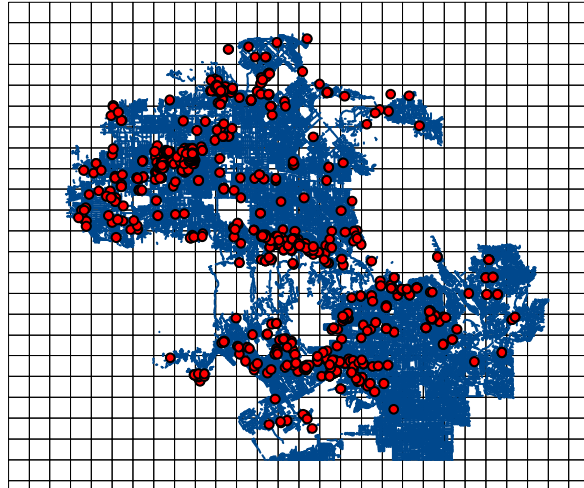
4. BULGULAR

4.1 Hasar İlişkileri

Farklı PGV aralıkları, grid boyutları ve eş PGV konturları için hasar ilişkileri bu bölümde sunulmuş ve karşılaştırılmıştır. Grid 4 km için sonuçlar yöntemin anlatıldığı bir önceki bölümde sunulmuştur.

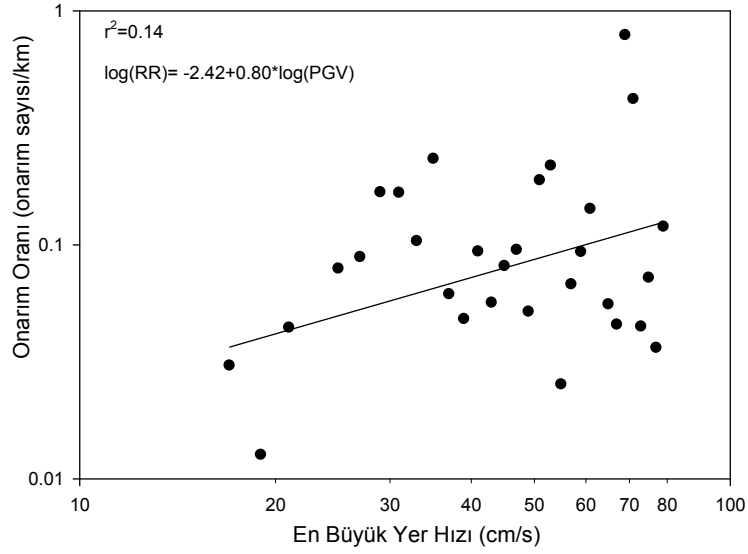
4.1.1 Farklı PGV aralıkları ve grid boyutları için hasar ilişkileri

4.1.1.1 Grid 2x2 km için hasar ilişkileri

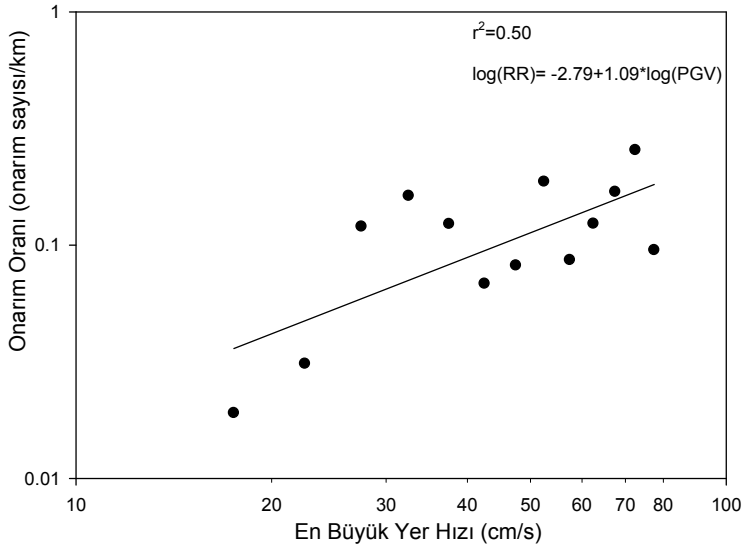


Şekil 4.1 Grid 2x2 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi

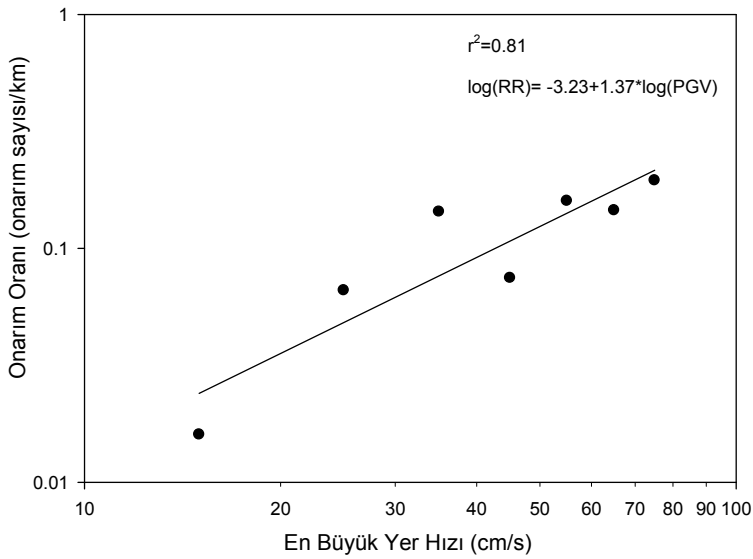
Şekil 4.1'de grid 2x2 km üzerinde boru hasarları ve borular görülmektedir. PGV değeri 80 cm/s'yi geçmemek koşuluyla toplam 134 gride hasar ve 277 gride ise boru bulunmaktadır. Toplam 734 hasar ve 7391.34 km uzunluğundaki borunun, 641 hasar ve 6806.78 km uzunluğundaki boru kısmı 80 cm/s hızı geçmemiştir. Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20 PGV aralıkları için hasar ilişki veri ve grafiklerini göstermektedir.



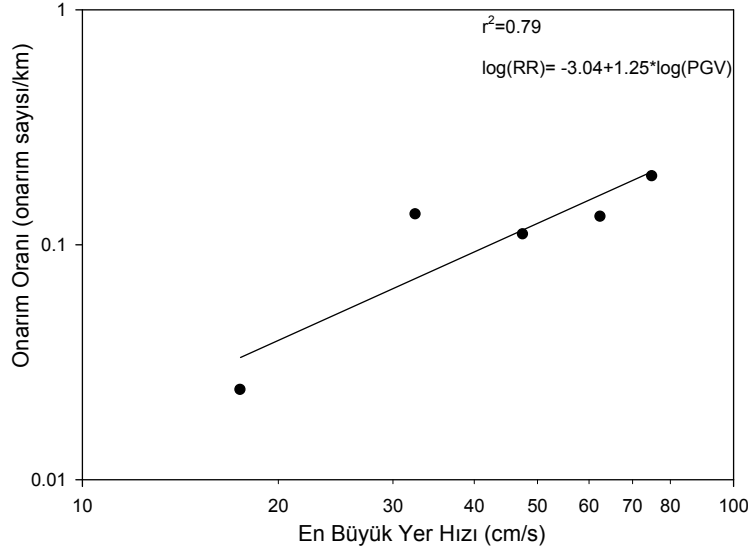
Şekil 4.2 2 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi



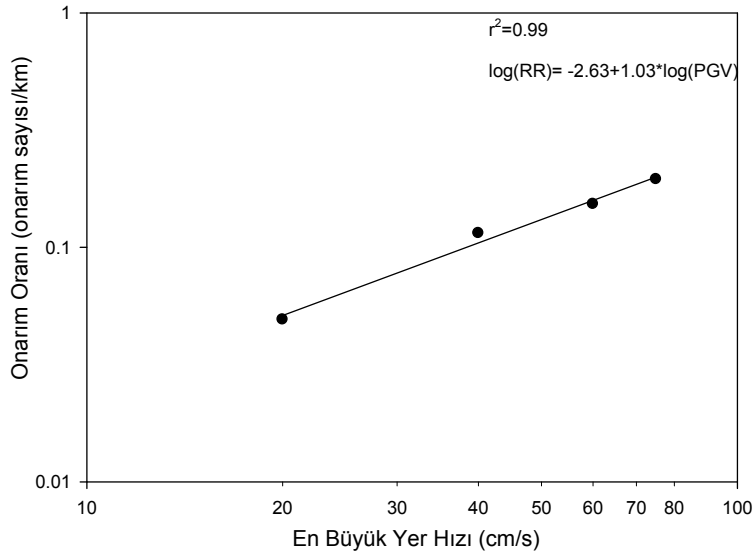
Şekil 4.3 5 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi



Şekil 4.4 10 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi



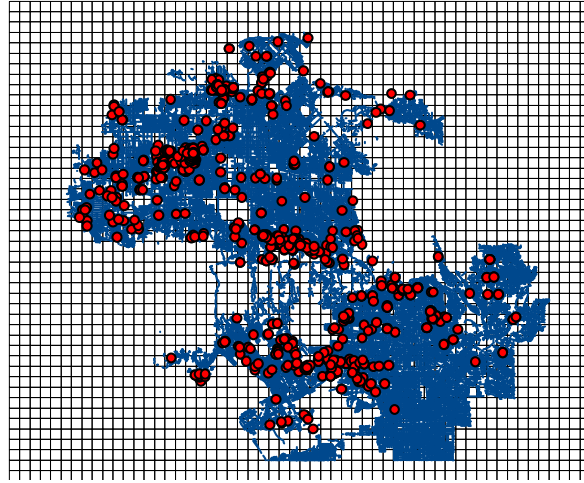
Şekil 4.5 15 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi



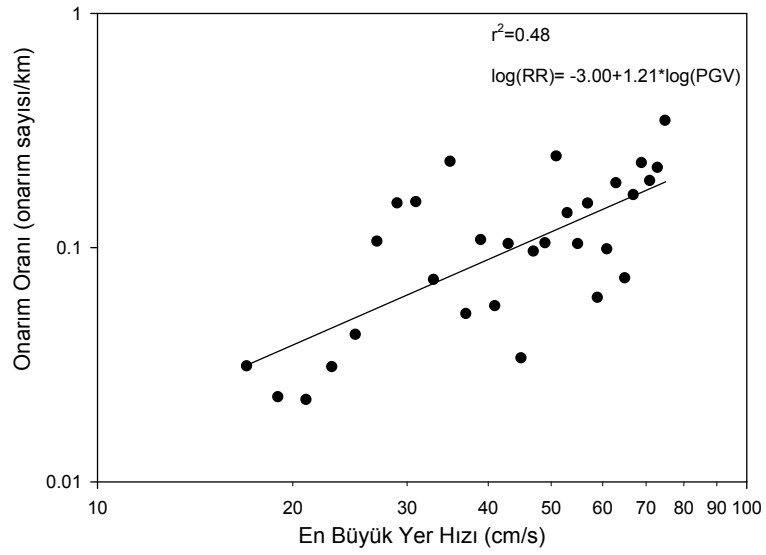
Şekil 4.6 20 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi

4.1.1.2 Grid 1x1 km için hasar ilişkileri

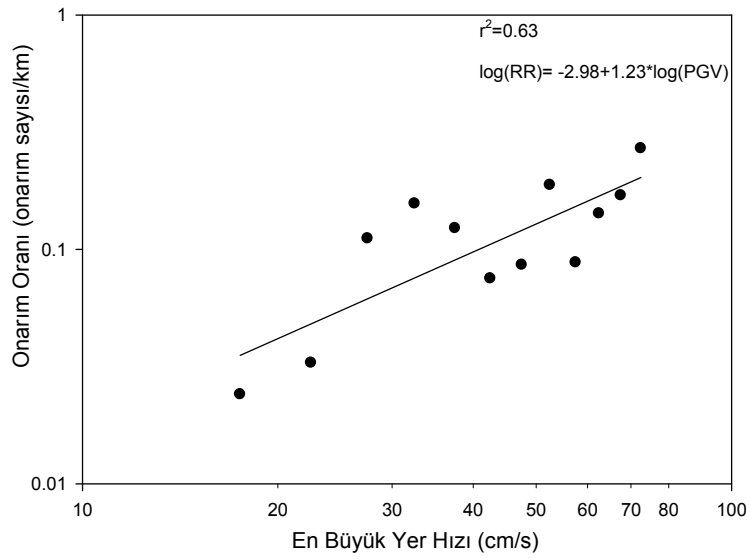
Şekil 4.7'de grid 1x1 km üzerinde boru hasarları ve borular görülmektedir. PGV değeri 80 cm/s'yi geçmemek koşuluyla toplam 211 griddede hasar ve 954 griddede ise boru bulunmaktadır. Toplam 734 hasar ve 7391.34 km uzunluğundaki borunun, 632 hasar ve 6807.60 km uzunluğundaki boru kısmı 80 cm/s hızı geçmemiştir. Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20 PGV aralıkları için hasar ilişki veri ve grafiklerini göstermektedir.



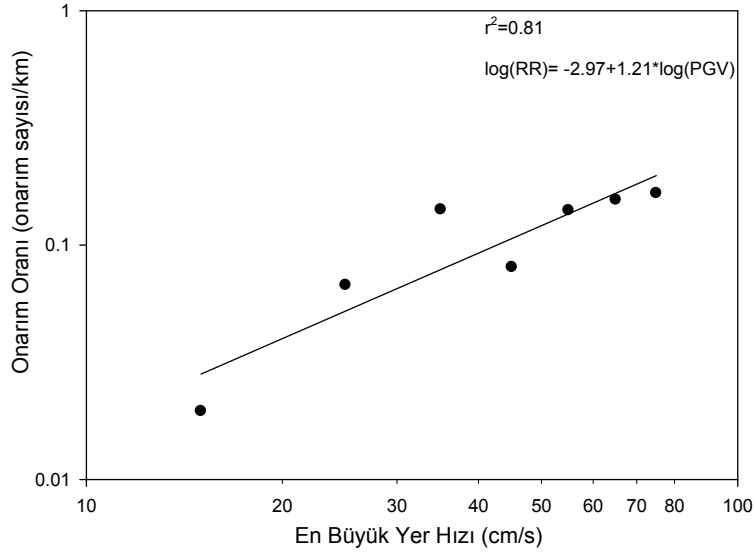
Şekil 4.7 Grid 1x1 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi



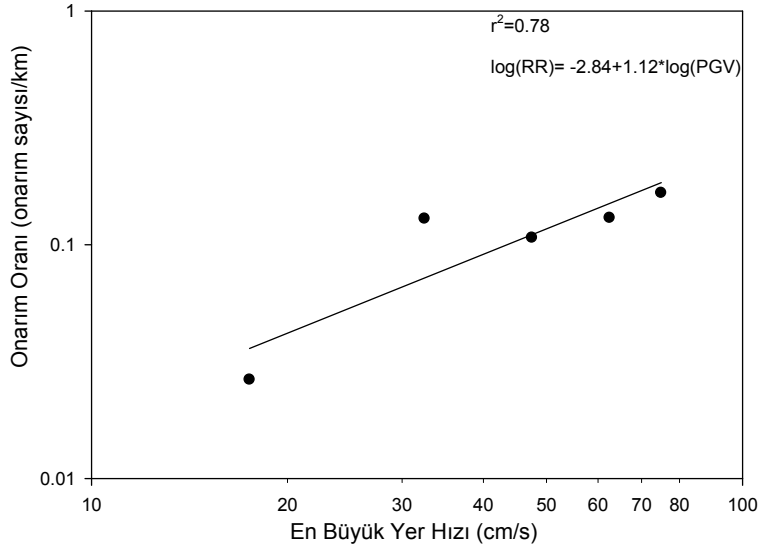
Şekil 4.8 2 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi



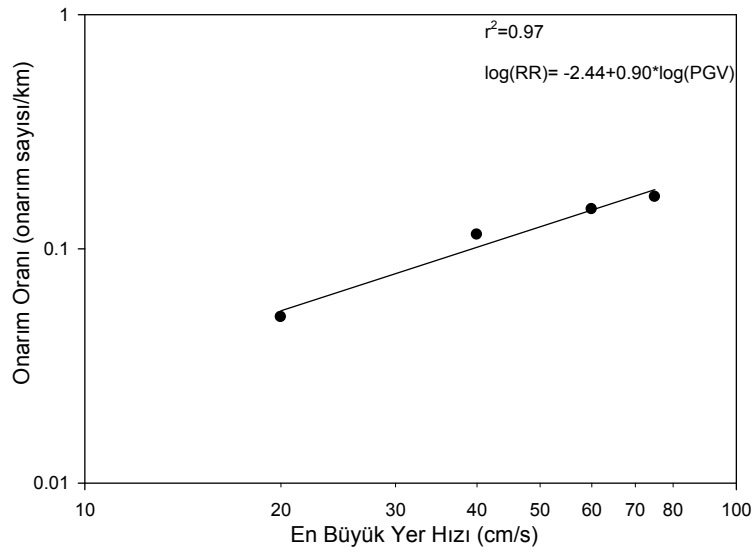
Şekil 4.9 5 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi



Şekil 4.10 10 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi

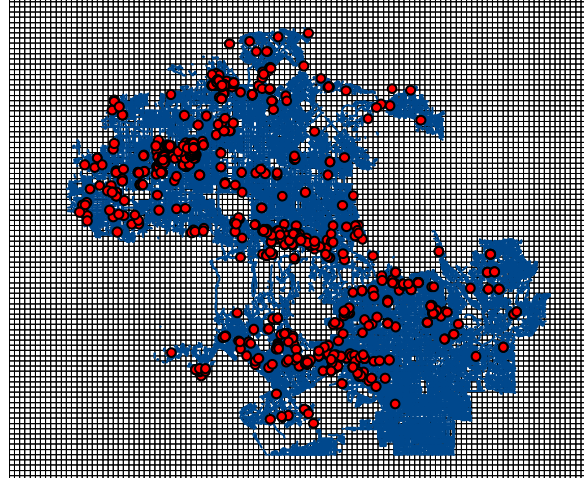


Şekil 4.11 15 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi



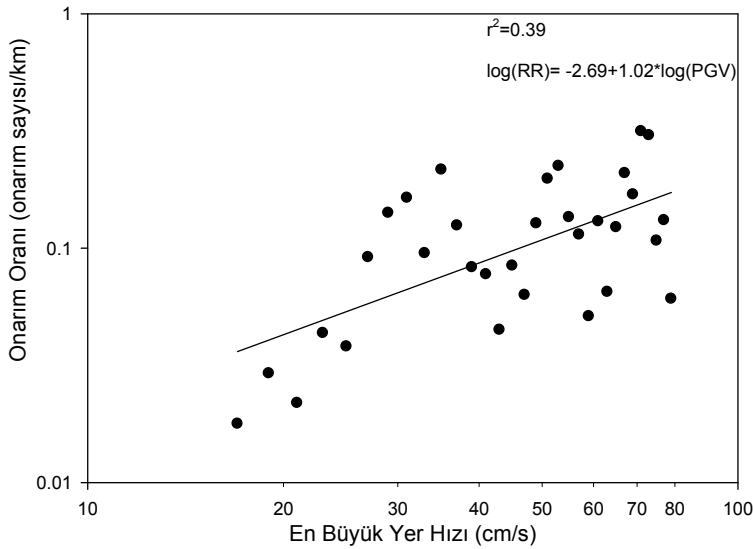
Şekil 4.12 20 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi

4.1.1.3 Grid 0.5x0.5 km için hasar ilişkileri

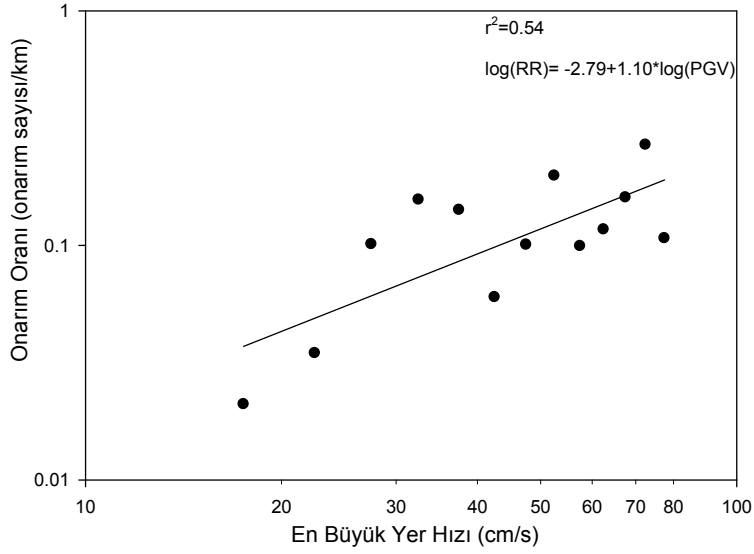


Şekil 4.13 Grid 0.5x0.5 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi

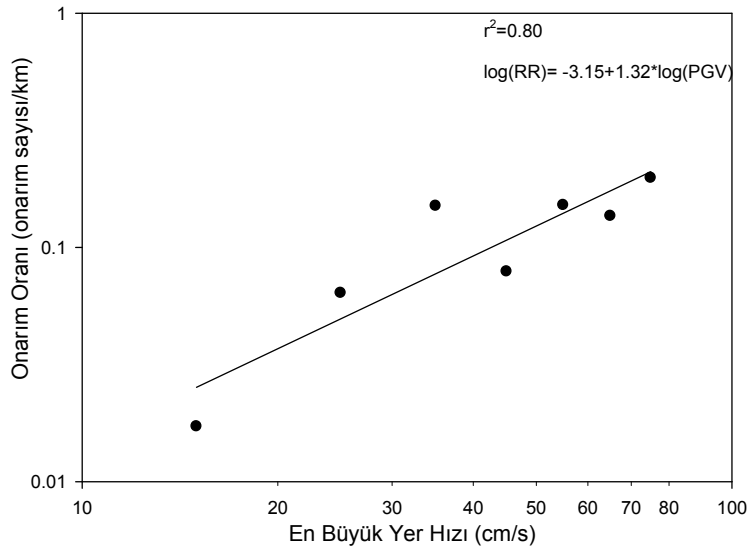
Şekil 4.13'da grid 0.5x0.5 km üzerinde boru hasarları ve borular görülmektedir. PGV değeri 80 cm/s'yi geçmemek koşuluyla toplam 312 griddede hasar ve 3375 griddede ise boru bulunmaktadır. Toplam 734 hasar ve 7391.34 km uzunluğundaki borunun, 635 hasar ve 6807.45 km uzunluğundaki boru kısmı 80 cm/san hızı geçmemiştir. Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20 PGV aralıkları için hasar ilişki veri ve grafiklerini göstermektedir.



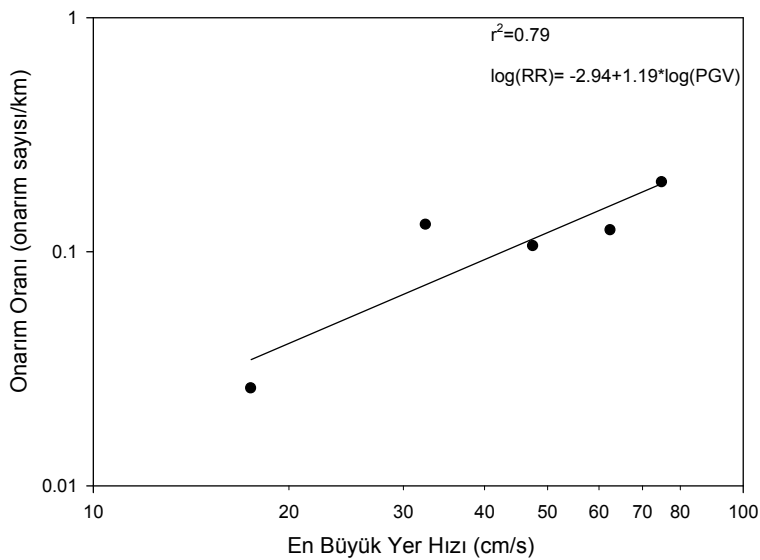
Şekil 4.14 2 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi



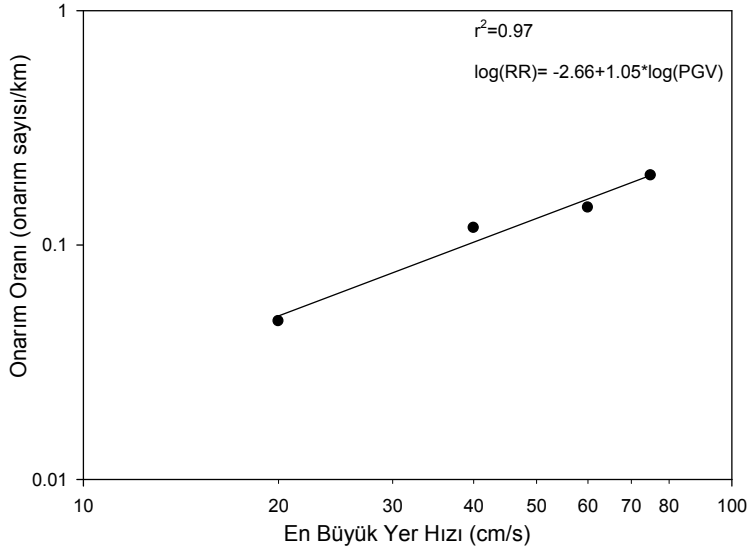
Şekil 4.15 5 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi



Şekil 4.16 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi



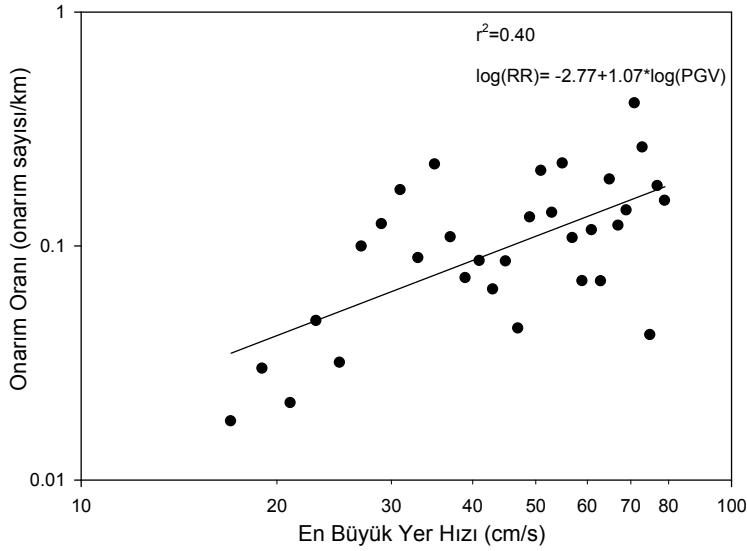
Şekil 4.17 15 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi



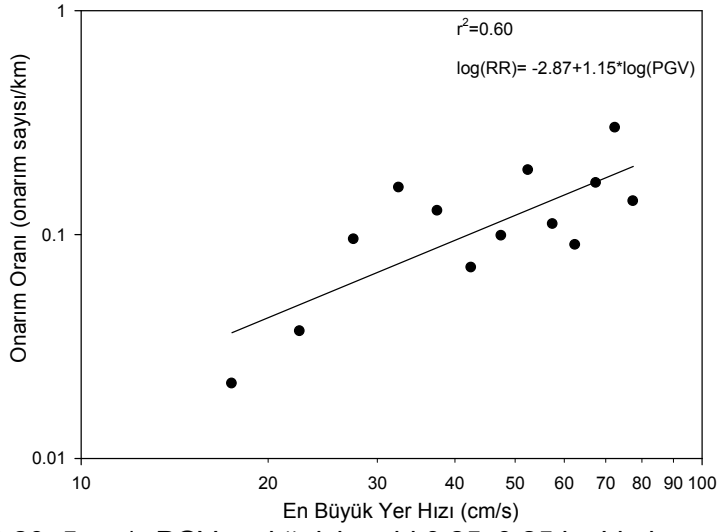
Şekil 4.18 20 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi

4.1.1.4 Grid 0.25x0.25 km için hasar ilişkileri

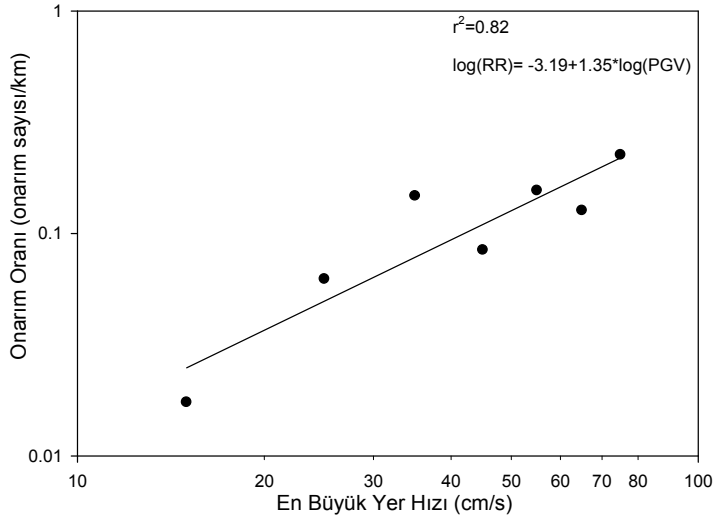
PGV değeri 80 cm/s'yi geçmemek koşuluyla toplam 442 griddede hasar ve 11872 griddede ise boru bulunmaktadır. Toplam 734 hasar ve 7391.34 km uzunluğundaki borunun, 640 hasar ve 6809.15 km uzunluğundaki boru kısmı 80 cm/s hızı geçmemiştir. Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23 sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20 PGV aralıkları için hasar ilişki veri ve grafiklerini göstermektedir.



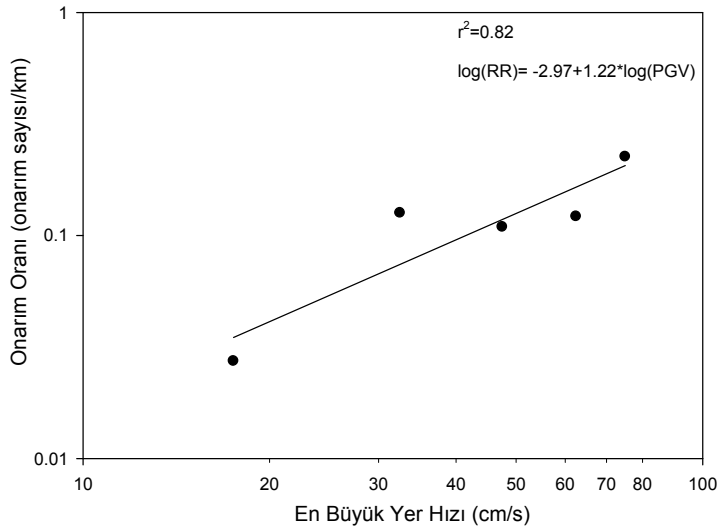
Şekil 4.19 2 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi



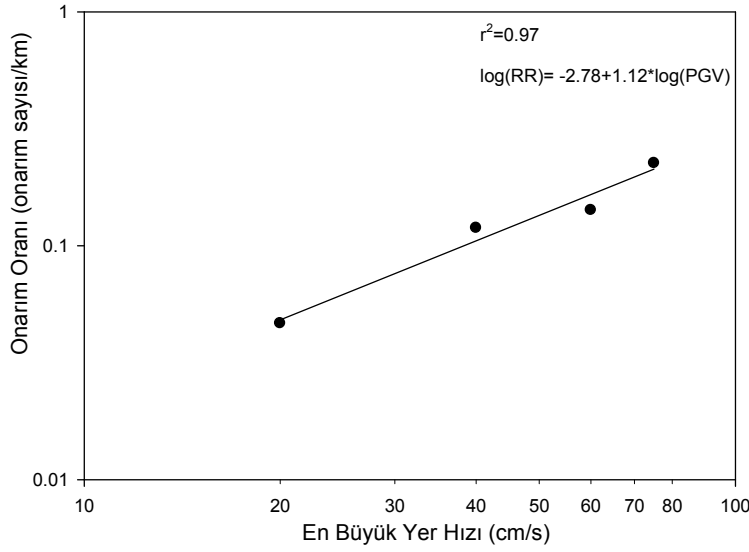
Şekil 4.20 5 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km’de hasar ilişkisi



Şekil 4.21 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km’de hasar ilişkisi



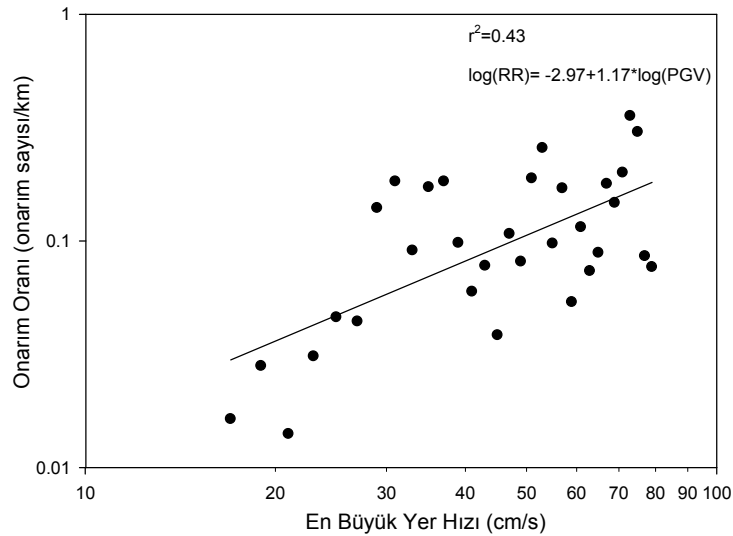
Şekil 4.22 15 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km’de hasar ilişkisi



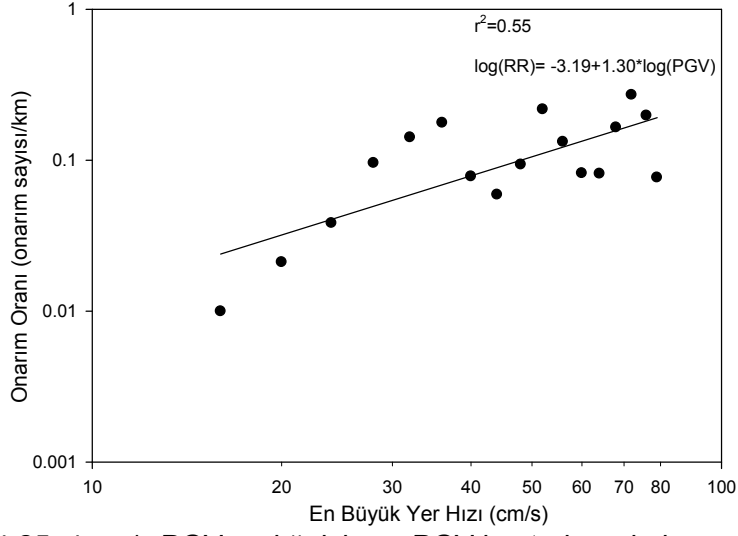
Şekil 4.23 20 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi

4.1.1.5 Eş PGV konturları için hasar ilişkileri

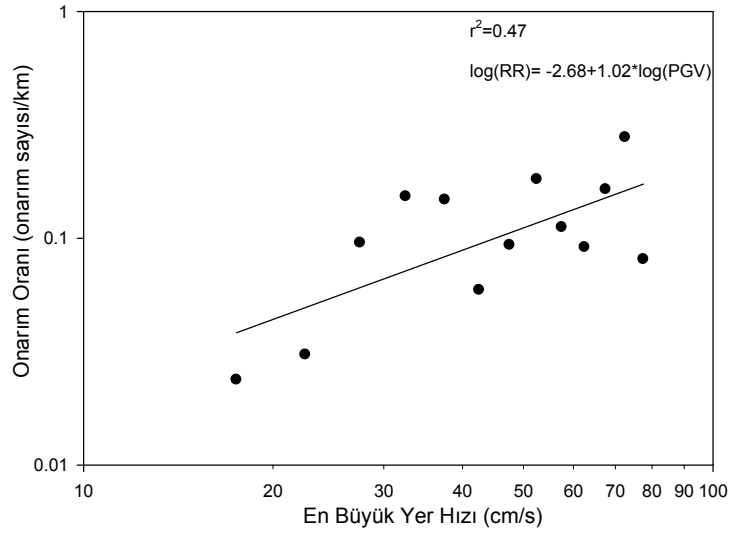
Daha önce Şekil 3.1'de sunulan 1994 Northridge depreminden sonra boru hattı üzerinde oluşan onarım yerlerinin eş PGV konturlarıyla ArcMap ortamında çakıştırılması görülmektedir. PGV konturları için hasar ilişkileri çıkartılırken ShakeMap haritasından alınan PGV değerleri direk olarak hasarlara ve borulara atanmıştır. Böylece her hasar ve borunun PGV değerini elde ettikten sonra hasarlar ve boru uzunlukları belli PGV aralıkları için gruplandırılmış ve hasar ilişkileri çıkartılmıştır. Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32, Şekil 4.33, ve Şekil 4.34 sırasıyla 2, 4, 5, 8, 10, 12, 15, 16, 20, 24 ve 28 cm/s PGV aralıkları için hasar ilişki grafiklerini göstermektedir. Eş PGV konturları için hasar ilişkileri çıkartılırken PGV değeri 80 cm/s'yi geçmemek koşuluyla toplam 631 hasar ve 6778.81 km font boru üstünde değerlendirmeler yapılmıştır.



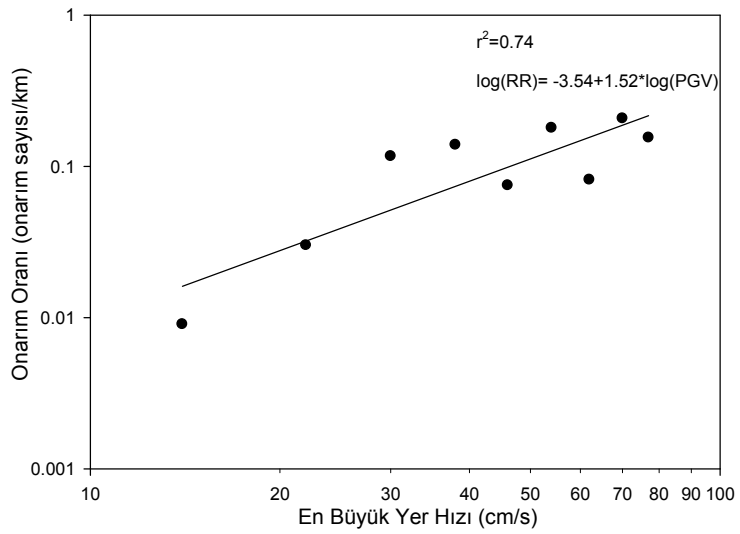
Şekil 4.24 2 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)



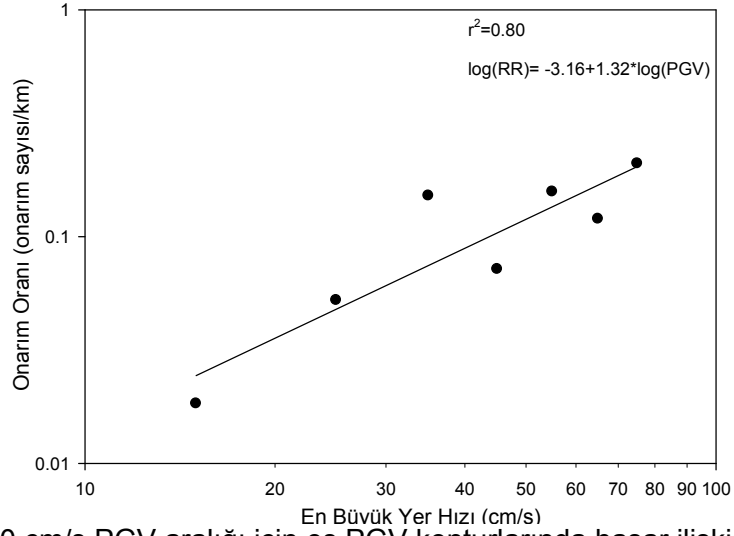
Şekil 4.25 4 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi



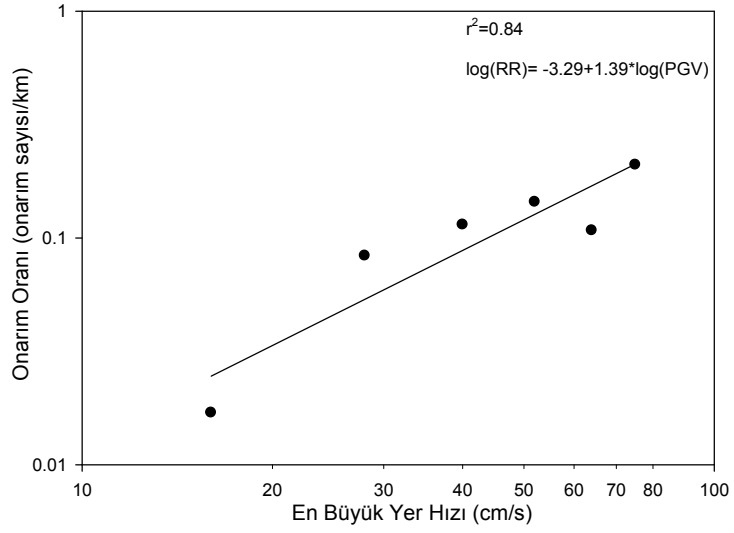
Şekil 4.26 5 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)



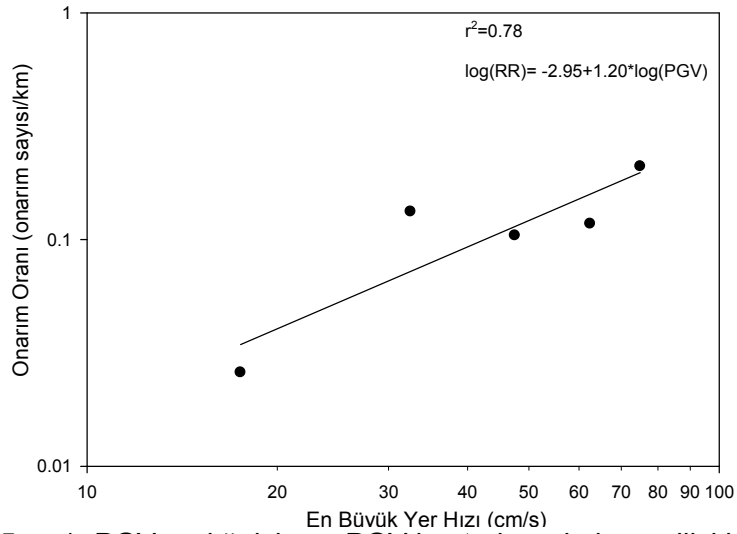
Şekil 4.27 8 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi



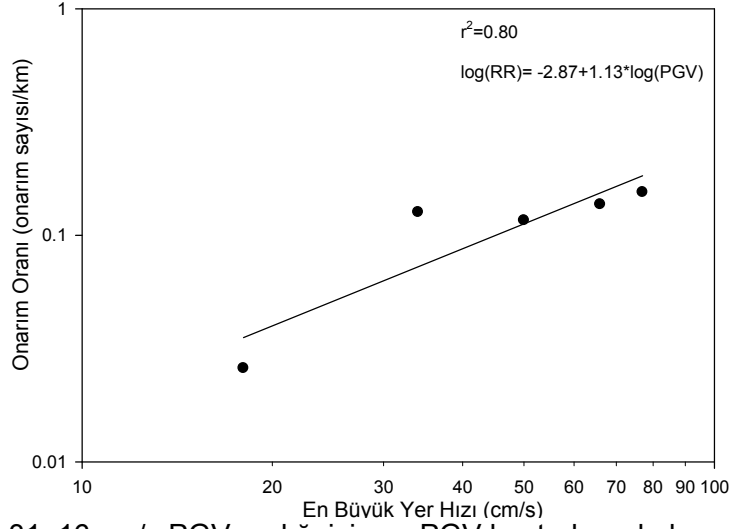
Şekil 4.28 10 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)



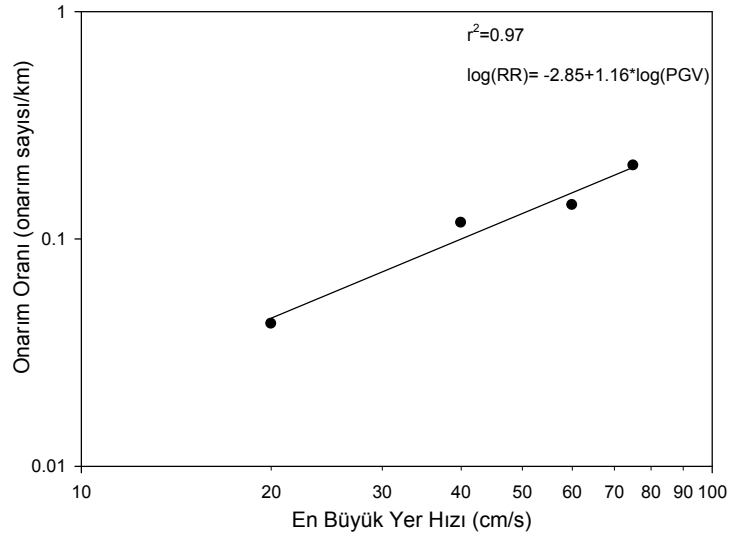
Şekil 4.29 12 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi



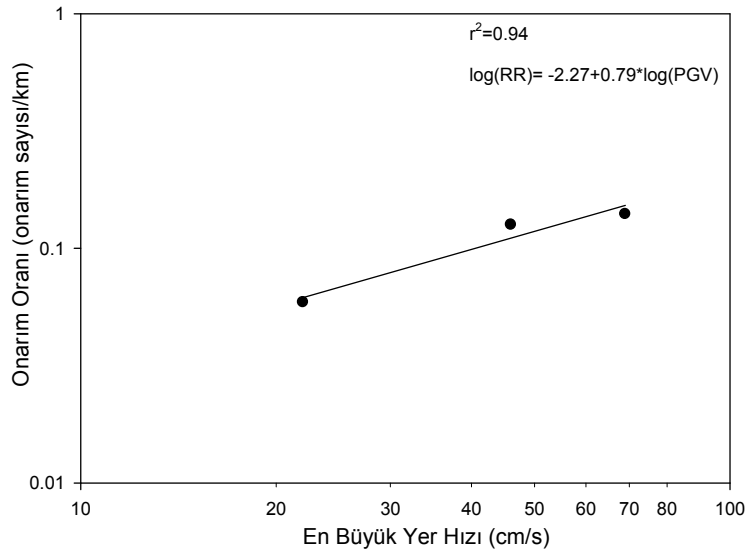
Şekil 4.30 15 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)



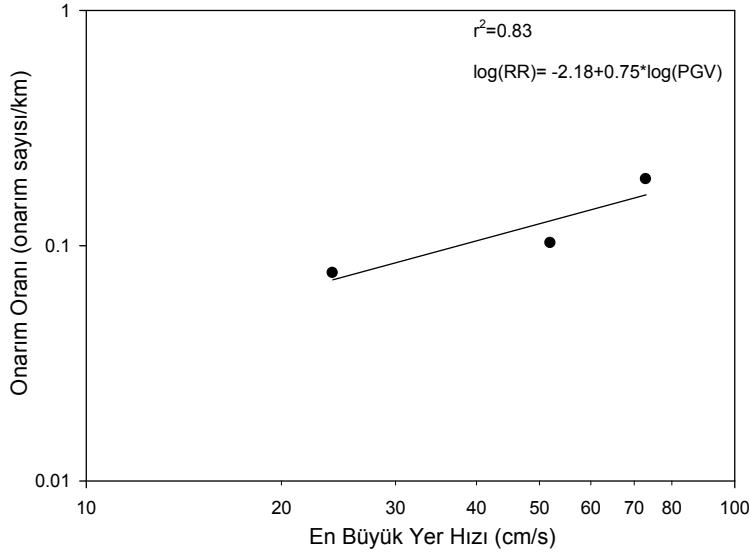
Şekil 4.31 16 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi



Şekil 4.32 20 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)



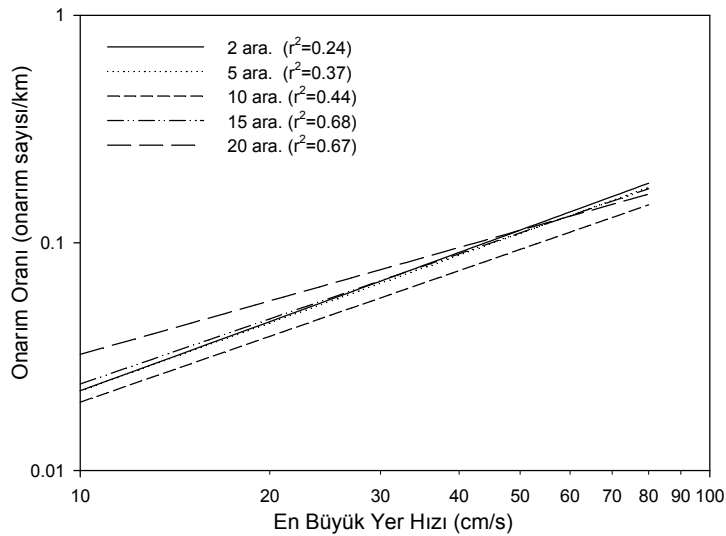
Şekil 4.33 24 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi



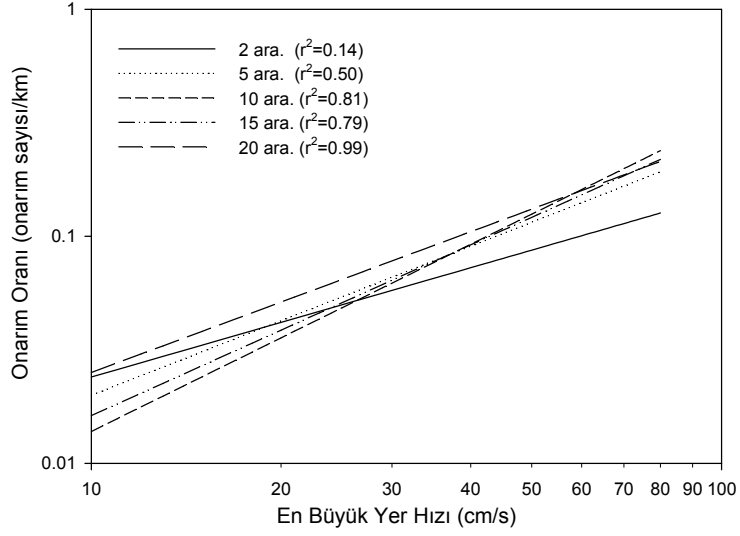
Şekil 4.34 28 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi

4.1.2 Hasar ilişkilerinin karşılaştırılması

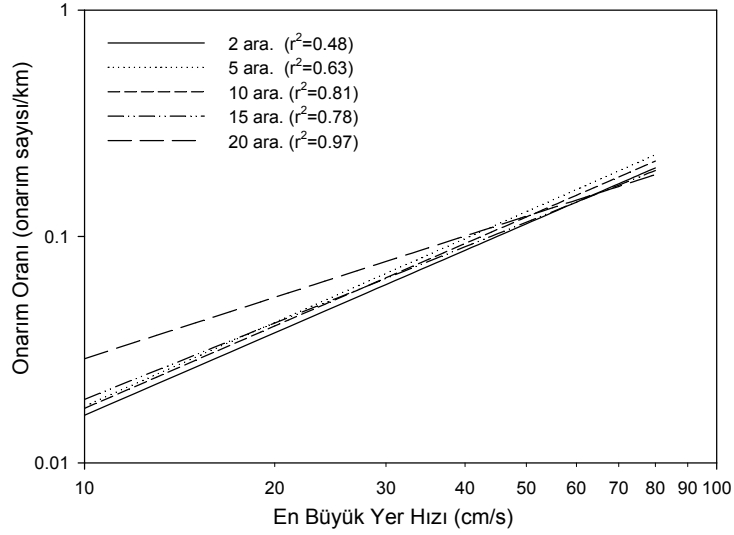
Bu bölümde farklı PGV aralıkları ve farklı grid boyutlarının hasar ilişkilerine etkisi değerlendirilmiştir. Aynı grid için farklı PGV aralıklarının hasar ilişkileri üzerinde etkisi Şekil 4.35'ten başlayarak, Şekil 4.39 dahil gösterilmiştir. Gridlerde 2 cm/s ve 5 cm/s PGV aralıklarından 10 cm/s PGV aralığına geçerken r^2 değeri gözle görülür bir şekilde artmaktadır. Bu artış 10 cm/s'den 15 cm/s'ye geçerken gözlenmemektedir. Bu PGV değerleri arasında r^2 değerleri birbirlerine oldukça yakındır. PGV aralığı 20 cm/s olduğunda ise r^2 değeri daha küçük PGV aralıklarına göre en yüksek değerine ulaşmaktadır. Diğer bir gözlemede genel olarak PGV arttıkça aynı grid değeri için hasar ilişkilerinin birbirine yaklaşmasıdır. Özellikle PGV değeri yaklaşık olarak 30 cm/s'nin üzerinde olduğu durumda ilişkiler kayda değer bir şekilde yakınlaşmış durumdadırlar.



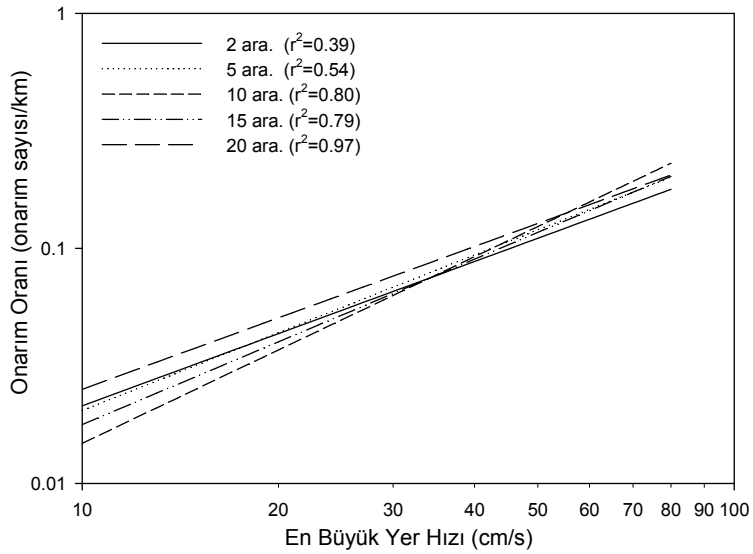
Şekil 4.35 Çeşitli PGV aralıkları için grid 4x4 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması



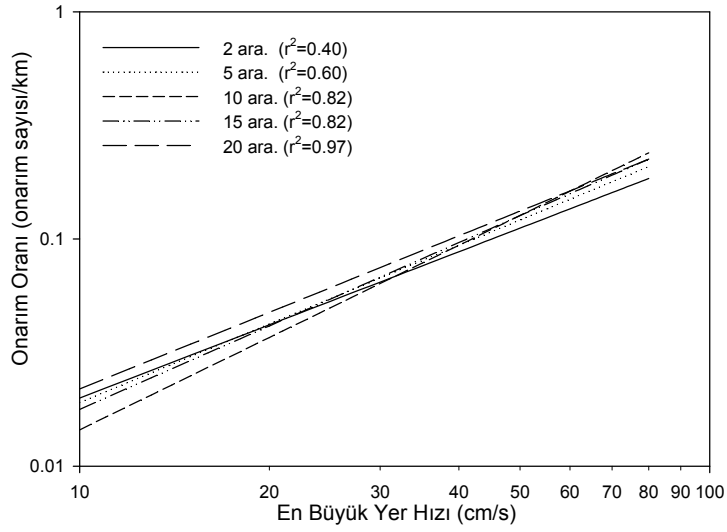
Şekil 4.36 Çeşitli PGV aralıkları için grid 2x2 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması



Şekil 4.37 Çeşitli PGV aralıkları için grid 1x1 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması

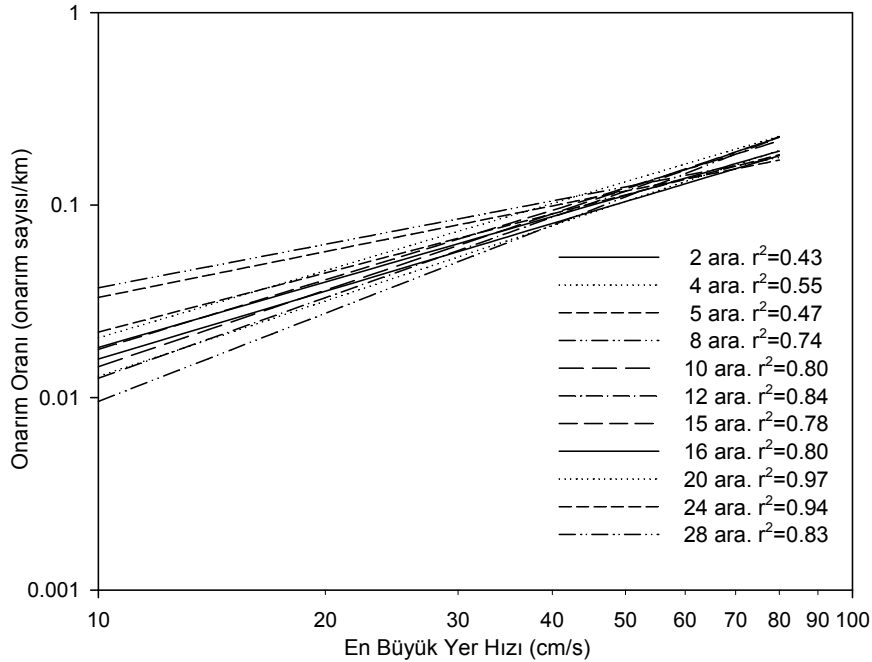


Şekil 4.38 Çeşitli PGV aralıkları için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması



Şekil 4.39 Çeşitli PGV aralıkları için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması

Şekil 4.40'de farklı PGV aralıklarının eş PGV konturları kullanılarak elde edilen hasar ilişkileri üzerinde etkisi görülmektedir. Eş PGV konturları için çıkartılan hasar ilişkilerinde 2cm/s'den 10 cm/s'ye kadar PGV aralığı büyüdükçe r^2 değerinde artış gridlerdeki duruma benzer şekilde görülmektedir. 10 cm/s'den büyük PGV aralıklarında r^2 değeri birbirine yakın, 20 cm/s aralığında ise gridlerde görüldüğü gibi r^2 değeri en yüksek değerine ulaşmıştır. Diğer bir gözlem de genel olarak PGV arttıkça aynı grid değeri için hasar ilişkilerinin birbirine yaklaşmasıdır. Özellikle PGV değeri yaklaşık olarak 30 cm/s'nin üzerinde olduğu durumda ilişkiler kayda değer bir şekilde yakınlaşmış durumdadırlar.

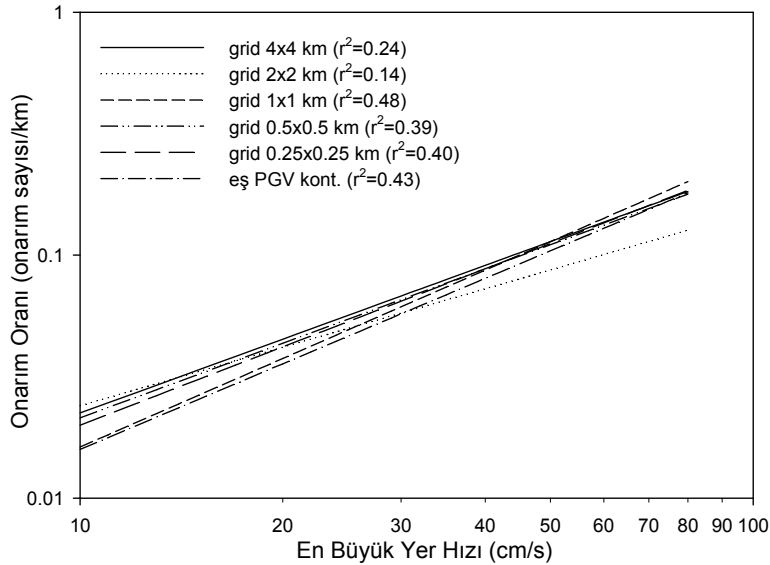


Şekil 4.40 Çeşitli PGV aralıkları için eş PGV konturları hasar ilişkileri karşılaştırması

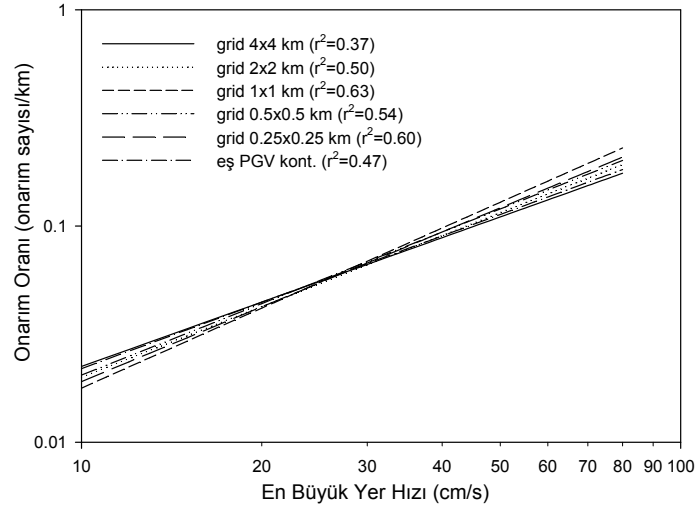
Şekil 4.41'den başlayarak, Şekil 4.45 dahil farklı grid boyutlarının ve eş PGV konturlarının, PGV aralıkları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. PGV aralığı 2 cm/s için r^2 değerleri grid

1x1 km, grid 0.5x0.5 km, grid 0.25x0.25 km ve eş PGV konturları için birbirlerine çok yakın olup grid boyutu arttıkça r^2 değerleri azalmaktadır. Bununla birlikte bu PGV aralığında elde edilen r^2 değerleri burada kullanılan bütün grid değerleri için düşük çıkmıştır. PGV aralığı 5 cm/s için bakıldığında ise r^2 değerlerinde PGV aralığı 2 cm/s'ye göre bir yükseliş olduğu gözlemlenmektedir. Farklı grid boyutları ve eş PGV konturları için r^2 değerleri biraz farklılık gösterse de hasar ilişki doğruları birbirlerine çok yakındırlar. 10 cm/s PGV aralığı için r^2 değerleri grid 4x4 km dışında birbirlerine çok yakın olup, hasar ilişki eğrileride benzerlik göstermektedir. Aynı sonuç 15 cm/s PGV aralığı için de geçerlidir. 20 cm/s PGV aralığı için r^2 değerleri grid 4x4 km dışında 1 değerine çok yakındır. Bu da veriye uyan neredeyse mükemmel bir eğriye işaret etmektedir.

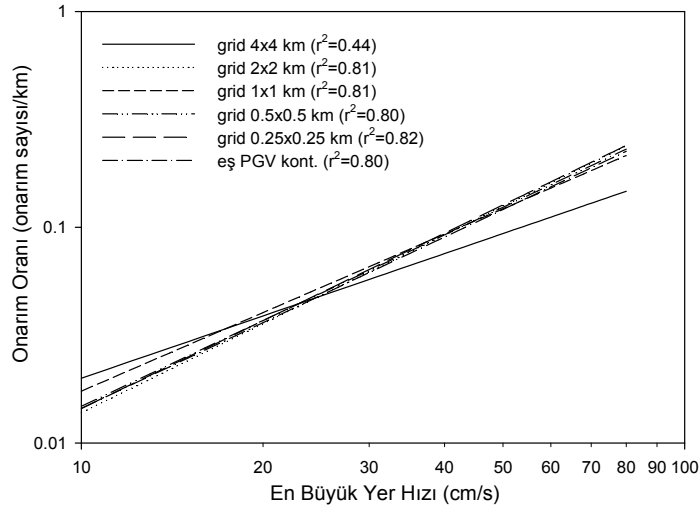
Genel olarak bakıldığında r^2 değerlerinin grid 4x4 km için bütün PGV aralıklarında en düşük kaldığı gözlenmektedir. Bu sonuçta, PGV değerlerinin yaklaşık 1,5 yatay ve 2 km düşey aralıklarla mevcut olan ShakeMap verilerinin 4 km grid içine düşen noktaların ortalaması (yaklaşık 4-6 nokta) olarak alınmasının rol oynadığı düşünülmektedir. Bu tespit, hasar ilişkileri geliştirilmesinde kuvvetli yer hareketi verilerinin elde edildiği mesafe aralıklarından daha geniş aralıkların kullanılmaması hususuna işaret etmektedir. PGV aralıklarındaki genel gözlem ise 8 cm/s altındaki aralıkların diğerlerine göre çok daha düşük r^2 değerleri ortaya çıkardığıdır. PGV aralığının 20 cm/s ve üstü olduğu durumlarda en yüksek r^2 değerleri ortaya çıkmasına rağmen çok genel bir gruplandırma olmasından dolayı kullanılması nadir olacaktır. Yüksek çıkan r^2 değerlerinin bu PGV aralığının az sayıda veri noktası üretmesinden kaynaklanabileceği gözönünde tutulmalıdır.



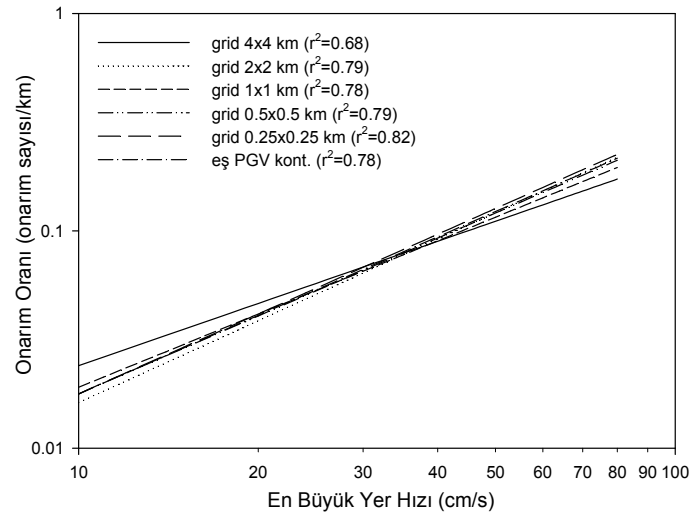
Şekil 4.41 2 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması



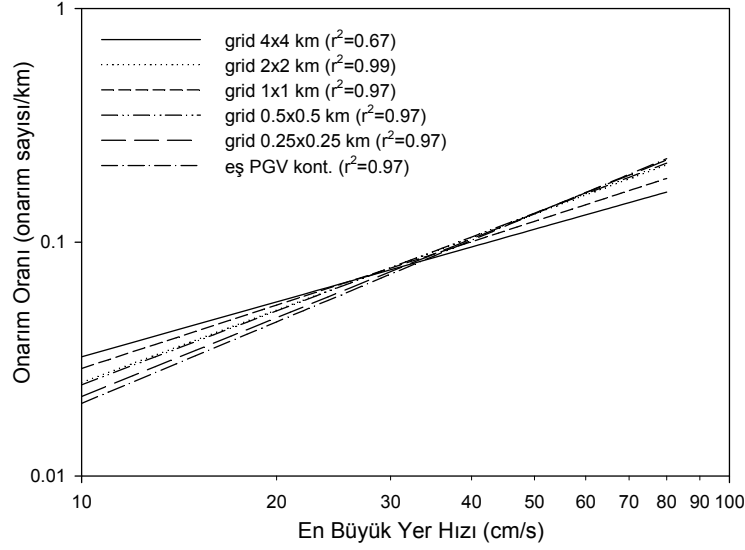
Şekil 4.42 5 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması



Şekil 4.43 10 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması



Şekil 4.44 15 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması



Şekil 4.45 20 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırılması

4.1.3 Probabilistik hasar görebilirlik eğrileri

Boru hatlarının afetlere ve diğer tehlikelere karşı risk hesapları boru hatlarının değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi çalışmalarında önem arz etmektedir (Toprak ve diğ., 2011). Bu hesaplarda şu temel formül kullanılmaktadır.

$$RISK = \sum P(H) P(D|H) P(S|D) C(S) \quad (4.1)$$

burada H riske konu olan tehlikeyi, P(H) belirlenmiş bir zaman diliminde belirli bir şiddetin aşılma olasılığını, D hasarı, P(D|H) belirli şiddete maruz kalmış sistemin zarar görme olasılığını, S göçme senaryosunu, P(S|D) zararın oluşmasıyla sistemin göçme olasılığını, C göçme senaryosu durumunda maliyeti ifade etmektedir. Toplam ise bütün ilgili tehlikeleri, hasar türlerini ve göçme senaryolarını kapsamaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen olasılık ilişkisi, boru hasarlarını daha önceki bölümlerdekine benzer şekilde PGV ile ilgilendirmektedir. İlişkiler deprem tehlikesi durumu için P(D|H) değerinin hesaplanmasında kullanılabilir. Benzer bir yaklaşımı O'Rourke ve diğ. (1999) bir fayı kesen borularda oluşabilecek boru hasarlarının oluşma olasılığını fay hareketinin miktarına bağlayan ilişkileri geliştirirken kullanmışlardır.

Probabilistik hasar görebilirlik eğrileri, PGV değeriyle probabilistik hasar adı verilen oranın ilişkisini gösteren eğri olarak tanımlanmıştır. Probabilistik hasar görebilirlik eğrileri çıkartılırken de gridler için bulunan PGV değerleri kullanılmıştır. Hasar görme olasılığını hesaplamak için aynı PGV bölgesi içinde hasar gören ve toplam boru sayılarının belirlenmesi gerekmektedir. Toplam boru sayısını bulmak için boru uzunluğu standart 6 m. olarak kabul edilmiş ve belirli PGV değerleri arasındaki toplam boru uzunlukları belirlendikten sonra bu standart uzunluğa bölünmüştür. Hasar gören boru sayısını bulmak için ise her bir boru hasarının bir boru üzerinde olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım CBS sistemini kullanarak kontrol edilmiş ve hasarlar arasındaki mesafenin 6 m.'den büyük olduğu görülmüştür. Probabilistik hasar oranı, hasar gören boru sayısının toplam boru sayısına bölünmesiyle elde edilmiştir.

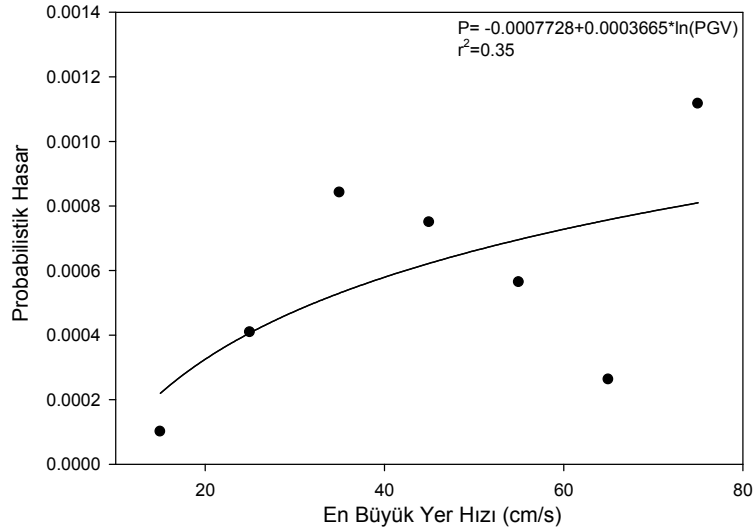
Daha önceki bölümlerdeki değerlendirmeler gözönüne alınarak bu hesaplamalarda PGV aralığı 10 m/s seçilmiştir. 10 cm/s PGV aralığı için farklı grid boyutlarında probabilistik eğrilerini çıkartırken regresyon analizi yapılmıştır. Farklı regresyon modelleri, örneğin

doğrusal, logaritmik ve üssel gibi, denenmiş ve r^2 değerlerine göre logaritmik modelin en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Bu modelde eğrinin denklem şu şekilde ifade edilmektedir:

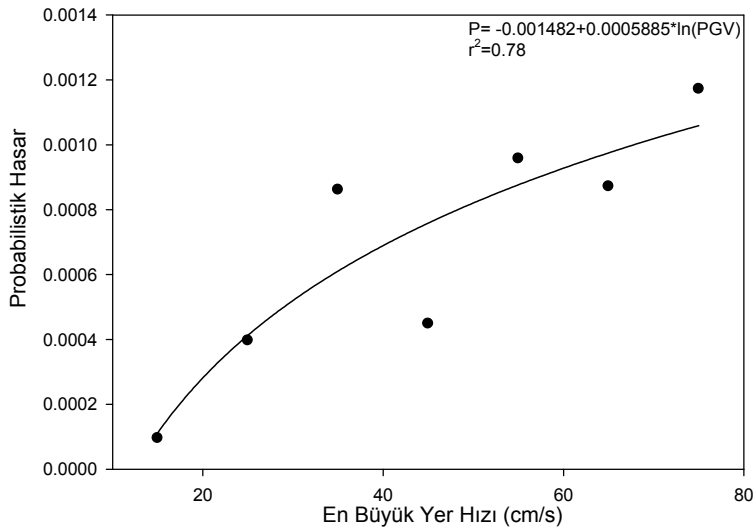
$$P = a + b \ln(\text{PGV}) \quad (4.2)$$

burada P boru hasar görme olasılığını, PGV en büyük yer hızını, a ve b regresyon katsayılarını göstermektedir.

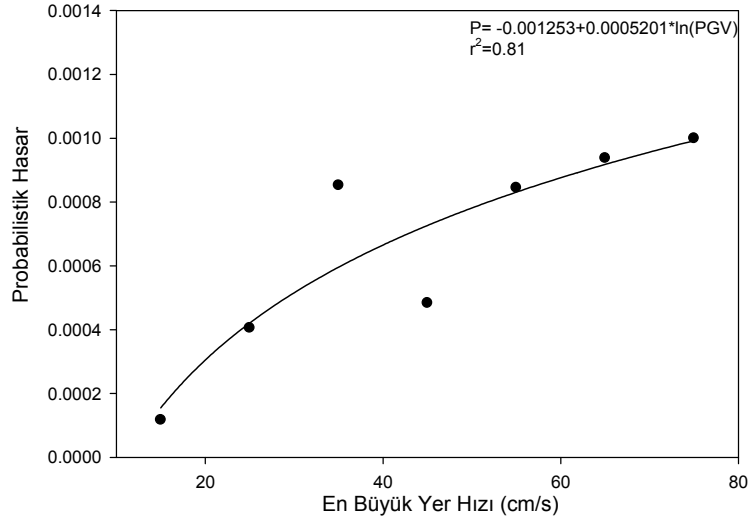
Şekil 4.46, Şekil 4.47, Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50 sırasıyla 4, 2, 1, 0.5, ve 0.25 km gridler için veri değerlerini ve bu değerlere uydurulan probabilistik hasar görebilme eğrilerini göstermektedir. Grid 4 km kullanılarak elde edilen eğri en küçük r^2 değerini vermiştir ve diğerlerinden çok farklı bir sonuç ortaya çıkmıştır. Diğer gridler kullanılarak elde edilen eğrilerin r^2 değerleri birbirine çok yakındır. Şekil 4.51 grid 4 km verileri dışındaki verileri ve bu verilerle elde edilen eğriyi göstermektedir. Elde edilen bu eğri diğer eğrilerle Şekil 4.52’te karşılaştırılmıştır. Bu eğri diğer eğrilerinin ortalamasını temsil eder gözükmemektedir.



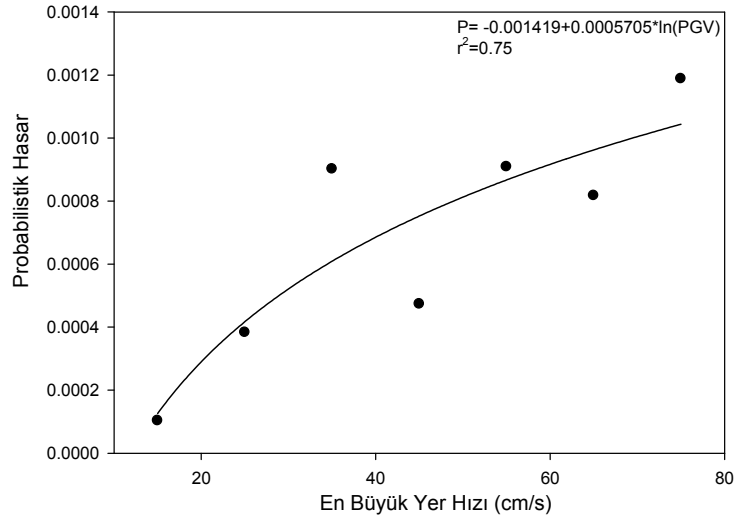
Şekil 4.46 10 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km’de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi



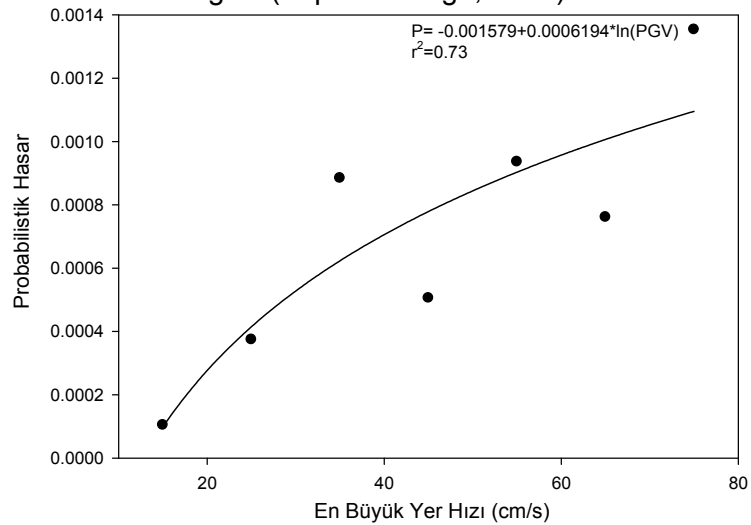
Şekil 4.47 10 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km’de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)



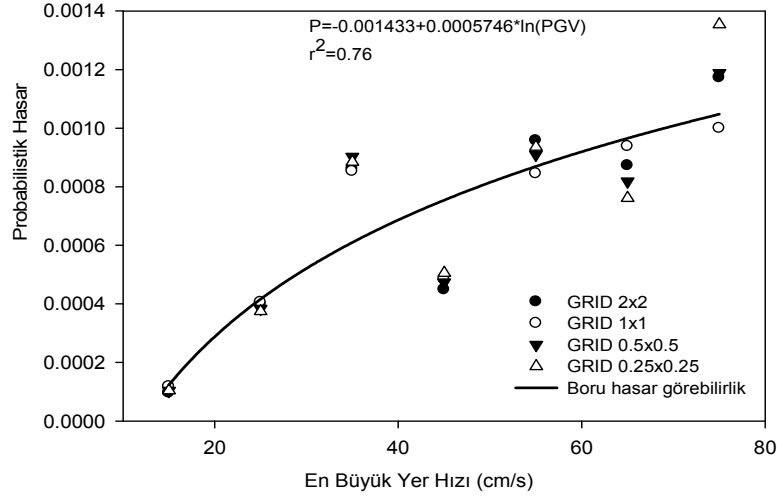
Şekil 4.48 10 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)



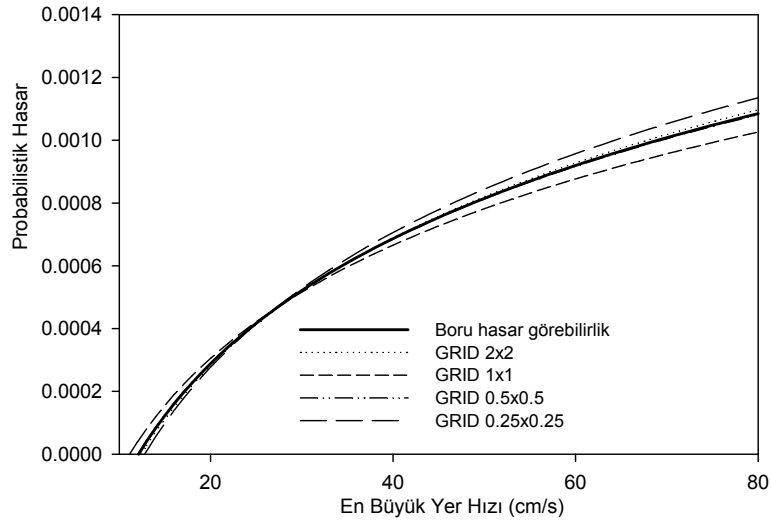
Şekil 4.49 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)



Şekil 4.50 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)



Şekil 4.51 10 cm/s PGV aralığı için farklı grid boyutlarından elde edilen probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)



Şekil 4.52 10 cm/s PGV aralığı için farklı grid boyutlarındaki probabilistik hasar görebilirlik eğrileri (Toprak ve diğ. , 2011)

4.2 Kümeleme Analizleri

Bu bölümde kümeleme yöntemlerinin gömülü boru hatlarındaki deprem hasarlarının değerlendirilmesinde ve hasarların yoğun olduğu alanların belirlenmesinde kullanılması hususu incelenmiştir. Yerleşim bölgelerine yakın olarak gerçekleşen geçmiş depremlerde hasar gören boru hatlarındaki gözlemler, hasarların belli noktalarda daha fazla yoğunlaştıklarını göstermiştir (yüksek hasar bölgeleri). Hasarların yoğunlaştığı bölgelerin belirlenmesi özel bir öneme sahiptir, çünkü bu bölgeler zemin açısından problemli alanlara (örneğin, sıvılaşma veya zemin oturması) ve/veya ilgili alan içinde boru hatlarının bazı zayıflıklara (örneğin boru malzemesi, boru çapı, ve boru ekleri) sahip olduğuna işaret etmektedir. Burada analizlerde ve yöntemin uygulanmasında elimizde verisi bulunan 1994 Northridge, A.B.D. depremi ve Los Angeles şehri su boru hatları hasar verisi kullanılmıştır.

Bu çalışmalar boru hatlarının gelecek depremlerde gösterecekleri performansı incelemek için geliştirebilecek yaklaşımlar açısından önem teşkil etmektedir.

Boru hasarlarının yoğunlaştığı bölgelerin belirlenmesi değişik şekillerde gerçekleştirilebilir. Bir kişi boru hasarlarını gösteren bir haritaya baktığında (örneğin, haritanın üzerinde hasarlar noktasal veri olarak gösterilsin) algılanan benzerliklere göre onları sınıflandırıp manalı gruplara bölmeye çalışır. Bu şekliyle kümeleme benzer objelerin gruplanması veya bir araya getirilmesi olarak düşünülebilir. Kümeleme analizleri temelde veri topluluğu içinde yapıların keşfi ve gruplanması ile uğraşmaktadır. Kümeleme açıklandığı üzere gözle yapılabilir ama kümeleme yöntemlerinin kullanılması pek çok avantaj getirmektedir. Örnek olarak grupların oluşturulması için bir hedef fonksiyonu tanımlayarak standart gruplamanın yapılabilmesi ve büyük veri tabanlarını hızlı bir şekilde değerlendirebilmek verilebilir. Kümeleme algoritmalarının veriyi organize edebilmesindeki hız, güvenilirlik ve tutarlılığı bu yöntemlerin kullanılması için ağırlıklı sebepleri oluşturmaktadır (Jain ve Dubes, 1988).

Şekil 4.53, Los Angeles şehrinde 1994 Northridge, A.B.D. depremi sonrasında su dağıtım hatlarındaki onarım noktalarını ve font borular için eş onarım oranı eğrilerini harita üzerinde göstermektedir. Şekil 4.53 incelenip yalnızca boru hasarlarına bakıldığında bakan kişi tarafından hasarların yoğunlaştığı bölgeler yaklaşık olarak gruplandırılabilir. Bir diğer yaklaşım da boru hasarlarını ve boru bilgilerini kullanıp eş onarım eğrilerini çizmek ve böylece hasarların yoğunlaştığı bölgeleri belirlemektir. Şekil 4.53 font borular için hesaplanmış onarım oranı eğrilerini göstermektedir. 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 değerler her alanın merkezindeki değer olarak kabul edilmiş ve interpolasyon uygulanarak eş eğriler çizilmiştir. Değişik alan ölçütleri denenmiş ve 2x2 km'lik ölçü, bu çalışma bölgesi ve harita ölçeği için en uygunu olarak tespit edilmiştir (Toprak ve diğ., 1999).

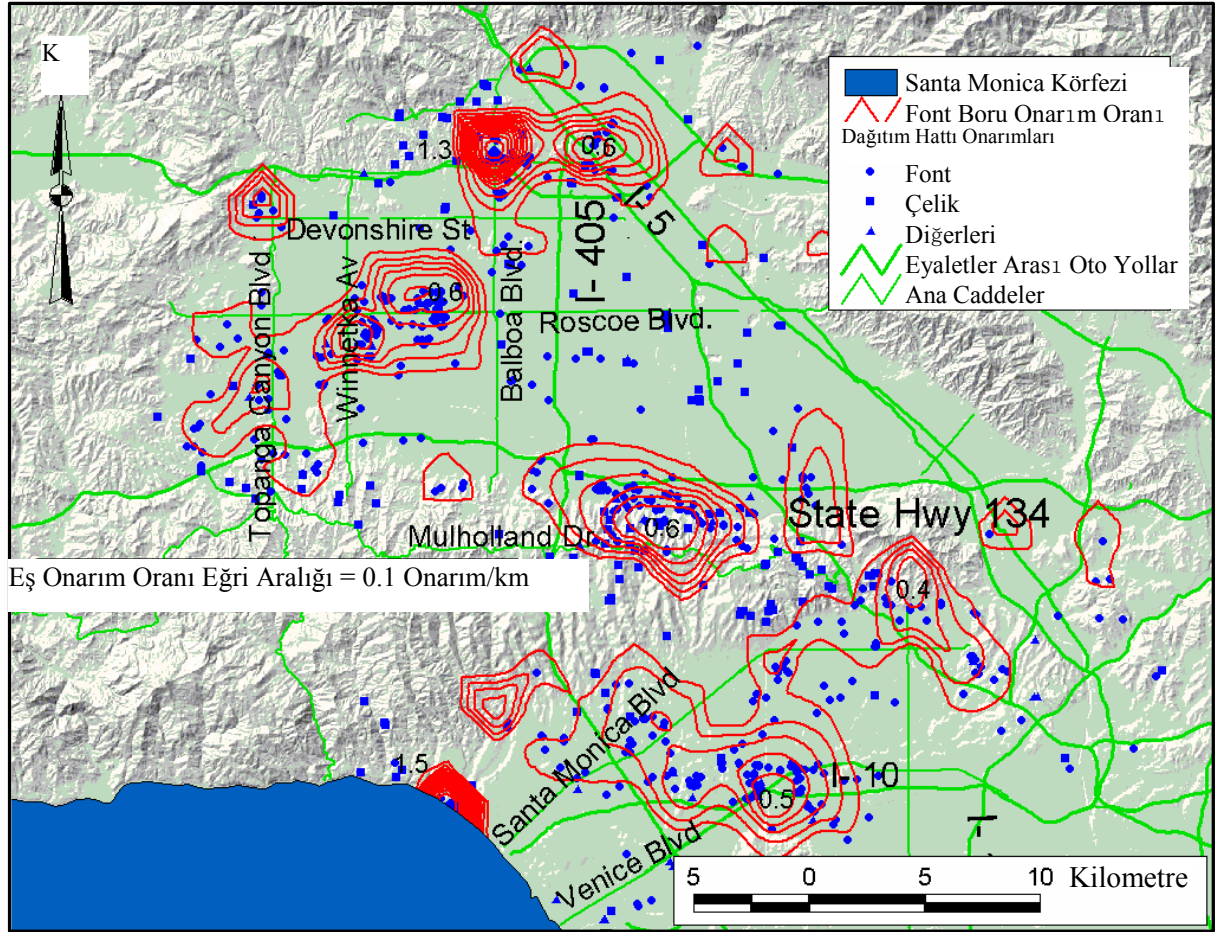
Eş onarım oranı eğrilerinin en yoğun olduğu bölgeler dağıtım hatlarında oluşan hasarların en fazla olduğu yerleri göstermektedir. Bu bölgeler detaylı olarak incelendiğinde, zemin şartlarının yüksek zemin deformasyonlarının gerçekleşmesine ya da zemin büyütmesinin yüksek olmasına müsait olan alanlar olduğu göze çarpmaktadır (O'Rourke ve diğ., 2001). Şekil 4.54 bu bölgeleri açıkça göstermektedir.

4.2.1 Bulanık C-Ortalamlar Kümeleme Analizi İle Konuma Göre Boru Hasarlarının Değerlendirilmesi

Bulanık c-ortalamlar kümeleme analizi daha öncede bahsedildiği gibi bulanık kümeleme algoritmalarından en yaygın şekilde kullanılan analiz yöntemidir. Bu analiz yöntemiyle boru hasarları üzerinde değerlendirme yapılırken ilk olarak konuma göre kümeleme yapmak seçilmiştir. Boru hasarlarında konum denilen parametre x ve y koordinatlarından oluşan iki boyutlu veri seti olarak alınmıştır. Bu veri setine ait boru hasarları 734 adet olup bu hasarlar kümelendirken, en küçük küme sayısı olarak iki, en büyük küme sayısı olarak ise yirmi beş seçilmiştir. Hangi küme sayılarının veri seti için daha doğru kümeleme sonuçları verdiği ise kümeleme geçerlilik indeksleri yardımıyla bulunmaya çalışılmıştır. Bu indekslerden yola çıkılarak boru hasarları değerlendirmeye başlanmıştır. Daha önce bahsedilen yedi kümeleme indeksi için Los Angeles şehri boru hasarlarının verdiği sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.55 ve Şekil 4.56' de bölümlenme katsayısı ve sınıflandırma entropisi için optimum küme sayısının 2 olduğu görülmektedir. Şekil 4.57' de MPC indeksinin boru hasarlarında

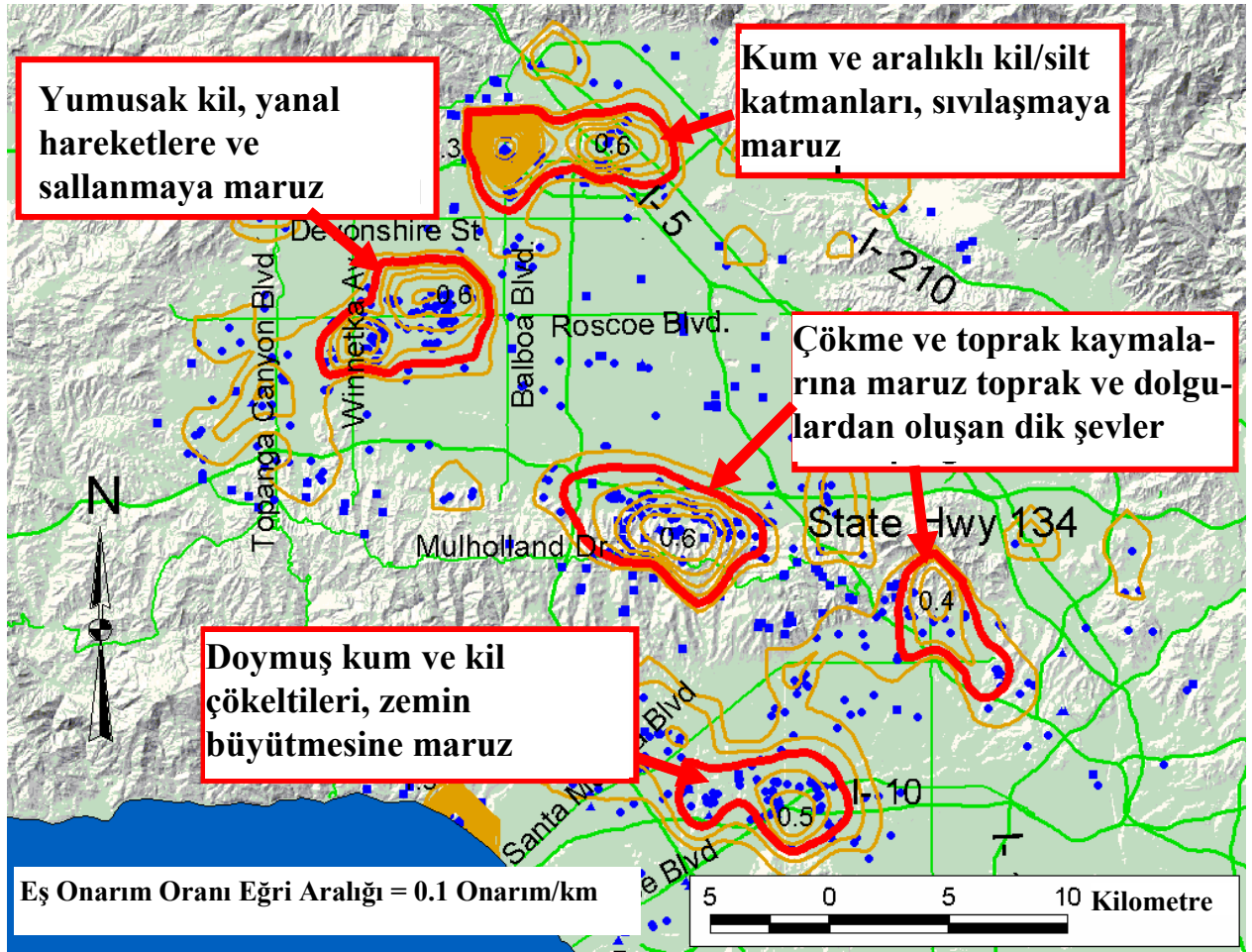
optimum küme sayısı olarak 6 kümeyi verdiği görülmektedir. Şekil 4.58'de Xie-Beni indeksinin optimum küme sayısı için 24'ü göstermektedir. Şekil 4.59'de Fukuyama-Sugeno indeksi optimum küme sayısı olarak 13'ü göstermektedir.



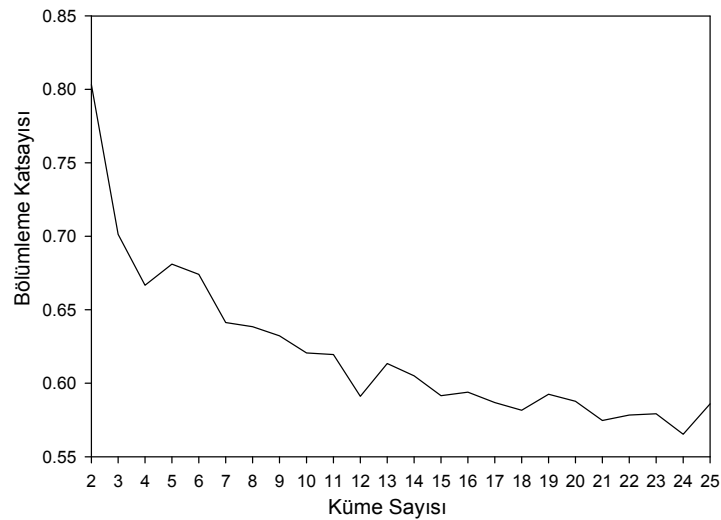
Şekil 4.53 1994 Northridge depremi için font boru hatları eş onarım oranı eğrileri (O'Rourke ve Toprak, 1997)

Şekil 4.60'da PBMF indeksi optimum küme sayısı olarak 15 değerini gösterirken, Şekil 4.61'de Dunn indeksi en uygun küme sayısı değeri olarak 5 değerini vermektedir. Kümeleme geçerlilik indekslerinin değerleri ve en uygun küme sayıları için sıralamaları tablolar şeklinde ekte sunulmuştur.

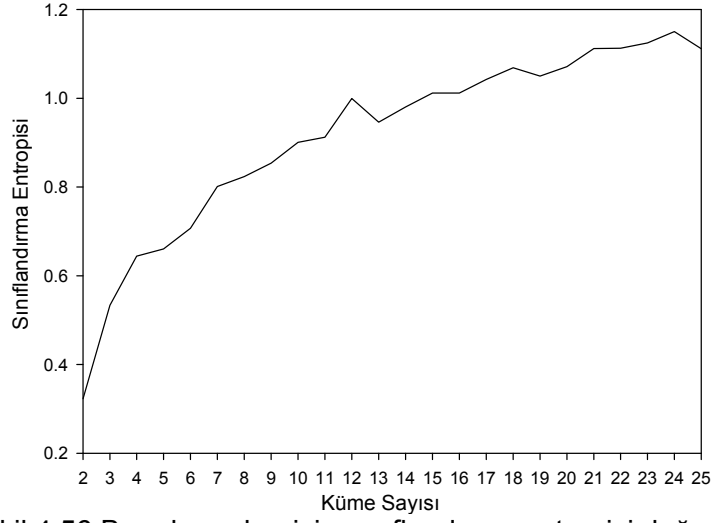
Los Angeles şehri boru hasarlarının, bulanık c-ortalama algoritmasıyla yedi farklı indekse göre belirlenen küme sayıları Tablo 5.4.1 ve Tablo 5.4.2'de gösterilmiştir. Küme sayıları ilgili indeks için optimum değerden azalarak giden şekilde sıralanmıştır. Örneğin, MPC indeksine göre en muhtemel küme sayısı 6, sonrasında ise 2 ve 5 olarak tespit edilmiştir.



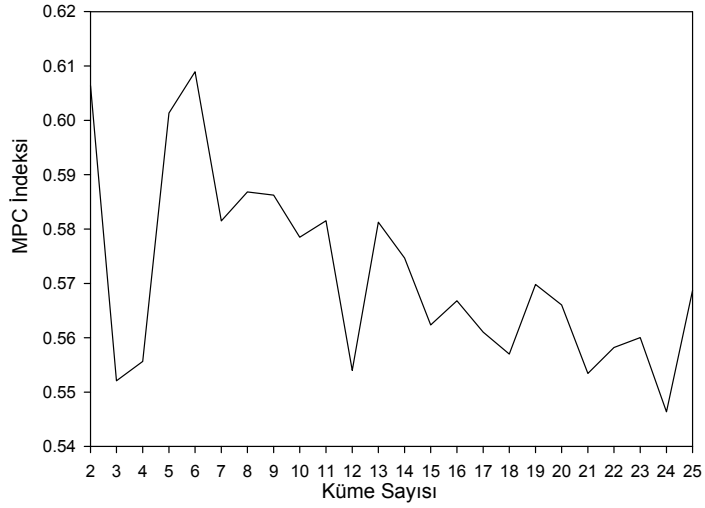
Şekil 4.54 1994 Northridge depreminde yüksek boru hasarlarının gerçekleştiği alanların geoteknik özellikleri (O'Rourke, ve diğ., 2001)



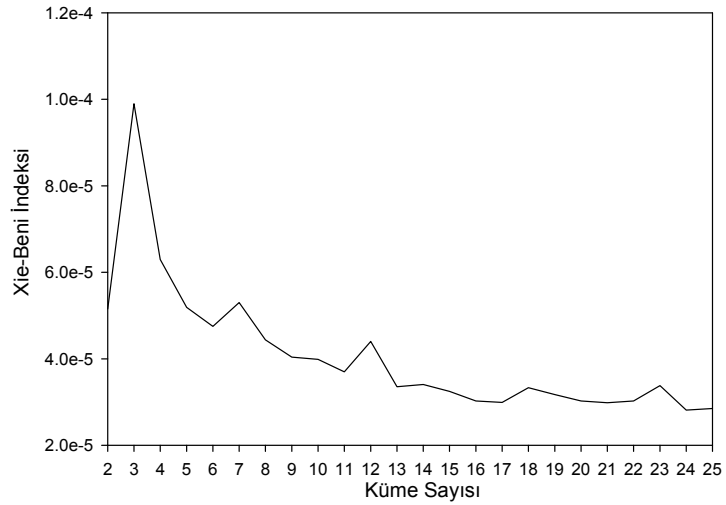
Şekil 4.55 Boru hasarları için bölümleme katsayısı değerleri



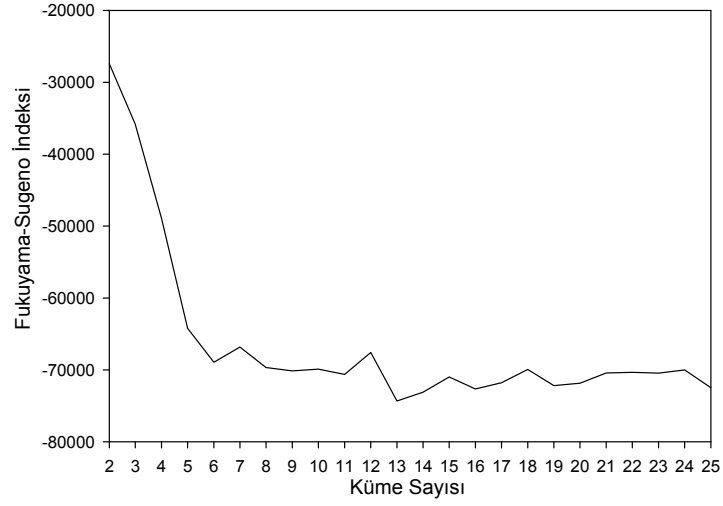
Şekil 4.56 Boru hasarları için sınıflandırma entropisi değerleri



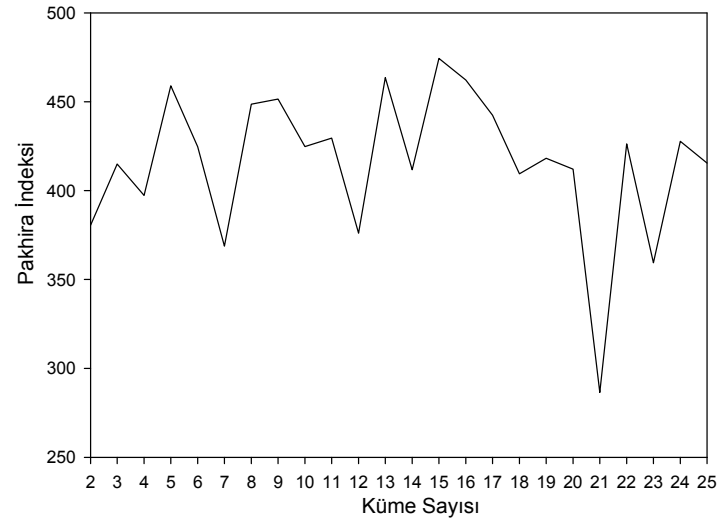
Şekil 4.57 Boru hasarları için MPC indeksi değerleri



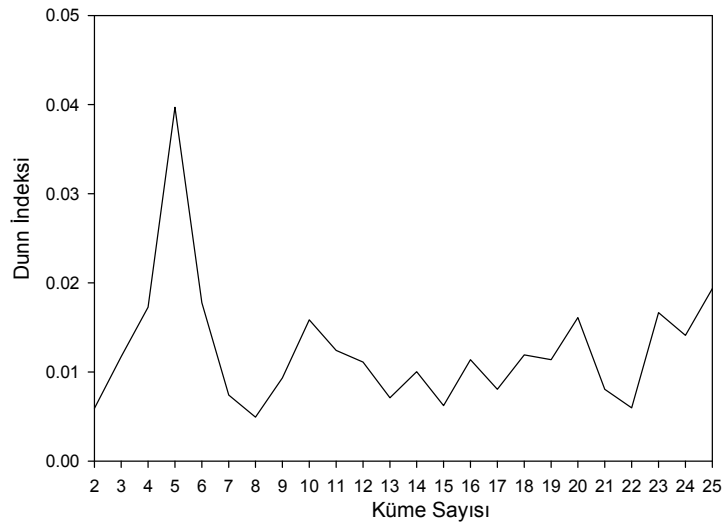
Şekil 4.58 Boru hasarları için Xie-Beni indeksi değerleri



Şekil 4.59 Boru hasarları için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri



Şekil 4.60 Boru hasarları için PBMF indeksi değerleri



Şekil 4.61 Boru hasarları için Dunn indeksi değerleri

Tablo 5.4.1 Boru hasarları için kümeleme geçerlilik indeksleri (PC, CE, MPC ve Xie-Beni)

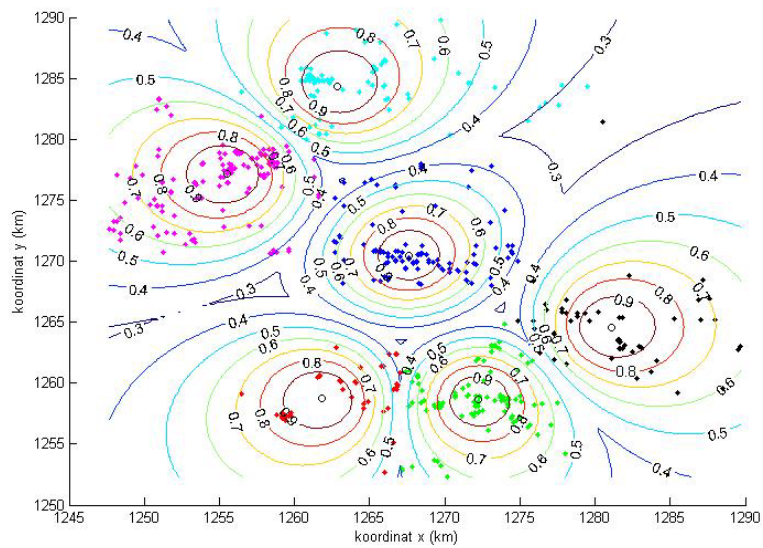
PC indeksi	Küme say.	CE indeksi	Küme say.	MPC indeksi	Küme say.	Xie-Beni	Küme say.
0.803	2	0.323	2	0.609	6	2.813E-05	24
0.701	3	0.533	3	0.606	2	2.85E-05	25
0.681	5	0.644	4	0.601	5	2.984E-05	21
0.674	6	0.661	5	0.587	8	2.993E-05	17
0.667	4	0.707	6	0.586	9	3.024E-05	16
0.641	7	0.801	7	0.582	11	3.025E-05	20
0.638	8	0.824	8	0.582	7	3.027E-05	22
0.632	9	0.854	9	0.581	13	3.173E-05	19
0.621	10	0.901	10	0.579	10	3.246E-05	15
0.620	11	0.912	11	0.575	14	3.33E-05	18
0.613	13	0.946	13	0.570	19	3.354E-05	13
0.605	14	0.981	14	0.569	25	3.383E-05	23
0.594	16	1.000	12	0.567	16	3.408E-05	14
0.592	19	1.011	16	0.566	20	3.699E-05	11
0.592	15	1.012	15	0.562	15	3.989E-05	10
0.591	12	1.042	17	0.561	17	4.038E-05	9
0.588	20	1.050	19	0.560	23	4.404E-05	12
0.587	17	1.069	18	0.558	22	4.437E-05	8
0.586	25	1.071	20	0.557	18	4.747E-05	6
0.582	18	1.111	25	0.556	4	5.154E-05	2
0.579	23	1.112	21	0.554	12	5.191E-05	5
0.578	22	1.113	22	0.553	21	5.3E-05	7
0.575	21	1.125	23	0.552	3	6.298E-05	4
0.565	24	1.150	24	0.546	24	9.899E-05	3

Dördüncü bölümde hazır veri setleri sonucundan çıkan sonuçlarla MPC, Fukuyama-Sugeno ve PBMF indekslerinin diğer dört indekse göre daha geçerli kümeleme yapıldığı anlatılmıştı. Bu bilgiler ışığında bu bölümde MPC, Fukuyama-Sugeno ve PBMF indekslerinin sırasıyla verdiği 6, 13 ve 15 küme sayıları için kümelene şekilleri verilmiştir.

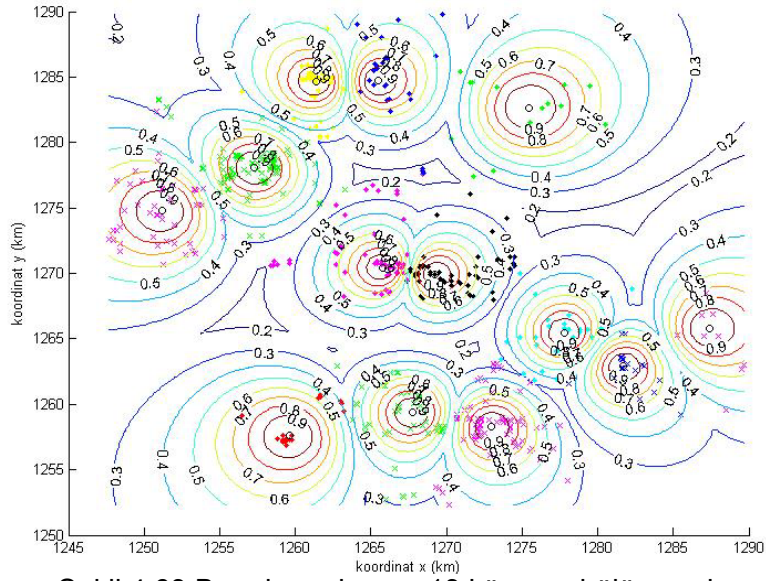
Şekil 4.62'de boru hasarlarının 6 kümeye bölünmesi gösterilmektedir. 734 boru hasarı, 6 kümeye 181, 144, 137, 116, 97 ve 59 hasar olmak üzere dağılmıştır. Şekil 4.63'da boru hasarlarının 13 kümeye bölünmesi gösterilmektedir. 734 boru hasarı, 120, 107, 72, 68, 63, 59, 58, 51, 37, 33, 31, 19 ve 16 hasar olmak üzere dağılmıştır. Şekil 4.64' da boru hasarlarının 15 kümeye bölünmesi gösterilmektedir. 734 boru hasarı, 93, 72, 72, 65, 61, 60, 59, 51, 49, 48, 39, 33, 31, 29, 25 ve 19 hasar olmak üzere dağılmıştır.

Tablo 5.4.2 Boru hasarları için kümeleme geçerlilik indeksleri (Fukuyama-Sugeno)

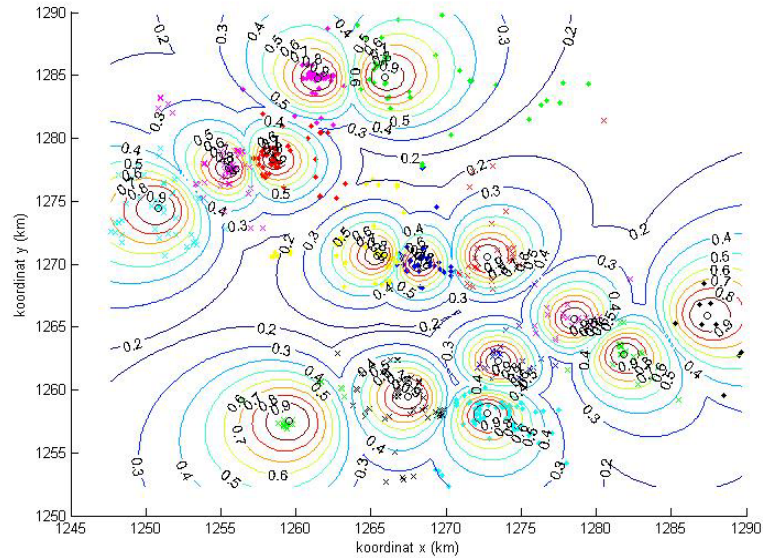
Fukuyama-Sugeno indeksi	Küme say.	PBMF indeksi	Küme say.	Dunn indeksi	Küme say.
-74321.22	13	474.34	15	0.0397	5
-73105.88	14	463.63	13	0.0193	25
-72650.49	16	462.26	16	0.0178	6
-72476.22	25	459.02	5	0.0173	4
-72180.19	19	451.73	9	0.0167	23
-71863.17	20	448.65	8	0.0161	20
-71800.59	17	443.58	14	0.0158	10
-70981.43	15	442.48	17	0.0141	24
-70633.43	11	432.55	11	0.0124	11
-70456.36	23	427.76	24	0.0119	18
-70443.89	21	426.46	18	0.0117	3
-70336.03	22	426.31	22	0.0114	19
-70129.68	9	424.77	10	0.0114	16
-70022.78	24	424.34	6	0.0111	12
-69941.57	18	418.25	19	0.0100	14
-69891.36	10	415.59	25	0.0093	9
-69671.43	8	414.92	3	0.0080	21
-68937.37	6	412.08	20	0.0080	17
-67580.09	12	392.87	4	0.0074	7
-66810.1	7	380.58	2	0.0071	13
-64206.08	5	376.05	12	0.0062	15
-48911.85	4	372.76	21	0.0060	22
-35847.59	3	368.82	7	0.0059	2
-27415.29	2	359.42	23	0.0049	8



Şekil 4.62 Boru hasarlarının 6 küme bölünmesi



Şekil 4.63 Boru hasarlarının 13 kümeye bölünmesi

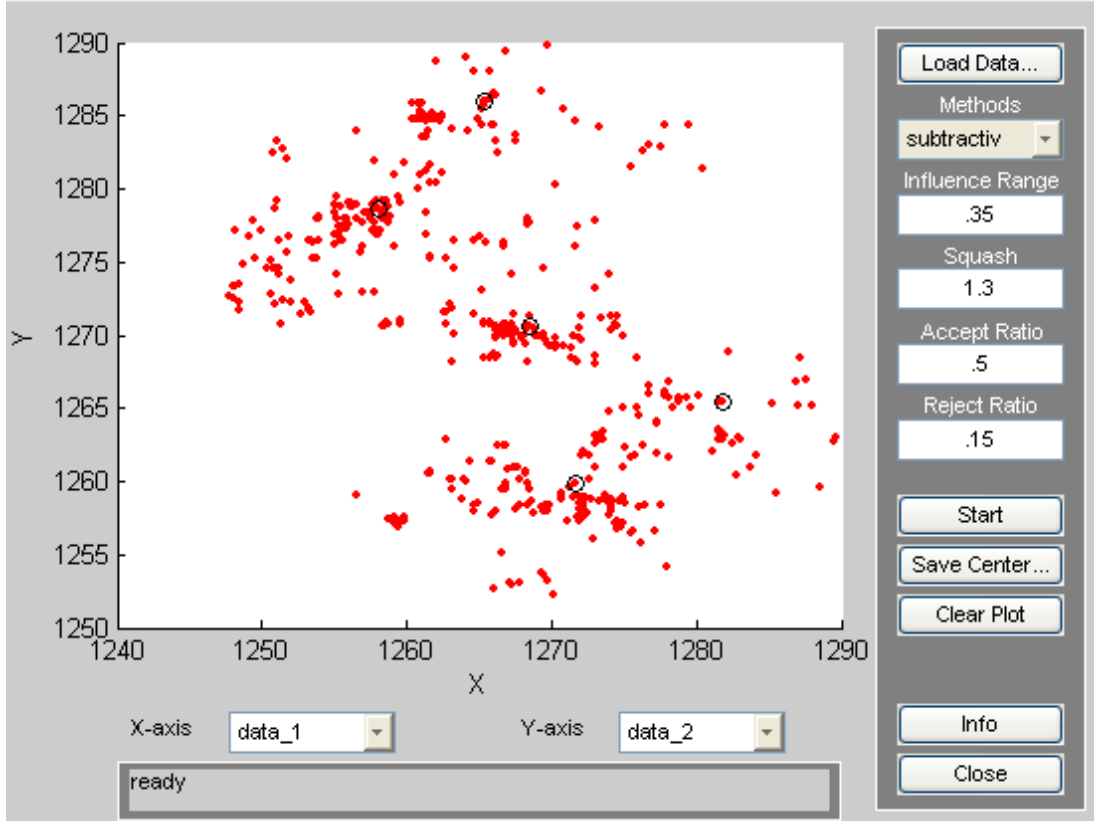


Şekil 4.64 Boru hasarlarının 15 kümeye bölünmesi

4.2.2 Çıkarımlı Kümeleme Analizi İle Boru Hasarlarının Değerlendirilmesi

Çıkarımlı kümeleme analizi, bazı parametreler yardımıyla veri setinin küme merkezlerini bulmaya yarayan hızlı ve etkili bir kümeleme metodudur. Bu çalışmada MATLAB programının hazır grafik arayüzü kullanılarak, dört farklı parametre girildikten sonra çıkarımlı kümeleme analizleri yapılmıştır. Bu parametreler etki aralığı (influence range, IR), çarpım faktörü (squash factor, SF), kabul oranı (accept ratio, AR) ve çıkarma oranı (reject ratio, RR) olarak tanımlanmıştır. Boru hasarlarının çıkarımlı kümeleme analiziyle değerlendirilmesi Toprak ve diğ. (2009 ve 2010) tarafından sunulmuştur. Bu bölümde, yapılan bu çalışmaların ayrıntılı bir şekilde incelenmesi anlatılmıştır.

Toprak ve diğ. (2009), çıkarımlı kümeleme analizini kullanarak Los Angeles boru hasarlarını beş küme merkezi verecek şekilde kümelemiştir (Şekil 4.65). Beş kümenin tercih edilmesinin sebebi Şekil 4.54'de görülen zemin özelliklerine ve hasar yoğunlaşmasına bağlı olarak belirlenen bölge sayısıdır. Bu kümeleme yapılırken çıkarımlı kümeleme parametreleriyle denemeler yapılmış ve Şekil 1.13'te görülen değerlerde beş küme sonucuna ulaşılmıştır (IR=0.35, SF=1.3, AR=0.5 ve RR=0.15). Şekilde içi dolu daireler hasar noktalarını, içi boş halkalarda küme merkezlerini göstermektedir. Şekil 4.65'te elde edilen küme merkezleriyle Şekil 4.54'de görülen yoğun hasar bölgeleri birbirleriyle çakışmaktadırlar.

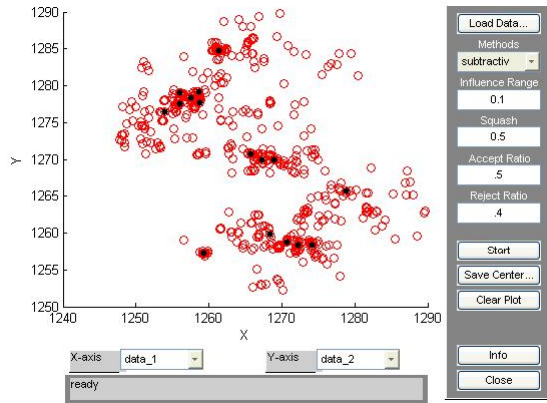


Şekil 4.65 Çıkarımlı kümeleme analizi kullanılarak boru hasarlarının beş kümeye bölünmesi (Toprak ve diğ., 2009)

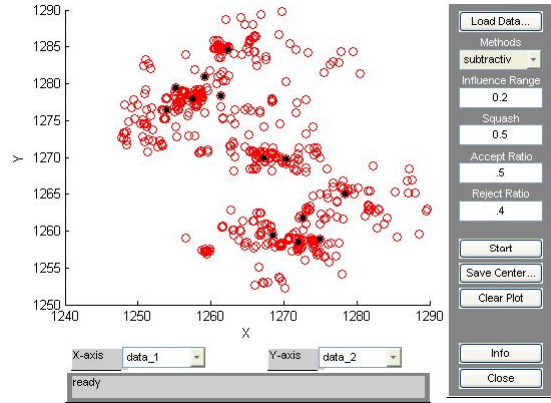
4.2.3 Çıkarımlı Kümeleme Parametrelerinin Kümeleme Analizine Etkisi

Bu bölümde çıkarımlı kümeleme parametrelerinin kümeleme analizine etkisi anlatılmıştır. Daha önceden belirtildiği gibi çıkarımlı kümelemeye, etki aralığı (IR), çarpım faktörü (SF), kabul oranı (AR) ve çıkarma oranı (RR) olmak üzere dört farklı parametre etki etmektedir. Bu parametrelerden SF birden büyük, AR ise RR'den büyük olmalıdır. Şekil 4.66 parametrelerden bazılarının değiştirilmesi ile küme sayılarının ve merkez noktaların nasıl değiştiğini göstermektedir.

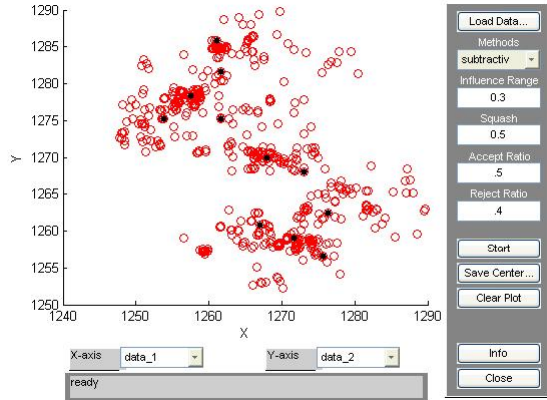
Bu parametrelerin değişimiyle küme sayılarına etkisi tablolar halinde verilmiştir. Bu tablolardan farklı parametre değerleri için küme sayılarını belirlemek mümkün olmaktadır. Tablo 5.4.3'de etki aralığı 0.1, çarpım faktörü 1.25 değerleri için küme sayılarının AR ve RR parametrelerine göre değişimi gösterilmiştir (Toprak ve diğ., 2010).



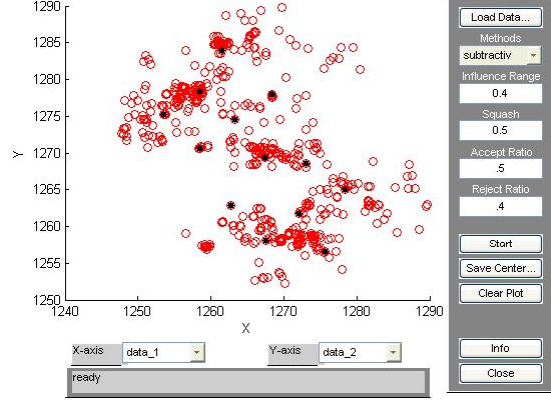
SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.1



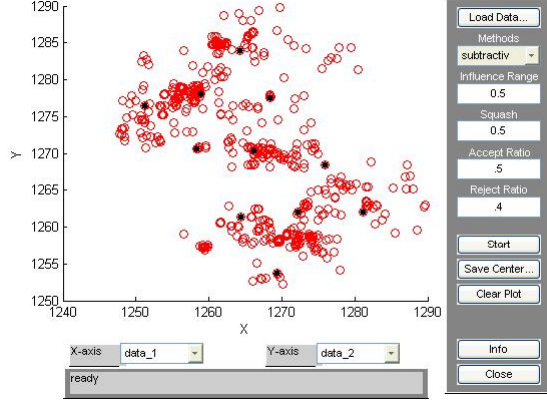
SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.2



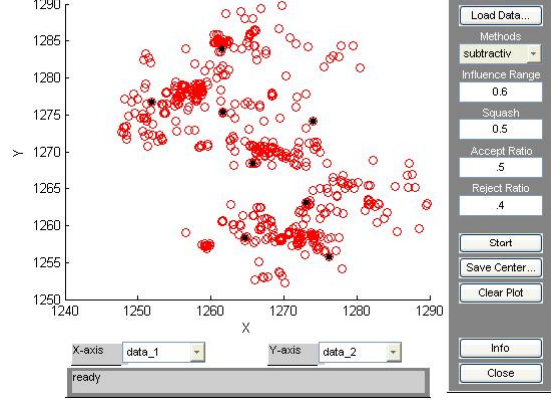
SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.3



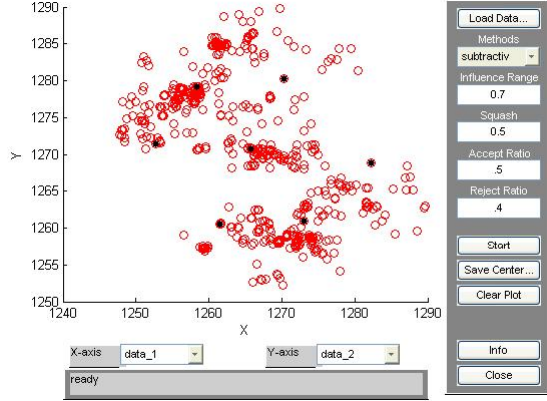
SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.4



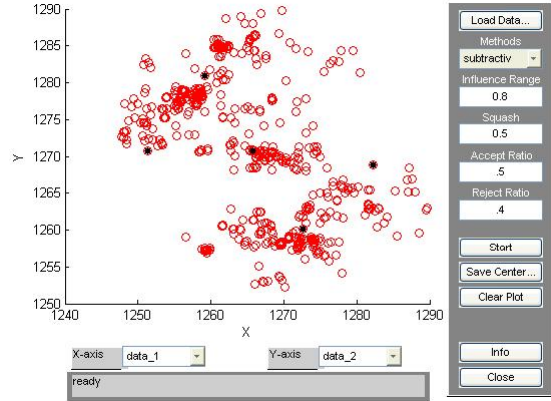
SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.5



SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.6



SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.7



SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.8

Şekil 4.66 Boru hattı hasarları için farklı parametreler ile küme merkezlerinin bulunması

Tablo 5.4.3 Etki aralığı = 0.1 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)

		Etki aralığı = 0.1 Çarpım Faktörü = 1.25									
	RR	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
AR	0.2	22									
	0.3	22	14								
	0.4	22	14	9							
	0.5	22	14	9	6						
	0.6	22	14	9	6	4					
	0.7	22	14	9	6	4	4				
	0.8	22	14	9	6	4	4	4			
	0.9	22	14	9	6	4	4	4	3		
	1	22	14	9	6	4	4	4	3	1	

Çarpım faktörü 1.25 için, etki aralığı 0.2' den 0.8'e kadar artarken, kabul ve çıkarma oranına bağlı olarak küme sayılarının değişimi Tablo 5.4.4, Tablo 5.4.5, Tablo 5.4.6, Tablo 5.4.7, Tablo 5.4.8, Tablo 5.4.9 ve Tablo 5.4.10'da görülmektedir.

Tablo 5.4.4 Etki aralığı = 0.2 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları

		Etki aralığı = 0.2 Çarpım Faktörü = 1.25									
	RR	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
AR	0.2	8									
	0.3	8	7								
	0.4	8	7	6							
	0.5	8	7	6	5						
	0.6	8	7	6	5	4					
	0.7	8	7	6	5	4	4				
	0.8	8	7	6	5	4	4	3			
	0.9	8	7	6	5	4	4	3	2		
	1	8	7	6	5	4	4	3	2	2	

Tablo 5.4.5 Etki aralığı = 0.3 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları

		Etki aralığı = 0.3 Çarpım Faktörü = 1.25									
	RR	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
AR	0.2	7									
	0.3	7	6								
	0.4	7	6	5							
	0.5	7	6	5	4						
	0.6	7	6	5	4	3					
	0.7	7	6	5	4	3	3				
	0.8	7	6	5	4	3	3	2			
	0.9	7	6	5	4	3	3	2	2		
	1	7	6	5	4	3	3	2	2	2	

Tablo 5.4.6 : Etki aralığı = 0.4 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları

		Etki aralığı = 0.4 Çarpım Faktörü = 1.25									
	RR	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
AR	0.2	5									
	0.3	5	2								
	0.4	5	2	2							
	0.5	5	2	2	2						
	0.6	5	2	2	2	2					
	0.7	5	2	2	2	2	2				
	0.8	5	2	2	2	2	2	2			
	0.9	5	2	2	2	2	2	2	2		
	1	5	2	2	2	2	2	2	2	2	

Tablo 5.4.7 Etki aralığı = 0.5 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları

		Etki aralığı = 0.5 Çarpım Faktörü = 1.25									
	RR	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
AR	0.2	2									
	0.3	2	2								
	0.4	2	2	2							
	0.5	2	2	2	2						
	0.6	2	2	2	2	2					
	0.7	2	2	2	2	2	2				
	0.8	2	2	2	2	2	2	2			
	0.9	2	2	2	2	2	2	2	2		
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Tablo 5.4.8 Etki aralığı = 0.6 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları

		Etki aralığı = 0.6 Çarpım Faktörü = 1.25									
	RR	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
AR	0.2	2									
	0.3	2	2								
	0.4	2	2	2							
	0.5	2	2	2	2						
	0.6	2	2	2	2	2					
	0.7	2	2	2	2	2	2				
	0.8	2	2	2	2	2	2	2			
	0.9	2	2	2	2	2	2	2	1		
	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	

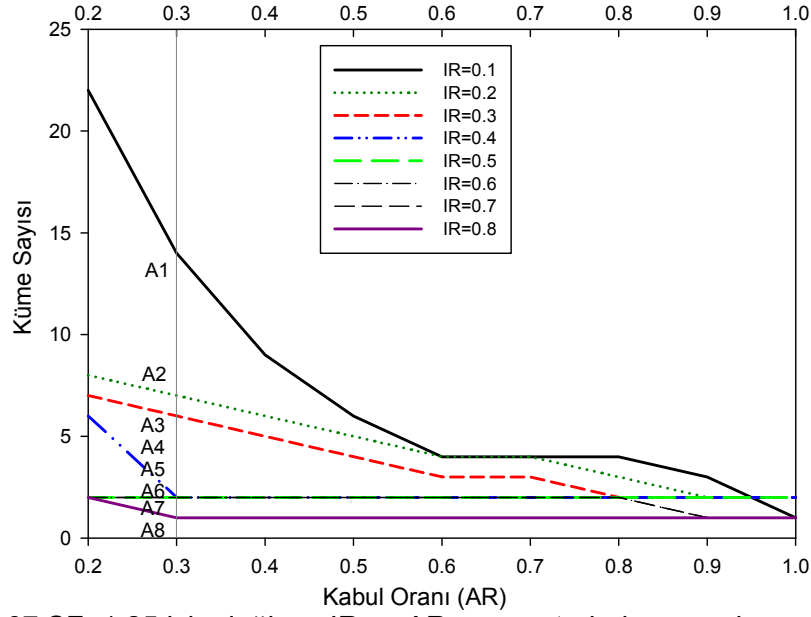
Tablo 5.4.9 Etki aralığı = 0.7 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları

		Etki aralığı = 0.7 Çarpım Faktörü = 1.25									
	RR	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
AR	0.2	2									
	0.3	2	2								
	0.4	2	2	2							
	0.5	2	2	2	2						
	0.6	2	2	2	2	2					
	0.7	2	2	2	2	2	2				
	0.8	2	2	2	2	2	2	2			
	0.9	2	2	2	2	2	2	2	1		
	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	

Tablo 5.4.10 Etki aralığı = 0.8 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları

		Etki aralığı = 0.8 Çarpım Faktörü = 1.25									
	RR	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	
AR	0.2	1									
	0.3	1	1								
	0.4	1	1	1							
	0.5	1	1	1	1						
	0.6	1	1	1	1	1					
	0.7	1	1	1	1	1	1				
	0.8	1	1	1	1	1	1	1			
	0.9	1	1	1	1	1	1	1	1		
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Toprak ve diğ. (2010), çarpım faktörü 1.25 için etki aralığının 0.1-0.8 arasında AR ve RR parametrelerine göre değiştiği durumlar için yukarıda gösterilen sekiz tablo yerine sadece bir grafikte de aynı sonuçlara ulaşılabileceğini göstermiştir (Şekil 4.67). Grafikteki IR çizgileri tablolardaki köşegen değerinin okunmasıyla bulunmuştur. Bu çizgiler herhangi bir AR değeriyle, o değer 0.1 küçüğü olan RR değeri için küme sayılarına karşılık gelmektedir. Örnek olarak SF=1.25, IR=0.1, AR=0.5 ve RR=0.4 için küme sayısı 6 olarak elde edilmiştir (Tablo 5.4.3). Şekil 4.67'de aynı değer IR=0.1 ve AR=0.5 için okunabilir. Dikkat edilirse tablolardaki herhangi bir köşegen kolonundaki küme sayılarının altındaki küme değerleri değişmemektedir. Bu özellikten dolayı küme sayıları grafikten kolayca bulunabilmektedir. Örnek olarak eğer SF=1.25, IR=0.1, AR=0.5 ve RR=0.2 (tablodan 14 okunur) parametreleriyle küme sayısı belirlenmek istenirse, AR=0.3 (RR' den 0.1 kadar büyük) değeri IR=0.1 çizgisinden okunarak 14 değerine ulaşılabilir (Şekil 4.67).

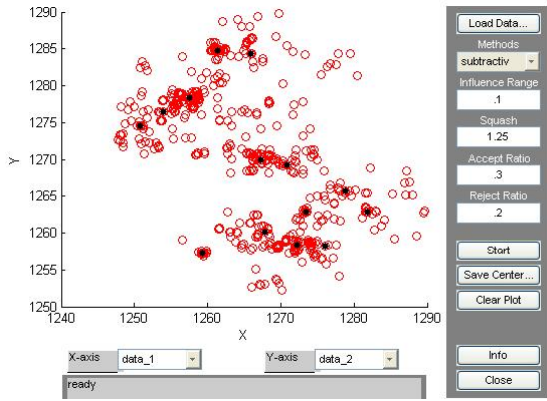


Şekil 4.67 SF=1.25 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)

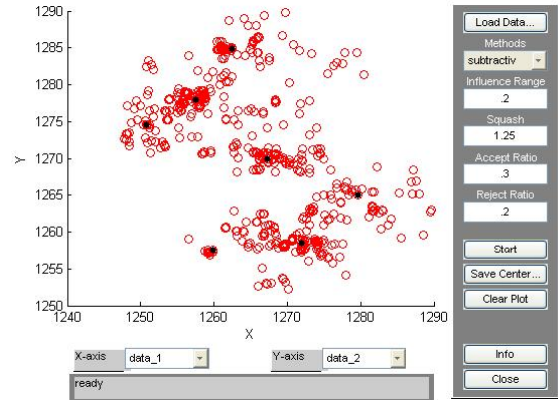
Şekil 4.67’ de görülen A1-A8 simgeleri SF=1.25 ve AR=0.3 değerleri için IR’ nin 0.1’den 0.8’e kadar (0.1 aralıkla) değişmesiyle oluşan küme sayılarını vermektedir. Şekil 4.68’de ise bu A serisinin küme merkezleri gösterilmiştir. Şekil 4.68’ de çemberler boru hasarlarını, noktalar ise küme merkezlerini göstermektedir. Etki aralığı (IR), 0.1 değerinden 0.8 değerine artış gösterirken, küme merkezi sayıları 14’den 1’e kadar azalmaktadır.

Şekil 4.67’e benzer olarak SF=1.1, SF=1.5, SF=1.75 ve SF=2 değerleri için farklı IR değerlerinde AR değerine bağlı olarak küme merkez sayılarının değişimlerini, Toprak ve diğ., (2010) göstermiştir (Şekil 4.69, Şekil 4.70, Şekil 4.71, Şekil 4.72).

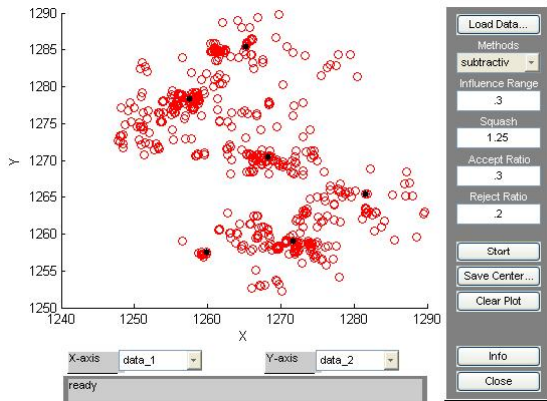
Yapılan çıkarımlı kümeleme analizleri sonucunda genel olarak üç parametre (IR, AR ve RR) sabit kalırken, SF parametresinin artması küme sayısına azaltıcı etkide bulunmaktadır. Boru hasarları veri setinde en az beş küme merkezine ulaşmak için IR değerinin 0.5’den küçük olması sonucuna ulaşılmaktadır. SF değeri 2’ye yaklaştıkça, IR değerinin 0.3 altında olması gerektiği gözlemlenmiştir (Toprak ve diğ., 2010).



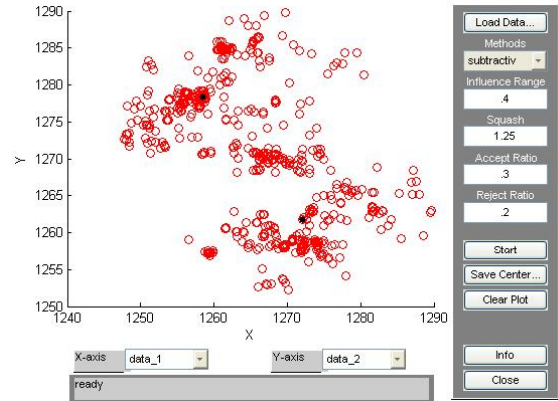
A1- IR=0.1



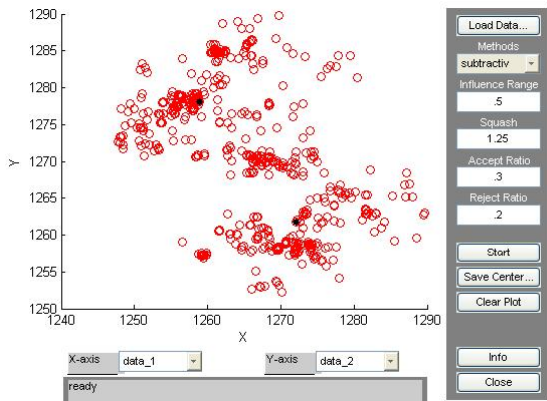
A2- IR=0.2



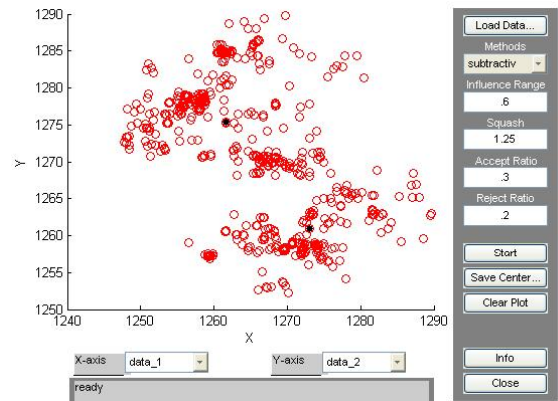
A3- IR=0.3



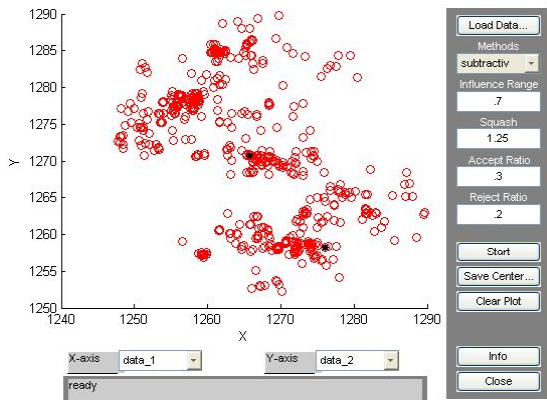
A4- IR=0.4



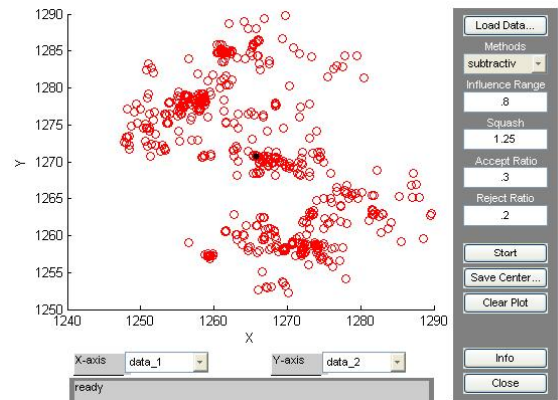
A5- IR=0.5



A6- IR=0.6

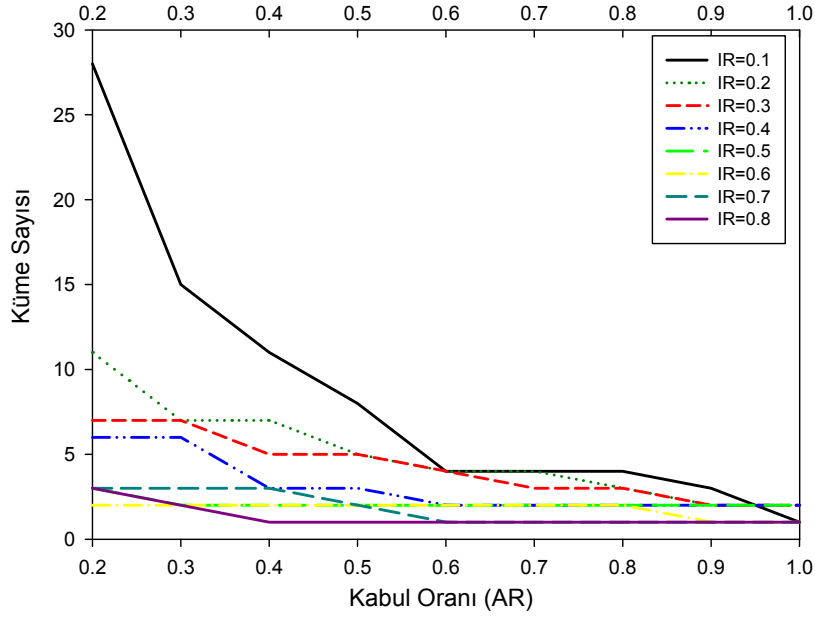


A7- IR=0.7

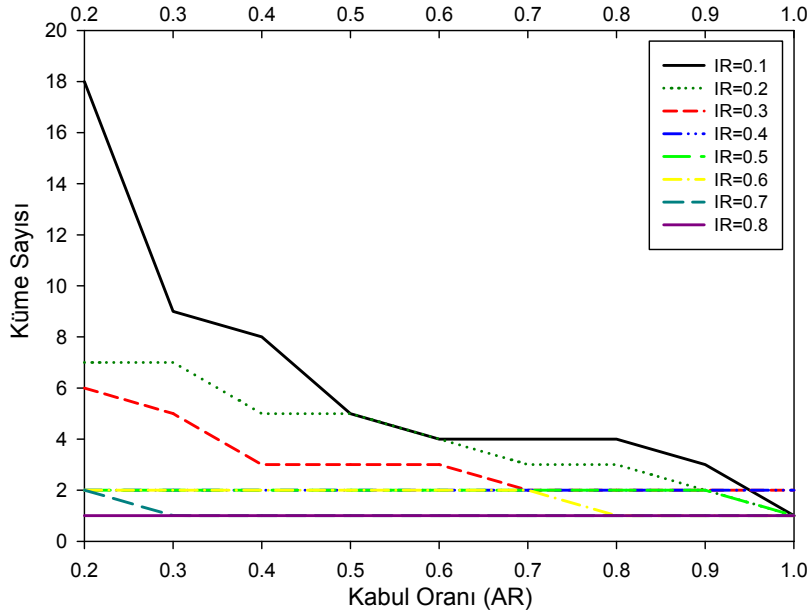


A8- IR=0.8

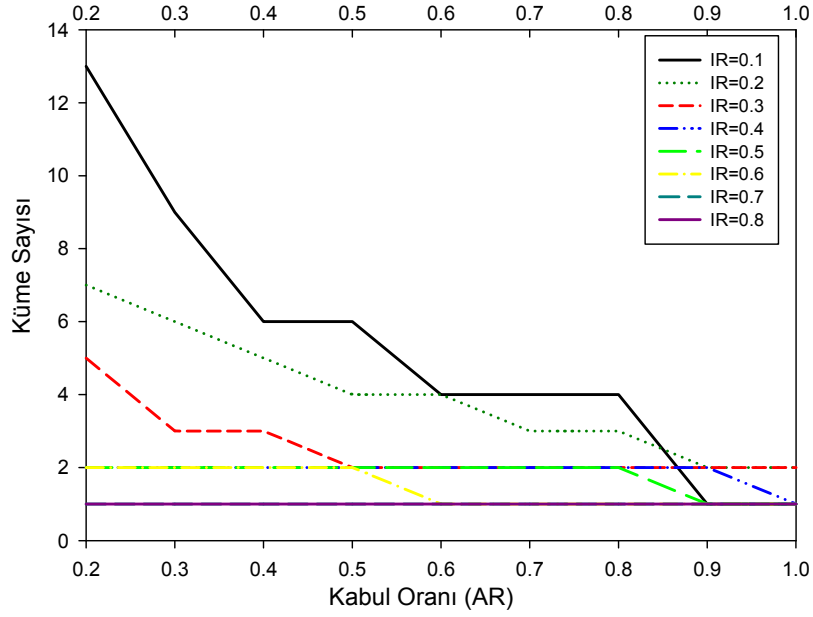
Şekil 4.68 SF=1.25 ve AR=0.3 için Şekil 4.67'deki A serisinin küme merkezleri (Toprak ve diğ., 2010)



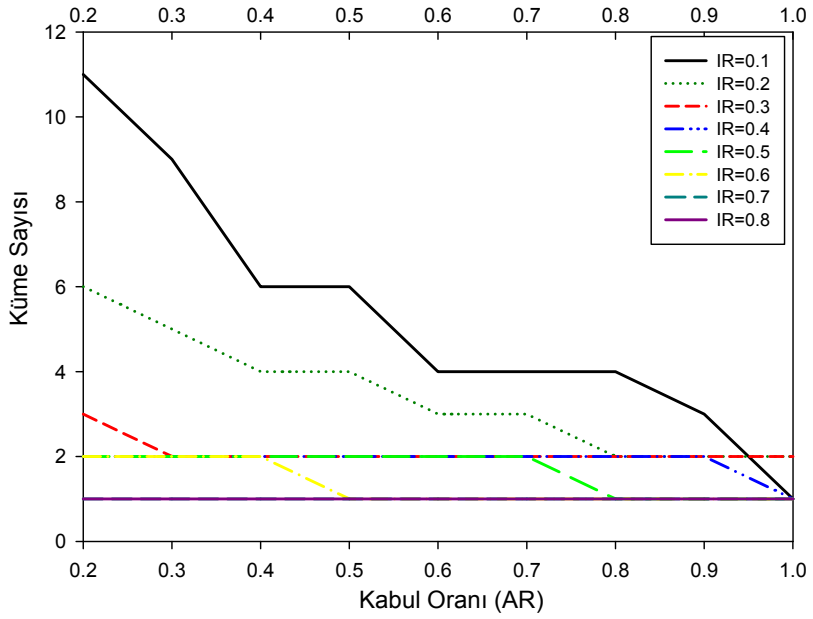
Şekil 4.69 SF=1.1 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)



Şekil 4.70 SF=1.5 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)



Şekil 4.71 SF=1.75 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)



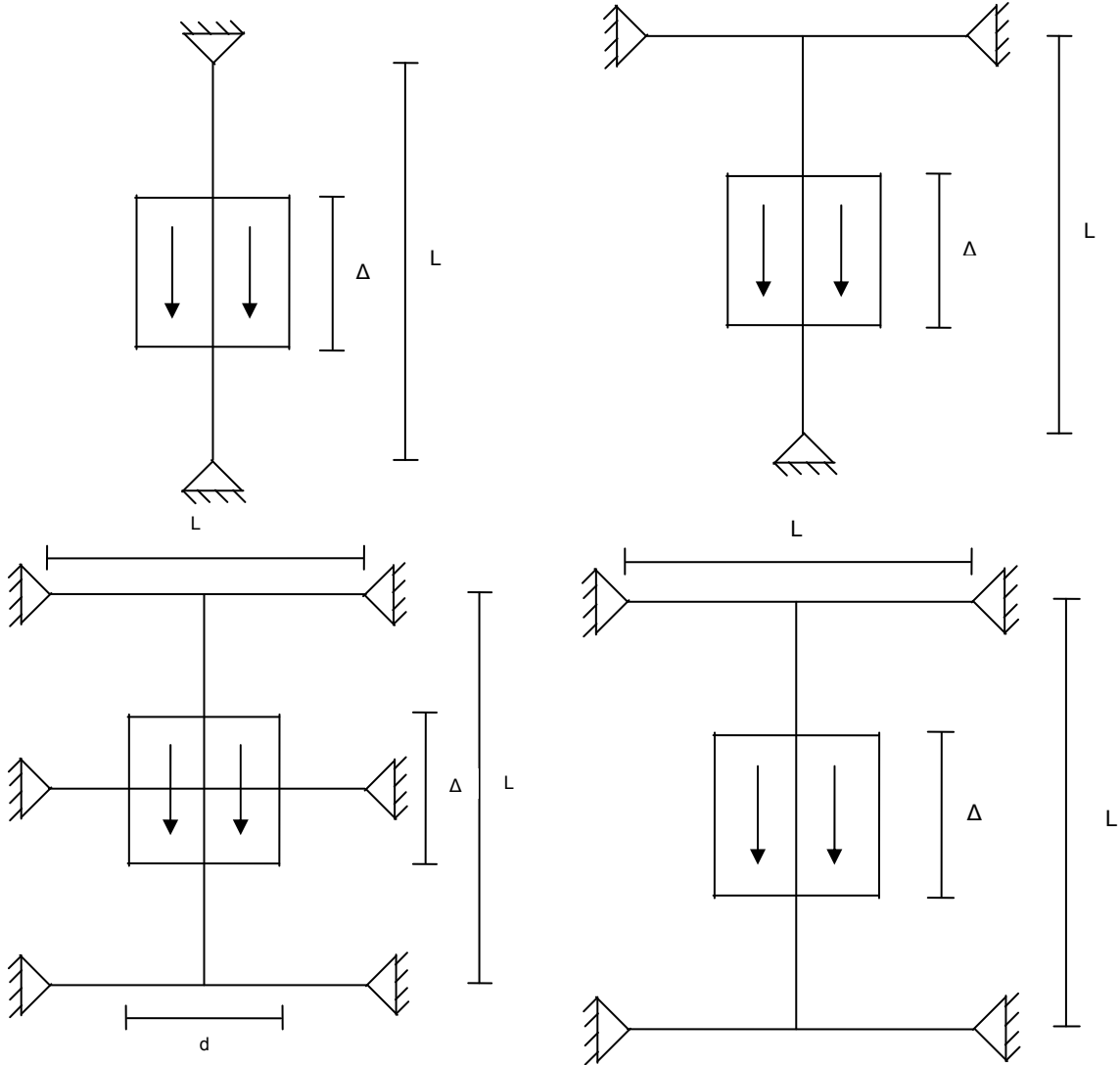
Şekil 4.72 SF=2 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)

4.3 Sonlu Elemanlar Analizleri

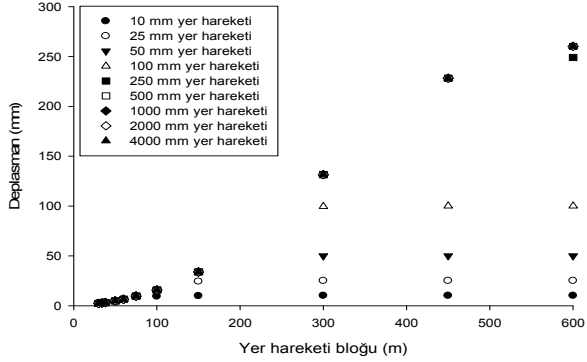
Bu bölümde deprem esnasında oluşan zemin hareketine bağlı olarak boruların davranışının belirlenmesi için yapılan sonlu elemanlar analizleri sunulmuştur. Analizlerde tek bir borudan ziyade borunun farklı şekilde diğer borularla birleştiği durumlarda göz önüne alınarak farklı modeller oluşturulmuştur. Gereç ve yöntem kısmında anlatıldığı gibi zemin boruya bağlı

yaylar ile modellenmiştir. Modellemelerde boru uzunluğu 1 m elemanlara bölünmüş, yaylar hem boru yönünde hem de boruya dik yönde olacak şekilde her elemanın uçlarına yerleştirilmiştir.

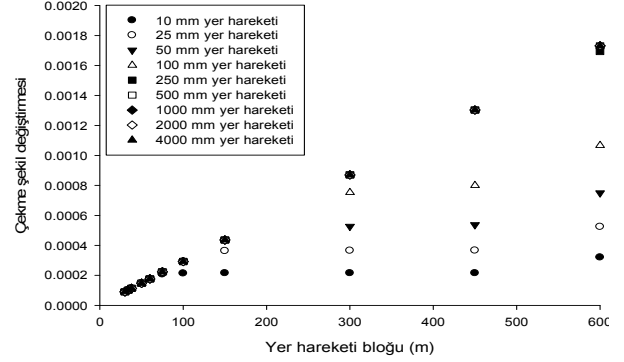
Şekil 4.73 DIANA programında çalıştırılan boru ve zemin hareketi modellerinden dördünü göstermektedir. Analizlerde $L = 600$ m olarak alınmış ve Δ değeri 30, 34, 38, 50, 75, 100, 150, 300, 450, 600m olarak değiştirilerek analizler yapılmıştır. Model 3'de KYD bölgesinin genişliği $d = 10, 30$ ve 50 m olarak değiştirilerek boru davranışı incelenmiştir. Model 3 dışındaki modeller için d değerinin değişkenliği sonuçları etkilememektedir. Bütün modellerde KYD bölgesinin bir blok olarak hareket ettiği varsayılmış ve yer değiştirme miktarı 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000, 2000 ve 4000 mm olarak alınmıştır. Şekil 4.74 birinci modelden, Şekil 4.75 ikinci modelden, Şekil 4.76, Şekil 4.77 ve Şekil 4.78 üçüncü modelden ve Şekil 4.79 dördüncü modelden elde edilen sonuçları göstermektedir. Şekillerin her birinde KYD hareketi doğrultusundaki boruda oluşan maksimum deplasmanlar, çekme ve basınç şekil değiştirmeleri ile çekme ve basınç gerilmeleri verilmiştir.



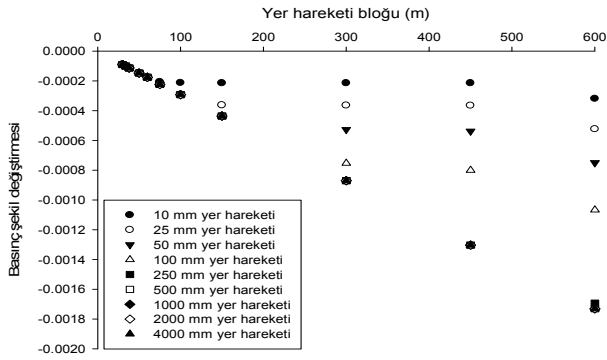
Şekil 4.73 Sonlu Eleman Modelleri



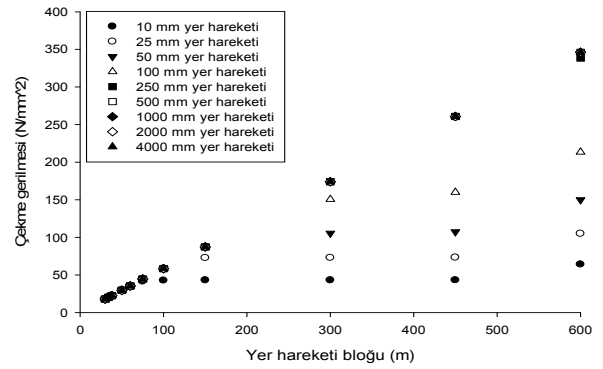
a) Borudaki maksimum deplasmanlar



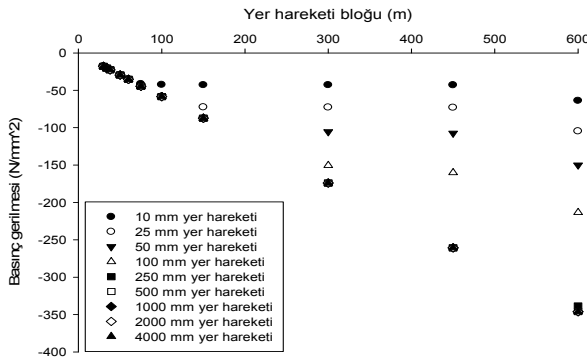
b) Borudaki maksimum çekme şekil değiştirmeleri



c) Borudaki maksimum basınç şekil değiştirmeleri

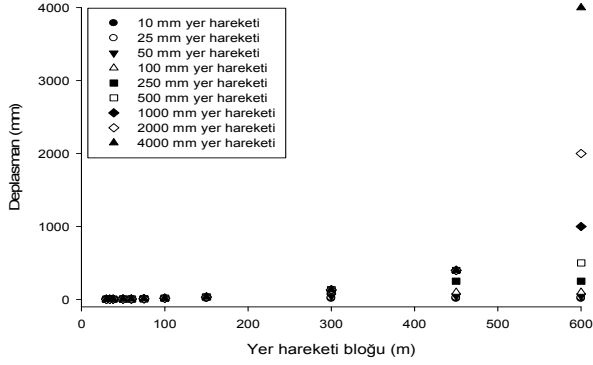


d) Borudaki maksimum çekme gerilmeleri

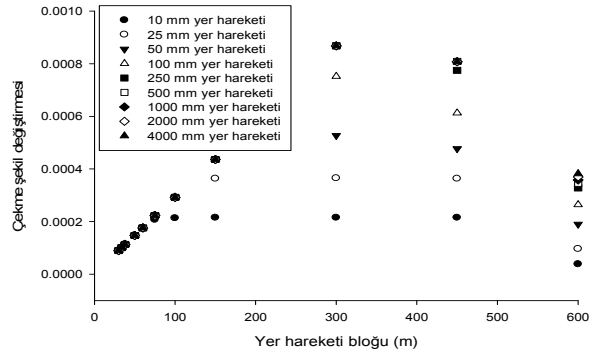


e) Borudaki maksimum basınç gerilmeleri

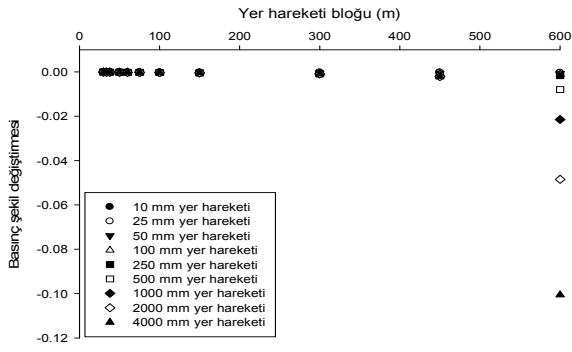
Şekil 4.74 Birinci model sonuçları



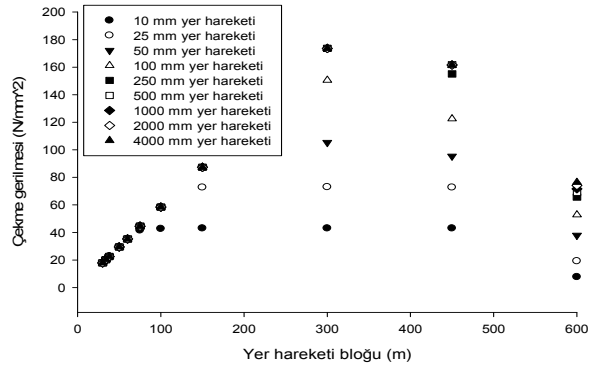
a) Borudaki maksimum deplasmanlar



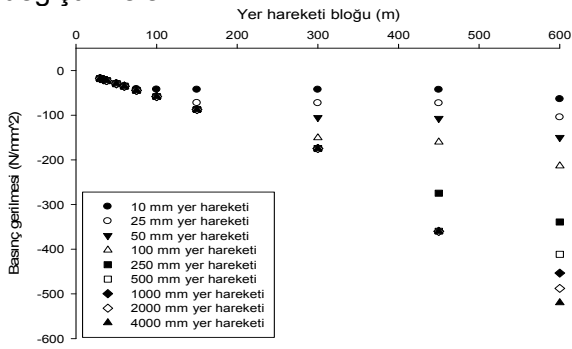
b) Borudaki maksimum çekme şekil değiştirmeleri



c) Borudaki maksimum basınç şekil değiştirmeleri

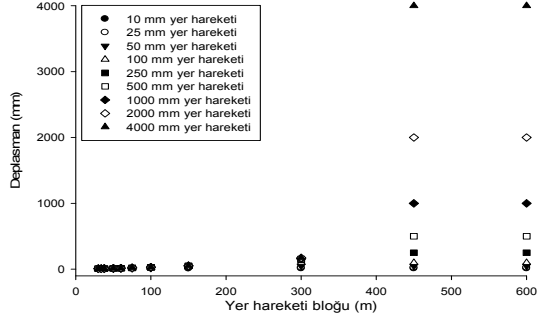


d) Borudaki maksimum çekme gerilmeleri

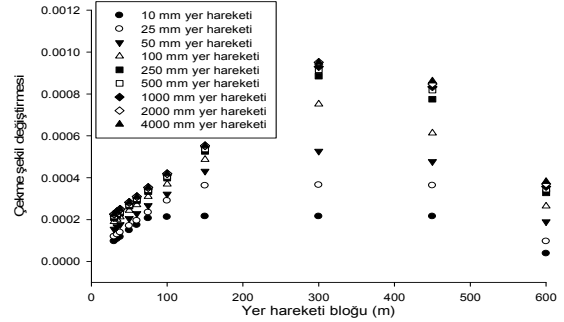


e) Borudaki maksimum basınç gerilmeleri

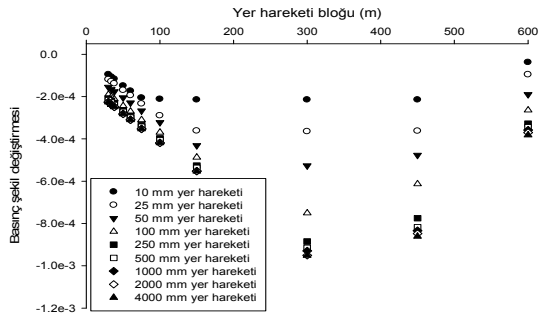
Şekil 4.75 İkinci model sonuçları



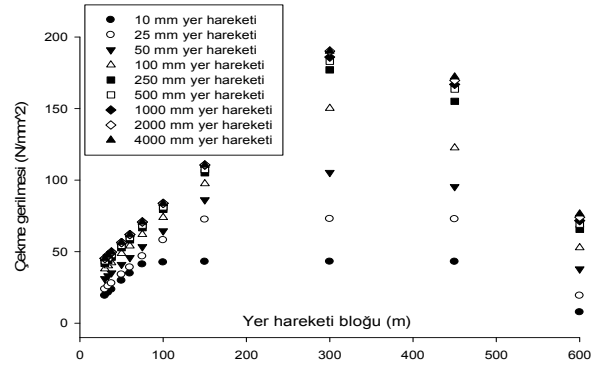
a) Borudaki maksimum deplasmanlar



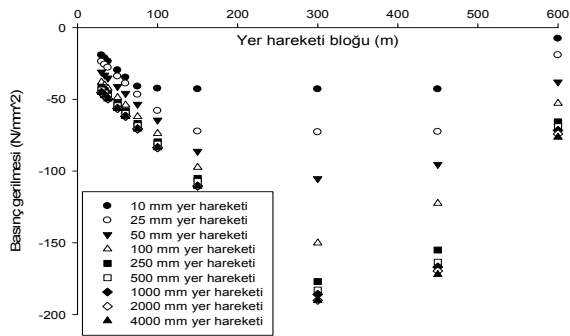
b) Borudaki maksimum çekme şekil değiştirmeleri



c) Borudaki maksimum basınç şekil değiştirmeleri

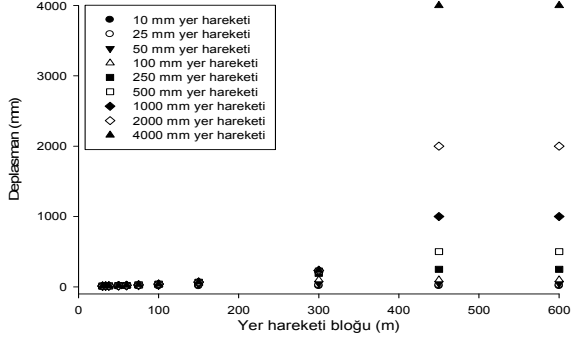


d) Borudaki maksimum çekme gerilmeleri

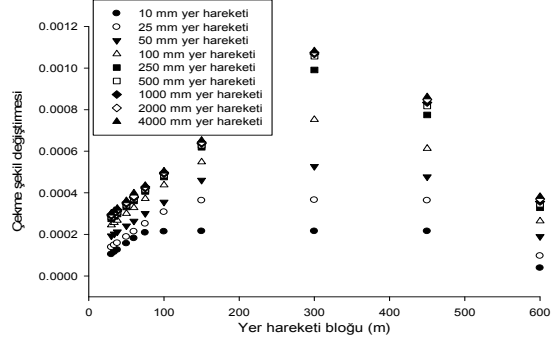


e) Borudaki maksimum basınç gerilmeleri

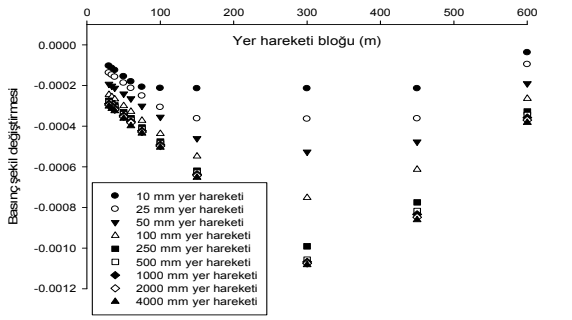
Şekil 4.76 Üçüncü model sonuçları (d=10 m)



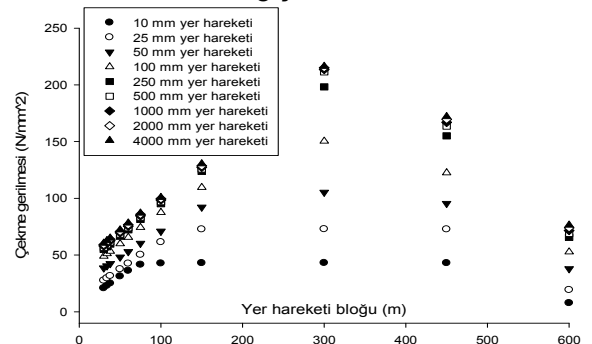
a) Borudaki maksimum deplasmanlar



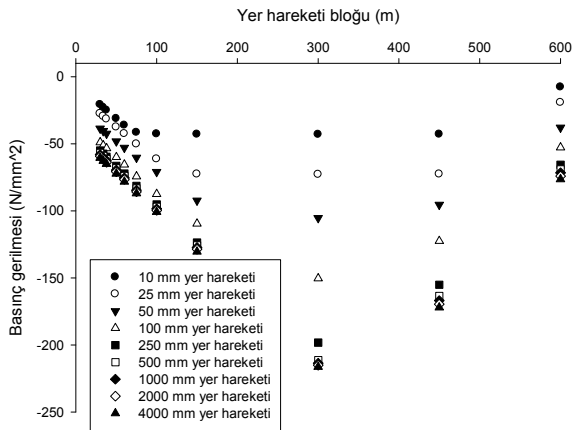
b) Borudaki maksimum çekme şekil değiştirmeleri



c) Borudaki maksimum basınç şekil değiştirmeleri

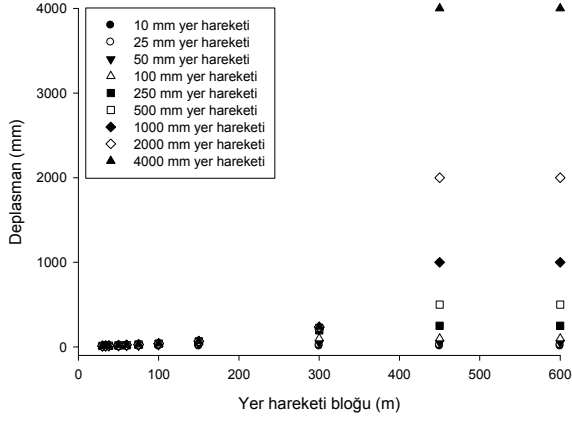


d) Borudaki maksimum çekme gerilmeleri

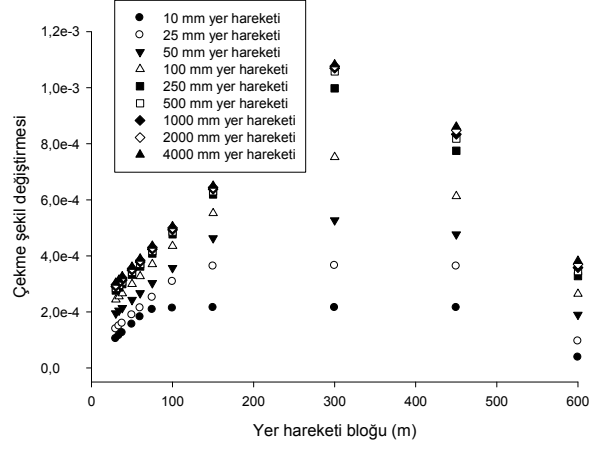


e) Borudaki maksimum basınç gerilmeleri

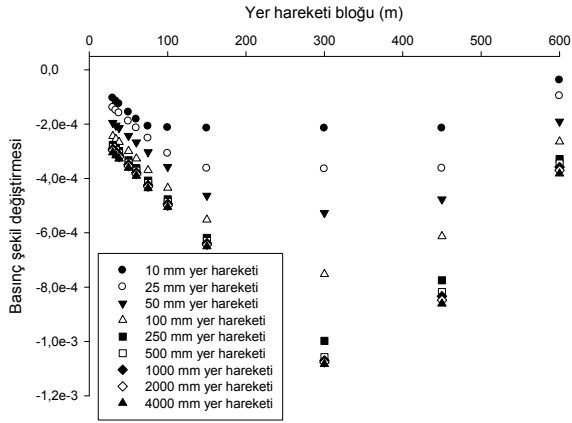
Şekil 4.77 Üçüncü model sonuçları (d=30 m)



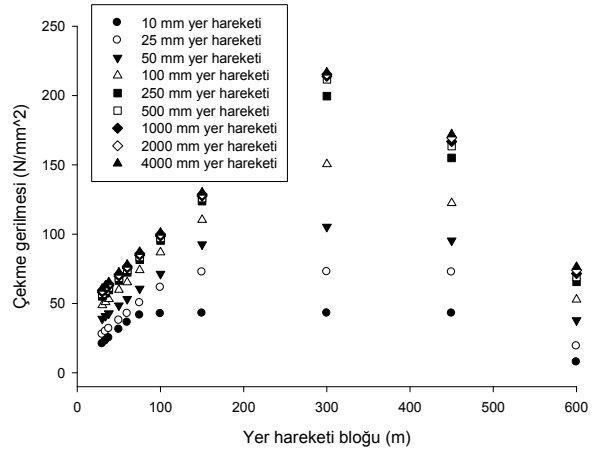
a) Borudaki maksimum deplasmanlar



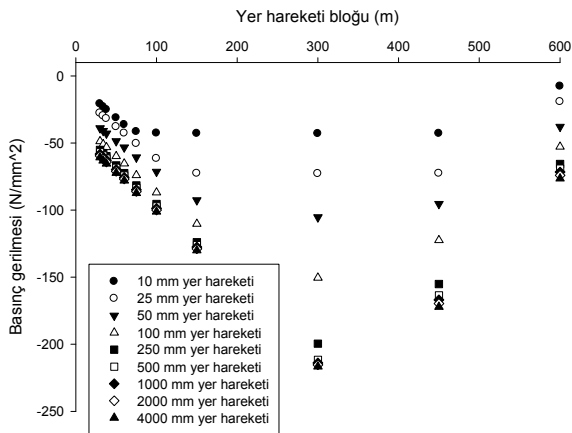
b) Borudaki maksimum çekme şekil değıştirmeleri



c) Borudaki maksimum basınç şekil değıştirmeleri

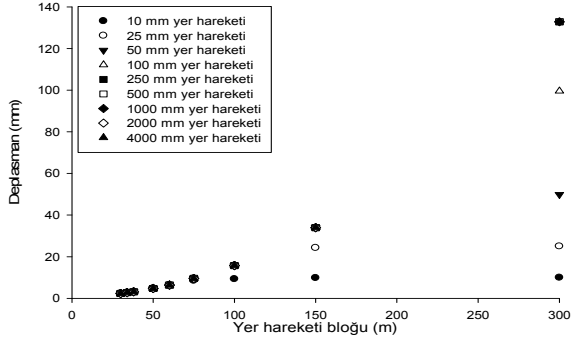


d) Borudaki maksimum çekme gerilmeleri

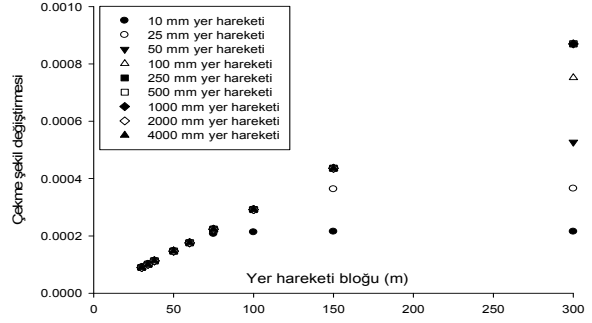


e) Borudaki maksimum basınç gerilmeleri

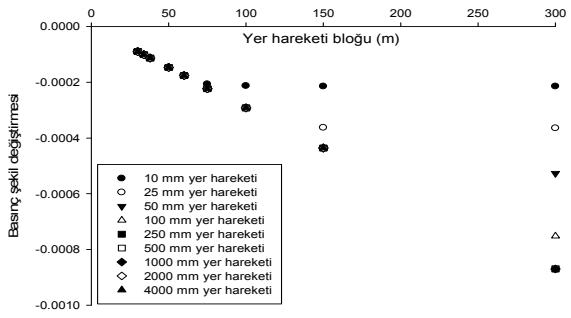
Şekil 4.78 Üçüncü model sonuçları (d=50 m)



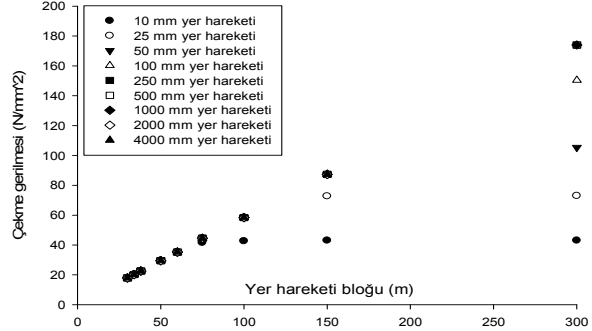
a) Borudaki maksimum deplasmanlar



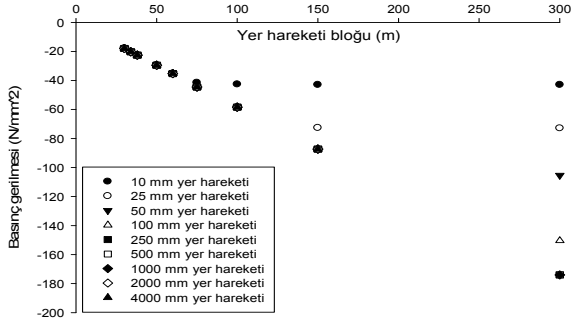
b) Borudaki maksimum çekme şekil değişimleri



c) Borudaki maksimum basınç şekil değişimleri



d) Borudaki maksimum çekme gerilmeleri



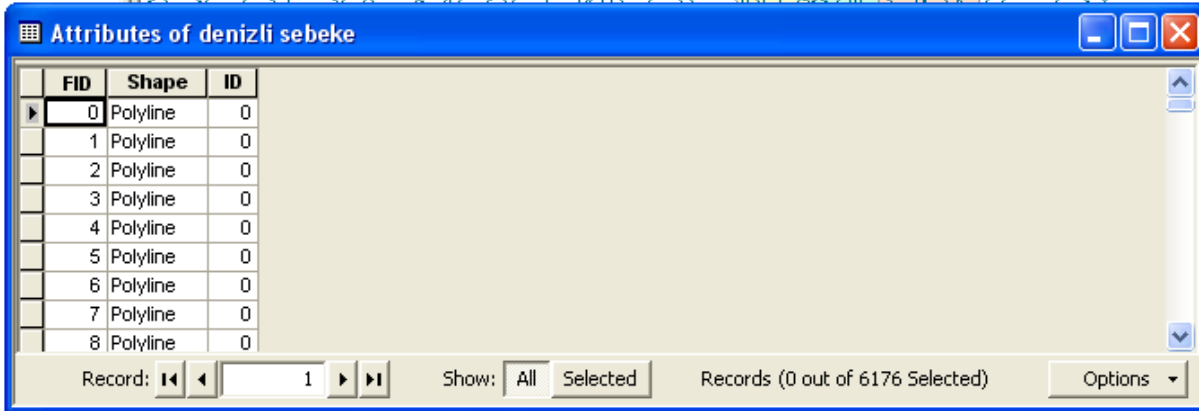
e) Borudaki maksimum basınç gerilmeleri

Şekil 4.79 Dördüncü model sonuçları

4.4 Coğrafi Bilgi Sistemleri Yazılımı

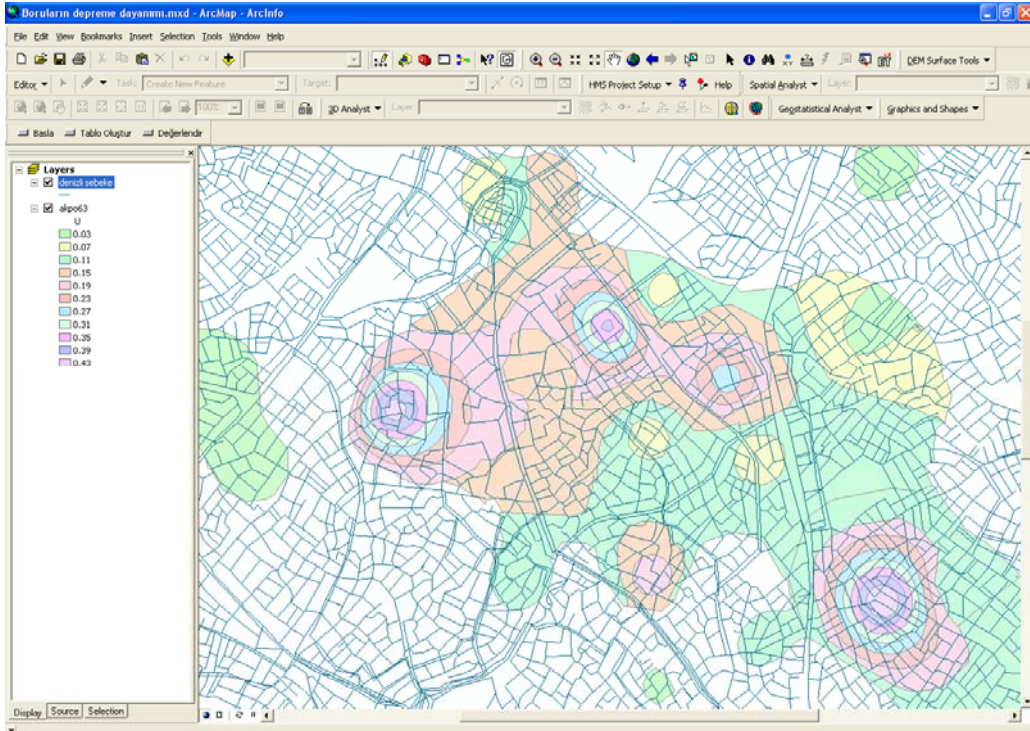
ArcGIS ortamında çalışan yazılım "Boruların Depreme Dayanımı.mxd" isimli dosyanın içerisinde sunulmuştur. Yazılımı kullanabilmek için boruları kapsayan en az bir adet vektör tabakaya ihtiyaç vardır. Bu, "polyline" formatında hazırlanmış, kontrol edilecek boruları içeren bir "shape" dosyasıdır. Borular dosyası mevcut boru hatları çizimini kapsayabileceği gibi yeni bir çizimde olabilir. "Polyline" formatında oluşturulmuş bir "shape" dosyasında boruları temsil eden çizgiler çizildikçe aynı zamanda özellikler tablosunda da ("Attribute Table") her boru

için bir alan ("Field") oluşur. ArcGIS programı özellikler tablosunda FID, Shape, ID olarak 3 adet standart sütunu otomatik olarak oluşturur (Şekil 4.80). İlave boru ve varsa kalıcı yer deplasmanı değerlerini içeren tabakalar "Boruların Depreme Dayanımı.mxd" projesine eklenmelidir.



FID	Shape	ID
0	Polyline	0
1	Polyline	0
2	Polyline	0
3	Polyline	0
4	Polyline	0
5	Polyline	0
6	Polyline	0
7	Polyline	0
8	Polyline	0

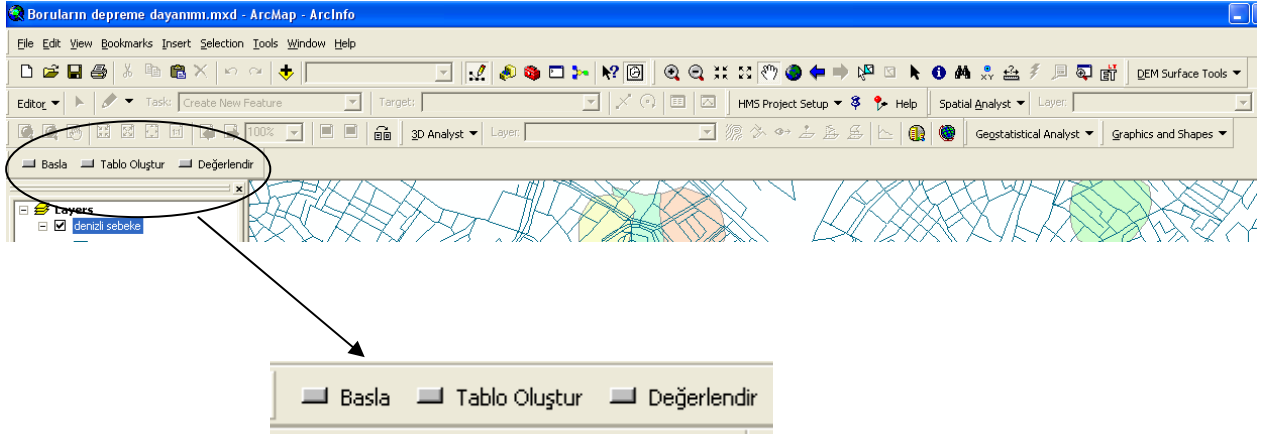
Şekil 4.80 Borular tabakasının özellikler tablosunun boş durumu



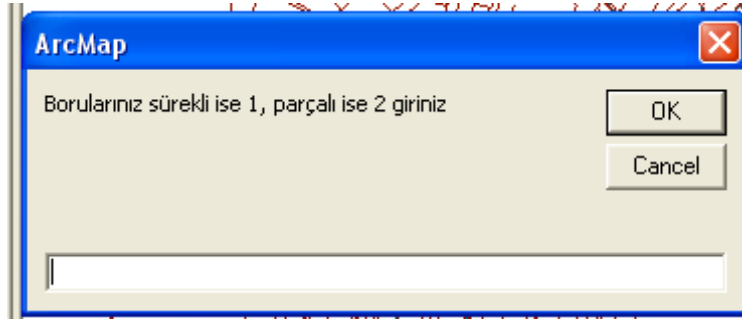
Şekil 4.81 Borular ve kalıcı yer değiştirme tabakalarını içeren bir ArcGIS projesi

Hazırlanan yazılım üç ana modülden oluşmakta olup bunlar bir araç çubuğu üzerindeki "Başla", "Tablo Oluştur" ve "Değerlendir" düğmeleri ile sırasıyla çalıştırılmaktadır (Şekil 4.82). Öncelikle "Başla" düğmesi tıklanır. Parçalı ve sürekli borular farklı yönetmeliklere göre değerlendirildiği için kullanıcıdan öncelikle bu ayrımın yapılması istenir (Şekil 4.83). Eğer

şebekede aynı anda iki tür boru da bulunuyorsa parçalı ve sürekli boruları farklı dosyalar içerisinde kaydedip ayrı ayrı değerlendirmek gereklidir.

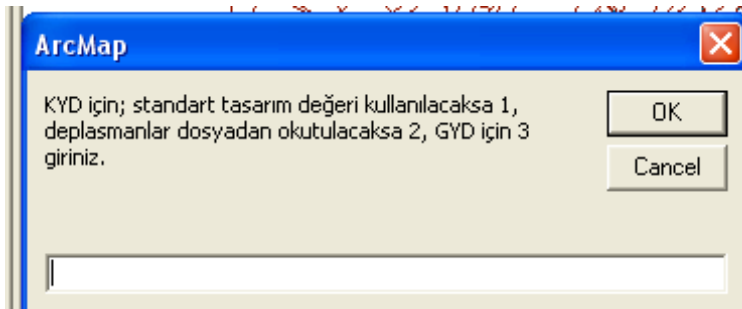


Şekil 4.82 Yazılımın araç çubuğu



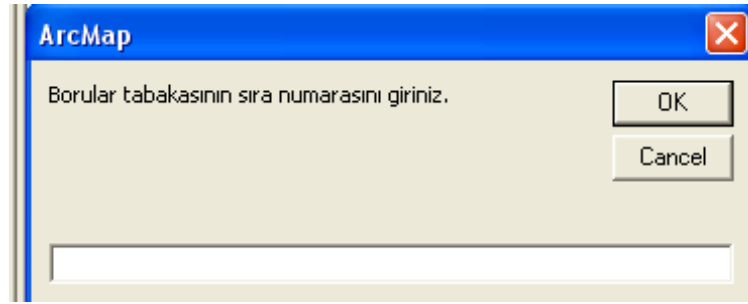
Şekil 4.83 Parçalı ve sürekli boru sorgusu

İkinci bir soru ile bu sefer yer deplasmanının kalıcı mı yoksa geçici mi olduğu sorulacaktır. Kalıcı yer deplasmanının tanımlanması için 2 farklı seçenek vardır (Şekil 4.84). Bu sorgular bitince ekranda "Tablo oluştur düğmesini tıkladınız" mesajı görünecektir.



Şekil 4.84 Yer deplasmanı sorgusu

Tablo oluştur düğmesi tıklandığı zaman öncelikle boruları içeren tabakanın ArcGIS proje ekranında kaçınıcı sırada olduğu sorulacaktır (Şekil 4.85). Program yukarıdaki sorguların sonuçlarına göre boruları içeren tabakanın özellikler tablosunu 6 farklı kombinasyonda oluşturulacaktır. Her kombinasyon için farklı parametreler kullanıldığı için özellikler tablosuna eklenecek alanlar da farklı olacaktır. Tablo 3.1’den Tablo 3.6’ya kadar olan tablolar da oluşturulacak özellikler tablosu seçenekleri ve açıklamaları verilmiştir. Tablo oluşturulduğu zaman boşdur, bunların bazılarını kullanıcı bazılarını program dolduracaktır (Şekil 4.86). Tablolarda açıklanan alanlar dışında ArcGIS programının oluşturacağı başka alanlar da özellikler tablosunda bulunabilir ama bunlar hesapları etkilemez. Alanlar için önemli olan isimleridir, sıraları da hesapları etkilemez.

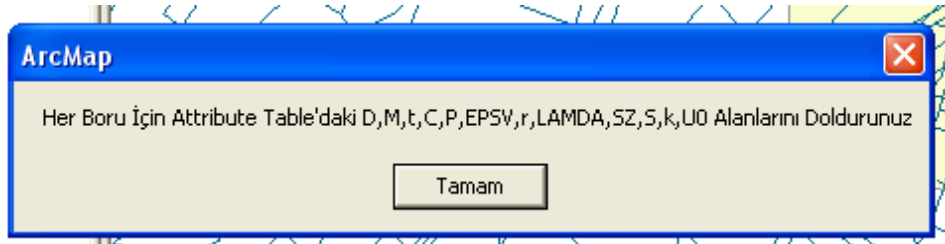


Şekil 4.85 Boruları içeren tabakanın sıra numarası sorgusu

FID	Shape	ID	D	M	t	C	P	E	EPS0	EPSV	r	ER	I	A	LAMDA	SZ	S	k	ALFA1	ALFA2	U0	U	V	Du	Dv	EMNİYET
0	Polyline	0	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Polyline	0	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Polyline	0	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	Polyline	0	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Polyline	0	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Polyline	0	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Polyline	0	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	Polyline	0	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	Polyline	0	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Şekil 4.86 Tablo 3.1’e göre oluşturulmuş özellikler tablosu (“attribute table”)

Tablo oluşturulduktan sonra program her tabloda kullanıcının doldurması gereken alanları liste halinde belirtir. Örneğin Tablo 3.1’de kullanıcının doldurması gereken alanlar Şekil 4.87’de verilmiştir. Program ikinci bir mesajla (Şekil 4.88) kullanıcının tabloda gerekli alanları doldurduktan sonra “Değerlendir” düğmesine basmasını hatırlatır.



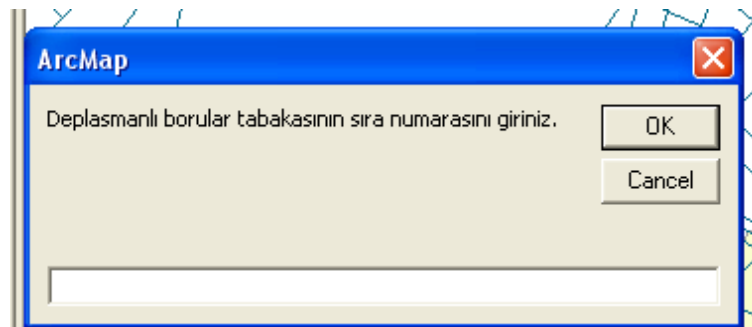
Şekil 4.87 Tablo 1’de kullanıcının girmesi gereken parametreler



Şekil 4.88 “Tablo oluştur” düğmesinin son mesajı

Kullanıcı “Değerlendir” düğmesini tıkladığı zaman Şekil 4.89’deki mesajla borular tabakasının ArcGIS projesindeki sıra numarasını girmesi istenir. Burada “Deplasmanlı borular” ifadesinin nedeni eğer boru deplasmanları başka bir tabakadan alındı ise projede boruları içeren 2 adet tabaka olacaktır. Bu tabakalardan birleşme işleminden sonra oluşan tabakanın numarasının girilmesi gereklidir.

Program çalışmasını bitirdikten sonra değerlendirmenin tamamlandığını Şekil 4.90’daki mesajla bildirir.



Şekil 4.89 “Değerlendir düğmesi” ile istenen boru tabaka numarası sorgusu



Şekil 4.90 Programın sonuç mesajı

5. TARTIŞMA/SONUÇ

Bu çalışmada, boru hasarlarını tahmin için kullanılan boru hasar ilişkileri detaylı olarak irdelenmiş ve CBS altında farklı PGV aralıkları ve grid boyutları kullanımının boru hasar ilişkileri üzerine etkisi değerlendirilmiştir. Analizlerde Toprak (1998), O'Rourke ve diğ. (1998) ve O'Rourke ve Toprak (1997) yayınlarında literatüre giren 1994 Northridge depreminden dolayı oluşan Los Angeles şehri boru hasarlarının veri seti tamamıyla gözden geçirilmiş, boru hasar bilgileriyle boru hatları bilgilerinin CBS ile karşılaştırılması gerçekleştirilerek, uyuşması sağlanacak şekilde değişiklikler yapılmıştır. Eski hasar ilişkileri ışığında farklı metotlar kullanılarak yeni hasar ilişkileri geliştirilmiştir. Farklı PGV aralıkları ve grid boyutları için geliştirilen hasar ilişkileri sonucunda, gridlerde 2 cm/s ve 5 cm/s PGV aralıklarından 10 cm/s PGV aralığına geçerken r^2 değerinin gözle görülür bir şekilde arttığı saptanmıştır. Bu seviyede artış 10 cm/s'den 15 cm/s'ye geçerken gözlenmemektedir. Bu PGV değerleri arasında r^2 değerleri birbirlerine oldukça yakındır. PGV aralığı 20 cm/s olduğunda ise r^2 değeri daha küçük PGV aralıklarına göre en yüksek değerine ulaşmaktadır. Diğer bir gözlemede genel olarak PGV arttıkça aynı grid değeri için hasar ilişkilerinin birbirine yaklaşmasıdır. Özellikle PGV değeri yaklaşık olarak 30 cm/s'nin üzerinde olduğu durumda ilişkiler kayda değer bir şekilde yakınlaşmış duruma gelmektedir. Eş PGV konturları için çıkartılan hasar ilişkilerinde 2 cm/s'den 10 cm/s'ye kadar PGV aralığı büyüdükçe r^2 değerinde artışın gridlerdeki duruma benzer şekilde olduğu saptanmıştır. 10 cm/s'den büyük PGV aralıklarında r^2 değeri birbirine yakın, 20 cm/s aralığında ise gridlerde görüldüğü gibi r^2 değeri en yüksek değerine ulaşmıştır. Gridler için geliştirilmiş hasar ilişkilerinde olduğu gibi PGV değeri arttıkça hasar ilişkileri birbirlerine yaklaşmıştır.

Farklı grid boyutlarının ve eş PGV konturlarının, PGV aralıkları üzerindeki etkisinin değerlendirilmesinde ise PGV aralığı 2 cm/s için r^2 değerleri grid 1x1 km, grid 0.5x0.5 km, grid 0.25x0.25 km ve eş PGV konturları için birbirlerine çok yakın olup grid boyutu arttıkça r^2 değerleri azalmakta olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte bu PGV aralığında elde edilen r^2 değerleri burada kullanılan bütün grid değerleri için düşük çıkmıştır. PGV aralığı 5 cm/s için bakıldığında ise r^2 değerlerinde PGV aralığı 2 cm/s'ye göre bir yükseliş olduğu gözlemlenmektedir. Farklı grid boyutları ve eş PGV konturları için r^2 değerleri biraz farklılık gösterse de hasar ilişki doğruları birbirlerine çok yakındırlar. 10 cm/s PGV aralığı için r^2 değerleri grid 4x4 km dışında birbirlerine çok yakın olup, hasar ilişki eğrileride benzerlik göstermektedir. Aynı sonuç 15 cm/s PGV aralığı için de geçerlidir. 20 cm/s PGV aralığı için r^2 değerleri grid 4x4 km dışında 1 değerine çok yakındır. Bu da veriye uyan neredeyse mükemmel bir eğriye işaret etmektedir. Genel olarak bakıldığında r^2 değerlerinin grid 4x4 km için bütün PGV aralıklarında en düşük kaldığı gözlenmektedir. Bu sonuçta, PGV değerlerinin yaklaşık 1,5 yatay ve 2 km düşey aralıklarla mevcut olan ShakeMap verilerinin 4 km grid içine düşen noktaların ortalaması (yaklaşık 4-6 nokta) olarak alınmasının rol oynadığı düşünülmektedir. Bu tespit, hasar ilişkileri geliştirilmesinde kuvvetli yer hareketi verilerinin elde edildiği mesafe aralıklarından daha geniş aralıkların kullanılmaması hususuna işaret etmektedir. PGV aralıklarındaki genel gözlem ise 8 cm/s altındaki aralıkların diğerlerine göre çok daha düşük r^2 değerleri ortaya çıkardığıdır. PGV aralığının 20 cm/s ve üstü olduğu durumlarda en yüksek r^2 değerleri ortaya çıkmasına rağmen çok genel bir gruplandırma olmasından dolayı kullanılması nadir olacaktır.

Farklı grid boyutları kullanılarak 10 cm/s PGV aralığı için probabilistik hasar görebilirlik eğrileri üretilmiştir. Özellikle 2x2 km, 1x1 km, 0.5x0.5 km ve 0.25x0.25 km gridler kullanılarak

elde edilen eğrilerin r^2 değerlerinin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu eğrilerin probabilistik hasar tahminleri için doğrudan kullanımının yaygınlaşacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmayla kümeleme analizi yazarların bilgisi kapsamında literatürde ilk defa gömülü boru sistemlerinin deprem hasarlarını incelemek için kullanılmıştır. Kümeleme geçerlilik indeksleriyle hazır veri setlerinin değerlendirilmesi sonucu kullanılan yedi indeksten üçünün (MPC, Pakhera ve Fukuyama-Sugeno indeksleri) diğer dört indekse göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği gözlemlenmiş, boru hasarlarının bu üç indeksin verdiği sonuçlara göre kümelenebilmesinin daha doğru olduğu sonucuna varılmıştır. Kümeleme yöntemlerinin gömülü boru hatlarındaki deprem hasarlarının değerlendirilmesinde ve hasarların yoğun olduğu alanların belirlenmesinde kullanılması hususu incelenmiştir. Yerleşim bölgelerine yakın olarak gerçekleşen geçmiş depremlerde hasar gören boru hatlarındaki gözlemler, hasarların belli noktalarda daha fazla yoğunlaştıklarını göstermiştir (Yüksek hasar bölgeleri). Hasarların yoğunlaştığı bölgelerin belirlenmesi özel bir öneme sahiptir, çünkü bu bölgeler zemin açısından problemlili alanlara (örneğin, sıvılaşma veya zemin oturması) ve/veya ilgili alan içinde boru hatlarının bazı zayıflıklara (örneğin boru malzemesi, boru çapı, ve boru ekleri) sahip olduğuna işaret etmektedir. Bulanık c-ortalama yöntemini kullanarak yedi indeks için kümeleme sonuçları bulunmuş ve hazır veri setlerinden elde edilen bilgiler ışığında üç geçerlilik indeksi için kümeleme sonuçları (küme sayıları) altı, onüç ve onbeş olarak bulunmuştur. Çıkarımlı kümeleme analizi kullanılarak bazı parametrelerin değiştirilmesiyle boru hasarlarının değerlendirilmesi sonucunda literatürde yer alan yoğun hasar bölgelerinin çakıştığı saptanmıştır. Çıkarımlı kümeleme parametrelerinin kümeleme analizine etkisi sonucunda ise yeni bir grafik yöntem geliştirilerek küme sayılarının belirlenmesinde kolaylık sağlanmıştır.

Gelecek çalışmalarda konuma göre iki boyutlu yapılan kümeleme analizlerine, başka parametrelerde (boru çapı, PGV vb.) eklenerek bu parametrelerin kümeleme analizine etkisinin araştırılması düşünülmektedir. Ayrıca kümeleme geçerlilik indeksleri yardımıyla bulunan mantıklı küme sayılarına bölünmüş hasar gruplarının kendi içlerinde ayrıntılı olarak incelenerek o bölgede zemin koşullarının ve/veya boru parametrelerinin hasar ilişkileri geliştirilerek önceden geliştirilen hasar ilişkileriyle karşılaştırılması yapılarak bölgeye ait özel durumların araştırılması düşünülmektedir.

Depremlerde boru-zemin etkileşimi karmaşık bir yapıya sahiptir ve zemin ile boru arasındaki ilişkiyi modelleyebilmek için birçok çalışmalar yapılmış ve farklı yaklaşımlar izlenmiştir. Bu çalışmada deprem esnasında oluşan zemin hareketine bağlı olarak boruların davranışının belirlenmesi için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler dünyada yaygın olarak kullanılan DIANA sonlu elemanlar programı ile yapılmıştır. Analizlerde tek bir borudan ziyade borunun farklı şekilde diğer borularla birleştiği durumlarda göz önüne alınarak farklı modeller oluşturulmuştur.

Bu projede ARCGIS CBS programı altında çalışacak bir yazılım hazırlanmıştır. Program depremlerin etkilerini, bir bölgedeki ya da bir şehirdeki boru hatları sistemini bir bütün olarak ele alacak şekilde değerlendiren ve zemin-boru etkileşimini de gözönünde tutan kapsamlı bir yaklaşım olarak çalışmaktadır. Böylece deprem etkileri ve boru hatları konusunda ileri derecede uzman olmayan kurum, kuruluşlar ve kişilere de yol gösterici olması beklenmektedir. Program aracılığı ile değerlendirmeler standart zemin deplasmanları ile yapılabildiği gibi kullanıcı, deprem esnasında oluşması beklenen zemin deplasmanlarına sahipse (analizlerle belirlenmiş) bunları daha detaylı bir analiz için kullanabilmektedir.

6. REFERANSLAR

- Abonyi J., Feil B., *Cluster Analysis for Data Mining and System Identification*, Cover design, Alexander Faust, Basel, Switzerland Printed in Germany (2007).
- Abtew, W., Obeysekera, J., Shih, G., Spatial Analysis for Monthly Rainfall in South Florida, *Water Resources Bulletin*, 29, (1993). 179-188.
- American Lifelines Alliance (ALA). Seismic Fragility Formulations for Water Systems, Part 1-Guideline, www.americanlifelinesalliance.org, (2001).
- Ayala, A. G., O'Rourke, M. J., Effects of the 1985 Michoacan Earthquake on Water Systems and Other Buried Lifelines in Mexico, NCEER-89-0009, MCEER, Buffalo, NY, (1989).
- Bandyopadhyay, S., Maulik, U., Non-Parametric Genetic Clustering Comparison of Validity Indices, *IEEE Trans. Syst. Man Cybernet. Part-C* 31 (1), (2001). 120–125.
- Bandyopadhyay, S., Maulik, U., Genetic Clustering for Automatic Evolution of Clusters and Application to Image Classification, *Pattern Recognition*, vol.35, (2002). Pp: 1197-1208.
- Bandyopadhyay, S., Pal, S. K., Classification and Learning Using Genetic Algorithms: Applications in Bioinformatics and Web Intelligence, *Springer*, Heidelberg, (2007).
- Bezdek, J. C., Cluster Validity with Fuzzy Sets, *J. Cybernet*, 3, (2007). Pp: 58–74.
- Bezdek, J. C., Numerical Taxonomy with Fuzzy Sets, *Journal of Mathematical Biology*, 1, (1974). Pp: 57–71.
- Bezdek, J. C., *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function*, Plenum Press, New York, (1981).
- Campbell, K. W., 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), (1997). Pp: 154-179.
- Chiu, S. L., Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2, John Wiley & Sons, (1994). Pp: 267-278.
- Clough, R. W., Bathe K. J., *Finite Element Analysis of Dynamic Response*, *Advances in Computational Methods in Structural Mechanics and Design*, edited by J. T. Oden, R. W. Clough and Y. Yamamoto, UAH Press, University of Alabama at Huntsville, 1972.
- Committee on Gas and Liquid Fuel Lifelines, Guidelines for The Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems, ASCE, New York, NY, (1984).
- Dave, R. N., Validating Fuzzy Partition Obtained Through C-Shells Clustering, *Pattern Recognition Lett.*, (1996). Pp: 613–623.

- Duncan, J. M., Behavior and Design of Long-Span Metal Culverts., *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 105(3), (1979). Pp: 399-418.
- Dunn, J. C., A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters, *Journal of Cybernetics* 3, (1973). Pp: 32-57.
- Editorial Committee for the Report on the Hanshin-Awaji Earthquake Disaster, *Report on the Hanshin-Awaji Earthquake Disaster*, Vol. 9, (1997).
- Eguchi, R. T., Taylor, C., Hasselman T. K., Seismic Component Vulnerability Models for Lifeline Risk Analysis, J.H. Wiggins Company, Technical Report No. 82-1396-2c, Redondo Beach, CA, (1983).
- Eguchi, R. T., Earthquake Performance of Water Supply Components During the 1971 San Fernando Earthquake, Technical Report No.82-1396-2a, J. H. Wiggins Company, Redondo Beach, CA, March, (1982).
- Eidinger, J. 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., (1998). Pp: 63-80.
- Eidinger, J. M., O'Rourke, M., Bachhuber, J., Performance of a Pipeline at a Fault Crossing, Proceedings, Seventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Theme: Urban Earthquake Hazard, No: 261, Boston, MA, U.S.A, (2002).
- Einstein, H. H. and Schwartz C. W., Simplified analysis for tunnel supports., *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, ASCE, 105(4), April, (1979). Pp: 499-518.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA), Earthquake Loss Estimation Methodology, HAZUS 99: Technical Manual, Prepared by the National Institute of Building Sciences, (1999).
- Fukuyama, Y., Sugeno, M., A New Method of Choosing The Number of Clusters for The Fuzzy C-Means Method, Proceedings of Fifth Fuzzy Systems Symposium, (1989). Pp: 247-250.
- Gath, J. and Geva, A.B., Unsupervised Optimal Fuzzy Clustering, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(7), (1989). Pp: 773-781.
- Ghaboussi, J., Wilson, E. L., Isenberg, J., Finite Element for Rock Joints and Interfaces, *J Soil Mech Div ASCE* 99, SM10, (1973). P: 833-848.
- Ghosh, S., Kikuchi, N., An Arbitrary Lagrangian-Eulerian Finite Element Method for Large Deformation Analysis of Elastic-Visco-Plastic Solid, *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.*, Vol. 86, (1991). Pp: 127-188.
- Goodman, R. E., Taylor, R. L., Brekke, T. L., A model for The Mechanics of Jointed Rock. *J Soil Mech Div ASCE* 94, SM3, (1968). Pp: 637-659.
- Griffiths, D. V., Computation of Bearing Capacity on Layered Soils, Proc. 4th Int. Conf. On Num. Meth. In Geomechanics, Vol. 1, (1982). Pp: 163-170.

- Gustafson, E. E., Kessel, W. C., Fuzzy Clustering with A Fuzzy Covariance Matrix, IEEE CDC, San Diego, California, (1979). Pp: 761
- Hamada, M., Revision of Seismic Design Guidelines After the Hyogoken-Nanbu Earthquake, *Journal of the Society of Civil Engineers*, Vol. 87, (2002), Pp: 2-4.
- Hededal, O., Strandgaard T., A 3D Elasto-Plastic Spring Element for Pipe-Soil Interaction Analysis, Offshore Pipeline Technology Conference, OPT2008, in Amsterdam, February, (2008).
- Hu, Y., Randolph, M. F., Deep Penetration of Shallow Foundations on Non-Homogeneous Soil, *Soil and Found.* Vol. 38, NO. 1, (1998). Pp: 241-246.
- Isenberg, J., Seismic Performance of Underground Water Pipelines in the Southeast San Fernando Valley in the San Fernando Earthquake, Grant Report No. 8, Weidinger Associates, New York, (1978).
- Isenberg, J., Role of Corrosion in Water Pipeline Performance in Three U.S. Earthquakes, Proceedings, 2nd US National Conference on Earthquake Engineering, Stanford, California, (1979).
- Isenberg, J., Taylor, C. E., Performance of Water and Sewer Lifelines in the May 2, 1983, Coalinga California Earthquake, *Lifeline Earthquake Engineering, Design and Construction*, ASCE, New York, (1984).
- Jain, A. K., Dubes, R. C., Algorithms for Clustering Data, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, (1988).
- Japan Gas Association, Recommended Practice for Earthquake Resistant Design of Gas Transmission Pipelines, Tokyo, Japan, (2000).
- Japan Society of Civil Engineers, First Proposal on Earthquake Resistance for Civil Engineering Structures, (1995).
- Japan Society of Civil Engineers, Second Proposal on Earthquake Resistance for Civil Engineering Structures, (1996).
- Japan Society of Civil Engineers, Earthquake Resistant Design Codes in Japan, (2000a).
- Japan Society of Civil Engineers, Third Proposal on Earthquake Resistance for Civil Engineering Structures, (2000b).
- Japan Water Works Association, Seismic Design and Construction Guidelines for Water Supply Facilities, (1997).
- Jing, L., A review of techniques, advances and outstanding issues in numerical modeling for rock mechanics and rock engineering. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 40, (2003). Pp: 283–353.
- Kobayashi, T., Shimamura, K., Oguchi, N., Ogawa, Y., Uchida, T., Kojima, S., Kitano, T., Tamamoto, K., Recommended Practice for Design of Gas Transmission Pipelines in

- Areas Subject to Liquefaction, Proceedings, International Gas Research Conference, TP-34, Amsterdam, (2001).
- Mao, J., Jain, A. K., A Self-Organizing Network for Hyperellipsoidal Clustering (HEC), IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 7, No. 1, (1996). Pp: 16-29.
- Marston, A., The Theory of External Loads on Closed Conduits in The Light of Latest Experiments, Bulletin No. 96, Iowa Engineering Experiment Station, Ames, Iowa, (1930).
- Masuda, T., Kobayashi, T., Yoshizaki, K., Kobayashi, M., Recommended Practice for Design of Gas Transmission Pipelines in Areas Subject to Liquefaction, Proceedings, International Conference on Application and Evaluation of High-Grade Linepipes in Hostile Environments, (2002).
- Matsushita, M. Damages to Kobe Water System by the Hanshin Awaji Great Earthquake and Restoration Plan, Technical Memorandum of PWRI, No. 3415, (1995). Pp: 109-127.
- Miki, C., Kobayashi, T., Oguchi, N., Uchida, T., Suganuma, A., Katoh, A., Deformation and Fracture Properties of Steel Pipe Bend with Internal Pressure Subjected to In-Plane Bending, Proceedings, 12th World Conference on Earthquake Engineering, No. 1814, New Zealand, (2000b).
- Miki, C., Oguchi, N., Uchida, T., Suganuma, A., Inoue, T., Deformation and Fracture Properties of Straight Steel Pipe with Internal Pressure under Uniaxial Compressive and Bending Load, Proceedings, 12th World Conference on Earthquake Engineering, No. 1433, New Zealand, (2000a).
- Moore, I. D., Booker J. R., Ground Failure Around Buried Tubes, *Journal of Rock Mechanics and Rock Engineering*, 20, (1987). Pp: 243-260.
- O'Rourke, M. J., Approximate Analysis Procedures for Permanent Ground Deformation Effects on Buried Pipelines, Proceeding of the Second U.S.-Japan Workshop on Liquefaction, Large Ground Deformation and Their Effects on Lifelines, Buffalo, New York, Technical Report NCEER-89-0032, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, (1989). Pp: 336-347.
- O'Rourke, M. J., Nordberg, C., Longitudinal Permanent Ground Deformation Effects on Buried Continuous Pipelines, NCEER-92-0014, NCEER, Buffalo, NY, June, (1992).
- O'Rourke, M., Ayala, G., Pipeline Damage Due to Wave Propagation, *J. Geotechnical Engineering*, 119, (1993). Pp: 1490-1498.
- O'Rourke, M., Deyoe, E., Seismic Damage to Segmented Buried Pipe, *Earthquake Spectra*, 20, (2004). Pp: 1167-1183.
- O'Rourke, T. D., Jeon, S. S., 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, (1999). Pp: 379-88.

- O'Rourke, T. D., Jeon, S. S., Seismic Zonation for Lifelines and Utilities, Invited Keynote Paper on Lifelines, Proceedings Sixth International Conference on Seismic Zonation, Palm Springs, CA, EERI CD ROM, (2000).
- O'Rourke, T. D., Palmer, M. C., The Northridge, California Earthquake of January 17, 1994: Performance of Gas Transmission Pipelines, NCEER-94-0011, NCEER, Buffalo, NY, May, (1994).
- O'Rourke, T. D. and Toprak, S., Case History of Pipeline Response to Ground Deformation at Balboa Blvd., 1994 Northridge Earthquake., Proceedings, Sixth U.S. - Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems, Osaka, Japan, July, (1995). Pp: 3-20.
- O'Rourke, T. D. and Toprak, S., GIS Assessment of Water Supply Damage from The Northridge Earthquake, Frost, JD, Editor, Geotechnical Special Publication, ASCE New York, NY, (1997). Pp: 117-131.
- O'Rourke, T. D., El-Gharbawy, S. L., Stewart, H. E., Soil Loads at Pipeline Crossings, In Proceedings of a Specially Conference on Pipeline Crossings, ASCE, March (1991). Pp: 235-247.
- O'Rourke, T. D., Stewart, H. E., Jeon, S. S., Geotechnical Aspects of Lifeline Engineering, Proceeding of Institution of Civil Engineers Geotechnical Engineering, 149, Issue 1, January, (2001). Pp: 13-26.
- O'Rourke, T. D., Toprak, S., Sano, Y., Factors Affecting Water Supply Damage Caused by The Northridge Earthquake, Proceedings, Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Seattle, WA, (1998). Pp: 1-12.
- O'Rourke, T.D., Toprak, S., Jeon, S. S., GIS Characterization of The Los Angeles Water Supply, Earthquake Effects, and Pipeline Damage, Research Progress and Accomplishments, 1997-1999, MCEER, Buffalo, NY, (1999).
- Oka, S., Damage of Gas Facilities by Great Hanshin Earthquake and Restoration Process, Proceedings, 6th Japan-US Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Soil Liquefaction, NCEER-96-0012, MCEER, Buffalo, NY, (1996). Pp: 111-124.
- O'Rourke, T. D., 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, (1998). Pp: 1392-1426.
- O'Rourke, T. D., Toprak, S., GIS Assessment of Water Supply Damage from The Northridge Earthquake, Frost, J. D. (Ed.) Geotechnical Special Publication, ASCE, New York, (1997). Pp: 117-131.
- Pakhira, M. K., Bandyopadhyay, S. U., Maulik, S., Validity Index for Crisp and Fuzzy Clusters, *Pattern Recognition*, 37, (2004). Pp: 487-501.
- Palm, W. J., Introduction to Matlab 7 for Engineers, McGraw-Hill, New York, (1994).

- Pineda O, Ordaz M. "Seismic Vulnerability Function for High-Diameter Buried Pipelines: Mexico City's Primary Water System Case, SCE International Conference on Pipeline Engineering and Construction, 2, (2003). Pp: 1145-1154.
- Sato, R., Myurata, M., GIS-Based Interactive and Graphic Computer System to Evaluate Seismic Risks on Water Delivery Networks, Dept. of Civil Engineering and Operations Research, Princeton University. (1990).
- Satoh, M., Suda, K., Suzuki, N., Miura, An Overview of Seismic Design of Buried Lifeline Structures in Japan, F. National Center for Earthquake Engineering Research, Proceedings from the 4th Japan-U.S. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction: Tokai University Pacific Center, Honolulu, Hawaii, May 27-29, Vol 2, (1992). Pp: 847-874
- Sharma, S., *Applied Multivariate Techniques*, John Wiley & Sons, Inc. Newyork, (1996).
- Sloan, S. W., Randolph, M. F., Numerical Prediction of Collapse Loads Using Finite Element Method. *Int. J. Num. Analy. Meth. Geomech.* Vo. 6, (1982). Pp: 47-76.
- Spangler, M. G., Structural Design of Flexible Pipe Culverts., Bulletin no. 153. Iowa Engineering Experiment Station, Ames, Iowa, (1941).
- Taşkın, F., *Su Dağıtım Şebekelerinin Deprem Performansının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İle Değerlendirilmesi*, (Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi, (2005).
- Toprak, S., Gömülü Boru Hattı Sistemlerinin Tasarımında Deprem Etkilerinin Değerlendirilmesi, INGAS 2007- 2. Uluslararası Doğalgaz İşletmeciliği Sempozyumu ve Sergisi, 24-26 Nisan, İstanbul, (2007).
- Toprak, S., Taşkın, F., Estimation of Earthquake Damage to Buried Pipelines Caused by Groung Shaking, *Natural Hazards, Springer, The Netherlands*, 40, (2007). Pp: 1-24.
- Toprak, S., Yoshizaki, K., Boru Hatlarına Deprem Yüklerinin Etkisi, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi, İstanbul, No: 025, CDROM, (2003).
- Toprak, S., *Earthquake Effects on Buried Lifeline Systems*, PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, NY, (1998).
- Toprak, S., Gömülü Boru Sistemlerinde Deprem Zararlarının Tahmini, Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, (2004). Pp: 823-832.
- Toprak, S., Koc, A. C., Cetin, O. A., Nacaroglu, E., Assessment of Buried Pipeline Response to Earthquake Loading by Using GIS, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Paper 06-0077, October 12-17, Beijing, China, (2008).
- Toprak, S., Nacaroglu, E., Cetin, O. A., Koc, A. C., Pipeline Damage Assessment Using Cluster Analysis, TCLEE 2009, Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment Proceedings of the 2009 ASCE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Conference ASCE Conf. Proc. 357, 78, (2009).

- Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C., Cetin, O. A., Use of Subtractive Clustering Analysis in Pipeline Damage Assessment, 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia, August 30- September 03, (2010).
- Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C., Cetin, O. A., Seismic damage probabilities for segmented buried pipelines, 11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, ETH Zurich, Switzerland, August 1-4, (2011). (Gönderildi).
- Toprak, S., O'Rourke, T. D., Tutuncu, I., 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, (1999). Pp:110-119.
- Turner, M. J., Clough, R. W., Martin H. C., Topp, L. J., Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures, J Aero Sci 23, (1956). Pp: 805–823.
- Wald, D. J., Worden, B. C., Quitoriano, V., Pankow, K. L., ShakeMap Manual: Users Guide, Technical Manual, and Software Guide, USGS Techniques and Methods 12-A1, 128 pp. <http://pubs.usgs.gov/tm/2005/12A01/>, (2005).
- Wang, L., A New Look in to The Performance of Water Pipeline Systems from 1987 Whittier Narrows, California Earthquake, Department of Civil Engineering, Old Dominion University, (1990).
- Watkins, R. K., Anderson, L. R., Structural Mechanics of Buried Pipes, CRC Press, 2000 Corporate Blvd. N. W., Boca Raton, FL 33431, ISBN 0-8493-2395-9, (2000).
- Winkler, E., Die Lehre Von Der Elastizität und Festigkeit, (1867).
- Xie, X. L. ve Beni, G., A Validity Measure for Fuzzy Clustering, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intel, 13, (8), (1991). Pp: 841–847.
- Yager, R. R., Filev, D. P., Approximate Clustering via The Mountain Method (2nd Edn.), Technical Report, MII-1305, IONA College, Machine Intelligence Institute, New Rochelle, NY10801, (1992).
- Yomralioglu, T., *Coğrafi Bilgi Sistemleri*, Akademi Kitabevi, Trabzon, (2000).
- Yoshizaki, K., O'Rourke, T. D., Hamada, M., Large Scale Experiments of Buried Steel Pipelines with Elbows Subjected to Permanent Ground Deformation, Proceedings, Seventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Theme: Urban Earthquake Hazard, No: 217, Boston, MA, U.S.A., (2002).
- Zhang, Y., Wang, W., Zhang, X., Li, Y., A Cluster Validity Index for Fuzzy Clustering, *Information Sciences* 178, (2008). Pp: 1205–1218.

EKLER

Tablo A.1. Sürekli borular için kalıcı yer deplasmanının standart tasarım değeri kullanılarak belirlendiği durumlar

Sıra	Alan (Field)	Birim	Sabit Değerler veya Denklem	Açıklama
1	D	m		Kullanıcı tarafından girilecek
2	M		Polietilen: HDPE Çelik: ST	Kullanıcı tarafından girilecek
3	t	m		Kullanıcı tarafından girilecek
4	C			Kullanıcı tarafından girilecek
5	P		3-10 kg/cm ² : ORTA_A 1-3 kg/cm ² : ORTA_B <1 kg/cm ² ana hat: DUSUK_ANA <1 kg/cm ² servis hattı: DUSUK_SERVIS	Kullanıcı tarafından girilecek
6	E	Pa	ST: 20000000000 HDPE: 800000000	Boru malzemesine göre program tarafından belirlenecek
7	EPS0	%	ST: 0.03 HDPE: 0.2	Boru malzemesine göre program tarafından belirlenecek
8	EPSV	%		Kullanıcı tarafından girilecek
9	r	Pa		Kullanıcı tarafından girilecek
10	ER	Pa	ST: 30000000000 HDPE: 300000000	Boru malzemesine göre program tarafından belirlenecek
11	I	m ⁴	$\frac{\pi}{64} [D^4 - (D - 2t)^4]$	Program tarafından hesaplanır
12	A	m ²	$\frac{\pi}{4} [D^2 - (D - 2t)^2]$	Program tarafından hesaplanır
13	LAMDA			Kullanıcı tarafından girilecek
14	SZ		1, 2, 3, 4	Kullanıcı tarafından girilecek
15	S		1, 2, 3	Kullanıcı tarafından girilecek
16	k	Pa/m		Kullanıcı tarafından girilecek
17	ALFA1		SZ=1 → 1.0 SZ=2 → 0.8 SZ=3 → 0.6 SZ=4 → 0.4	Sismik bölge faktörüne (SZ) göre program tarafından belirlenecek
18	ALFA2		Japon yönetmeliği Tablo 6.3.2'ye göre	Zemin (S) ve boru iç basınç sınıflarına (P) göre program tarafından belirlenecek
19	U0	m		Kullanıcı tarafından girilecek
20	U	m	$\alpha_1 \alpha_2 U$	Program tarafından hesaplanır
21	V	m	U/2	Program tarafından hesaplanır
22	Du	m	ST: $\frac{AE \{ \varepsilon_v^2 + \lambda (\varepsilon_0^2 - \varepsilon_v^2) \}}{\pi D r}$ HDPE: $\frac{A \bar{E} \varepsilon_0^2}{\pi D r}$	Program tarafından hesaplanır
23	Dv	m	$\frac{2\sqrt{2} e^{\pi/4}}{D} \sqrt{\frac{4 \bar{E} I}{k D}} \varepsilon_0$	Program tarafından hesaplanır
24	EMNIYET		SAĞLIYOR: Du>U ve Dv>V SAĞLAMİYOR: Du<=U Veya Dv<=V	Program tarafından hesaplanır

Tablo A.2. Sürekli borular için kalıcı yer deplasmanı verileri kullanıldığı durumlar

Sıra	Alan (Field)	Birim	Sabit Değerler veya Denklem	Açıklama
1	D	m		Kullanıcı tarafından girilecek
2	M		Polietilen: HDPE Çelik: ST	Kullanıcı tarafından girilecek
3	t	m		Kullanıcı tarafından girilecek
4	C			Kullanıcı tarafından girilecek
5	E	Pa	ST: 200000000000 HDPE: 800000000	Boru malzemesine göre program tarafından belirlenecek
6	EPS0	%	ST: 0.03 HDPE: 0.2	Boru malzemesine göre program tarafından belirlenecek
7	EPSV	%		Kullanıcı tarafından girilecek
8	r	Pa		Kullanıcı tarafından girilecek
9	ER	Pa	ST: 300000000000 HDPE: 300000000	Boru malzemesine göre program tarafından belirlenecek
10	I	m ⁴	$\frac{\pi}{64} [D^4 - (D - 2t)^4]$	Program tarafından hesaplanır
11	A	m ²	$\frac{\pi}{4} [D^2 - (D - 2t)^2]$	Program tarafından hesaplanır
12	LAMDA			Kullanıcı tarafından girilecek
13	k	Pa/m		Kullanıcı tarafından girilecek
14	V	m	U/2	Program tarafından hesaplanır
15	Du	m	ST: $\frac{AE \{ \varepsilon_v^2 + \lambda (\varepsilon_0^2 - \varepsilon_v^2) \}}{\pi D r}$ HDPE: $\frac{A \bar{E} \varepsilon_0^2}{\pi D r}$	Program tarafından hesaplanır
16	Dv	m	$\frac{2\sqrt{2} e^{\pi/4}}{D} \sqrt{\frac{4 \bar{E} I}{k D}} \varepsilon_0$	Program tarafından hesaplanır
17	EMNİYET		SAĞLIYOR: Du>U ve Dv>V SAĞLAMİYOR: Du<=U Veya Dv<=V	Program tarafından hesaplanır

Tablo A.3. Sürekli borular için geçici yer deplasmanı durumu

Sıra	Alan (Field)	Birim	Sabit Değerler veya Denklem	Açıklama
1	D	m		Kullanıcı tarafından girilecek
2	M		Polietilen: HDPE Çelik: ST	Kullanıcı tarafından girilecek
3	t	m		Kullanıcı tarafından girilecek
4	C			Kullanıcı tarafından girilecek
5	E	Pa	ST: 200000000000 HDPE: 800000000	Boru malzemesine göre program tarafından belirlenecek
6	EPS0	%	ST: 0.03 HDPE: 0.2	Boru malzemesine göre program tarafından belirlenecek
7	EPSV	%		Kullanıcı tarafından girilecek
8	r	Pa		Kullanıcı tarafından girilecek
9	ER	Pa	ST: 300000000000 HDPE: 300000000	Boru malzemesine göre program tarafından belirlenecek
10	I	m ⁴	$\frac{\pi}{64} [D^4 - (D - 2t)^4]$	Program tarafından hesaplanır
11	A	m ²	$\frac{\pi}{4} [D^2 - (D - 2t)^2]$	Program tarafından hesaplanır
12	LAMDA			Kullanıcı tarafından girilecek
13	k	Pa/m		Kullanıcı tarafından girilecek
14	Uhx	m	$\left(\frac{T_G}{2\pi}\right)^2 a \cos \frac{\pi x}{2H}$	Program tarafından hesaplanır
15	TG	s		Kullanıcı tarafından girilecek
16	ac	m/s ²		Kullanıcı tarafından girilecek
17	H	m		Kullanıcı tarafından girilecek
18	BD	m		Kullanıcı tarafından girilecek
19	x	m	BD + (D / 2)	Program tarafından hesaplanır
20	EPSILON_G	m	$\frac{\pi U h(x)}{L}$	Program tarafından hesaplanır
21	WL	m		Kullanıcı tarafından girilecek
22	PL	m		Program tarafından hesaplanır
23	U	m	EPSILON_G*PL	Program tarafından hesaplanır
24	V	m	U/2	Program tarafından hesaplanır
25	Du	m	ST: $\frac{AE \{ \varepsilon_v^2 + \lambda (\varepsilon_0^2 - \varepsilon_v^2) \}}{\pi D r}$ HDPE: $\frac{A \bar{E} \varepsilon_0^2}{\pi D r}$	Program tarafından hesaplanır
26	Dv	m	$\frac{2\sqrt{2} e^{\pi/4}}{D} \sqrt{\frac{4 \bar{E} I}{k D}} \varepsilon_0$	Program tarafından hesaplanır
27	EMNIYET		SAGLIYOR: Du>U ve Dv>V SAGLAMİYOR: Du<=U Veya Dv<=V	Program tarafından hesaplanır

Tablo A.4. Parçalı borular için kalıcı yer deplasmanının standart tasarım değeri kullanılarak belirlendiği durumlar

Sıra	Alan (Field)	Birim	Sabit Değerler veya Denklem	Açıklama
1	D	m		Kullanıcı tarafından girilecek
2	SIGMA_X	Pa	$\sqrt{3.12\sigma_L^2 + \sigma_B^2}$	Program tarafından hesaplanır
3	SIGMA_L	Pa	$\xi_1\alpha_1 \frac{\pi Uh(x)}{L} E$	Program tarafından hesaplanır
4	SIGMA_B	Pa	$\xi_2\alpha_2 \frac{2\pi^2 DUh(x)}{L^2} E$	Program tarafından hesaplanır
5	KSI_1			Kullanıcı tarafından girilecek
6	KSI_2			Kullanıcı tarafından girilecek
7	ALFA_1			Kullanıcı tarafından girilecek
8	ALFA_2			Kullanıcı tarafından girilecek
9	E	Pa	DI: 170000000000	Programda tanımlı
10	WL	m		Kullanıcı tarafından girilecek
11	SIGMA_EM	Pa		Kullanıcı tarafından girilecek
12	Uhx	m		Kullanıcı tarafından girilecek
13	EPSILON_G	m	$\frac{\pi Uh(x)}{L}$	Program tarafından hesaplanır
14	U	m	EPSILON_G*PL	Program tarafından hesaplanır
15	L	m		Kullanıcı tarafından girilecek
16	PL	m		Program tarafından hesaplanır
17	f			Kullanıcı tarafından girilecek
18	n	adet	PL/L	Program tarafından hesaplanır
19	EL	m	$\frac{\beta nl}{100}$	Program tarafından hesaplanır
20	BETA	m		Kullanıcı tarafından girilecek
21	DELTA_A	m	$f . \varepsilon_G . n . l$	Program tarafından hesaplanır
22	THETA	derece		Kullanıcı tarafından girilecek
23	DELTA_r			Kullanıcı tarafından girilecek
24	Hmax	m	$l * (\tan \theta + \tan 2\theta + \tan 3\theta + \dots)$	Program tarafından hesaplanır
25	EMNİYET		SAĞLIYOR: SIGMA_EM>SIGMA_X EL>DELTA_A Hmax>DELTA_r SAĞLAMİYOR: SIGMA_EM<SIGMA_X EL<DELTA_A Hmax<DELTA_r	Program tarafından hesaplanır

Tablo A.5. Parçalı borular için kalıcı yer deplasmanı verileri kullanıldığı durumlar

Sıra	Alan (Field)	Birim	Sabit Değerler veya Denklem	Açıklama
1	D	m		Kullanıcı tarafından girilecek
2	SIGMA_X	Pa	$\sqrt{3.12\sigma_L^2 + \sigma_B^2}$	Program tarafından hesaplanır
3	SIGMA_L	Pa	$\xi_1 \alpha_1 \frac{\pi U h(x)}{L} E$	Program tarafından hesaplanır
4	SIGMA_B	Pa	$\xi_2 \alpha_2 \frac{2\pi^2 D U h(x)}{L^2} E$	Program tarafından hesaplanır
5	KSI_1			Kullanıcı tarafından girilecek
6	KSI_2			Kullanıcı tarafından girilecek
7	ALFA_1			Kullanıcı tarafından girilecek
8	ALFA_2			Kullanıcı tarafından girilecek
9	E	Pa	DI: 170000000000	Programda tanımlı
10	WL	m		Kullanıcı tarafından girilecek
11	SIGMA_EM	Pa		Kullanıcı tarafından girilecek
12	EPSILON_G	m	$\frac{\pi U h(x)}{L}$	Program tarafından hesaplanır
13	U	m	EPSILON_G*PL	Program tarafından hesaplanır
14	L	m		Kullanıcı tarafından girilecek
15	PL	m		Program tarafından hesaplanır
16	f			Kullanıcı tarafından girilecek
17	n	adet	PL/L	Program tarafından hesaplanır
18	EL	m	$\frac{\beta n l}{100}$	Program tarafından hesaplanır
19	BETA	m		Kullanıcı tarafından girilecek
20	DELTA_A	m	$f \cdot \epsilon_G \cdot n \cdot l$	Program tarafından hesaplanır
21	THETA	derece		Kullanıcı tarafından girilecek
22	DELTA_r			Kullanıcı tarafından girilecek
23	Hmax	m	$l * (\tan \theta + \tan 2\theta + \tan 3\theta +$	Program tarafından hesaplanır
24	EMNIYET		SAĞLIYOR: SIGMA_EM>SIGMA_X EL>DELTA_A Hmax>DELTA_r SAĞLAMİYOR: SIGMA_EM<SIGMA_X EL<DELTA_A Hmax<DELTA_r	Program tarafından hesaplanır

Tablo A.6. Parçalı borular için geçici yer deplasmanı durumu

Sıra	Alan (Field)	Birim	Sabit Değerler veya Denklem	Açıklama
1	D	m		Kullanıcı tarafından girilecek
2	SIGMA_X	Pa	$\sqrt{3.12\sigma_L^2 + \sigma_B^2}$	Program tarafından hesaplanır
3	SIGMA_L	Pa	$\xi_1 \alpha_1 \frac{\pi U h(x)}{L} E$	Program tarafından hesaplanır
4	SIGMA_B	Pa	$\xi_2 \alpha_2 \frac{2\pi^2 D U h(x)}{L^2} E$	Program tarafından hesaplanır
5	KSI_1			Kullanıcı tarafından girilecek
6	KSI_2			Kullanıcı tarafından girilecek
7	ALFA_1			Kullanıcı tarafından girilecek
8	ALFA_2			Kullanıcı tarafından girilecek
9	E	Pa	DI: 170000000000	Programda tanımlı
10	H	m		Kullanıcı tarafından girilecek
11	WL	m		Kullanıcı tarafından girilecek
12	TG	s		Kullanıcı tarafından girilecek
13	ac	m/s ²		Kullanıcı tarafından girilecek
14	BD	m		Kullanıcı tarafından girilecek
15	x	m	BD + (D / 2)	Program tarafından hesaplanır
16	SIGMA_EM	Pa		Kullanıcı tarafından girilecek
17	Uhx	m		Kullanıcı tarafından girilecek
18	EPSILON_G	m	$\frac{\pi U h(x)}{L}$	Program tarafından hesaplanır
19	U	m	EPSILON_G*PL	Program tarafından hesaplanır
20	L	m		Kullanıcı tarafından girilecek
21	PL	m		Program tarafından hesaplanır
22	f			Kullanıcı tarafından girilecek
23	n	adet	PL/L	Program tarafından hesaplanır
24	EL	m	$\frac{\beta n l}{100}$	Program tarafından hesaplanır
25	BETA	m		Kullanıcı tarafından girilecek
26	DELTA_A	m	$f . \varepsilon_G . n . l$	Program tarafından hesaplanır
27	THETA	derece		Kullanıcı tarafından girilecek
28	DELTA_r			Kullanıcı tarafından girilecek
29	Hmax	m	$l * (\tan \theta + \tan 2\theta + \tan 3\theta +$	Program tarafından hesaplanır
30	EMNIYET		SAĞLIYOR: SIGMA_EM>SIGMA_X EL>DELTA_A Hmax>DELTA_r SAĞLAMİYOR: SIGMA_EM<SIGMA_X EL<DELTA_A Hmax<DELTA_r	Program tarafından hesaplanır

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 106M252
Proje Başlığı: Boru Hatları Sistemleri Üzerinde Deprem Etkilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) İle Değerlendirilmesi
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Doç. Dr. Selçuk TOPRAK Yard. Doç. Dr. A. Cem KOÇ
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.09.2006-01.11.2010
Öz (en çok 70 kelime) Altyapı (candamarı) sistemleri içinde yer alan gömülü boru hatları petrol, doğal gaz, su ve atık su gibi insan hayatında önemli yer tutan malzemelerin iletiminde temel rol oynamaktadır. Son yıllarda Türkiye gibi deprem kuşaklarında yaşayan ülkelerde, yerleşim bölgelerine yakın gerçekleşen depremler bu sistemlerin depremin olumsuz etkilerine maruz kalabildiğini ve ciddi sayıda hasarların oluşabildiğini göstermiştir. Bu çalışmada boru hatlarının deprem performansının değerlendirilmesi için çok önemli olan hasar ilişkileri, kümeleme analizleri, sonlu elemanlar analizleri ve CBS değerlendirme yaklaşımları gibi konular çalışılmış ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) altında çalışan bir yazılım geliştirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Boru Hasarları, Deprem, Kümeleme Analizleri, Sonlu Elemanlar
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet <input type="checkbox"/> Gerekli Değil <input checked="" type="checkbox"/> Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: A. Yüksek Lisans Tezleri Nacaroglu, E. (2010). Deprem Etkisiyle Oluşan Boru Hasarlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Kümeleme Analizi ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi. Çetin, O. A. (2011). Deprem Etkisiyle Oluşan Kalıcı Yer Deformasyonlarının Gömülü Boru Hatları Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi (Devam ediyor). B. Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler : Toprak, S., F. Taşkin ve A. C. Koc (2009). Prediction Of Earthquake Damage To Urban Water Distribution Systems: A Case Study For Denizli, Turkey, The Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 68:499-510. C. Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında (Proceedings) basılan

bildiriler :

Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C. and Cetin, O. A. (2011). Seismic Damage Probabilities for Segmented Buried Pipelines, *11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*, ETH Zurich, Switzerland, August 1-4 (Gönderildi).

Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C. and Cetin, O. A. (2010). Use of Subtractive Clustering Analysis in Pipeline Damage Assesment, *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, Republic of Macedonia, August 30- September 03.

Toprak, S., Koc, A. C., Cetin, O. A. and Nacaroglu, E. (2010). A GIS Approach for Seismic Analysis of Pipeline Networks, Paper No. SEE_095, *9th International Congress on Advances in Civil Engineering*, 27-30 September 2010 Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey

Toprak, S., E. Nacaroglu, O. A. Cetin, and A. C. Koc (2009). Pipeline Damage Assessment Using Cluster Analysis, TCLEE 2009: Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment Proceedings of the 2009 ASCE Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering Conference ASCE Conf. Proc. 357, 78 (2009), Alex K. K. Tang P.E., Stu Werner P.E., Editors, June 28–July 1, 2009, Oakland, California, DOI:10.1061/41050(357)78.

Toprak, S., A. C. Koç, E. Nacaroglu, O. A. Cetin (2008). Assessment of Buried Pipeline Response to Earthquake Loading by using GIS, 14th World Conference on Earthquake Engineering (14WCEE), Paper No: 0077, October 12-17, 2008, Beijing, China.

Toprak, S., A. C. Koç, E. Nacaroglu, O. A. Cetin (2008). Robustness of Lifeline Systems, Robustness of Structures, COST Action TU0601, 1st Workshop, February 4-5, 2008, ETH Zurich, Zurich, Switzerland, p. 169-180.

Toprak, S., A. C. Koç ve F. Taşkın (2007). Evaluation of Water Distribution Pipeline Performance Against Earthquakes, Paper No: 1748, *4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, June 25-28, 2007, Greece, 2007.

D. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler:

Toprak, S. (2007). Gömülü Boru Hattı Sistemlerinin Tasarımında Deprem Etkilerinin Değerlendirilmesi, INGAS 2007- 2. Uluslararası Doğalgaz İşletmeciliği Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, s. 85-99, 24-26 Nisan 2007, İstanbul

Toprak, S. ve A. C. Koç (2007). İçme Suyu ve Kanalizasyon Boru Hatlarının Deprem Performansının Değerlendirilmesi, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul

Toprak, S., A. C. Koç, F. Taşkın (2006). Altyapı Sistemlerinin Deprem Güvenliğinin Değerlendirilmesi, *Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu*, 7-8 Aralık 2006, sayfalar 136-146, Denizli, 2006.

E. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve özet kitaplarında basılan bildiriler:

Toprak, S., A. C. Koc, M. Fırat, F. Dikbaş, Ü. G. Bacanlı, E. Nacaroğlu, O. A. Çetin (2008). Kentsel Altyapı Sistemlerinin Performans Değerlendirmesi, 2-3 Mayıs 2008, Denizli Kent Sempozyumu Bildiri Özetleri, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği.