

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DEPREM ETKİSİYLE OLUŞAN BORU HASARLARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) VE KÜMELEME ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Engin NACAROĞLU

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Geoteknik

Tez Danışmanı: Doç. Dr. SELÇUK TOPRAK

ARALIK 2010

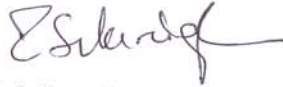
YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 071131006 nolu öğrencisi Engin NACAROĞLU tarafından hazırlanan “**DEPREM ETKİSİYLE OLUŞAN BORU HASARLARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) VE KÜMELEME ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Selçuk TOPRAK (PAÜ)
(Jüri Başkanı)



Jüri Üyesi : Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU (PAÜ)



Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Abdullah Cem KOÇ(PAÜ)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05.01.2011 tarih ve 01/16..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Halil KARAHAN



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

İmza



Öğrenci Adı Soyadı : Engin NACAROĞLU

ÖNSÖZ

Bu çalışmada deprem etkisiyle oluşan boru hasarlarının coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve kümeleme analiziyle değerlendirilmesi yapılmıştır. Boru hasarları üzerinde yeni hasar ilişkileri geliştirilmiştir. Bu hasar ilişkileri geliştirilirken farklı metotlar kullanılıp detaylı bir şekilde karşılaştırmalar yapılmıştır. Buna ilave olarak boru hasarları kümeleme analiziyle değerlendirilmiştir.

Lisansüstü eğitimimin başlangıcından itibaren bana yol gösteren ve bu yolda ilerlememi sağlayan tez danışmanım Doç. Dr. Selçuk TOPRAK' a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Çalışmalarında benden yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Abdullah Cem KOÇ'a ve sağladığı katkılardan dolayı jüri üyesi Doç. Dr. Tezcan ŞEKERCİOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yüksek lisans eğitimimin bir bölümünde aynı odayı paylaştığım ve desteklerini her zaman yanımda hissettiğim Orhan Alp ÇETİN, Mehmet PALANCI ve diğer arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışması TÜBİTAK 106M252 nolu proje ve PAUBAP 2010FBE020 nolu proje kapsamında yürütülmüştür. Yüksek lisans çalışmalarım esnasında verdiği proje bursu ile beni destekleyen TÜBİTAK' a teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca bana her konuda her zaman destek olan aileme şükranlarımı sunarım.

Aralık 2010

Engin NACAROĞLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1 GİRİŞ	1
2 COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS)	3
2.1 Giriş.....	3
2.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Özellikleri	3
2.3 Vektörel ve Hüresel (Raster) Veri Modelleri.....	3
2.4 Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) Konum Analizleri ve Kriging İnterpolasyonu.....	5
3 HASAR İLİŞKİLERİ.....	7
3.1 Giriş.....	7
3.2 Hasar İlişkilerinin Tarihçesi.....	7
3.3 Hasar İlişkilerinin Geliştirilmesi	9
3.3.1 1994 Northridge depremi ve Los Angeles şehri su sistemi verileri	9
3.3.2 Farklı PGV aralıkları ve grid boyutları için hasar ilişkileri	11
3.3.2.1 Grid 4x4 km için hasar ilişkileri	12
3.3.2.2 Grid 2x2 km için hasar ilişkileri	19
3.3.2.3 Grid 1x1 km için hasar ilişkileri	21
3.3.2.4 Grid 0.5x0.5 km için hasar ilişkileri	24
3.3.2.5 Grid 0.25x0.25 km için hasar ilişkileri	26
3.3.2.6 Eş PGV konturları için hasar ilişkileri	28
3.3.3 Hasar ilişkilerinin karşılaştırılması	32
3.3.4 Probalistik hasar görülebilirlik eğrileri	38
4 KÜMELEME ANALİZİ.....	43
4.1 Giriş.....	43
4.2 Kümeleme Analizi Algoritmaları.....	43
4.2.1 Çıkarımlı küme algoritması	43
4.2.2 Bulanık c-ortalama algoritması	45
4.2.3 Bazı kümeleme algoritmaları	48
4.2.3.1 K-ortalama algoritması	48
4.2.3.2 K-medoidler algoritması	49
4.2.3.3 Gustafson-Kessel algoritması	49
4.2.3.4 Gath-Geva algoritması	51
4.3 Kümeleme Geçerlilik İndeksleri	53
4.3.1 Bölümleme katsayısı (PC indeksi)	54

4.3.2	Sınıflandırma entropisi (CE)	54
4.3.3	MPC indeksi	54
4.3.4	Xie-Beni indeksi	55
4.3.5	Fukuyama ve Sugeno indeksi	55
4.3.6	Pakhira (PBMF) indeksi	55
4.3.7	Dunn indeksi	56
4.4	Kümeleme Geçerlilik İndekslerinin Değerlendirilmesi	56
4.4.1	Giriş	56
4.4.2	6_2 veri setinin geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi	57
4.4.3	10_2 veri setinin geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi	61
4.4.4	6_2 veri setinin hata verisiyle genişletilip değerlendirilmesi	65
4.4.5	Hazır veri setleri üzerinde geçerlilik indeksleri sonuçları	69
5	ÇEŞİTLİ KÜMELEME ANALİZİ YÖNTEMLERİ İLE BORU HASARLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	71
5.1	Giriş.....	71
5.2	Konuma Göre Kümeleme	71
5.3	Bulanık C-Ortalamalar Kümeleme Analizi İle Konuma Göre Boru Hasarlarının Değerlendirilmesi	74
5.4	Çıkarımlı Kümeleme Analizi İle Boru Hasarlarının Değerlendirilmesi	81
5.5	Çıkarımlı Kümeleme Parametrelerinin Kümeleme Analizine Etkisi.....	82
6	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	91
	KAYNAKLAR.....	94
	EKLER.....	98

KISALTMALAR

CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
PGV	Peak Ground Velocity (En Büyük Yer Hızı)
IDW	Inverse Distance Weighted
PGA	Peak Ground Acceleration (En Büyük Yer İvmesi)
MMI	Modified Mercalli Intensity (Geliştirilmiş Mercalli Şiddeti)
SI	Spectrum Intensity (Spektrum şiddeti)
AI	Arias Intensity (Arias Şiddeti)
LADWP	Los Angeles Su ve Elektrik İdaresi
MWD	Metropolitan Su Kuruluşu
RR	Onarım Oranı
BCO	Bulanık C-Ortalamalar
IR	Etki Aralığı
SF	Çarpım Faktörü
AR	Kabul Oranı
RR	Çıkarma Oranı
GK	Gustafson Kessel
GG	Gath Geva
PC	Bölümleme Katsayısı
CE	Sınıflandırma Entropisi
PBMF	Pakhira İndeksi
H	Riske konu olan tehlike
P(H)	Belirli Bir Zaman Diliminde Belirli Bir Şiddetin Aşılma Olasılığı
D	Hasar
P(D H)	Belirli Şiddete Maruz Kalmış Sistemin Zarar Görme Olasılığı
S	Göçme Senaryosu
P(S D)	Zararın Oluşmasıyla Sistemin Göçme Olasılığı
C	Göçme Senaryosu Durumunda Maliyet

TABLO LİSTESİ

Tablolar

5.1 : Boru hasarları için kümeleme geçerlilik indeksleri (PC, CE, MPC ve Xie-Beni)	78
5.2 : Boru hasarları için kümeleme geçerlilik indeksleri (Fukuyama-Sugeno, PBMF ve Dunn)	79
5.3 : Etki aralığı = 0.1 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)	84
5.4 : Etki aralığı = 0.2 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	84
5.5 : Etki aralığı = 0.3 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	84
5.6 : Etki aralığı = 0.4 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	85
5.7 : Etki aralığı = 0.5 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	85
5.8 : Etki aralığı = 0.6 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	85
5.9 : Etki aralığı = 0.7 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	86
5.10 : Etki aralığı = 0.8 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları	86
A.1 : GRID 4x4 km.'de 2 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	98
A.2 : GRID 4x4 km.'de 5 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	99
A.3 : GRID 4x4 km.'de 10 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	99
A.4 : GRID 4x4 km.'de 15 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	99
A.5 : GRID 4x4 km.'de 20 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	99
A.6 : GRID 2x2 km.'de 2 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	100
A.7 : GRID 2x2 km.'de 5 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	101
A.8 : GRID 2x2 km.'de 10 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	101
A.9 : GRID 2x2 km.'de 15 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	101
A.10 : GRID 2x2 km.'de 20 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	101
A.11 : GRID 1x1 km.'de 2 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	102
A.12 : GRID 1x1 km.'de 5 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	103
A.13 : GRID 1x1 km.'de 10 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	103
A.14 : GRID 1x1 km.'de 15 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	103
A.15 : GRID 1x1 km.'de 20 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	103
A.16 : GRID 0.5x0.5 km.'de 2 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	104
A.17 : GRID 0.5x0.5 km.'de 5 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	105
A.18 : GRID 0.5x0.5 km.'de 10 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	105
A.19 : GRID 0.5x0.5 km.'de 15 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	105
A.20 : GRID 0.5x0.5 km.'de 20 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	105
A.21 : GRID 0.25x0.25 km.'de 2 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	106
A.22 : GRID 0.25x0.25 km.'de 5 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	107
A.23 : GRID 0.25x0.25 km.'de 10 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	107
A.24 : GRID 0.25x0.25 km.'de 15 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	107
A.25 : GRID 0.25x0.25 km.'de 20 cm/s PGV aralığı için onarım oranı	107
A.26 : 2 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi	108
A.27 : 4 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi	109
A.28 : 5 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi	109
A.29 : 8 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi	110
A.30 : 10 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi	110
A.31 : 12 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi	110
A.32 : 15 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi	110

A.33 : 16 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi.....	111
A.34 : 20 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi.....	111
A.35 : 24 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi.....	111
A.36 : 28 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi.....	111

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1 : Vektörel ve Hücresel (raster) veri modelleri (Yomralıoğlu, 2000)	4
3.1 : En büyük yer hızı (PGV) ile onarım oranı arasındaki hasar ilişkisi (Toprak, 1998).....	8
3.2 : Boru hattı ve PGV konturları. (Toprak ve diğ., 2008).....	11
3.3 : Grid 4x4 km	12
3.4 : Noktasal PGV değerleri	13
3.5 : Noktasal PGV değerleri ve Grid 4x4 km	13
3.6 : Grid 4x4 km ile kesiştirilmesi sonucu ortaya çıkan PGV noktaları.....	14
3.7 : Kriging sonucu oluşan hücre (raster) tipi PGV değerleri	15
3.8 : Grid 4x4 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi	16
3.9 : 2 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi	17
3.10 : 5 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi	17
3.11 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi	17
3.12 : 15 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi	18
3.13 : 20 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de hasar ilişkisi	18
3.14 : Grid 2x2 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi	19
3.15 : 2 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi	19
3.16 : 5 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi	20
3.17 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi	20
3.18 : 15 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi	20
3.19 : 20 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi	21
3.20 : Grid 1x1 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi	21
3.21 : 2 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi	22
3.22 : 5 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi	22
3.23 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi	22
3.24 : 15 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi	23
3.25 : 20 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi	23
3.26 : Grid 0.5x0.5 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi	24
3.27 : 2 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi	24
3.28 : 5 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi	25
3.29 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi	25
3.30 : 15 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi	25
3.31 : 20 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkisi	26
3.32 : 2 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi	26
3.33 : 5 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi	27
3.34 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi	27
3.35 : 15 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi	27
3.36 : 20 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkisi	28
3.37 : 2 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008).....	29
3.38 : 4 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi.....	29
3.39 : 5 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008).....	29
3.40 : 8 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi.....	30
3.41 : 10 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008).....	30

3.42 : 12 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi.....	30
3.43 : 15 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008).....	31
3.44 : 16 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi.....	31
3.45 : 20 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008).....	31
3.46 : 24 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi.....	32
3.47 : 28 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi.....	32
3.48 : Çeşitli PGV aralıkları için grid 4x4 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması	33
3.49 : Çeşitli PGV aralıkları için grid 2x2 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması	33
3.50 : Çeşitli PGV aralıkları için grid 1x1 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması	34
3.51 : Çeşitli PGV aralıkları için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması	34
3.52 : Çeşitli PGV aralıkları için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması	34
3.53 : Çeşitli PGV aralıkları için eş PGV konturları hasar ilişkileri karşılaştırması..	35
3.54 : 2 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması	36
3.55 : 5 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması	37
3.56 : 10 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması	37
3.57 : 15 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması	37
3.58 : 20 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması	38
3.59 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi	40
3.60 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)	40
3.61 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)	40
3.62 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)	41
3.63 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)	41
3.64 : 10 cm/s PGV aralığı için farklı grid boyutlarından elde edilen probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011).....	41
3.65 : 10 cm/s PGV aralığı için farklı grid boyutlarındaki probabilistik hasar görebilirlik eğrileri (Toprak ve diğ. , 2011).....	42
4.1 : Sentetik veri setinin bulanık c-ortalama ile kümelenebilirliği örneği.....	47
4.2 : Öklid ve mahalanobis uzaklıklarının bulanık kümelerdeki görünümü (Abonyi ve Feil, 2007).....	49
4.3 : Sentetik veri setinin GK algoritmasıyla kümelenebilirliği örneği	51
4.4 : Sentetik veri setinin Gath-Geva algoritmasıyla kümelenebilirliği örneği.....	53
4.5 : 6_2 veri seti.....	57
4.6 : 6_2 veri setinin 6 kümeye bölünmesi	58
4.7 : 6_2 veri seti için bölümlendirme katsayıları değerleri.....	58
4.8 : 6_2 veri seti için sınıflandırma entropisi değerleri	59
4.9 : 6_2 veri seti için MPC indeksi değerleri.....	59
4.10 : 6_2 veri seti için Xie-Beni indeksi değerleri	60

4.11 : 6_2 veri seti için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri.....	60
4.12 : 6_2 veri seti için PBMF indeksi değerleri	60
4.13 : 6_2 veri seti için Dunn indeksi değerleri	61
4.14 : 10_2 veri seti.....	61
4.15 : 10_2 veri setinin 10 kümeye bölünmesi	62
4.16 : 10_2 veri seti için bölümlendirme katsayısı değerleri.....	62
4.17 : 10_2 veri seti için sınıflandırma entropisi değerleri	63
4.18 : 10_2 veri seti için MPC indeksi değerleri.....	63
4.19 : 10_2 veri seti için Xie-Beni indeksi değerleri	64
4.20 : 10_2 veri seti için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri.....	64
4.21 : 10_2 veri seti için PBMF indeksi değerleri	64
4.22 : 10_2 veri seti için Dunn indeksi değerleri	65
4.23 : 6_2 veri setinin genişletilmiş hali	65
4.24 : 6_2 veri setinin genişletilmiş halinin 6 kümeye bölünmesi.....	66
4.25 : 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için bölümlendirme katsayısı değerleri.....	66
4.26 : 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için sınıflandırma entropisi değerleri.....	67
4.27 : 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için MPC indeksi değerleri	67
4.28 : 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Xie-Beni indeksi değerleri.....	68
4.29 : 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri ..	68
4.30 : 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için PBMF indeksi değerleri.....	69
4.31 : 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Dunn indeksi değerleri.....	69
5.1 : 1994 Northridge depremi için font boru hatları eş onarım oranı eğrileri (O'Rourke ve Toprak, 1997)	73
5.2 : 1994 Northridge depreminde yüksek boru hasarlarının gerçekleştiği alanların geoteknik özellikleri (O'Rourke ve diğ., 2001).....	74
5.3 : Boru hasarları için bölümlendirme katsayısı değerleri.....	75
5.4 : Boru hasarları için sınıflandırma entropisi değerleri	75
5.5 : Boru hasarları için MPC indeksi değerleri.....	76
5.6 : Boru hasarları için Xie-Beni indeksi değerleri	76
5.7 : Boru hasarları için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri.....	77
5.8 : Boru hasarları için PBMF indeksi değerleri	77
5.9 : Boru hasarları için Dunn indeksi değerleri	77
5.10 : Boru hasarlarının 6 kümeye bölünmesi	80
5.11 : Boru hasarlarının 13 kümeye bölünmesi	80
5.12 : Boru hasarlarının 15 kümeye bölünmesi	81
5.13 : Çıkarımlı kümeleme analizi kullanılarak boru hasarlarının beş kümeye bölünmesi (Toprak ve diğ., 2009)	82
5.14: Boru hattı hasarları için farklı parametreler ile küme merkezlerinin bulunması	83
5.15 : SF=1.25 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010).....	87
5.16 : SF=1.25 ve AR=0.3 için Şekil 5.15'deki A serisinin küme merkezleri	88
5.17 : SF=1.1 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010).....	89
5.18 : SF=1.5 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010).....	89
5.19 : SF=1.75 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010).....	90
5.20 : SF=2 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010).....	90

B.1 : Boru hasarlarının 2 kümeye bölünmesi.....	112
B.2 : Boru hasarlarının 3 kümeye bölünmesi.....	112
B.3 : Boru hasarlarının 4 kümeye bölünmesi.....	112
B.4 : Boru hasarlarının 5 kümeye bölünmesi.....	113
B.5 : Boru hasarlarının 7 kümeye bölünmesi.....	113
B.6 : Boru hasarlarının 8 kümeye bölünmesi.....	113
B.7 : Boru hasarlarının 9 kümeye bölünmesi.....	114
B.8 : Boru hasarlarının 10 kümeye bölünmesi.....	114
B.9 : Boru hasarlarının 11 kümeye bölünmesi.....	114
B.10 : Boru hasarlarının 12 kümeye bölünmesi.....	115
B.11 : Boru hasarlarının 14 kümeye bölünmesi.....	115
B.12 : Boru hasarlarının 16 kümeye bölünmesi.....	115
B.13 : Boru hasarlarının 17 kümeye bölünmesi.....	116
B.14 : Boru hasarlarının 18 kümeye bölünmesi.....	116
B.15 : Boru hasarlarının 19 kümeye bölünmesi.....	116
B.16 : Boru hasarlarının 20 kümeye bölünmesi.....	117
B.17 : Boru hasarlarının 21 kümeye bölünmesi.....	117
B.18 : Boru hasarlarının 22 kümeye bölünmesi.....	117
B.19 : Boru hasarlarının 23 kümeye bölünmesi.....	118
B.20 : Boru hasarlarının 24 kümeye bölünmesi.....	118
B.21 : Boru hasarlarının 25 kümeye bölünmesi.....	118

SEMBOL LİSTESİ

n	Modeli oluşturan nokta sayısı
N_i	N' in hesabında kullanılan noktaların ondülasyon değerleri
N_p	Aranılan ondülasyon değeri
P_i	N' in Hesabında Kullanılan her N_i değerine karşılık ağırlık değerleri
ε_g	Maksimum sismik yer uzama oranı
V_{\max}	Maksimum yer hızı
C	Sismik dalga yayılma hızı
x_i	Veri noktası
x_j	Veri noktası
u_{ij}	Üyelik derecesi
ε	Sonlandırma ölçütü
k	Küme sayısı
J	Amaç fonksiyonu
n	Veri sayısı
c_j	Küme merkezi
F_i	Bulanık kovaryans matris
c	Küme sayısı
d	Uzaklık
U	Üyelik matrisi

ÖZET

DEPREM ETKİSİYLE OLUŞAN BORU HASARLARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) VE KÜMELEME ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Son yıllarda meydana gelen depremlerden (Northridge, Adapazarı, Düzce, Kocaeli vb.) sonra altyapı sistemleri büyük zarar görmüştür. Altyapı (candamarı) sistemleri içinde yer alan boru hatları, su başta olmak üzere doğal gaz, petrol, atık su gibi malzemelerin iletiminde buna ilaveten haberleşme ve elektrik gibi sistemlerin dağıtımında kullanılmaktadır. Bu çalışmada deprem etkisiyle oluşan boru hasarları, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve kümeleme analiziyle değerlendirilmiştir.

1994 Northridge depremi, 1906 San Fransisco depreminden beri Amerika Birleşik Devletleri'nde bir su dağıtım şebekesinde meydana gelen en büyük zararı vermiştir. Toprak (1998), Northridge Depremi ve Los Angeles şehri için yaptığı çalışmada boru onarım yerleri, boruların cins ve boyut özellikleri ile ilgili bilgileri CBS veri tabanı olarak ARC/INFO yazılımı ile hazırlamıştır. Bu çalışma kapsamında Toprak (1998) veri seti tamamıyla gözden geçirilmiş ve bu veri setin için farklı metotlar kullanılarak yeni hasar ilişkileri farklı en büyük yatay hız ve grid aralıkları için geliştirilmiştir. Ayrıca probabilistik hasar görülebilirlik eğrileri diye tanımlanan ve boru hasar görme olasılığıyla PGV değerleri arasındaki ilişkileri gösteren eğriler çıkartılmıştır.

Kümeleme analizi, bir veri setine ait elemanların, benzer özelliklerine göre homojen gruplara ayrılmasını sağlayan çok değişkenli istatistik teknikler içinde yer alan bir analiz yöntemidir. 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 hazır veri setleri üzerinde bulanık c-ortalamalar metodunu kullanarak, kümeleme geçerlilik

indekslerinin uygulaması yapılmıştır. Hazır veri setlerinden çıkan sonuçlar ışığında boru hasarlarının konuma göre bulanık c-ortalamalar yöntemiyle kümeleme analizi yapılmıştır. Ayrıca boru hasarlarını çıkarımlı kümeleme analiziyle değerlendirilmiş, çıkarımlı kümeleme parametrelerinin kümelemeye etkisi tartışılmıştır. Northridge depreminden sonra oluşan yoğun hasar bölgeleri kümeleme analiziyle elde edilmiştir.

SUMMARY

EVALUATION OF PIPELINE DAMAGES CAUSED BY EARTHQUAKES USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS (GIS) AND CLUSTER ANALYSIS

The recent large earthquakes (Northridge, Adapazarı, Düzce, Kocaeli etc.) caused damage in the infrastructure systems of many cities. The pipelines which are considered part of the infrastructure systems (lifeline systems) distribute materials such as water, natural gas, oil and waste water. In this study, damages caused by the earthquakes are evaluated by using geographic information systems (GIS) and cluster analysis.

The 1994 Northridge earthquake water supply system database was used in this study. The 1994 Northridge earthquake caused the most extensive damage to a US water supply system since the 1906 San Francisco earthquake. Toprak (1998) presented location of pipe repairs, types and sizes of pipes as GIS database in ARC/INFO software for the Northridge earthquake and Los Angeles city. In this study, new pipeline damage relationships were obtained with new methods for different PGV intervals and grid sizes from the data set of Toprak (1998). In addition relations between probability of failure and PGV (probabilistic damage curves) were obtained.

Cluster analysis is one of analysis method which belongs to a multivariate statistical techniques and it can be used to separate the elements in a homogeneous groups according to similar characteristics. In recent years although use of cluster analysis became very popular in many scientific fields such as pattern recognition, artificial intelligence, information technology, image processing, biology and medicine, applications for infrastructure system has been very limited. Toprak et. al (2009) presented the use of cluster analysis for the pipeline systems first time. There are many cluster analysis techniques along with sub-branches. In this study, two main clustering algorithm, namely fuzzy c-means and subtractive clustering have been utilized. Validation indexes were used to determine the number of cluster for the

fuzzy c-means. In addition, pipeline damages were evaluated with subtractive clustering and effects of subtractive clustering parameters were discussed. The areas of intense pipeline damage for the 1994 Northridge earthquake were obtained with cluster analysis.

1 GİRİŞ

Son yıllarda meydana gelen depremler üst yapılarda olduğu kadar altyapılara da zarar vermiştir. Altyapı (candamarı) sistemleri içinde yer alan boru hatları, su başta olmak üzere doğal gaz, petrol, atık su gibi malzemelerin iletiminde buna ilaveten haberleşme ve elektrik gibi sistemlerin dağıtımında kullanılmaktadır. Bu sistemlerin insan hayatında ne kadar zaruri olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Geçmiş birçok depremden sonra (Northridge, Adapazarı, Düzce, Kocaeli vb.) bu sistemlerin büyük hasarlar gördüğü ve kullanılamaz hale gelecek kadar zarara uğradığı görülmüştür. Bu çalışmanın amacı, deprem etkisiyle oluşan boru hasarlarının coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve kümeleme analizi ile değerlendirilmesidir. Çalışmada, Los Angeles şehri su dağıtım boruları üzerinde 1994 Northridge depremi sonucu oluşan boru hasarları kullanılmıştır. Bu boru hasarlarının veri tabanı Toprak (1998), O'Rourke ve diğ. (1998) ve O'Rourke ve Toprak (1997) yayınlarında literatüre girmiştir. Bu çalışma kapsamında ise Toprak (1998) veri seti tamamıyla gözden geçirilmiş ve değişiklikler yapılarak, tezin iki ana konusu olan hasar ilişkileri ve kümeleme analizi değerlendirmeleri için hazır hale getirilmiştir.

Birinci bölümde tez kapsamında yapılan çalışmalar hakkında genel bilgiler verilerek çalışmanın akış şekli anlatılmıştır. İkinci bölümde coğrafi bilgi sistemleri hakkında kısaca bilgiler verilerek çalışma için hangi şekilde kullanıldığına dair bilgiler verilmiştir. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), belirli bir amaç ile yeryüzüne ait verilerin toplanması, depolanması, sorgulanması, transferi ve görüntülenmesi işlevlerini yerine getiren araçların tümü olarak tanımlanmıştır (Burrough, 1998). Gerçek hayatta bulunan her türlü coğrafi durumu, CBS yardımıyla uygun ve doğru aktarımlar sonucunda modellemek mümkün olmaktadır. Bu modellemeyi yaparken kullanılan veri çeşitleri, analiz tipleri ayrıca anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde hasar ilişkilerine ayrılmıştır. Los Angeles şehri su dağıtım boruları üzerinde coğrafi bilgi sistemleri (CBS) yardımıyla hasar ilişkileri çıkartılırken geçmiş hasar ilişkileri ışığında farklı metotlar denenerek yeni hasar ilişkileri geliştirilmiştir. Elde edilen tecrübeler ve ilişkiler gelecek depremler için boru hattı

sistemlerinde zarar tahminlerinin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Gömülü boru sistemlerinde oluşabilecek zararların tahmini, zararların önlenmesi için tedbirler alınmasında ve deprem sonrası için tedbirler alınmasında önemlidir (Toprak 2004). Hasar ilişkilerinin tarihçesinden bahsedilip, farklı en büyük yatay hız (PGV) ve grid boyutları için hasar ilişkileri geliştirilmiştir. İkinci bölümün üçüncü kısmında geliştirilen hasar ilişkilerinin karşılaştırması yapılmıştır. Bölümün sonunda ise probabilistik hasar görülebilirlik eğrileri başlığı altında boru hasarları için olasılık ilişkileri geliştirilmiştir.

Dördüncü bölümde kümeleme analizi anlatılmıştır. Kümeleme analizi, bir veri setindeki benzer nesnelerin belli kriterlere göre aynı gruplarda olmasını amaçlayan, çok değişkenli istatistiksel bir yöntemdir. Son yıllarda oldukça popüler hale gelen kümeleme analizi birçok bilimsel alanda kullanılmasına rağmen altyapı sistemlerinde kullanılmasına rastlanılmamıştır. Bu bölümde birçok kümeleme analizi çeşidinden söz edilmiş, hazır veri setleri üzerinde uygulamalar yapılmıştır. Kümeleme geçerlilik indeksleri adı verilen, kümeleme doğruluğunun derecesi olarak da tanımlanan parametreler anlatılarak hazır veri setleri üstünde uygulanmıştır.

Beşinci bölümde bazı kümeleme analiz tipleri (bulanık c-ortalamlar ve çıkarımlı kümeleme analizi) kullanılarak boru hasarları değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler yapılırken bulanık c-ortalamlar yönteminde kümeleme geçerlilik indekslerinden yararlanılırken, çıkarımlı kümeleme analizinde ise bazı parametrelerle boru hasarları değerlendirilmiş, kullanılan parametrelerin kümelemeye etkisi anlatılmıştır. Bu bölümde ayrıca literatürde bulunan hasar yoğunluk haritalarıyla kümeleme analizi karşılaştırmaları yapılmıştır.

Çalışmanın altıncı bölümünde ise tezin sonuçları anlatılıp, ileriki çalışmalara ait öneriler verilmiştir.

2 COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS)

2.1 Giriş

Coğrafi bilgi sistemleri (CBS), dünya üzerindeki karmaşık sosyal, ekonomik, çevresel vb. sorunların çözümüne yönelik konuma dayalı karar verme süreçlerinde kullanıcılara yardımcı olmak üzere, büyük hacimli coğrafi verilerin; toplanması, depolanması, işlenmesi, yönetimi, mekânsal analizi, sorgulaması ve sunulması fonksiyonlarını yerine getiren donanım, yazılım, personel, coğrafi veri ve yöntemler bütünüdür. Özellikle son yıllarda büyük yerleşim alanlarını etkileyen depremlerde, altyapı sistemlerinin performansı CBS kullanılarak değerlendirilmiş ve hangi faktörlerin bu performansı etkilediği araştırılmıştır (Toprak ve Yoshizaki, 2003). Bu bölümde coğrafi bilgi sistemleri ve özelliklerinden bahsedilip, veri modelleri hakkında bilgi verilmiştir. Bölümün sonunda ise hasar ilişkilerinin çıkartılmasında kullanılan coğrafi bilgi sistemlerinde analiz yöntemleri anlatılmıştır.

2.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Özellikleri

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).

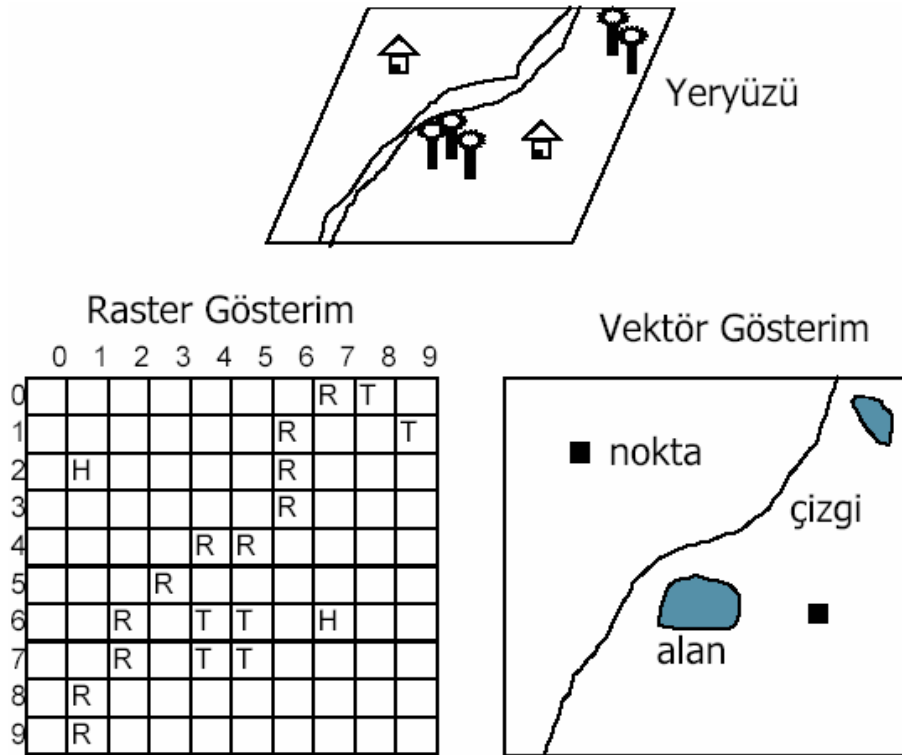
2.3 Vektörel ve Hücresel (Raster) Veri Modelleri

CBS kullanılarak yapılan herhangi bir değerlendirme için ilk olarak coğrafi verilerin bilgisayarda anlaşılır durumda olması gerekmektedir. Bunun için verilerin sayısallaştırılması gerekmektedir. Veriler sayısallaştırılırken, gerçek hayattaki durumla bilgisayardaki modelin birbiriyle aynı olması için konumsal veri

modellerinden vektörel veya hücresele (raster) veri modelinden biri seçilmeli ve veri yapısı buna göre tasarlanmalıdır.

Coğrafi veriler, vektörel veri modelinde üç farklı şekilde ifade edilebilir ve çizgisel harita gibi bir görünüme sahiptirler. Bu görünümde, noktalar; sabit alanların çok küçük boyutlu şekillerini, çizgiler; süreklilik ve alan özelliği gösteren yine çok küçük boyutlu coğrafi varlıkları, poligonlar ise homojen yapıya sahip bütünlük gösteren coğrafi varlıkları temsil etmektedirler. Poligon, çok kenar anlamına bazen “alan” olarak da adlandırılıp birden çok çizginin birleşmesinden meydana gelmektedir (Yomralıoğlu, 2000).

Hücresele (raster) veri modelleri coğrafi özelliklerin fotoğrafının çekilmesi şeklindedir. Fotoğraf büyütüldükçe görülecektir ki çok küçük boyutta farklı renklere sahip kare biçimindeki kutucukların birleşmesiyle bütün bir görüntü oluşmaktadır. Fotoğraf özelliğine sahip hücresele veri modelinde herhangi bir görüntü piksel veya hücre adı verilen seri haldeki küçük boyutlu kutulardan ya da diğer deyişle gridlerde meydana gelmektedirler. Şekil 2.1’de vektörel ve hücresele veri modelleri gösterilmiştir (Yomralıoğlu, 2000).



Şekil 2.1 :Vektörel ve Hücresele (raster) veri modelleri (Yomralıoğlu 2000).

2.4 Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) Konum Analizleri ve Kriging İnterpolasyonu

Coğrafi bilgi sistemlerinde (CBS) konum analizleri, konumsal sorgulamalar, konumsal analizler, ağ analizleri, geometrik işlemler, sayısal yükseklik analizleri, grid analizleri ve istatistiksel analizler olmak üzere birçok alt kola ayrılmaktadır. Konumsal sorgulamalar, uzayda koordinatları bilinen herhangi bir nesnenin özelliklerinin bilinmesine ve bu özelliklerinden her birine ulaşılabilmesi olarak tanımlanmaktadır. Örneğin koordinatları bilinen bir boru hasarına, özellikleriyle birlikte (çapı, boru cinsi vb.) istenildiği an ulaşılabilmesine konumsal sorgulama denmektedir. Konumsal analizler; birleştirme analizi, yakınlık analizi ve sınır işlemleri gibi alt kollara ayrılan ve grafik ve tanımsal bilgilerin belli bir koordinat sisteminde modellenip değerlendirilmesine yarayan bütün işlemler olarak tanımlanmaktadır. Ağ analizleri, vektör tabanlı coğrafi verilerle gerçekleştirilen konum analizlerinden biridir (Yomralıoğlu, 2000). Geometrik işlemler; koordinat belirlenmesi, uzunluk, açı ve alan ölçme gibi geometrik işlemleri bünyesinde bulunduran, özellikle haritacılıkta ölçme hesaplama işlemlerinde kullanılan analzi türü olarak tanımlanmaktadır. Sayısal yükseklik analizi ise nesnelerin koordinatları yanında (x ve y), üçüncü boyut olarak (z) tanımlanan bir değer değerlendirilmesidir. Örnek olarak konumsal sorgulamalarda deyinilen boru çapı, boru hasarının z değeri olarak tanımlanabilir ve bu değer üzerinden analizler yapılabilir.

Bu çalışmada ArcMap programının mekânsal analiz (Spatial Analyst) adı verilen ve ileri düzey konumsal analizler (overlay, distance), yoğunluk analizleri; hidrolojik analizler, yer seçim analizleri gibi birçok analiz yapmaya olanak sağlayan komut setinin interpolasyon için ayrılan kısmındaki kriging interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. İnterpolasyon (ara değer bulma), bilinen değerlerden bilinmeyen değerler türetmeye yarayan sayısal bir yöntemdir. ArcMap programının, spatial analyst komut seti bir çok interpolasyon yöntemini (IDW, kriging, natural neighbor, spline vb.) yapmaktadır. Kriging interpolasyon yöntemi, geoistatistiksel bir yöntem olup maden, jeoloji, çevre, meteoroloji, inşaat ve ekonomik risk değerlendirmesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki kullanım amacı ise belirli noktadaki bilinen en büyük yatay hız (PGV) değerlerinden interpolasyon yardımıyla ara PGV noktasal değerleri elde etmektir. Kriging tekniği diğer tahmin tekniklerine göre daha yansız

sonuçların yanı sıra minimum varyanslı ve tahmine ait standart sapmanın hesaplanmasına olanak vermektedir (Deutsch ve Journel, 1992, Abtew ve diğ., 1993, Başkan, 2004). Kriging yöntemini diğer interpolasyon yöntemlerinden ayıran en önemli özellik; tahmin edilen her bir nokta veya alan için bir varyans değerinin hesaplanabilmesidir. Yöntemin diğer bir üstünlüğü, kriging varyansı aracılığı ile kestirim hatasının büyüklüğünü değerlendirecek bir olanak sunmasıdır (Tercan ve Saraç, 1998). Eğer bir nokta veya alan için hesaplanan varyans değeri kesin değerler arasındaki varyanstan daha küçük ise ölçülmeyen nokta veya alan için tahmin edilen değer güvenilir olduğu kabul edilir (Başkan, 2004).

Bugün yaygın olarak kullanılan kriging yöntemleri aşağıda sıralanmıştır :

- Basit Kriging (Simple Kriging)
- Sıradan Kriging (Ordinary Kriging)
- Evrensel Kriging (Universal Kriging)
- Blok Kriging (Block Kriging)
- İşaret Kriging (Indicator Kriging)
- Bölen Kriging (Disjunctive Kriging)
- Ko-kriging (Co-kriging)

olarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada ordinary kriging yöntemi kullanılmıştır.

Ordinary kriging yönteminin ilk adımı enterpole edilecek noktalar kümesinden variogram oluşturmaktır. İkinci aşamada deneysel variogramdaki trendi modelleyen basit matematiksel fonksiyon olan teorik variogram bulunur. Ordinary kriging yönteminde bilinmeyen değerlerin belirlenmesi değişkenlerin durağan ve ortalamanın sabit olduğu varsayımına göre gerçekleştirilir. Variogram fonksiyonundan ağırlıkların belirlenmesinde tahmin ağırlıkları variogram modellerine dayanır. Ordinary krigingde kullanılan temel eşitlik,

$$N_p = \sum_{i=1}^n P_i * N_i \quad (2.1)$$

n= modeli oluşturan nokta sayısı

N_i = N in hesabında kullanılan noktaların ondülasyon değerleri

N_p = Aranılan ondülasyon değeri

P_i = N in hesabında kullanılan her N_i değerine karşılık ağırlık değerleridir.

3 HASAR İLİŞKİLERİ

3.1 Giriş

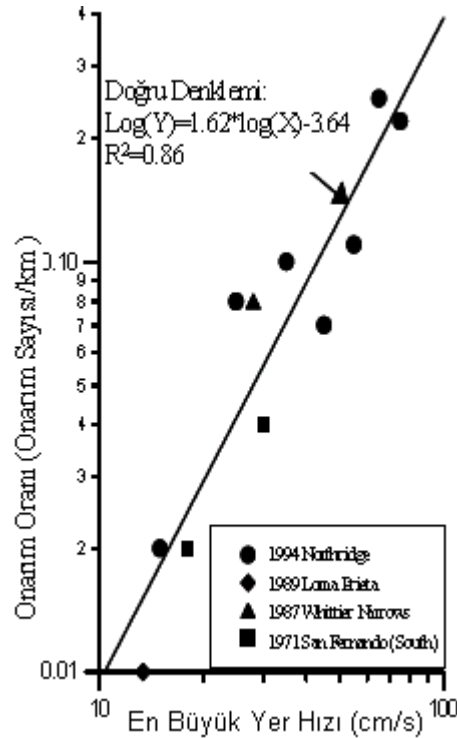
Depremlerin altyapı (candamarı) sistemlerine verdiği hasarlar, en az üstyapılara verdiği hasarlar kadar önemlidir. Altyapı (candamarı) sistemleri içinde yer alan boru hatları, su başta olmak üzere doğal gaz, petrol, atık su gibi malzemelerin iletiminde buna ilaveten haberleşme ve elektrik gibi sistemlerin dağıtımında kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı deprem sonucunda boru hatları üstünde meydana gelen hasarlarla deprem parametrelerinin ilişkisi konusunda çalışmış ve hasar ilişkileri geliştirmiştir. Hasar ilişkileri geçmiş depremlerden elde edilen verilere dayalı olup temel olarak ampiriktir.

Bu bölümde ilk olarak hasar ilişkileri tarihçesinden bahsedilmiştir. Bu ilişkilerin nasıl çıkarıldığı, hangi parametrelerin altyapı sistemleri için önem arz ettiği anlatılmıştır. Daha sonra hasar ilişkilerinin geliştirilmesi başlığı altında, 1994 Northridge depremi sonucunda Los Angeles şehri su şebekesinde oluşan hasarların, farklı en büyük yatay hız (PGV) aralıkları ve grid boyutları için incelenip, hasar ilişkileri CBS yardımı ile çıkartılmıştır. Son iki alt bölümde ise probabilistik hasar görülebilirlik eğrilerinin çıkarılması ve hasar ilişkilerinin karşılaştırılması anlatılmıştır.

3.2 Hasar İlişkilerinin Tarihçesi

Geçmişte yaşanan büyük depremler (Northridge 1994, Kocaeli 1999 vb.) altyapı sistemlerine büyük zarar vermiştir. Örneğin 1994 Northridge depremi, 1906 San Fransisco depreminden beri Amerika Birleşik Devletleri'nde bir su dağıtım şebekesinde meydana gelen en büyük zararı vermiştir. 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde Northridge depremine benzer şekilde altyapı çok büyük zarar görmüştür. Kocaeli ve Düzce depremlerinden dolayı Adapazarı, Gölcük, Sapanca ve Düzce gibi yerleşim bölgelerinde içme suyu şebekesinin neredeyse tamamı çalışamaz hale gelmiştir. Depremlerde altyapıda oluşan hasarların hangi parametrelerden ne derece etkilendiğini belirleyebilmek, hem mevcut durumdaki altyapının deprem

karşısındaki davranışını anlamaya hem de gelecekteki olası depremlere göre altyapıyı tasarlamak açısından son derece önemlidir. Bu yüzden altyapıyla ilgili olarak birçok araştırmacı tarafından hasar ilişkileri geliştirilmiştir. Toprak (1998), boru hattı onarım oranları (bir bölgedeki boru hasarlarının aynı bölgedeki boru hatlarının uzunluğuna bölünmesi ile elde edilir) ile en büyük yer hızı (PGV), en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yatay yer değiştirme, geliştirilmiş Mercalli şiddeti (MMI), spektrum şiddeti (SI), Arias şiddeti (AI), spektral ivme ve hız gibi deprem parametreleri arasında geliştirmiştir. Bu parametreler arasında PGV, onarım oranı ile en iyi korelasyon değerini vermiştir. Şekil 3.1’de Toprak (1998) tarafından geçmiş bazı depremler kullanılarak geliştirilen PGV ve onarım oranı arasındaki hasar ilişkisi görülmektedir. Ayrıca O’Rourke ve diğ. (1999) ve O’Rourke ve Jeon (1999), PGV parametresini kullanarak değişik boru cinsleri için hasar ilişkilerini çıkartmışlardır. Hasar ilişkilerinin detaylı değerlendirilmesi Toprak (1998) ve Toprak ve Taşkın (2007)’da bulunabilir.



Şekil 3.1 : En büyük yer hızı (PGV) ile onarım oranı arasındaki hasar ilişkisi
 (Toprak, 1998)

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 3.1'de verilmiştir (Committee on Gas and Liquid Fuel Lifelines, 1984).

$$\varepsilon_g = V_{\max} / C \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de 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 gerilmelerin önemli bir oranı boru hattına transfer olmaktadır. Bu ilişkiye dayanarak da PGV ile boru hasarları arasında iyi bir korelasyon beklenmektedir.

3.3 Hasar İlişkilerinin Geliştirilmesi

3.3.1 1994 Northridge depremi ve Los Angeles şehri su sistemi verileri

1994 Northridge Depremi, 1906 San Fransisco depreminden beri 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; Toprak ve Yoshizaki, 2003). 1994 Northridge depreminden dolayı oluşan boru hasarlarının veri tabanı Toprak (1998), O'Rourke vd. (1998) ve O'Rourke ve Toprak (1997) yayınlarında literatüre girmiştir. Toprak (1998), Northridge Depremi ve Los Angeles şehri için yaptığı çalışmada boru onarım yerleri, boruların cins ve boyut özellikleri ile ilgili bilgileri CBS veri tabanı olarak ARC/INFO yazılımı ile hazırlamıştır.

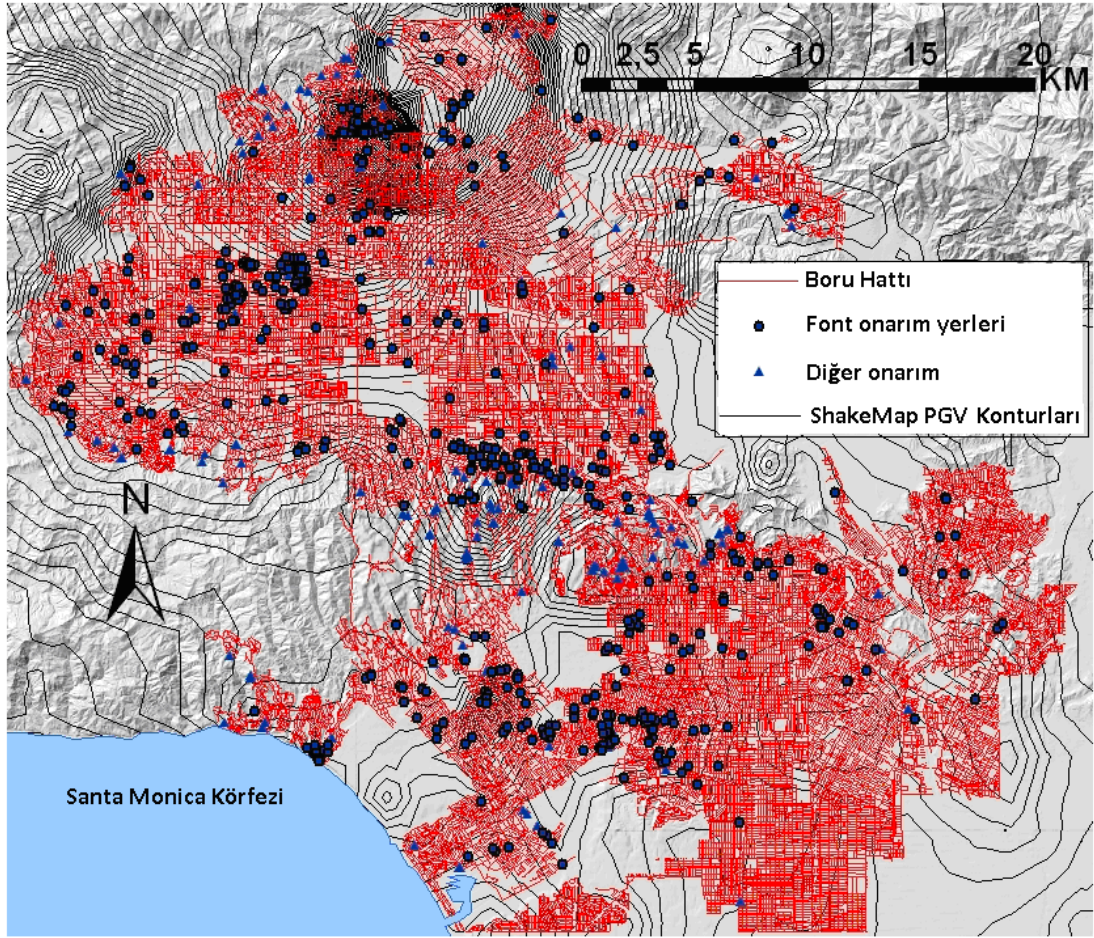
Bu çalışma kapsamında Toprak (1998) veri seti tamamıyla gözden geçirilmiştir. Boru hasar bilgileriyle boru hatları bilgilerinin CBS ile karşılaştırılması gerçekleştirilerek, uyumu sağlanacak şekilde değişiklikler yapılmıştır. Değiştirilmiş veri seti kullanılarak elde edilen hasar ilişkileri Toprak ve diğ. (2008) tarafından sunulmuştur.

Yeni hasar ilişkileri çıkartılırken bir değişiklikte PGV değerlerinin, ShakeMap'ten (Wald ve diğ., 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 ulaşılabilir.

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 3.2'de su dağıtım hatları ve onarımlar ile birlikte eş PGV eğrileri gösterilmektedir.



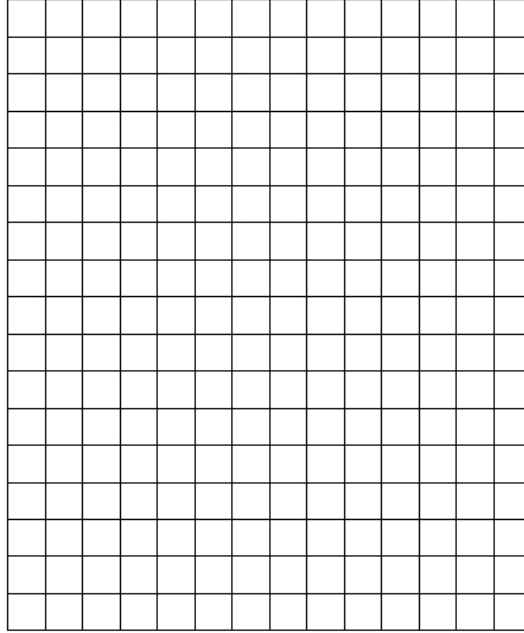
Şekil 3.2 : Boru hattı ve PGV konturları. (Toprak ve diğ., 2008)

3.3.2 Farklı PGV aralıkları ve grid boyutları için hasar ilişkileri

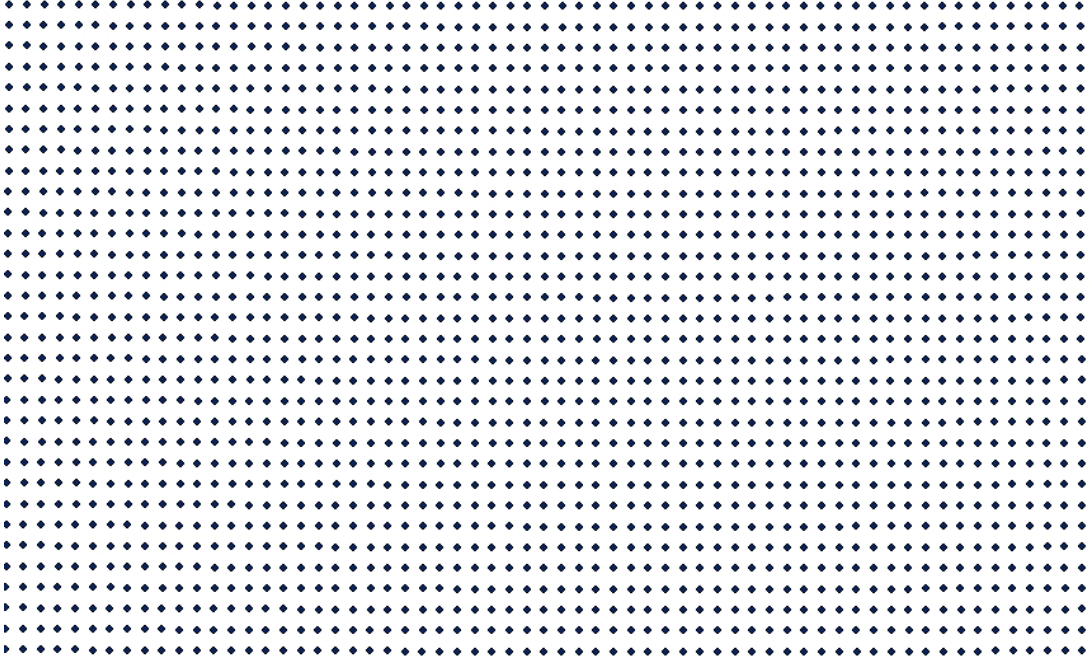
Bu bölümde Los Angeles şehri su sistemi verileri için CBS yardımı ile hasar ilişkileri çıkartılmıştır. Hasar ilişkileri, grid sistemi ve eş PGV konturları kullanılarak farklı PGV aralıkları için iki farklı şekilde geliştirilmiştir. Grid sistemi için geliştirilen hasar ilişkilerinde, beş farklı PGV aralığı 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.

3.3.2.1 Grid 4x4 km için hasar ilişkileri

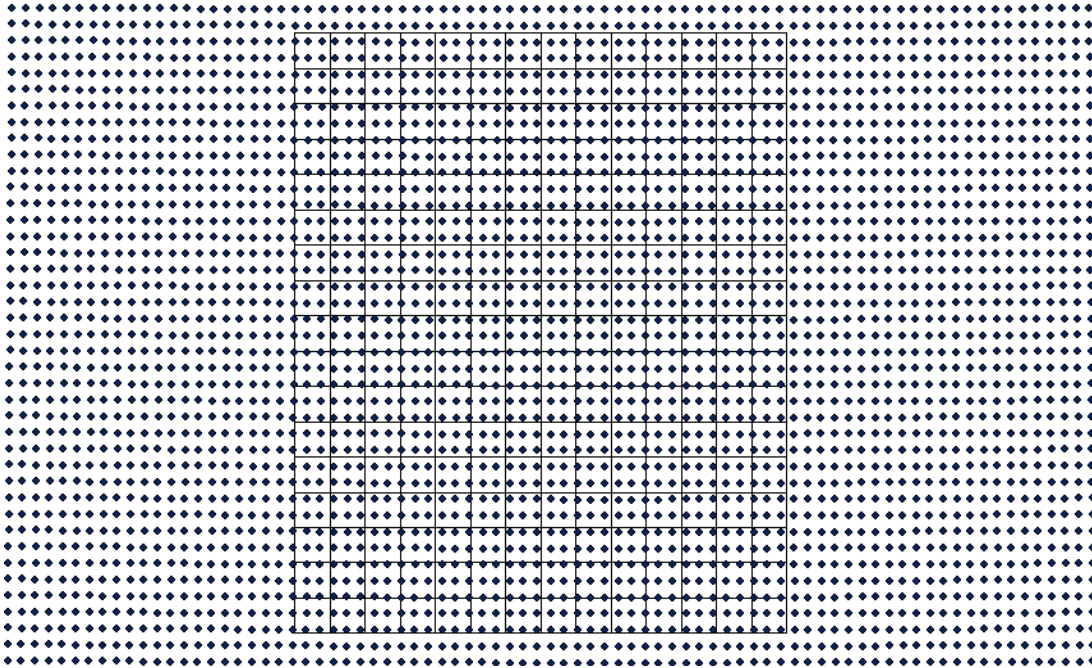
Grid 4x4 km (Şekil 3.3) için hasar ilişkilerini çıkartırken ilk önce grid sistemini oluşturan her bir gride PGV değeri atamamız gerekmektedir. Bu PGV değerlerini elde ederken yukarıda bahsedilen ShakeMap haritalarından yararlanılmıştır. Arc-Map programına aktarılan aralarında yaklaşık 'x' eksenine göre 1.5 km, 'y' eksenine göre 2 km uzaklık olan noktasal PGV değerleri (Şekil 3.4), Grid 4x4 km ile üst üste getirilip (Şekil 3.5), 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 atanılması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3 : Grid 4x4 km



Şekil 3.4 : Noktasal PGV değerleri

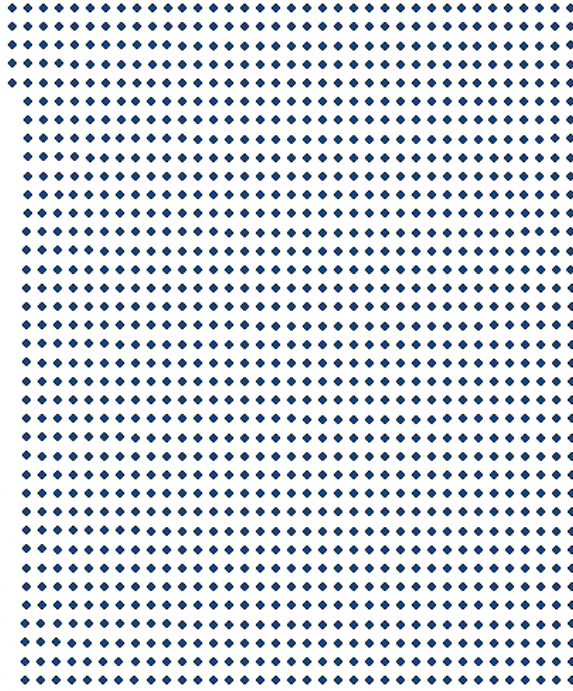


Şekil 3.5 : Noktasal PGV değerleri ve Grid 4x4 km

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 dağılımını belirlemek amacıyla tezin ikinci bölümünde ayrıntılı olarak anlatılan, daha fazla miktarda ve birbirine daha yakın olan noktasal PGV değerlerini verecek olan interpolasyon yöntemlerinden kriging interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Kısaca kriging interpolasyon yönteminin bu çalışmadaki kullanım amacı belirli noktalardaki PGV değerlerinden interpolasyon 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 3.6). 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 3.7).



Şekil 3.6 : Grid 4x4 km ile kesiştirilmesi sonucu ortaya çıkan PGV noktaları



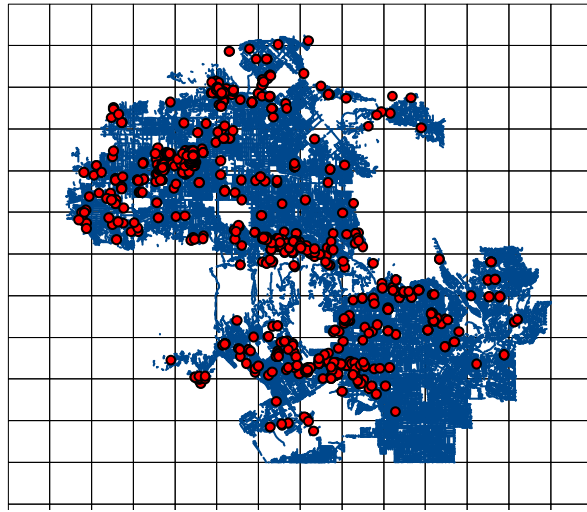
Şekil 3.7 : Kriging sonucu oluşan hücre (raster) tipi PGV değerleri

Şekil 3.7’ de görüldüğü gibi noktasal PGV değerleri, hücresel 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.

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

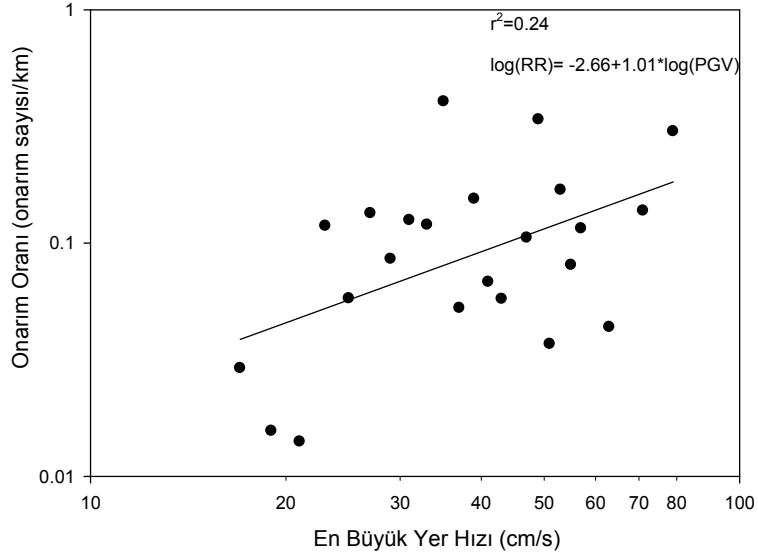
yararlanılmıştır. Şekil 3.8’de grid 4x4 km üzerinde boru hasarları ve borular görülmektedir.

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.

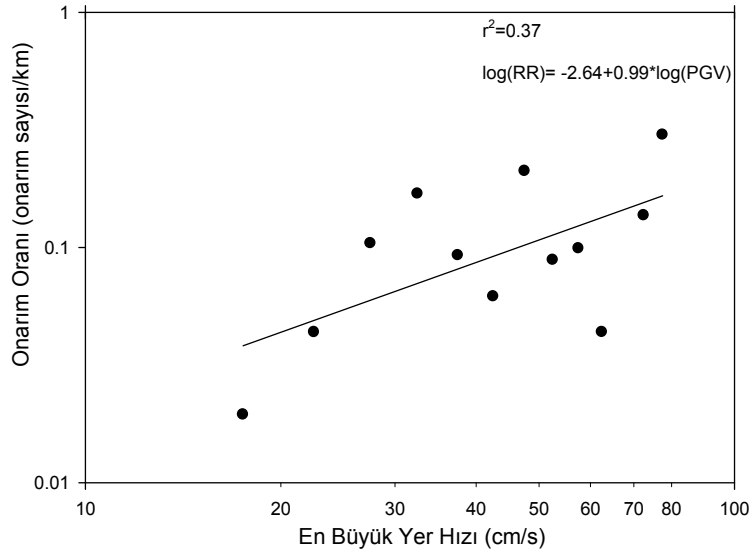


Şekil 3.8 : Grid 4x4 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi

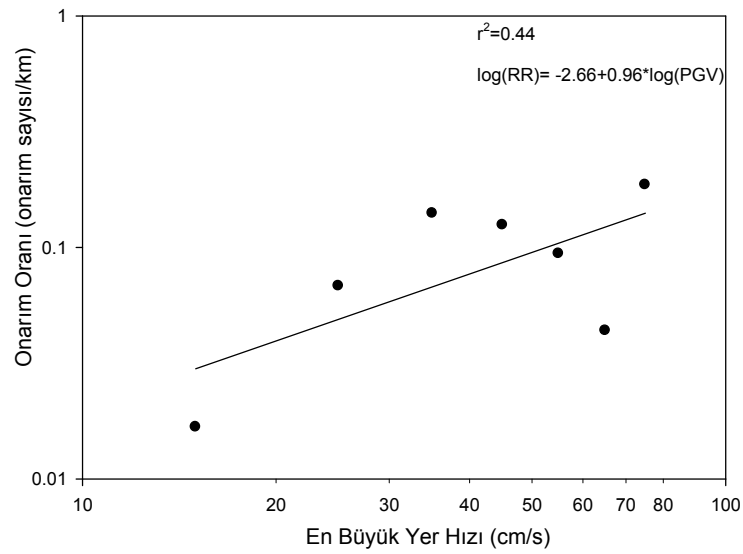
PGV değeri 80 cm/s’yi geçmemek koşuluyla toplam 61 gridde hasar ve 81 gridde ise boru bulunmaktadır. Toplam 734 hasar ve 7391.34 km uzunluğundaki borunun, 643 hasar ve 6834.11 km uzunluğundaki boru kısmı 80 cm/s hızı geçmemiştir. Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12, ve Şekil 3.13 sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20 PGV aralıkları için hasar ilişki veri ve grafiklerini göstermektedir. Grafiklerin çıkarımında kullanılan veriler tezin son kısmında “Ek A” bölümünde verilmiştir.



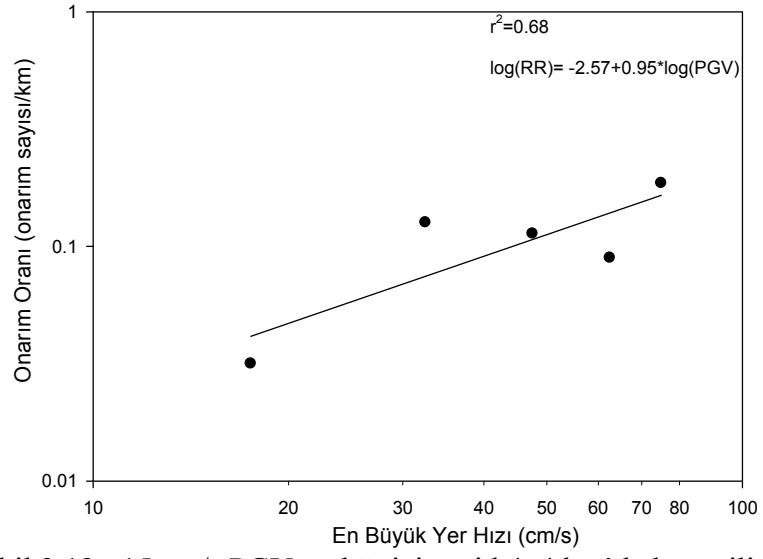
Şekil 3.9 : 2 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km’de hasar ilişkisi



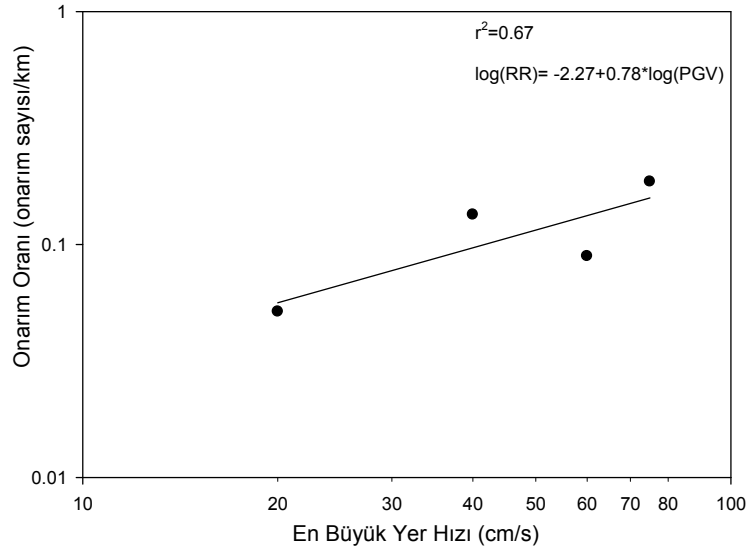
Şekil 3.10 : 5 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km’de hasar ilişkisi



Şekil 3.11 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km’de hasar ilişkisi

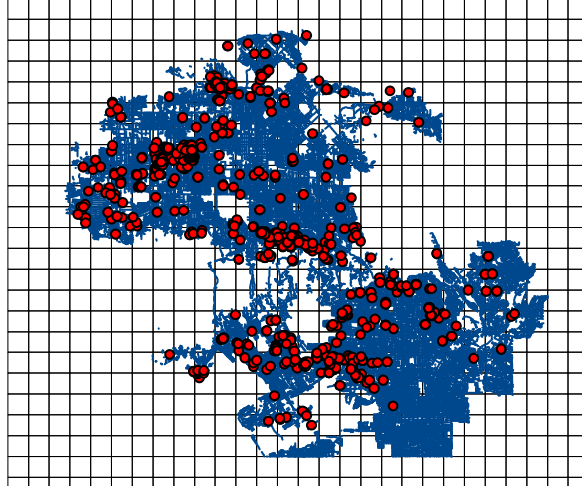


Şekil 3.12 : 15 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km’de hasar ilişkisi



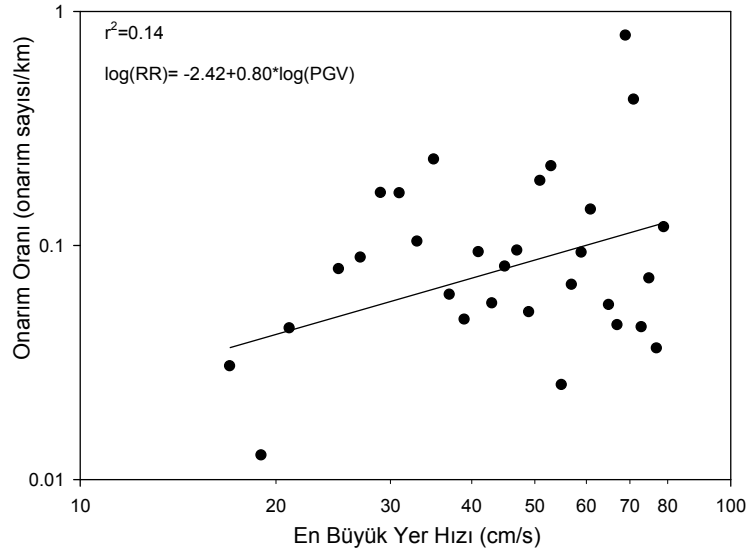
Şekil 3.13 : 20 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km’de hasar ilişkisi

3.3.2.2 Grid 2x2 km için hasar ilişkileri

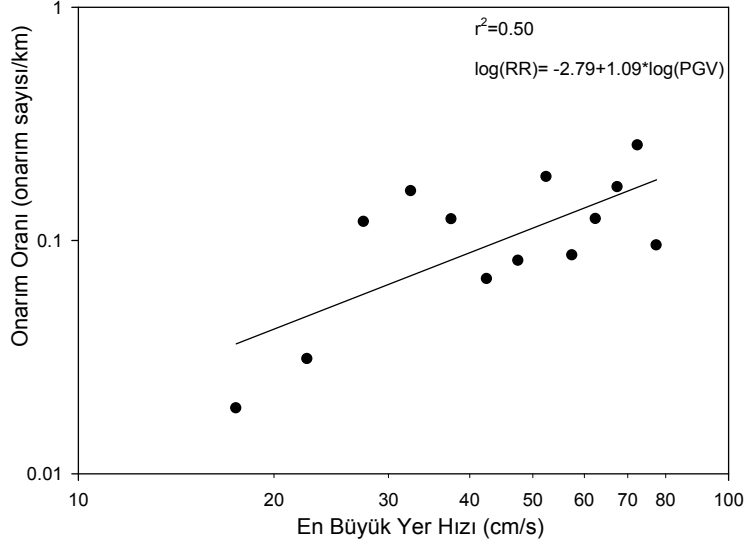


Şekil 3.14 : Grid 2x2 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi

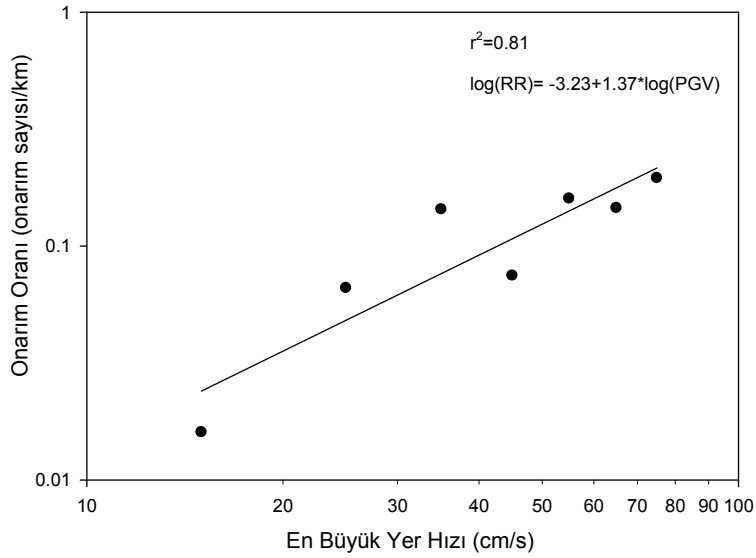
Şekil 3.14'de grid 2x2 km üzerinde boru hasarları ve borular görülmektedir. PGV değeri 80 cm/s'yi geçmemek koşuluyla toplam 134 gridde hasar ve 277 gridde ise boru bulunmaktadır. Toplam 734 hasar ve 7391.34 km uzunluğundaki borunun, 641 hasar ve 6806.78 km uzunluğundaki boru kısmı 80 cm/s hızı geçmemiştir. Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19 sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20 PGV aralıkları için hasar ilişki veri ve grafiklerini göstermektedir. Grafiklerin çıkarımında kullanılan veriler tezin son kısmında "Ek A" bölümünde verilmiştir.



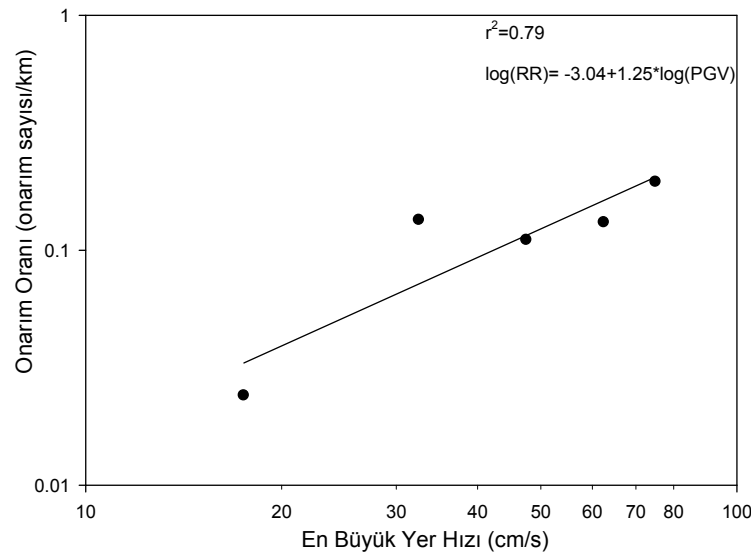
Şekil 3.15 : 2 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi



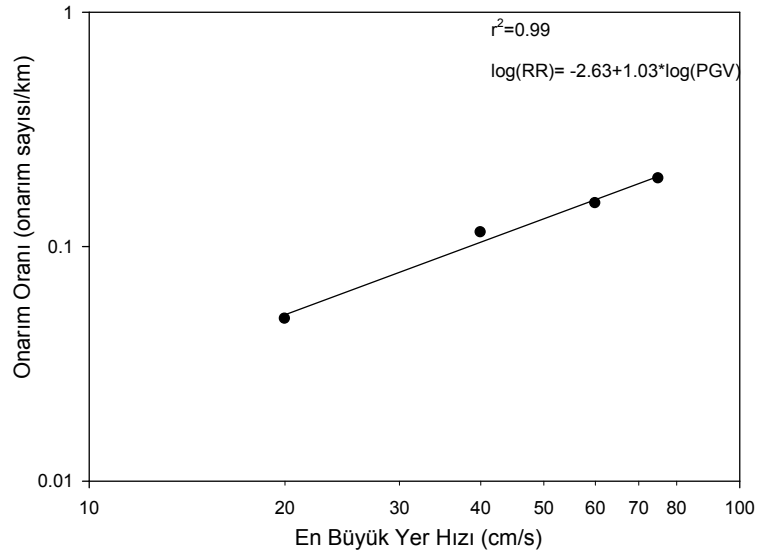
Şekil 3.16 : 5 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km’de hasar ilişkisi



Şekil 3.17 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km’de hasar ilişkisi

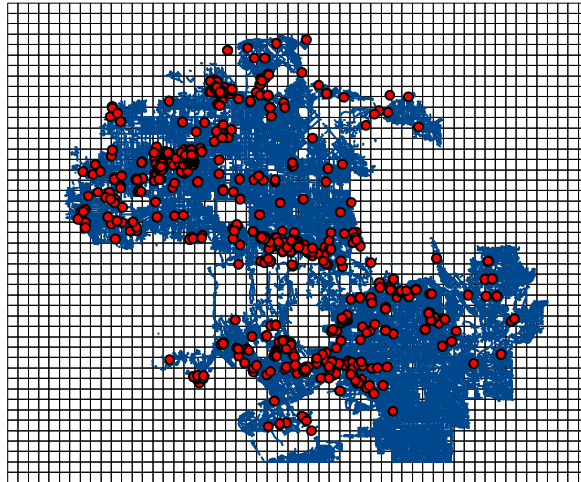


Şekil 3.18 : 15 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km’de hasar ilişkisi



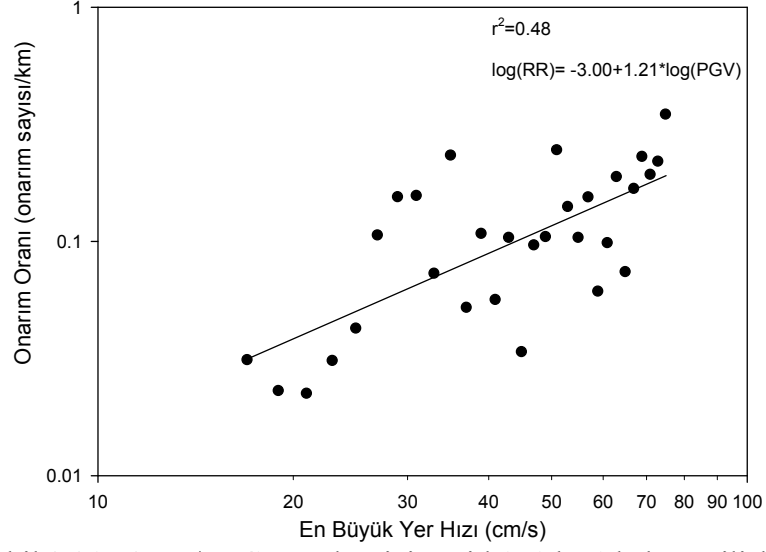
Şekil 3.19 : 20 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km'de hasar ilişkisi

3.3.2.3 Grid 1x1 km için hasar ilişkileri

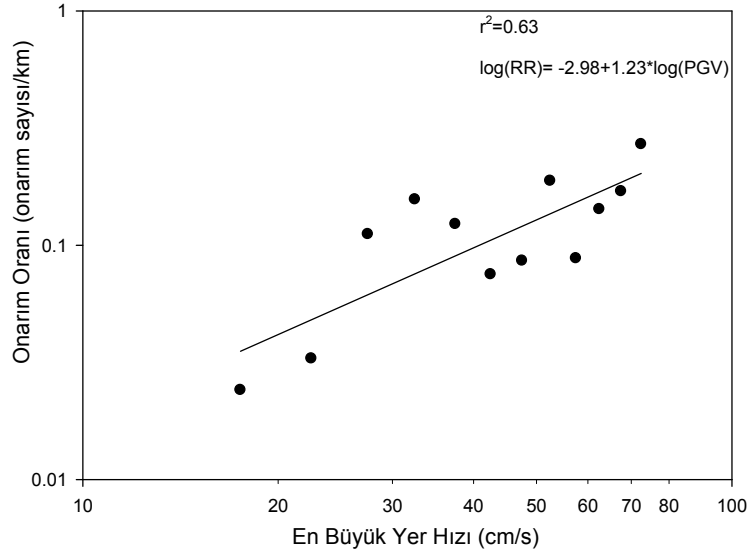


Şekil 3.20 : Grid 1x1 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi

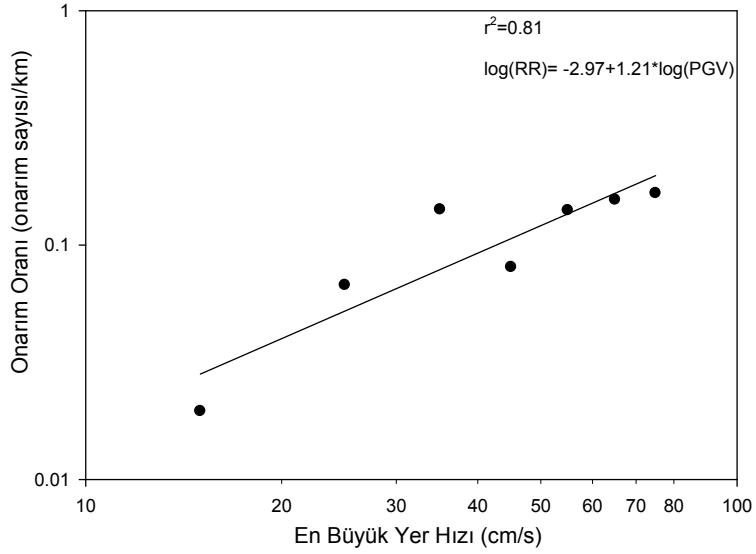
Şekil 3.20'de grid 1x1 km üzerinde boru hasarları ve borular görülmektedir. PGV değeri 80 cm/s'yi geçmemek koşuluyla toplam 211 gridde hasar ve 954 gridde ise boru bulunmaktadır. Toplam 734 hasar ve 7391.34 km uzunluğundaki borunun, 632 hasar ve 6807.60 km uzunluğundaki boru kısmı 80 cm/s hızı geçmemiştir. Şekil 3.21, Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 3.25 sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20 PGV aralıkları için hasar ilişki veri ve grafiklerini göstermektedir. Grafiklerin çıkarımında kullanılan veriler tezin son kısmında "Ek A" bölümünde verilmiştir.



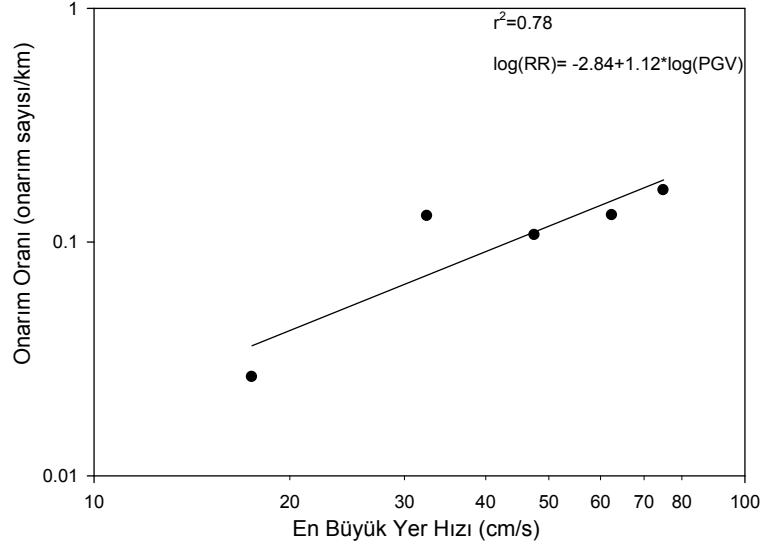
Şekil 3.21 : 2 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km’de hasar ilişkisi



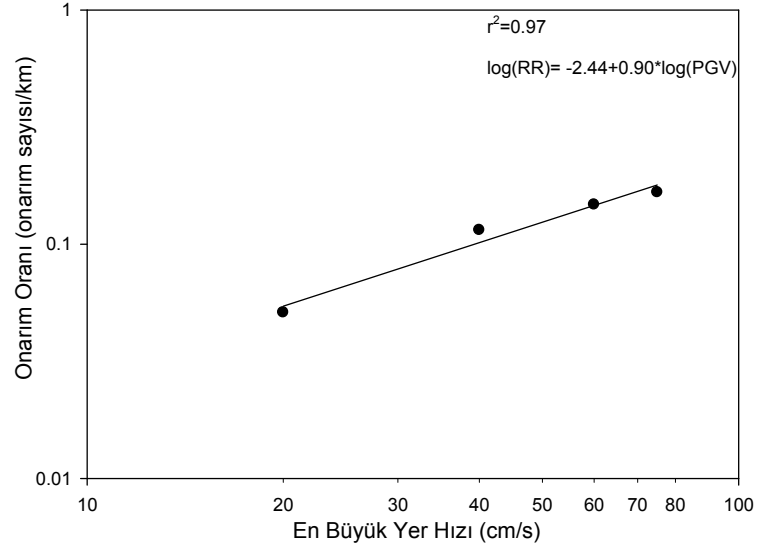
Şekil 3.22 : 5 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km’de hasar ilişkisi



Şekil 3.23 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km’de hasar ilişkisi

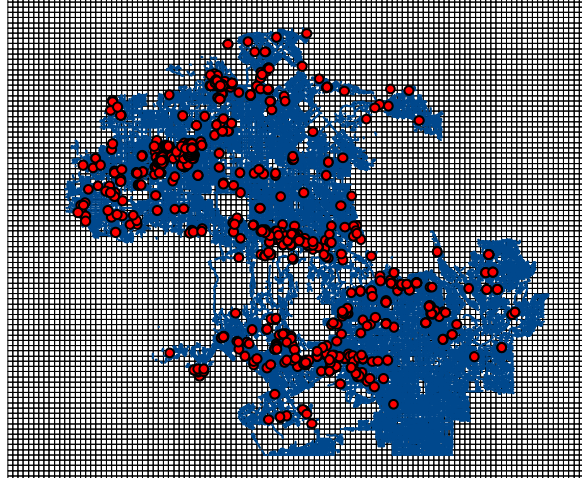


Şekil 3.24 : 15 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi



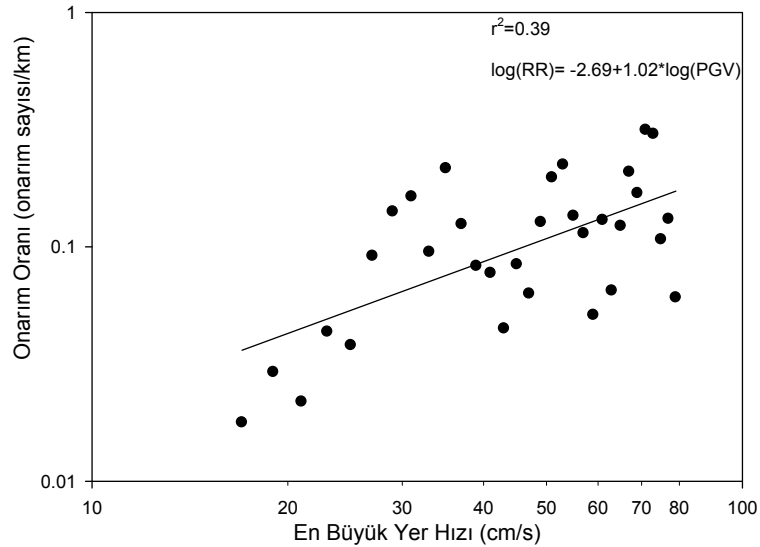
Şekil 3.25 : 20 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km'de hasar ilişkisi

3.3.2.4 Grid 0.5x0.5 km için hasar ilişkileri

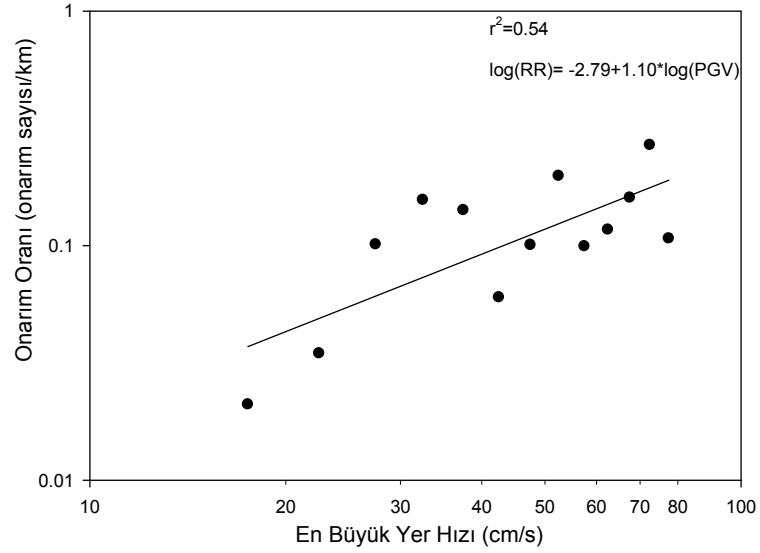


Şekil 3.26 : Grid 0.5x0.5 km üzerinde hasarlar ve boru sistemi

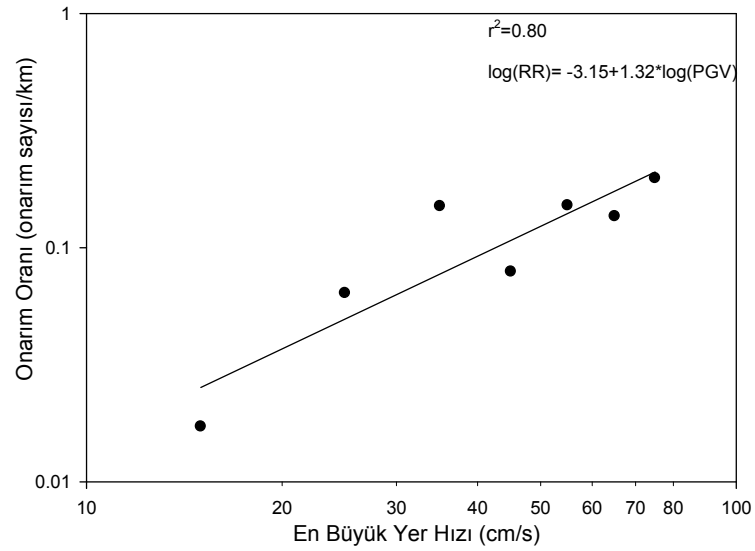
Şekil 3.26’da grid 0.5x0.5 km üzerinde boru hasarları ve borular görülmektedir. PGV değeri 80 cm/s’yi geçmemek koşuluyla toplam 312 griddede hasar ve 3375 griddede ise boru bulunmaktadır. Toplam 734 hasar ve 7391.34 km uzunluğundaki borunun, 635 hasar ve 6807.45 km uzunluğundaki boru kısmı 80 cm/s hızı geçmemiştir. Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29, Şekil 3.30 ve Şekil 3.31 sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20 PGV aralıkları için hasar ilişki veri ve grafiklerini göstermektedir. Grafiklerin çıkarımında kullanılan veriler tezin son kısmında “Ek A” bölümünde verilmiştir.



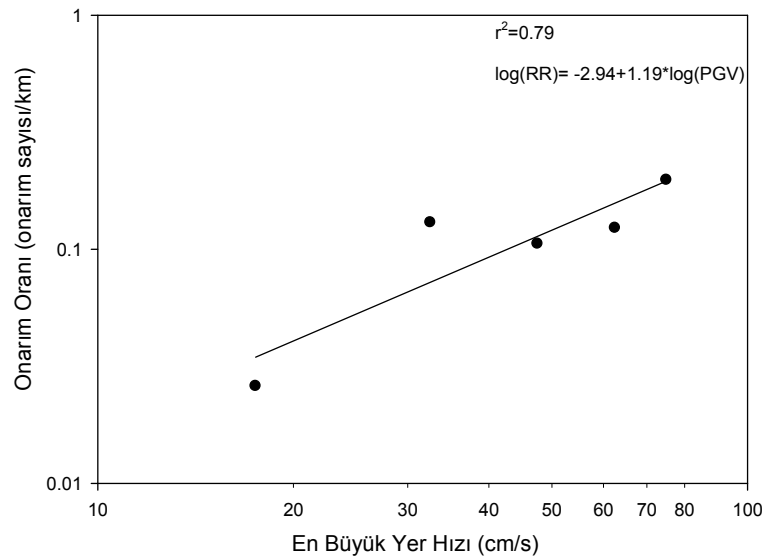
Şekil 3.27 : 2 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km’de hasar ilişkisi



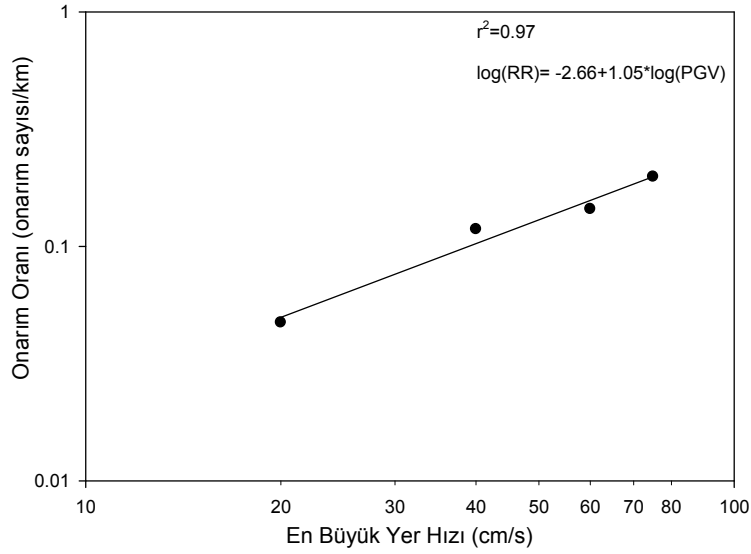
Şekil 3.28 : 5 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km²'de hasar ilişkisi



Şekil 3.29 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km²'de hasar ilişkisi



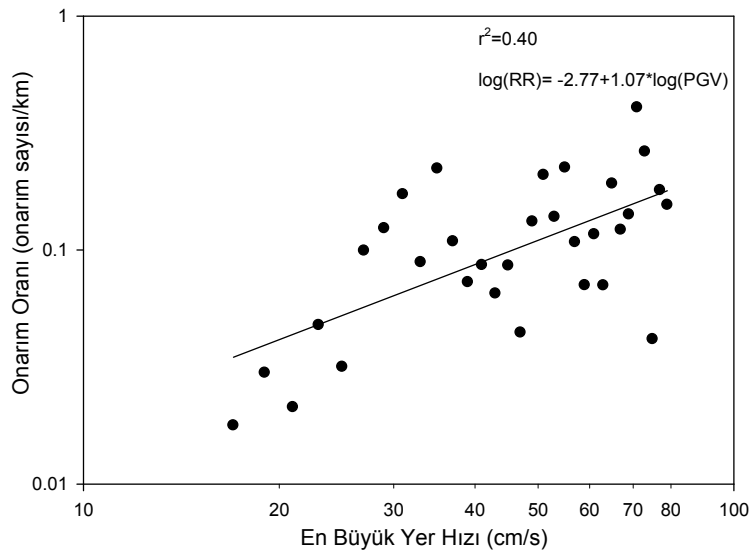
Şekil 3.30 : 15 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km²'de hasar ilişkisi



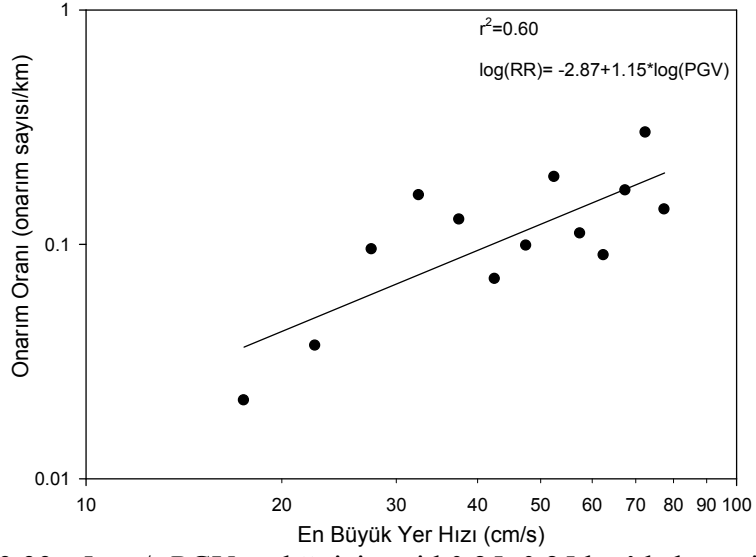
Şekil 3.31 : 20 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km’de hasar ilişkisi

3.3.2.5 Grid 0.25x0.25 km için hasar ilişkileri

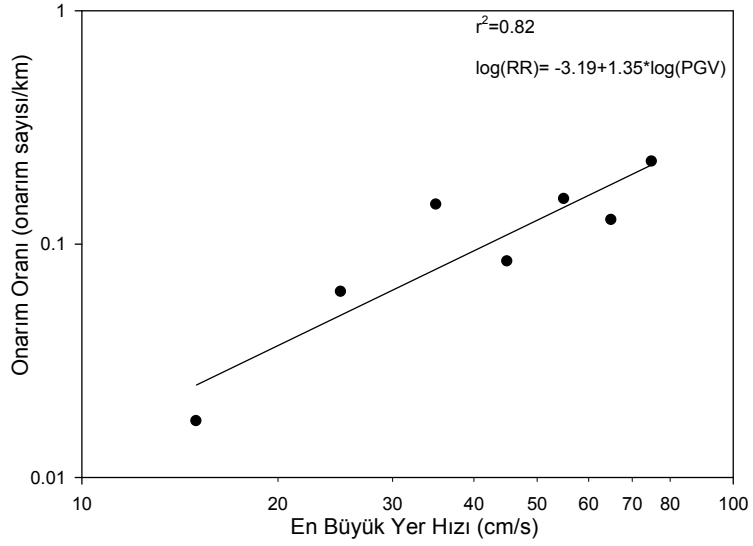
PGV değeri 80 cm/s’yi geçmemek koşuluyla toplam 442 griddede hasar ve 11872 griddede ise boru bulunmaktadır. Toplam 734 hasar ve 7391.34 km uzunluğundaki borunun, 640 hasar ve 6809.15 km uzunluğundaki boru kısmı 80 cm/s hızı geçmemiştir. Şekil 3.32, Şekil 3.33, Şekil 3.34, Şekil 3.35 ve Şekil 3.36 sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20 PGV aralıkları için hasar ilişki veri ve grafiklerini göstermektedir. Grafiklerin çıkarımında kullanılan veriler tezin son kısmında “Ek A” bölümünde verilmiştir.



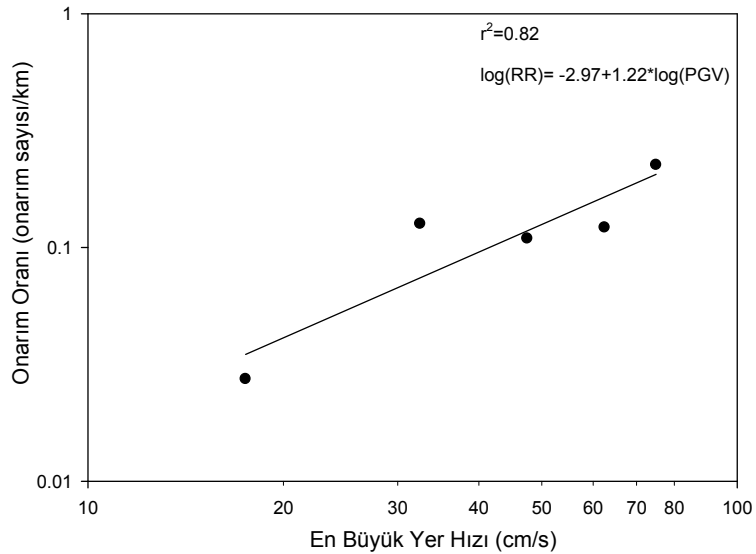
Şekil 3.32 : 2 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km’de hasar ilişkisi



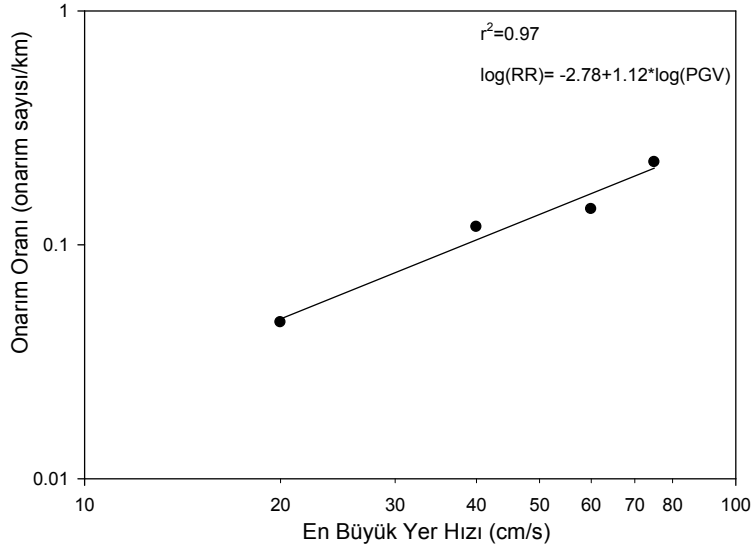
Şekil 3.33 : 5 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km’de hasar ilişkisi



Şekil 3.34 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km’de hasar ilişkisi



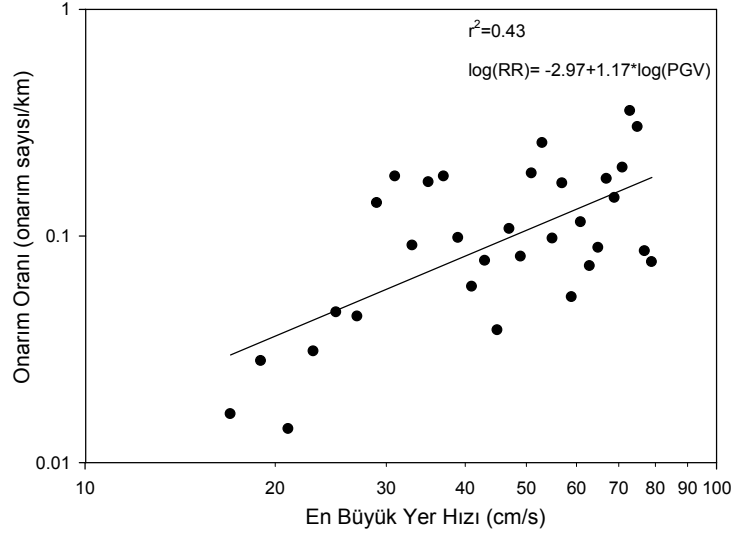
Şekil 3.35 : 15 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km’de hasar ilişkisi



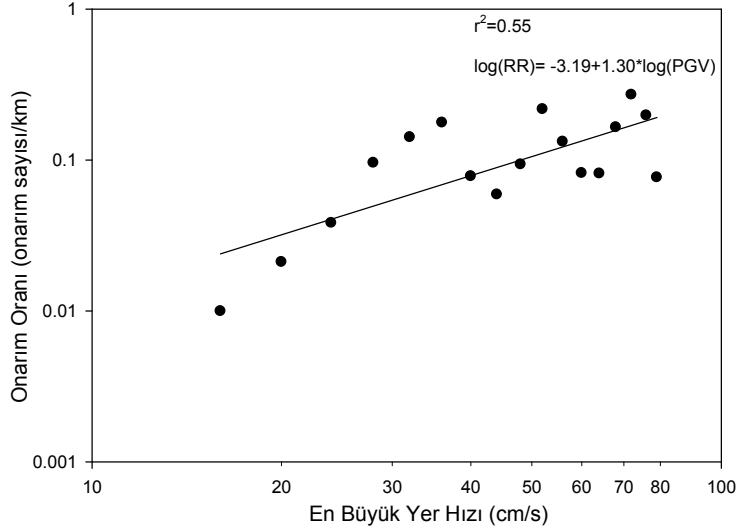
Şekil 3.36 : 20 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km²'de hasar ilişkisi

3.3.2.6 Eş PGV konturları için hasar ilişkileri

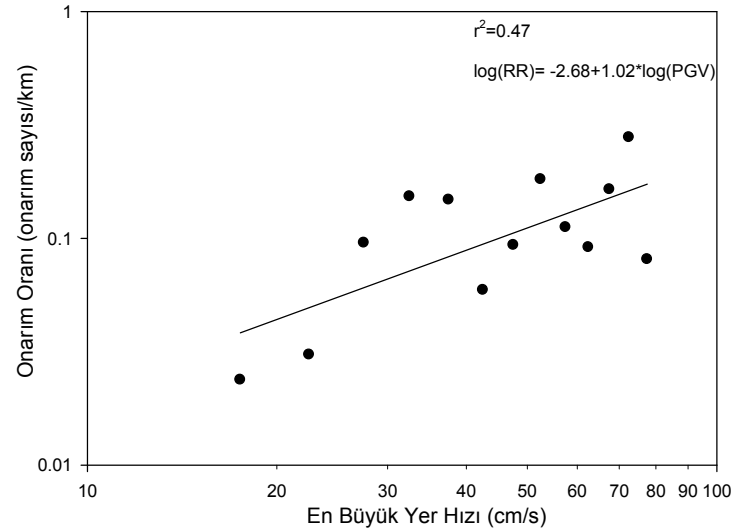
Daha önce Şekil 3.2' de sunulan 1994 Northridge depreminden sonra boru hattı üzerinde oluşan onarım yerlerinin eş PGV konturlarıyla ArcMap ortamında çakıştırılması görülmektedir. PGV konturları için hasar ilişkileri çıkartılırken ShakeMap haritasından alınan PGV değerleri direk olarak hasarlara ve borulara 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 3.37, Şekil 3.38, Şekil 3.39, Şekil 3.40, Şekil 3.41, Şekil 3.42, Şekil 3.43, Şekil 3.44, Şekil 3.45, Şekil 3.46, ve Şekil 3.47 sırasıyla 2, 4, 5, 8, 10, 12, 15, 16, 20, 24 ve 28 cm/s PGV aralıkları için hasar ilişki grafiklerini göstermektedir. Grafiklerin çıkarımında kullanılan veriler tezin son kısmında "Ek A" bölümünde verilmiştir. 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.



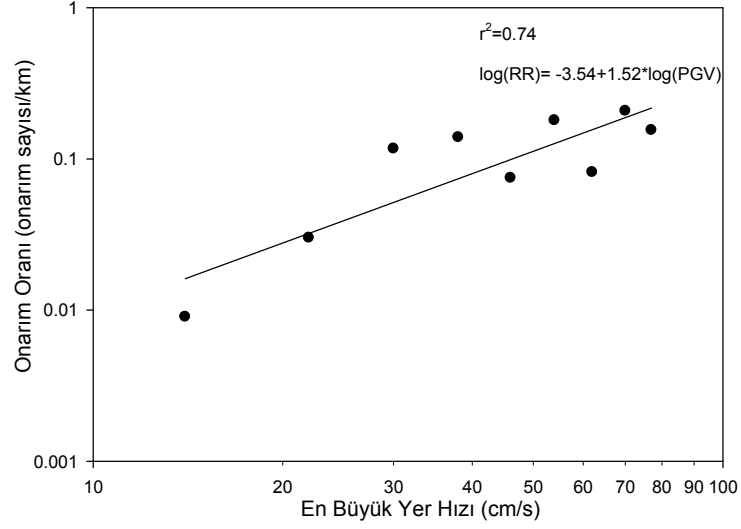
Şekil 3.37 : 2 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)



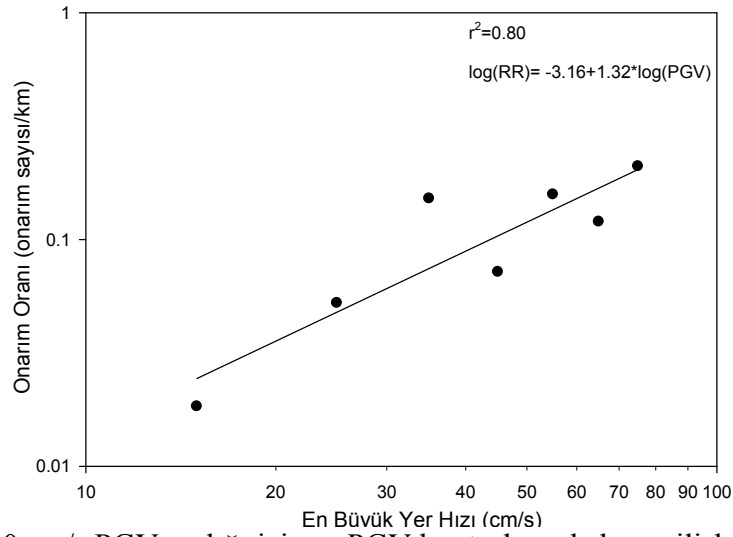
Şekil 3.38 : 4 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi



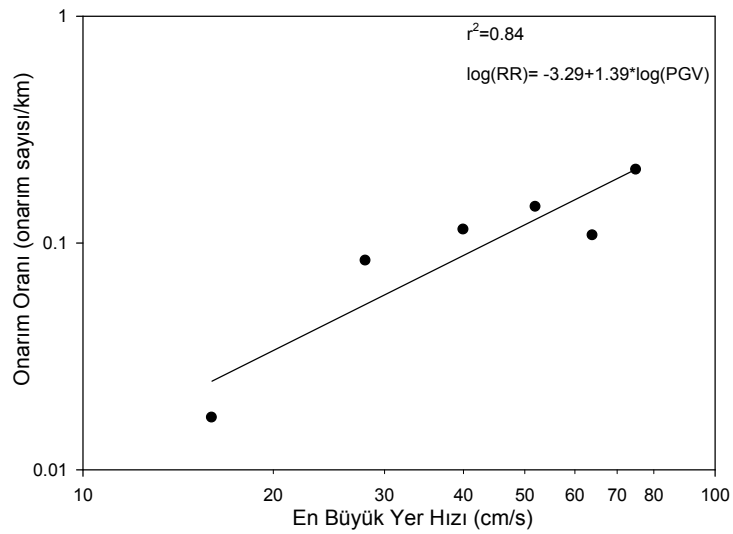
Şekil 3.39 : 5 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)



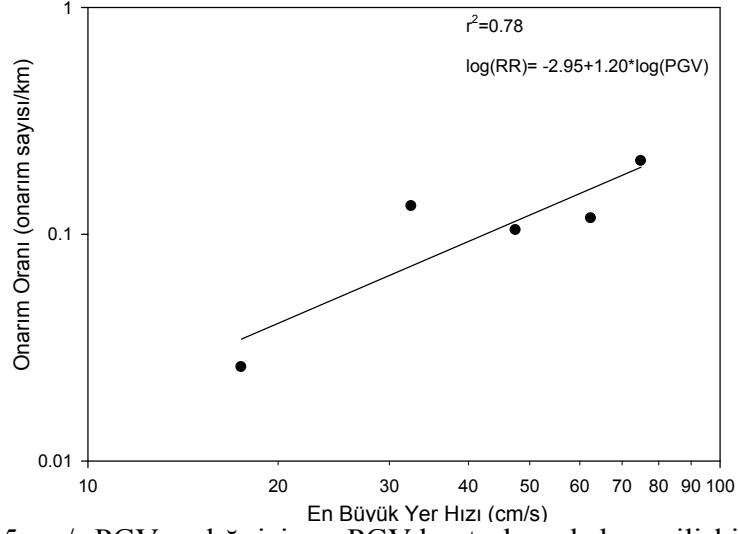
Şekil 3.40 : 8 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi



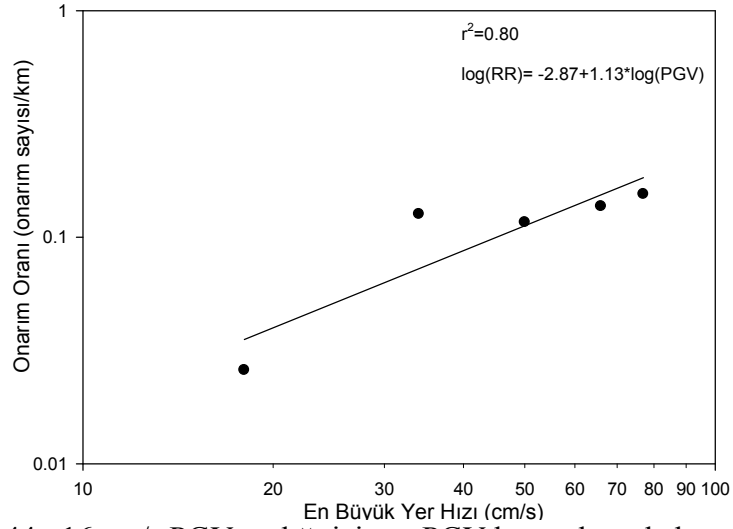
Şekil 3.41 : 10 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)



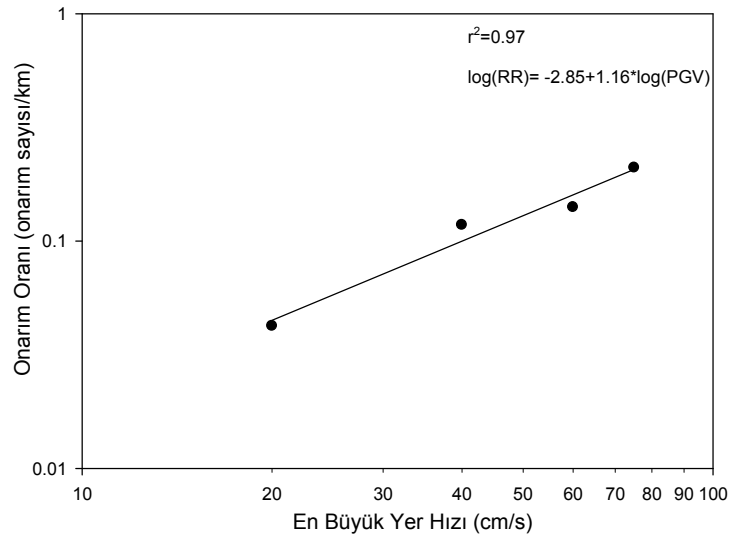
Şekil 3.42 : 12 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi



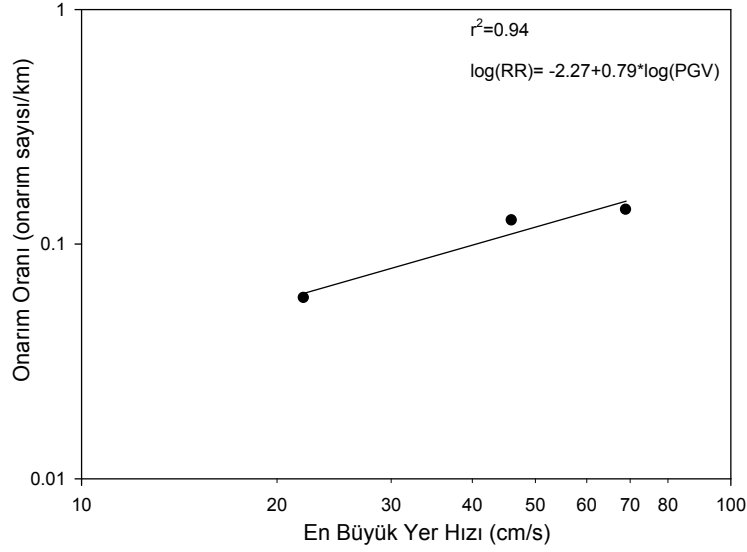
Şekil 3.43 : 15 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)



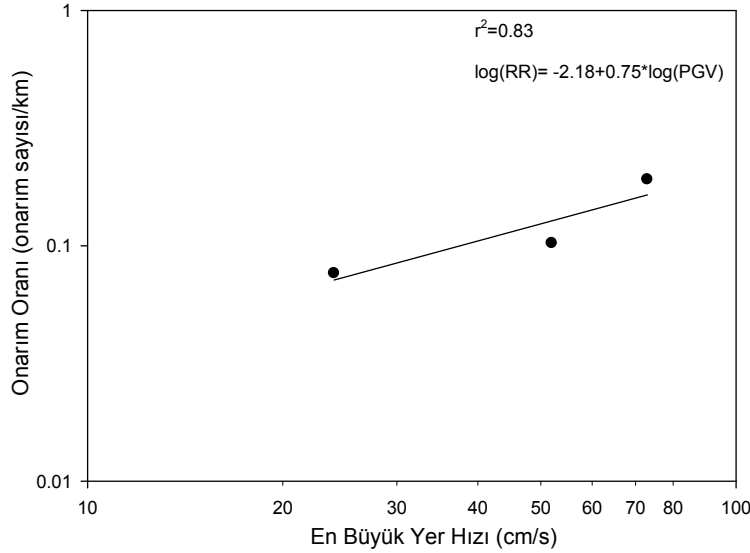
Şekil 3.44 : 16 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi



Şekil 3.45 : 20 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi (Toprak ve diğ., 2008)



Şekil 3.46 : 24 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi

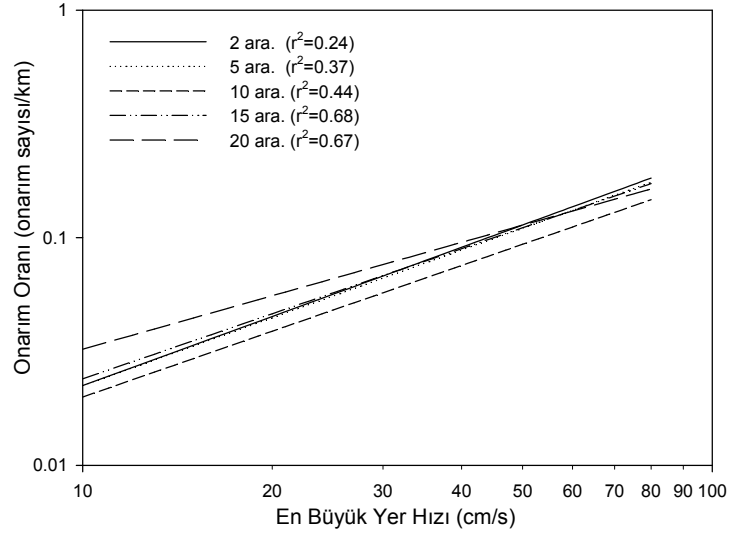


Şekil 3.47 : 28 cm/s PGV aralığı için eş PGV konturlarında hasar ilişkisi

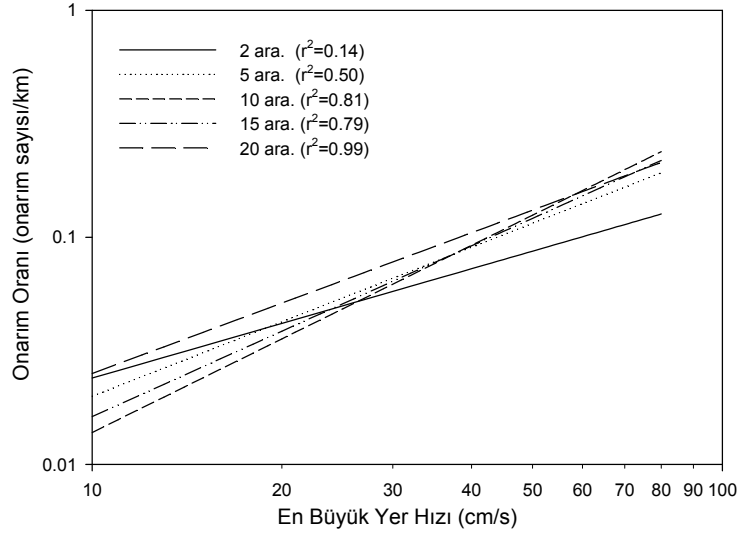
3.3.3 Hasar ilişkilerinin karşılaştırılması

Bu bölümde farklı PGV aralıkları ve farklı grid boyutlarının hasar ilişkilerine etkisi değerlendirilmiştir. Aynı grid için farklı PGV aralıklarının hasar ilişkileri üzerinde etkisi Şekil 3.48'ten başlayarak, Şekil 3.52 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 gözlemden genel olarak PGV arttıkça aynı grid değeri için

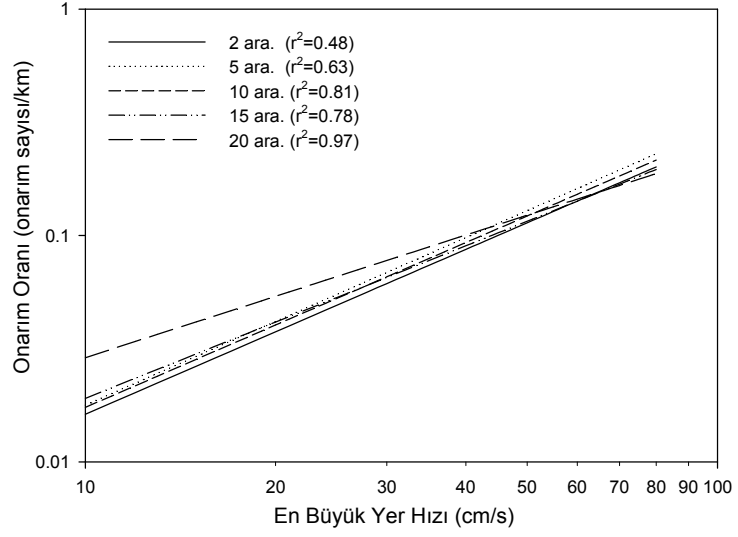
hasar ilişkilerinin birbirine yaklaşmasıdır. Özellikle PGV değeri yaklaşık olarak 30 cm/s'nin üzerinde olduğu durumda ilişkiler kayda değer bir şekilde yakınlaşmış durumdadırlar.



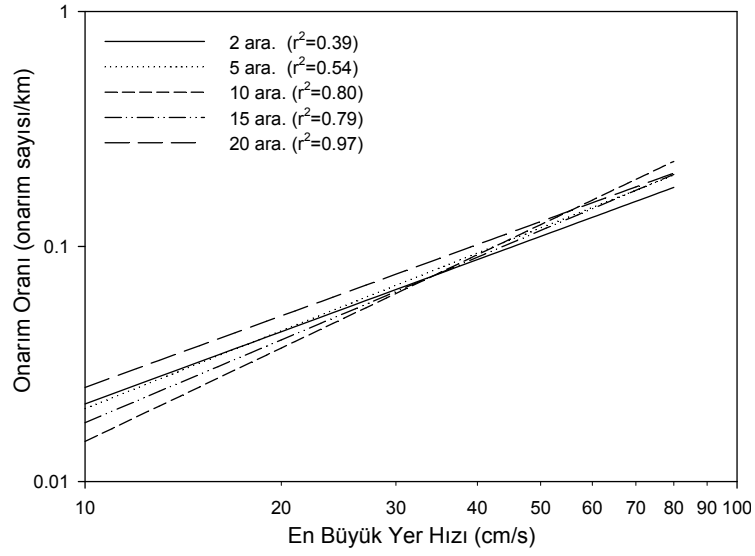
Şekil 3.48 : Çeşitli PGV aralıkları için grid 4x4 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması



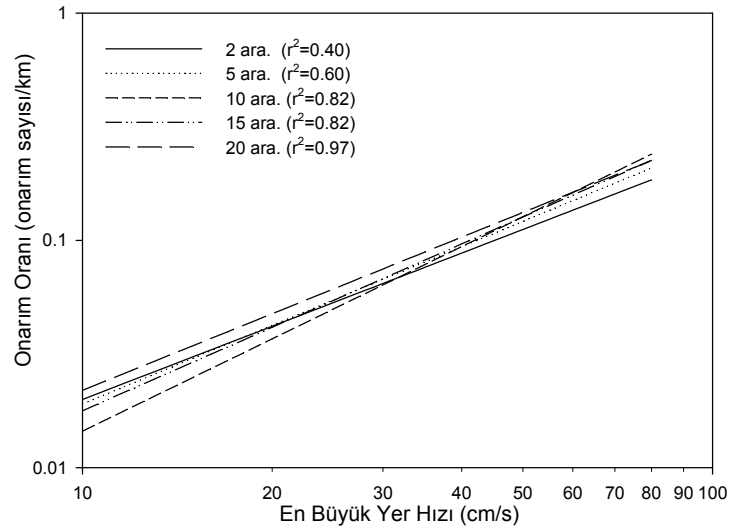
Şekil 3.49 : Çeşitli PGV aralıkları için grid 2x2 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması



Şekil 3.50 : Çeşitli PGV aralıkları için grid 1x1 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması

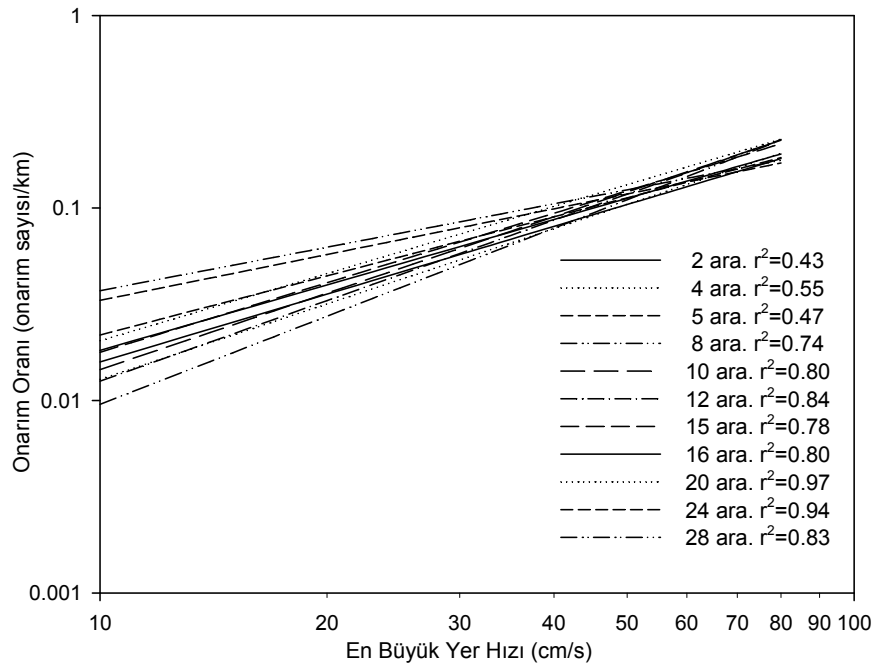


Şekil 3.51 : Çeşitli PGV aralıkları için grid 0.5x0.5 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması



Şekil 3.52 : Çeşitli PGV aralıkları için grid 0.25x0.25 km'de hasar ilişkileri karşılaştırması

Şekil 3.53'de farklı PGV aralıklarının eş PGV konturları kullanılarak elde edilen hasar ilişkileri üzerinde etkisi görülmektedir. Eş PGV konturları için çıkartılan hasar ilişkilerinde 2 cm/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.

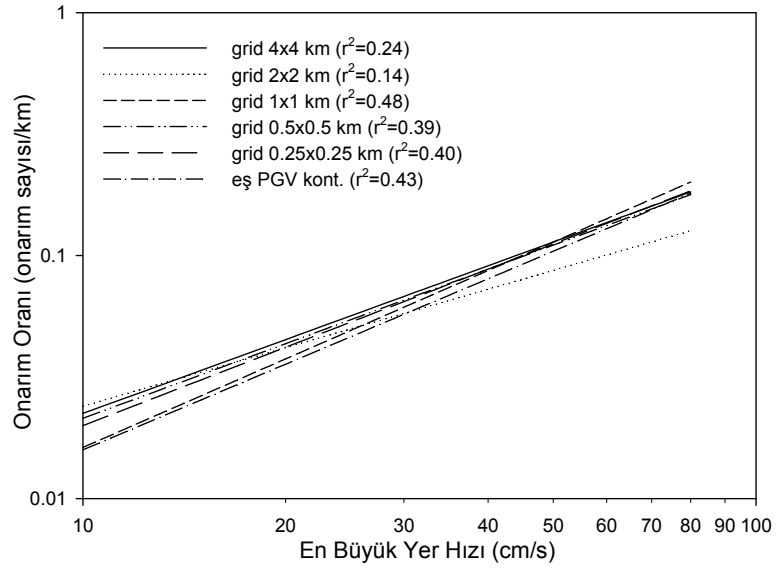


Şekil 3.53 : Çeşitli PGV aralıkları için eş PGV konturları hasar ilişkileri karşılaştırması

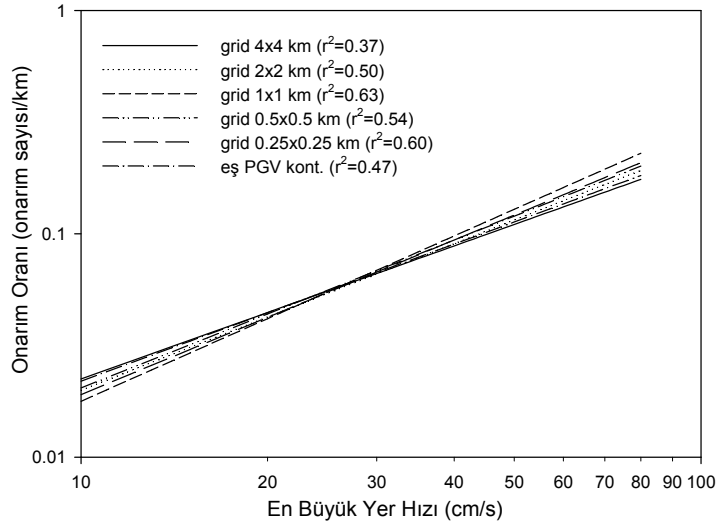
Şekil 3.54'den başlayarak, Şekil 3.58 dahil farklı grid boyutlarının ve eş PGV konturlarının, PGV aralıkları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. PGV aralığı 2 cm/s için r^2 değerleri grid 1x1 km, grid 0.5x0.5 km, grid 0.25x0.25 km ve eş PGV konturları için birbirlerine çok yakın olup grid boyutu arttıkça 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.

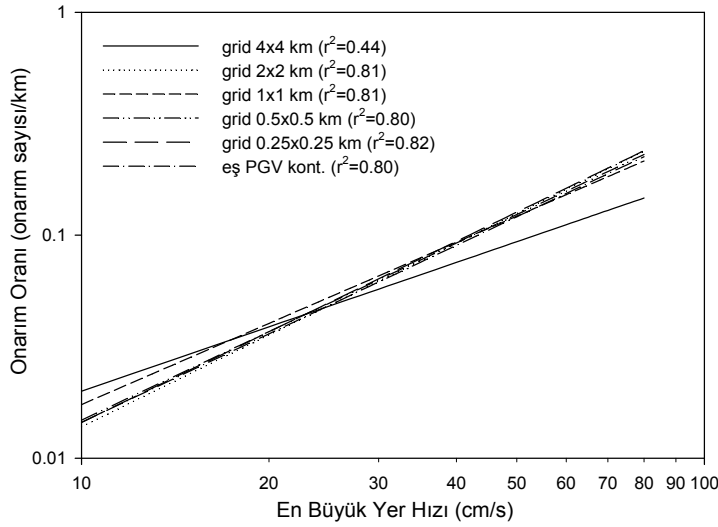
Genel olarak bakıldığında r^2 değerlerinin grid 4x4 km için bütün PGV aralıklarında en düşük kaldığı gözlenmektedir. Bu sonuçta, PGV değerlerinin yaklaşık 1,5 yatay ve 2 km düşey aralıklarla mevcut olan ShakeMap verilerinin 4 km grid içine düşen noktaların ortalaması (yaklaşık 4-6 nokta) olarak alınmasının 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.



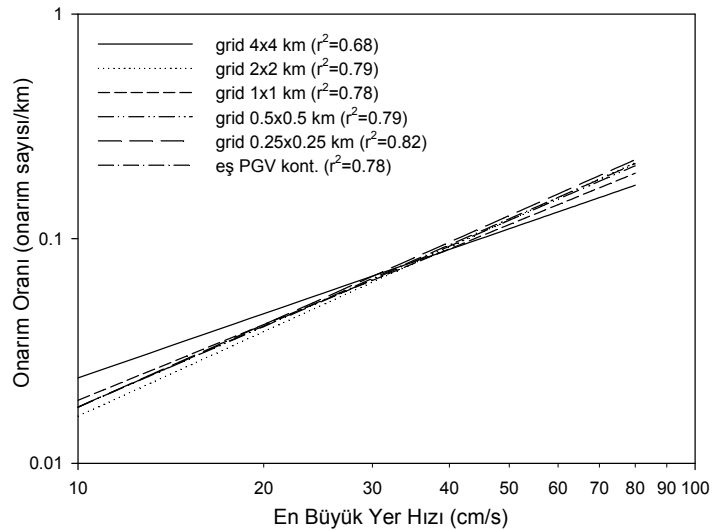
Şekil 3.54 : 2 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması



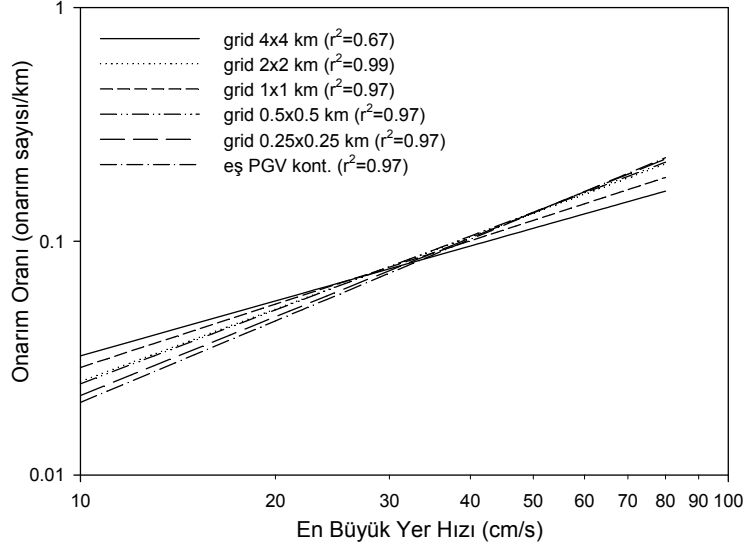
Şekil 3.55 : 5 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması



Şekil 3.56 : 10 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması



Şekil 3.57 : 15 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması



Şekil 3.58 : 20 cm/s PGV aralığı için farklı boyutlardaki gridlerde ve eş PGV konturlarında hasar ilişkilerinin karşılaştırması

3.3.4 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.

$$RISK = \sum P(H) P(D|H) P(S|D) C(S) \quad (3.2)$$

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 ilişkilendirmektedir. 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.

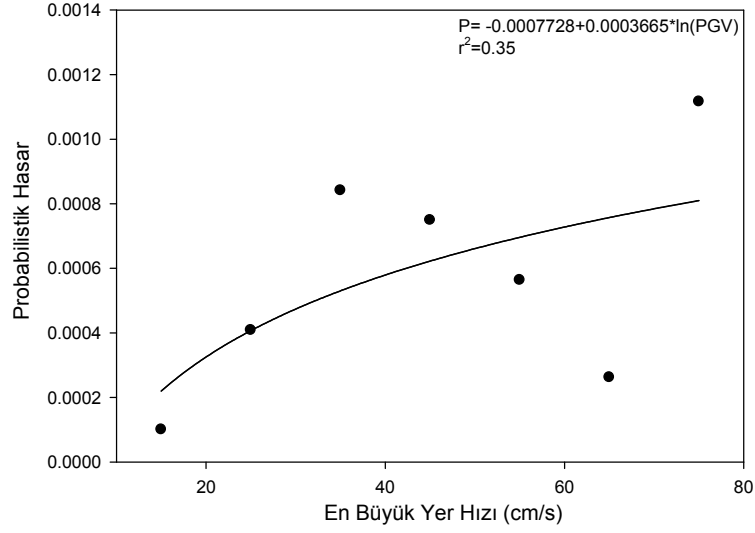
Probabilistik hasar görebilirlik eğrileri, PGV değeriyle probabilistik hasar adı verilen oranın ilişkisini gösteren eğri olarak tanımlanmıştır. Probabilistik hasar görebilirlik eğrileri çıkartılırken de gridler için bulunan PGV değerleri kullanılmıştır. Hasar görme olasılığını hesaplamak için aynı PGV 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:

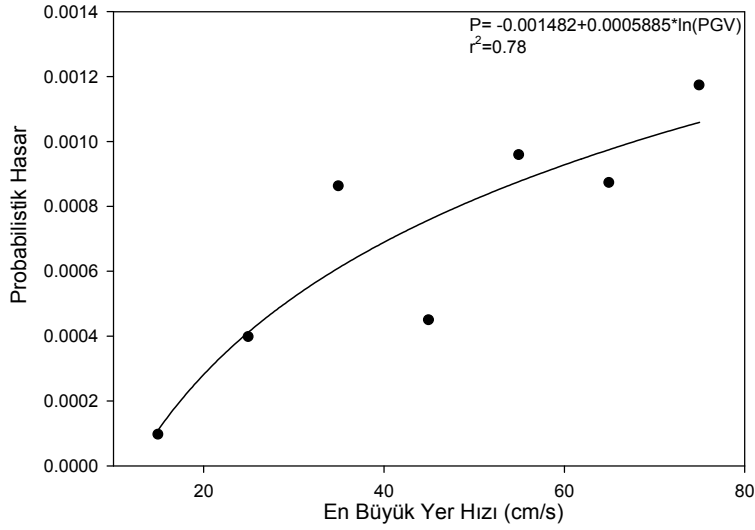
$$P = a + b \ln (PGV) \quad (3.3)$$

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

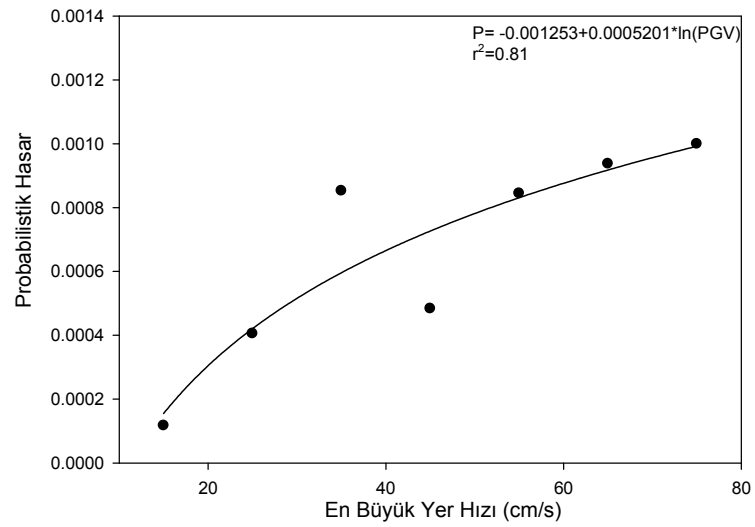
Şekil 3.59, Şekil 3.60, Şekil 3.61, Şekil 3.62 ve Şekil 3.63 sırasıyla 4, 2, 1, 0.5, ve 0.25 km gridler için veri değerlerini ve bu değerlere uydurulan probabilistik hasar görebilme eğrilerini göstermektedir. Grid 4 km kullanılarak elde edilen eğri en küçük r^2 değerini vermiştir ve diğerlerinden çok farklı bir sonuç ortaya çıkmıştır. Diğer gridler kullanılarak elde edilen eğrilerin r^2 değerleri birbirine çok yakındır. Şekil 3.64 grid 4 km verileri dışındaki verileri ve bu verilerle elde edilen eğriyi göstermektedir. Elde edilen bu eğri diğer eğrilerle Şekil 3.65'te karşılaştırılmıştır. Bu eğri diğer eğrilerinin ortalamasını temsil eder gözükmemektedir.



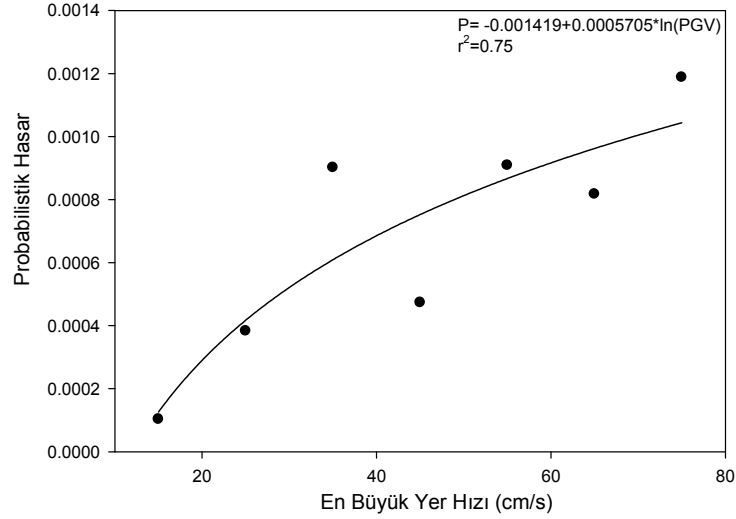
Şekil 3.59 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 4x4 km’de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi



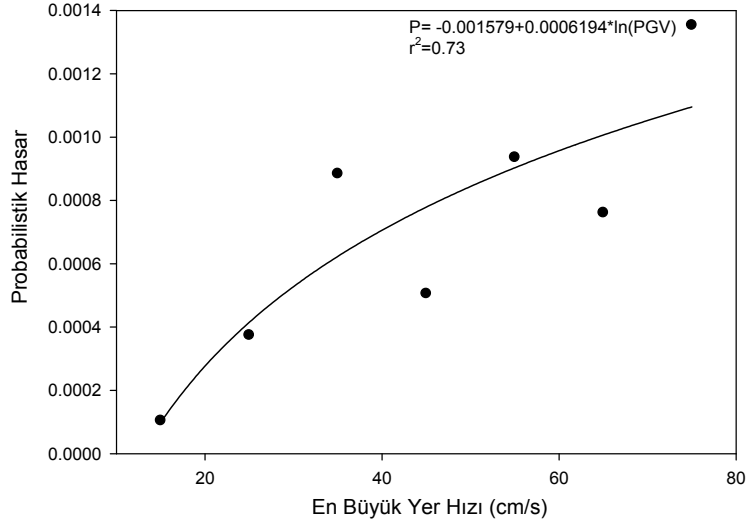
Şekil 3.60 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 2x2 km’de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)



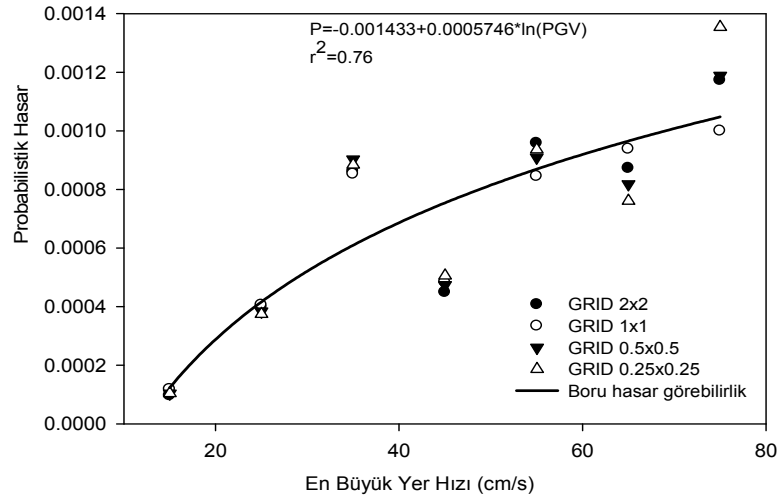
Şekil 3.61 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 1x1 km’de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)



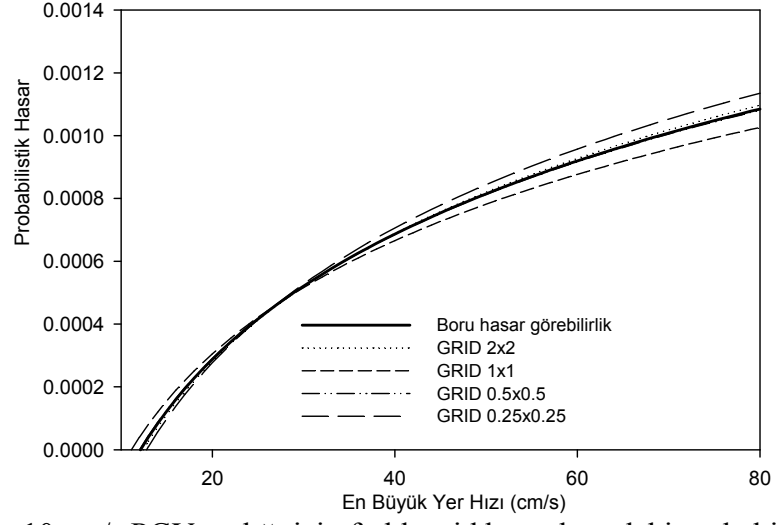
Şekil 3.62 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.5x0.5 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)



Şekil 3.63 : 10 cm/s PGV aralığı için grid 0.25x0.25 km'de probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)



Şekil 3.64 : 10 cm/s PGV aralığı için farklı grid boyutlarından elde edilen probabilistik hasar görebilirlik eğrisi (Toprak ve diğ. , 2011)



Şekil 3.65 : 10 cm/s PGV aralığı için farklı grid boyutlarındaki probabilistik hasar görebilirlik eğrileri (Toprak ve diğ. , 2011)

4 KÜMELEME ANALİZİ

4.1 Giriş

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.

4.2 Kümeleme Analizi Algoritmaları

4.2.1 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 oluşturularak 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.

$$P_i = \sum_{j=1}^n e^{-4*\|x_i - x_j\|^2 / R_a^2} \quad (4.1)$$

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.

$$P_i \Rightarrow P_i - P_1^* e^{-4*\|x_i-x_1\|^2 / R_b^2} \quad (4.2)$$

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

$$P_i \Rightarrow P_i - P_k^* e^{-4*\|x_i-x_k^*\|^2 / R_b^2} \quad (4.3)$$

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.

$$SF = \frac{R_b}{R_a} \quad (4.4)$$

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.

4.2.2 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 gruplandırıldığı 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.

$$d(x_i, x_j) = \left(\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right)^{1/2} = \|x_i - x_j\| \quad (4.5)$$

İki veya üç boyutlu uzayda nesnelerin yakınlığını değerlendirmek için kullanılan öklid uzaklığı, kümeler sıkı veya izole bir şekilde ise iyi sonuçlar vermektedir (Mao ve Jain, 1996).

Temel olarak k-ortalamlar 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 (4.6)'da verilmiştir.

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (4.6)$$

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 $\|*\|$ 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 (4.7)'ye göre hesaplanır.

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \quad (4.7)$$

Hesaplanan küme merkezlerine göre U matrisi denklem (4.8) kullanılarak yeniden hesaplanır. Eski U matrisi ile yeni U matrisi karşılaştırılır.

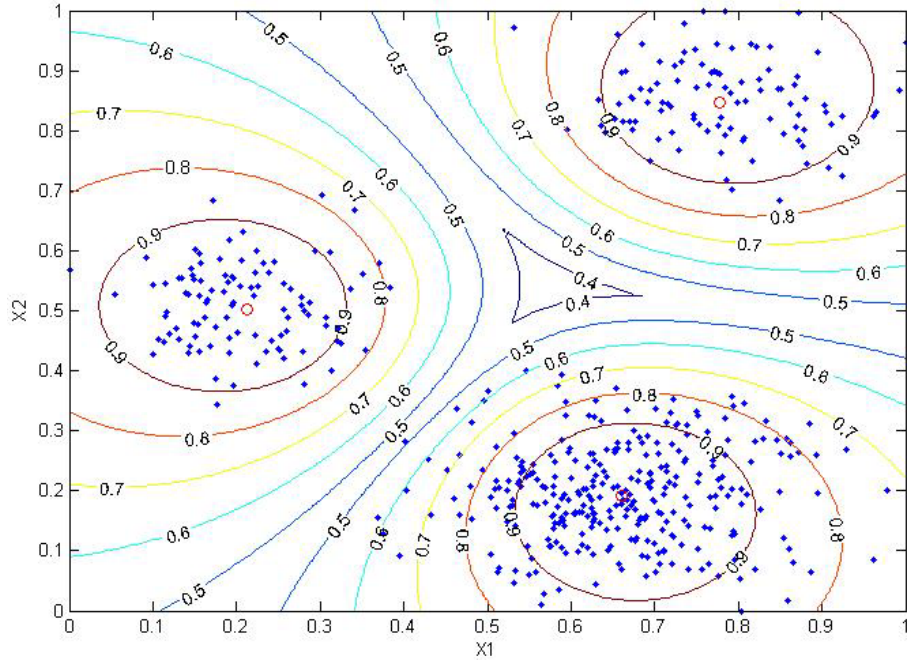
$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (4.8)$$

Aşağıdaki şart sağlandığında döngü duracaktır.

$$\max_{ij} \left\{ \left| u_{ij}^{(k+1)} - u_{ij}^{(k)} \right| \right\} < \varepsilon \quad (4.9)$$

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 4.1’de sentetik veri setinin bulanık c-ortalamlar algoritmasıyla kümelendiği 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 4.1 : Sentetik veri setinin bulanık c-ortalamlar ile kümelendiği örneği

4.2.3 Bazı kümeleme algoritmaları

4.2.3.1 K-ortalamlar algoritması

En eski kümeleme algoritmalarından olan k-ortalamlar algoritması, Cox (1957) tarafından ortaya atılmış, Ball ve Hall (1967) ve MacQueen (1967) tarafından geliştirilmiştir. Klasik kümeleme algoritmalarından en yaygın şekilde kullanılan k-ortalamlar, n tane veriyi k tane kümeye bölen ve her verinin sadece bir kümeye ait olabilmesine imkân veren keskin bir kümeleme algoritmasıdır. Amaç, gerçekleştirilen bölümlenme işlemi sonunda elde edilen kümelerin, küme içi benzerliklerinin maksimum ve kümeler arası benzerliklerinin minimum olmasını sağlamaktır. Küme benzerliği, kümenin ağırlık merkezi olarak kabul edilen bir nesne ile kümedeki diğer nesnelere arasındaki uzaklıkların ortalama değeri ile ölçülmektedir. Her bir verinin herhangi bir kümeye aitliği 0 veya 1'dir. Amaç fonksiyonunun minimize edilmesine dayanmaktadır. Amaç fonksiyonu denklem (4.10)'da verilmiştir.

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (4.10)$$

Burada k küme sayısı, n veri sayısı, $x_i^{(j)}$ veri noktası, c_j ise küme merkezini ifade eder.

K-ortalamlar algoritması öncelikle her biri bir küme merkezini veya ortalamasını ifade etmek üzere k tane merkez seçilmesiyle başlatılır. Veri setinde bulunan tüm veriler kendisi ile merkezler arasındaki uzaklığa göre kendisine en yakın merkezin olduğu kümeye atanır ve tekrar her bir küme için küme merkezleri hesaplanır. k tane küme merkezi adım adım yer değiştirir. Bu yer değiştirme aşağıdaki şart sağlanıncaya kadar devam ettirilir.

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in C_i} |p - m_i|^2 \quad (4.11)$$

Burada p ve m_i çok boyutlu olmakla beraber p , belli bir nesneyi temsil eden noktayı, m_i C_i kümelerinin ortalamasını temsil etmektedir.

4.2.3.2 K-medoidler algoritması

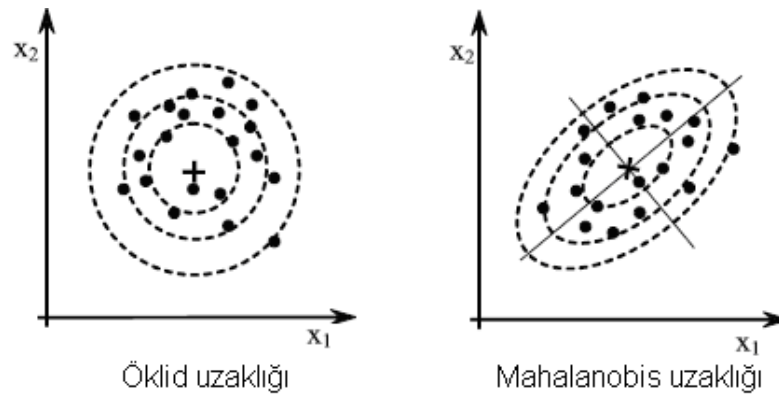
K-medoidler algoritması Kaufman ve Rousseeuw (1987) tarafından geliştirilmiştir. K-ortalamar algoritmasından farklı olarak k-medoidler algoritmasında, küme merkezleri, kümedeki nesnelere ortalama değerleriyle hesaplanmayıp, küme merkezine en yakın nesne (medoid) bulunarak belirlenmektedir. Böylece ortalamayı çok fazla değiştiren aykırı değerlere karşı k-ortalamar yöntemine göre daha az hassastır. K-medoidler algoritması öncelikle verilerin arasından k tane medoidin rastgele seçilmesiyle başlatılır. En yakın medoid x 'e sahip kümeyle, kalan nesnelere aktarılır. Amaç fonksiyonu hesaplandıktan sonra rastgele y noktası seçilir. Eğer x ile y 'nin yer değiştirmesi amaç fonksiyonunu minimize edecekse bu iki nokta (x ve y) yer değiştirilir. Değişiklik olmayana kadar bu süreç devam eder.

4.2.3.3 Gustafson-Kessel algoritması

Bulanık kümeleme algoritmalarında Gustafson-Kessel (GK) algoritması, bulanık c-ortalamar algoritmasının genişletilmiş bir biçimi olarak Gustafson-Kessel (1979) tarafından geliştirilmiştir. GK algoritması elipsoidal küme yapılarına kolayca adapte olabilen mahalanobis uzaklığını (denklem (4.12)) kullanır.

$$d_M(x_i, x_j) = (x_i - x_j)^T F_i^{-1} (x_i - x_j) \quad (4.12)$$

Burada F_i , bulanıklık kovaryans matrisi ifade etmektedir. Öklid ve mahalanobis uzaklıklarının bulanık kümelerde kullanımı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : Öklid ve mahalanobis uzaklıklarının bulanık kümelerdeki görünümü (Abonyi ve Feil, 2007)

GK algoritması şu şekilde geliştirilmiştir.

i) Başlangıç değerleri (c küme sayısı, iterasyon sayısı, ϵ hata değeri, u üyelik değerleri vb. gibi) belirlendikten sonra bulanık küme merkezleri her küme için aşağıdaki denkleme göre hesaplanır.

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m} \quad (4.13)$$

ii) Her küme için aşağıdaki denkleme göre kovaryans matrisi hesaplanır.

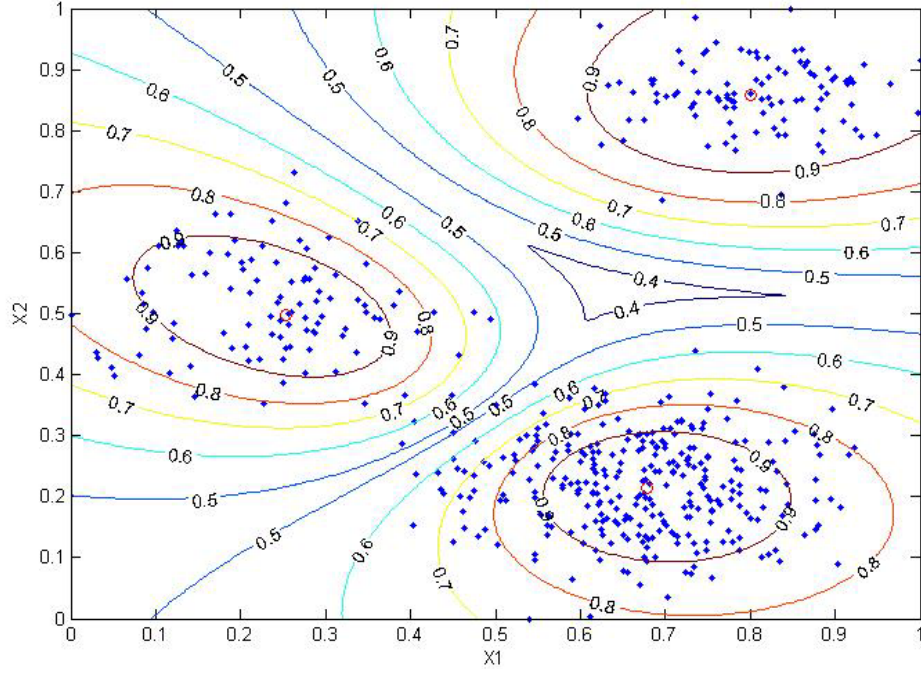
$$Cov^i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m (x_j - v_i)(x_j - v_i)^T}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m} \quad (4.14)$$

iii) Mahalanobis uzaklığı kullanılarak uzaklıklar hesaplanır.

iv) Yeni üyelik değerleri matrisi hesaplanır.

v) Yeni üyelik değerleri ile eski üyelik değerlerini karşılaştırılır. Hata değerine göre algoritma ya durdurulur ya da küme merkezleri hesabından itibaren algoritma yeniden başlar.

Şekil 4.3'de sentetik veri setinin GK algoritmasıyla kümeleneceği görülmektedir. Şekil 4.1 için yapılan açıklamalar bu şekil içinde geçerlidir.



Şekil 4.3 : Sentetik veri setinin GK algoritmasıyla kümelenmesi örneği

4.2.3.4 Gath-Geva algoritması

Bulanık kümeleme algoritmalarından olan Gath-Geva (GG) algoritması, GK algoritmasının geliştirilmiş bir biçimidir. Gath ve Geva (1989) tarafından geliştirilen algoritma, olasılık teorisinin temelleri üzerine kurulmuştur.

GG algoritması şu şekilde geliştirilmiştir.

- i) Başlangıç değerleri girilir.
- ii) Küme merkezleri aşağıdaki denkleme göre hesaplanır.

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m} \quad (4.15)$$

- iii) Her küme için aşağıdaki denkleme göre kovaryans matris hesaplanır.

$$Cov^i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m (x_j - v_i)(x_j - v_i)^T}{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m} \quad (4.16)$$

iv) Önsel olasılık değerleri hesaplanır.

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n u_{ij}^m}{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c u_{ij}^m} \quad (4.17)$$

iv) Aşağıdaki denkleme göre uzaklıklar hesaplanır.

$$d_{ij}(x_i, x_j) = \frac{(2\pi)^{\frac{n}{2}} \sqrt{\det(F_i)}}{\alpha_i} \exp\left(\frac{1}{2}(x_i - x_j)F_i^{-1}(x_i - x_j)^T\right) \quad (4.18)$$

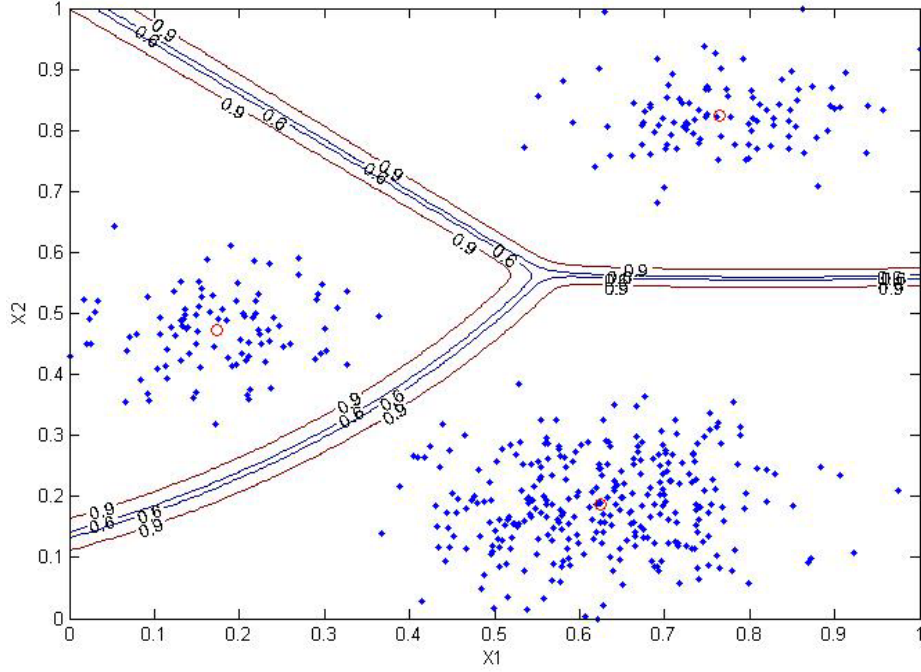
Denklemdaki F_i kovaryans matrisidir.

v) Bölüm matrisi güncellenir.

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_i - c_k\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (4.19)$$

vi) Yeni üyelik değerleri ile eski üyelik değerlerini karşılaştırılır. Hata değerine göre algoritma ya durdurulur ya da küme merkezleri hesabından itibaren algoritma yeniden başlar.

Şekil 4.4'de sentetik veri setinin Gath-Geva algoritmasıyla kümeleneceği görülmektedir. Şekil 4.1 için yapılan açıklamalar bu şekil içinde geçerlidir.



Şekil 4.4: Sentetik veri setinin Gath-Geva algoritmasıyla kümelenmesi örneği

4.3 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 yakınlılığı 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 bölümlenme 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.

4.3.1 Bölümlenme katsayısı (PC indeksi)

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

$$PC(c) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^2 \quad (4.20)$$

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

4.3.2 Sınıflandırma entropisi (CE)

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

$$CE = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij} \log(u_{ij}) \quad (4.21)$$

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

4.3.3 MPC indeksi

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

$$MPC = 1 - \frac{c}{c-1} * (1-PC) \quad (4.22)$$

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

4.3.4 Xie-Beni indeksi

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

$$XB(c) = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^m \|x_j - v_i\|^2}{n \min_{i,j} \|v_i - v_j\|^2} \quad (4.23)$$

Xie-Beni İndeksinin en küçük değerinde küme sayısı optimumdur.

4.3.5 Fukuyama ve Sugeno indeksi

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

$$J_m(U, V) - K_m(U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^m \|x_j - v_i\|^2 - \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^m \|v_i - \bar{v}\|^2 \quad (4.24)$$

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

4.3.6 Pakhira (PBMF) indeksi

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

$$PBMF = \left(\frac{1}{c} * \frac{E_1}{J_m} * D_c \right) \quad (4.25)$$

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

$$E_1 = \sum_{j=1}^n \|x_j - v\| \quad (4.26)$$

$$D_c = \max_{i,j=1}^c \|v_i - v_j\| \quad (4.27)$$

$$J_m (U, V) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ij})^m \|x_j - v_i\| \quad (4.28)$$

PBMF indeksinde m olarak 1.5 değeri alınmıştır.

4.3.7 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.

$$DI(c) = \min_{i \in c} \left\{ \min_{j \in c, i \neq j} \left\{ \frac{\min_{x \in C_i, y \in C_j} d(x, y)}{\max_{k \in c} \left\{ \max_{x, y \in C} d(x, y) \right\}} \right\} \right\} \quad (4.29)$$

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.

4.4 Kümeleme Geçerlilik İndekslerinin Değerlendirilmesi

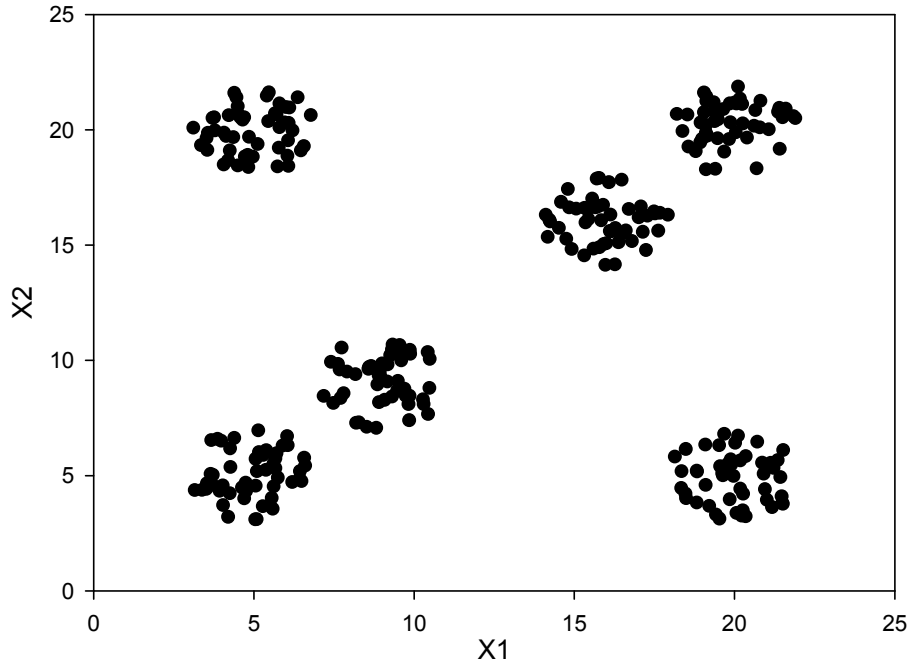
4.4.1 Giriş

Bir önceki bölümde 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.

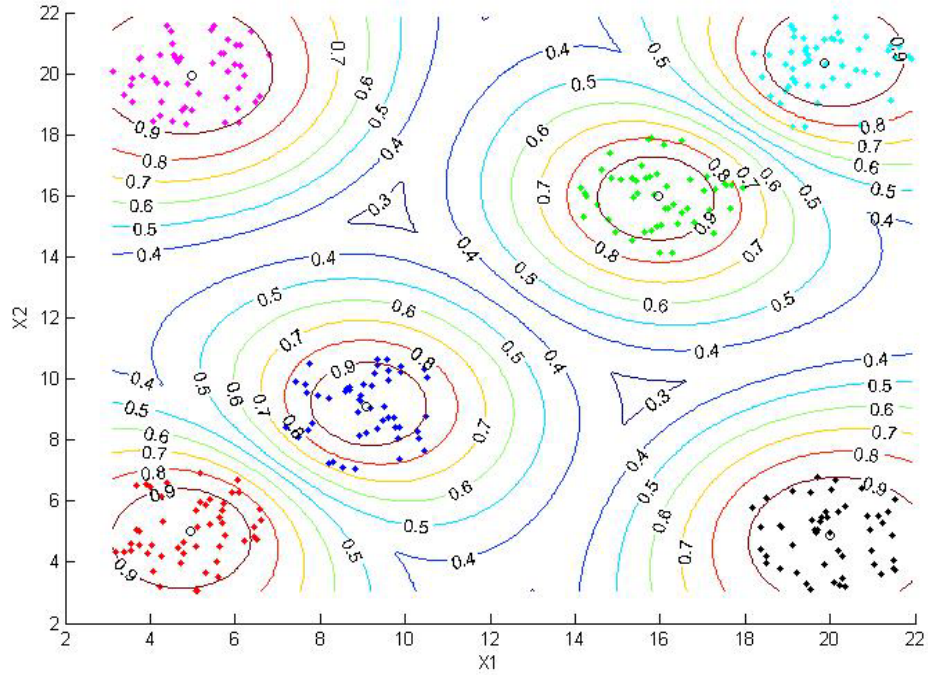
4.4.2 6_2 veri setinin geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi

6_2 veri seti 300 veriden oluşan iki boyutlu bir yapıya sahip olan bir veri setidir (Şekil 4.5). Bu veri seti üzerine bulanık c-ortalamalar kümeleme analizi uygulanarak kümeleme geçerlilik indekslerinin sonuçları bulunmuştur.



Şekil 4.5: 6_2 veri seti

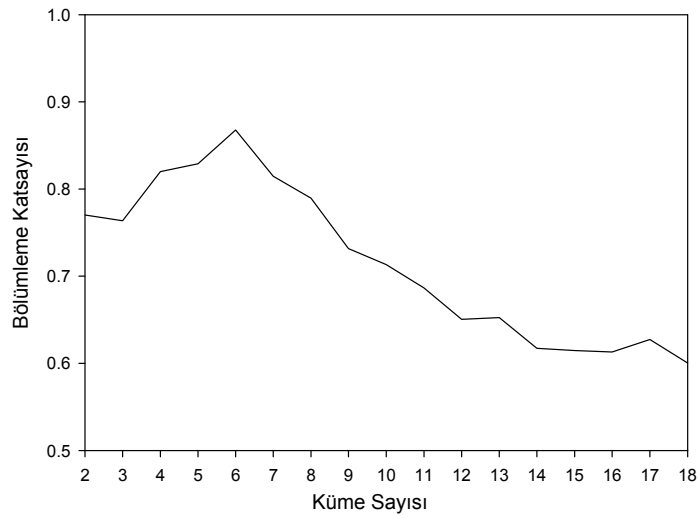
Burada tüm küme sayıları için kümeleme şekilleri verilmeyip sadece veri setinin 6 kümeye bölünmesi (Şekil 4.6) verilmiştir. Şekilde her bir küme elemanı farklı renklerde gösterilmiştir. Ayrıca üyelik derecelerini belirten çizgiler ve küme merkezleri de gösterilmiştir.



Şekil 4.6: 6_2 veri setinin 6 kümeye bölünmesi

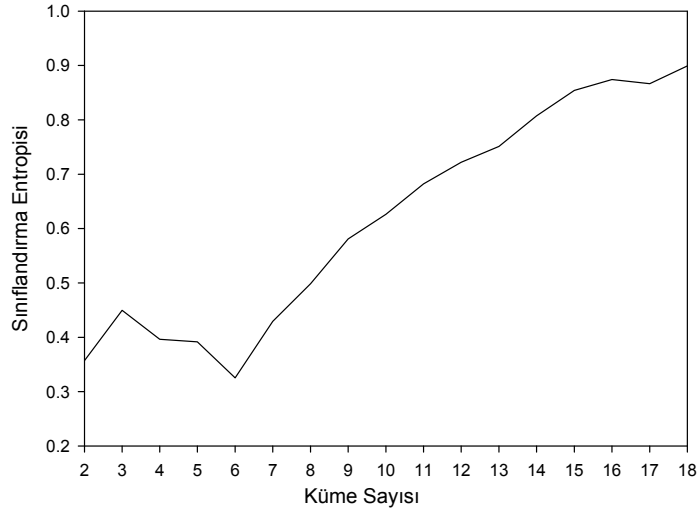
Kümeleme geçirlilik indeksleri hesaplanırken 2 kümeden başlanıp 6_2 veri seti için en büyük küme sayısı 18 olarak belirlenmiştir. Tez kapsamında bahsedilen geçirlilik indeksleri için değerlendirmeler verilmiştir.

Küme sayısına bağlı olarak bölümlene katsayısının (PC İndeksi) değerleri Şekil 4.7' de verilmiştir. Bölümlene katsayısına göre optimum küme sayısı 6 olarak görülmektedir.



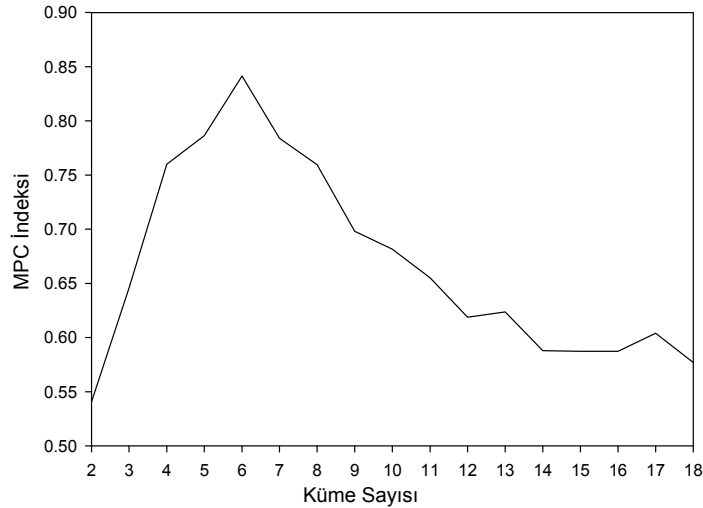
Şekil 4.7: 6_2 veri seti için bölümlene katsayısı değerleri

Şekil 4.8’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.



Şekil 4.8: 6_2 veri seti için sınıflandırma entropisi değerleri

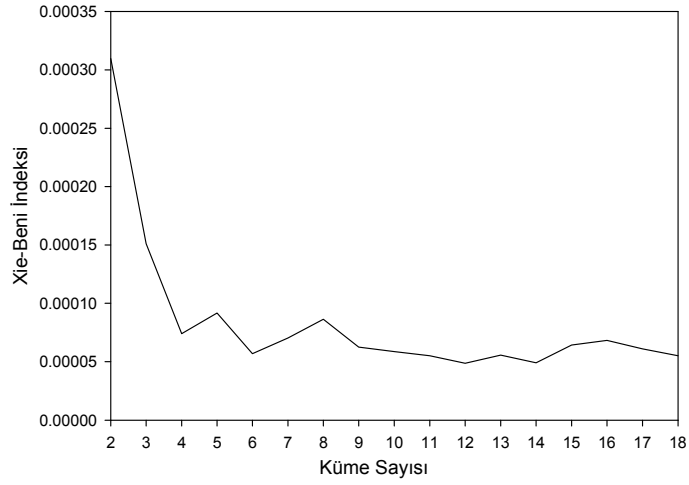
6_2 veri seti için optimum küme sayısını 6 olarak veren başka bir indeks de MPC indeksidir. Şekil 4.9’da MPC indeksinin en büyük değeri 6 küme sayısını vermektedir.



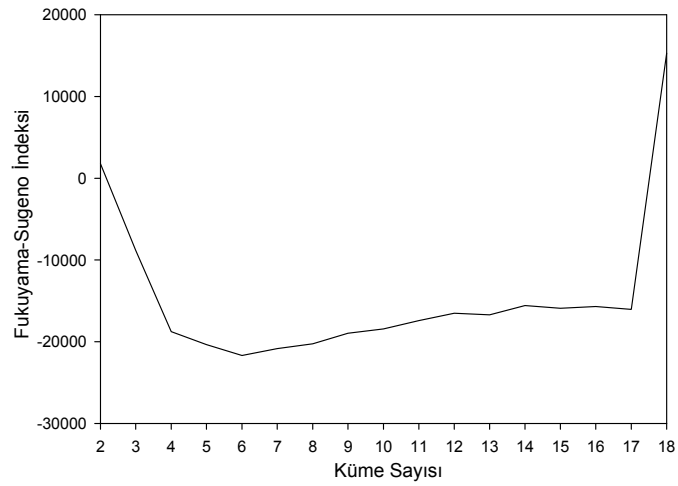
Şekil 4.9: 6_2 veri seti için MPC indeksi değerleri

Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 sırasıyla Xie-Beni, Fukuyama-Sugeno, PBMF ve Dunn indekslerinin küme sayılarına bağlı olarak bulunan değerlerinin grafikleri verilmiştir. Bu dört indeksden Fukuyama-Sugeno ve PBMF

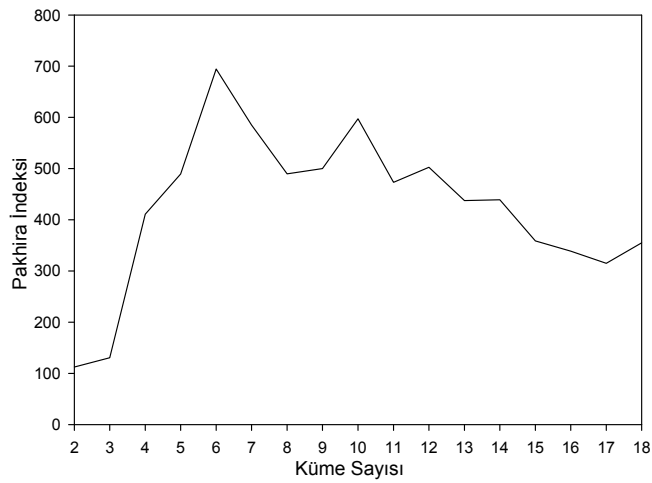
indeksleri optimum küme sayıları olarak 6 küme sayısını verirken Xie-Beni ve Dunn indeksinin 6 küme sayısını vermediği şekillerde gösterilmiştir.



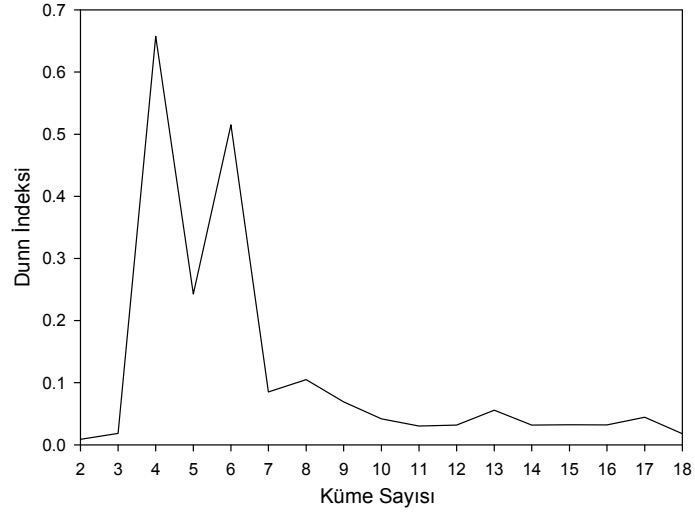
Şekil 4.10: 6_2 veri seti için Xie-Beni indeksi değerleri



Şekil 4.11: 6_2 veri seti için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri



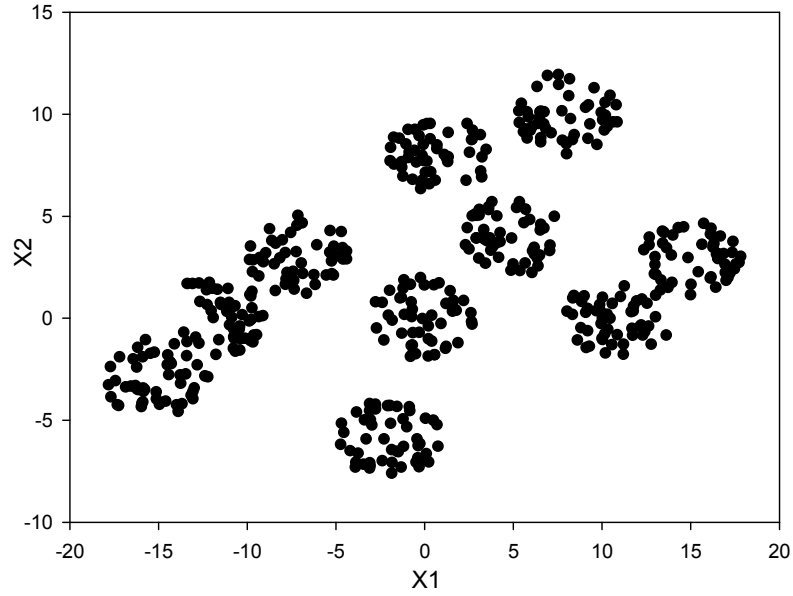
Şekil 4.12: 6_2 veri seti için PBMF indeksi değerleri



Şekil 4.13: 6_2 veri seti için Dunn indeksi değerleri

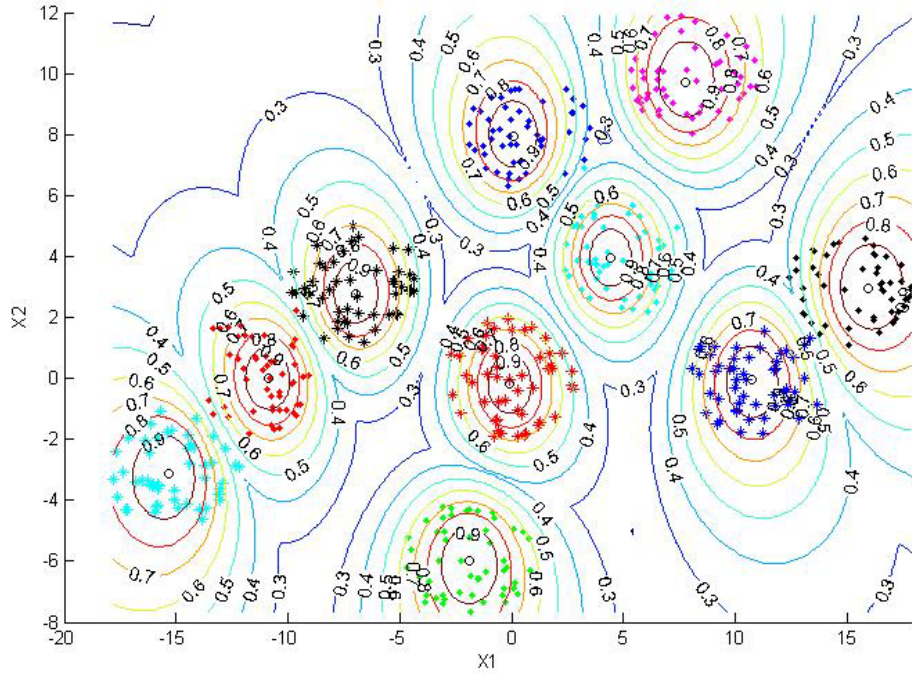
4.4.3 10_2 veri setinin geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi

10_2 veri seti 500 veriden oluşan iki boyutlu yapıya sahip olan bir veri setidir (Şekil 4.14). Bu veri seti üzerine bulanık c-ortalamlar kümeleme analizi uygulanarak kümeleme geçerlilik indekslerinin sonuçları bulunmuştur.



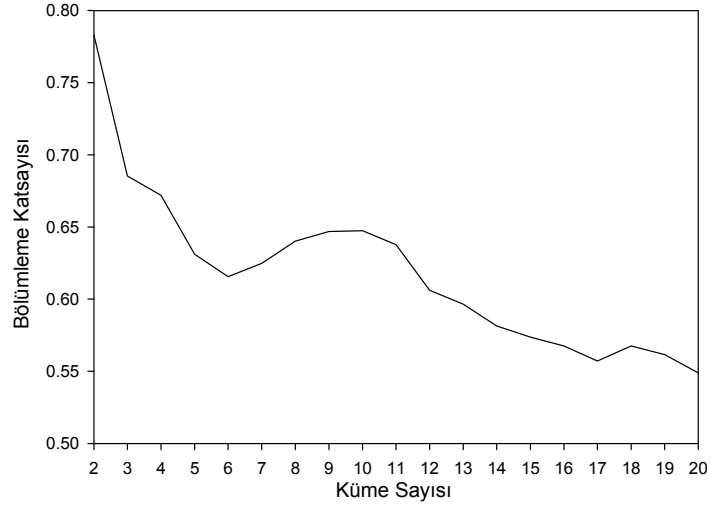
Şekil 4.14: 10_2 veri seti

Şekil 4.15'de 10_2 veri setinin bulanık c-ortalamlar metoduyla kümelenmesi görülmektedir.



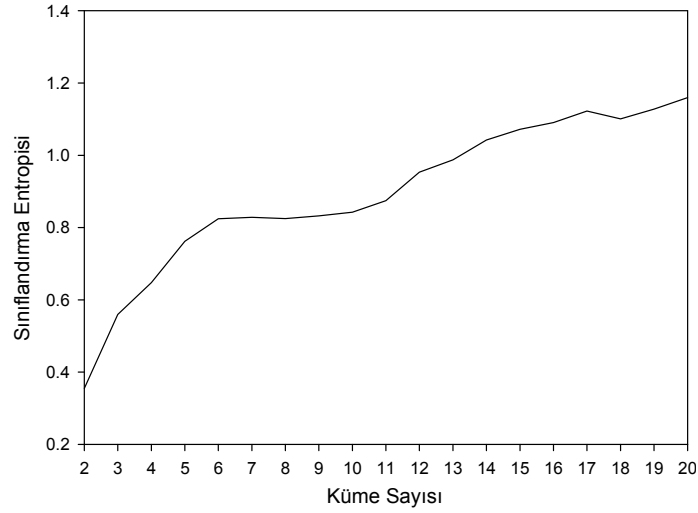
Şekil 4.15: 10_2 veri setinin 10 kümeye bölünmesi

Şekil 4.16' da bölümlene katsayısının 10_2 veri seti için optimum küme sayısını 2 olarak verdiği görülmektedir.



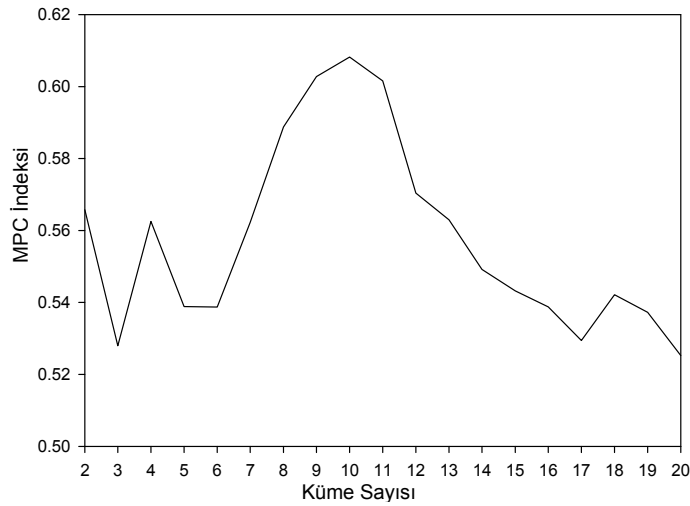
Şekil 4.16: 10_2 veri seti için bölümlene katsayısı değerleri

Sınıflandırma entropisi de 10_2 veri seti için optimum küme sayısını 2 olarak vermektedir (Şekil 4.17).



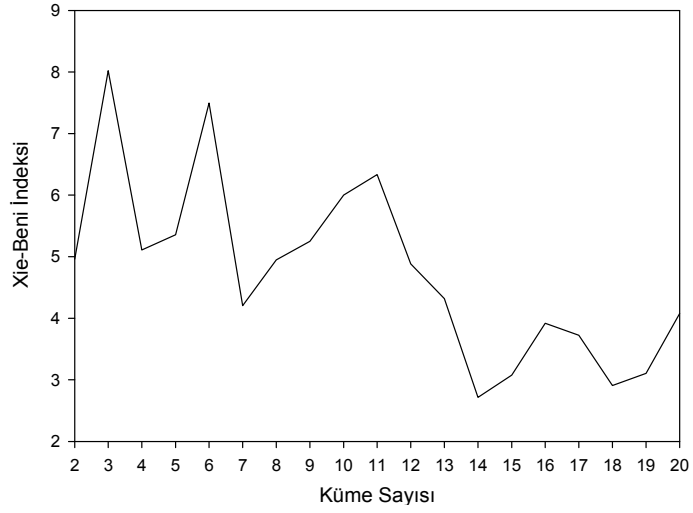
Şekil 4.17: 10_2 veri seti için sınıflandırma entropisi değerleri

Bölümleme katsayısının küme sayısı ile revize edilmesiyle bulunan MPC indeksi Şekil 4.18’ de görüldüğü gibi küme sayısını 10 olarak vermiştir.

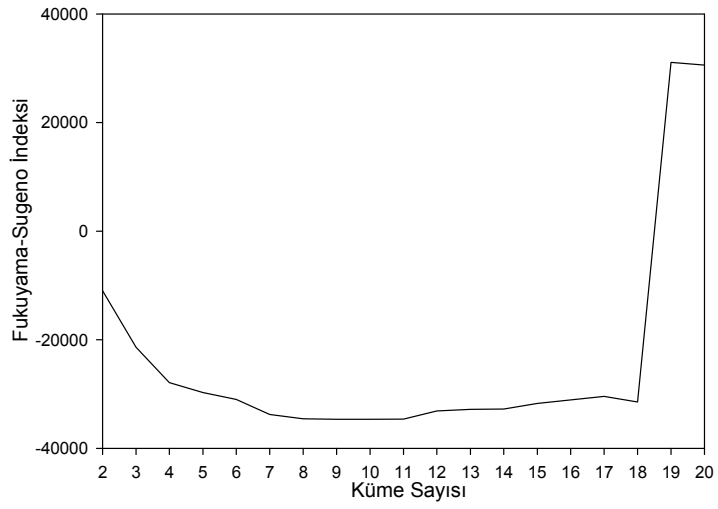


Şekil 4.18: 10_2 veri seti için MPC indeksi değerleri

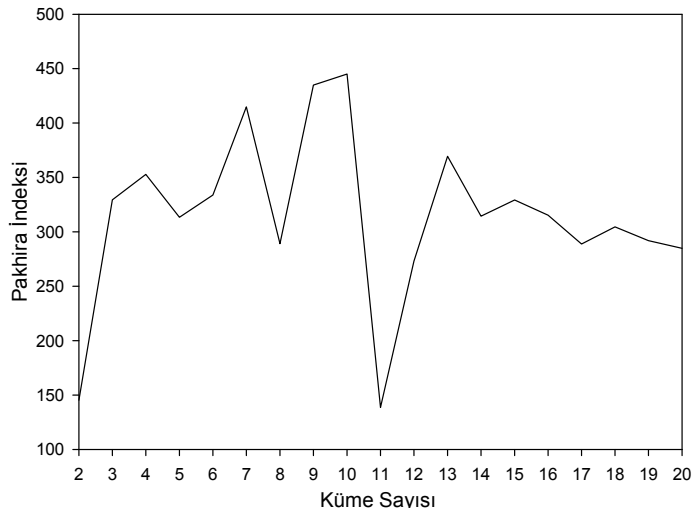
Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 sırasıyla Xie-Beni, Fukuyama-Sugeno, PBMF ve Dunn indekslerinin küme sayılarına bağlı olarak değişimlerini göstermektedir. Bu dört indeksten Fukuyama-Sugeno ve PBMF indeksleri optimum küme sayısı olarak 10 değerini verirken, Xie-Beni ve Dunn indeksleri optimum küme sayısı olarak 10 değerini vermemektedir.



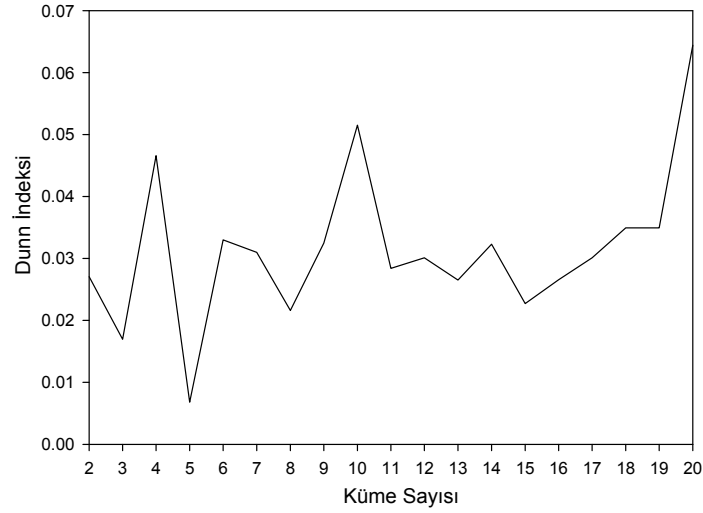
Şekil 4.19: 10_2 veri seti için Xie-Beni indeksi değerleri



Şekil 4.20: 10_2 veri seti için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri



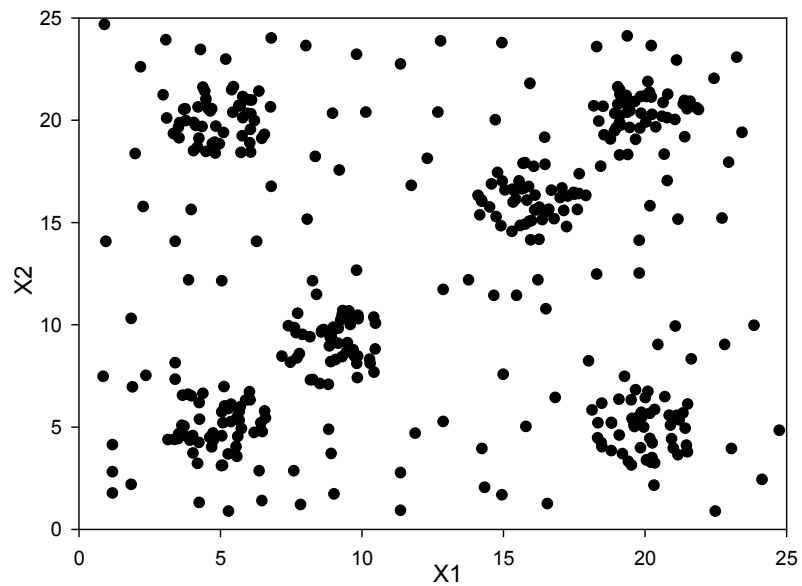
Şekil 4.21: 10_2 veri seti için PBMF indeksi değerleri



Şekil 4.22: 10_2 veri seti için Dunn indeksi değerleri

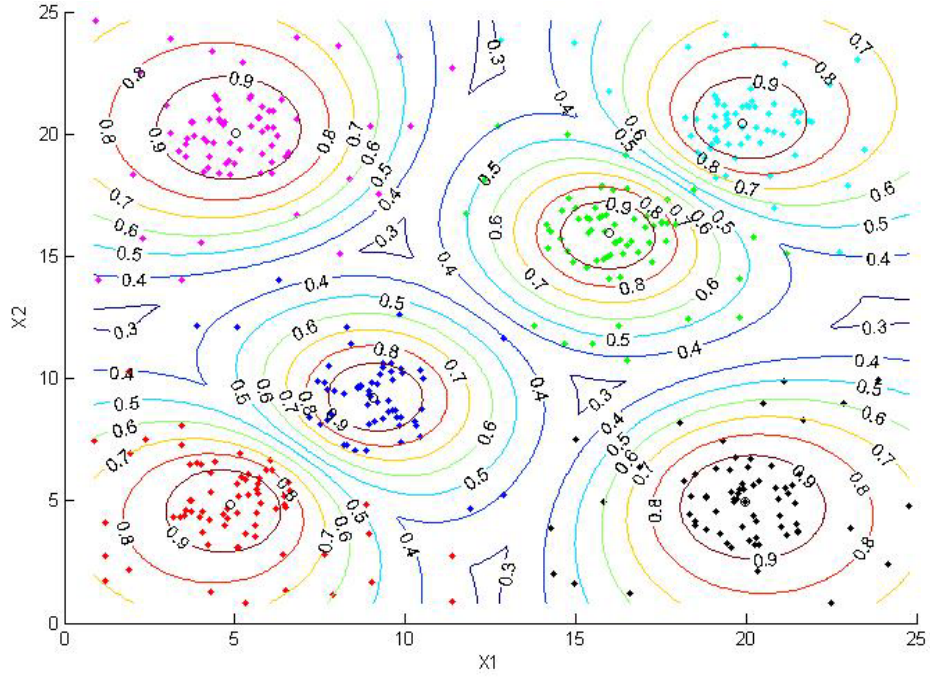
4.4.4 6_2 veri setinin hata verisiyle genişletilip değerlendirilmesi

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 dağılan yüz nokta eklenerek bu şekildeki veri setlerinde kümeleme indekslerinin nasıl sonuçlar verebileceğinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 4.23'de 6_2 veri seti üzerine rastgele yüz nesne eklenmiş hali görülmektedir.



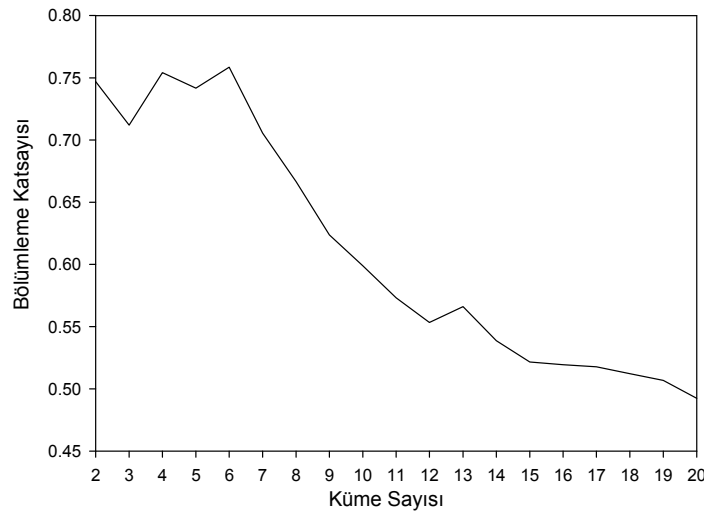
Şekil 4.23: 6_2 veri setinin genişletilmiş hali

Şekil 4.24’de 6_2 veri setinin hata verileriyle genişletilmiş halinin bulanık c-ortalamalar yöntemiyle 6 kümeye bölünmesi görülmektedir. Her bir kümeye ait küme merkezleri, üyelik derecelerini gösteren çizgiler şekilde verilmiştir.



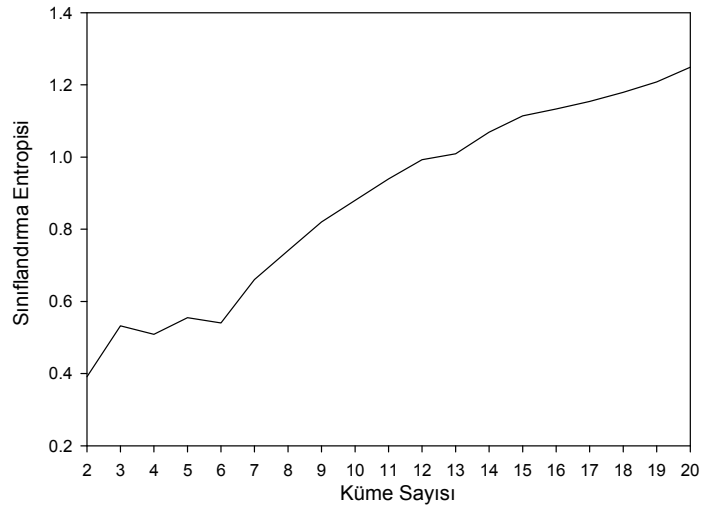
Şekil 4.24: 6_2 veri setinin genişletilmiş halinin 6 kümeye bölünmesi

Şekil 4.25’de 6_2 veri setinin hata verisiyle genişletilmiş halinin küme sayısına bağlı olarak bölümlenme katsayısı değerlerinin değişimi görülmektedir. Optimum küme sayısı 6 olarak bulunmuştur.



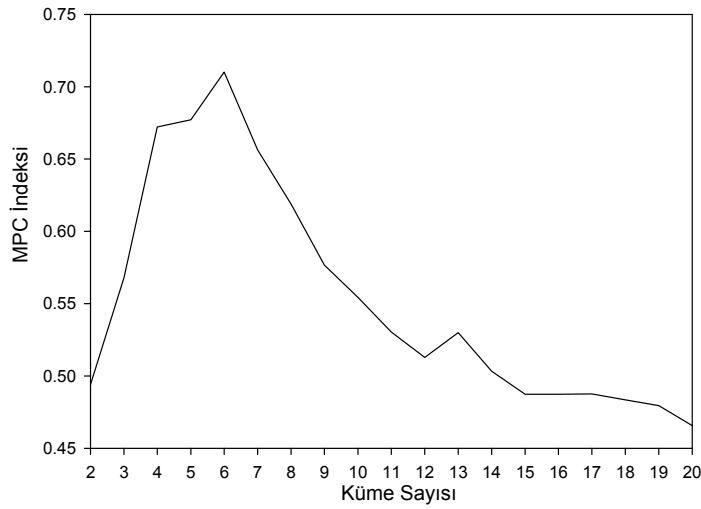
Şekil 4.25: 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için bölümlenme katsayısı değerleri

Şekil 4.26’da ise sınıflandırma entropisinin söz konusu veri setinde optimum küme sayısı olarak 2 değerini bulduğu gösterilmiştir.

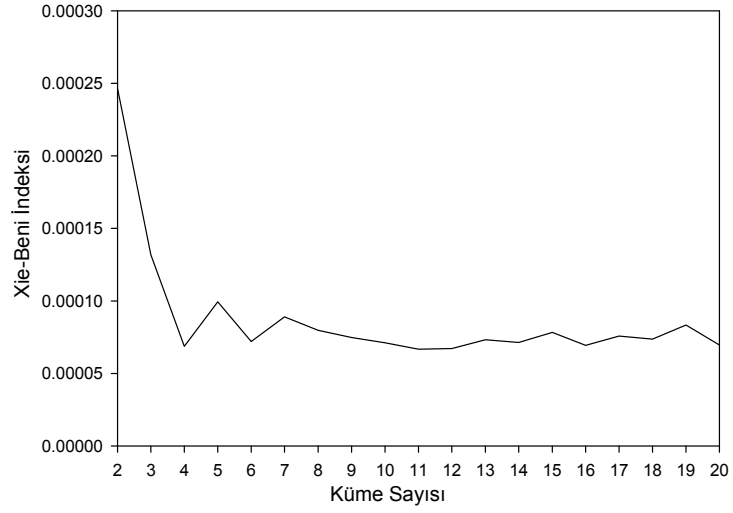


Şekil 4.26: 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için sınıflandırma entropisi değerleri

Şekil 4.27’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 4.28’de gösterilmiştir.

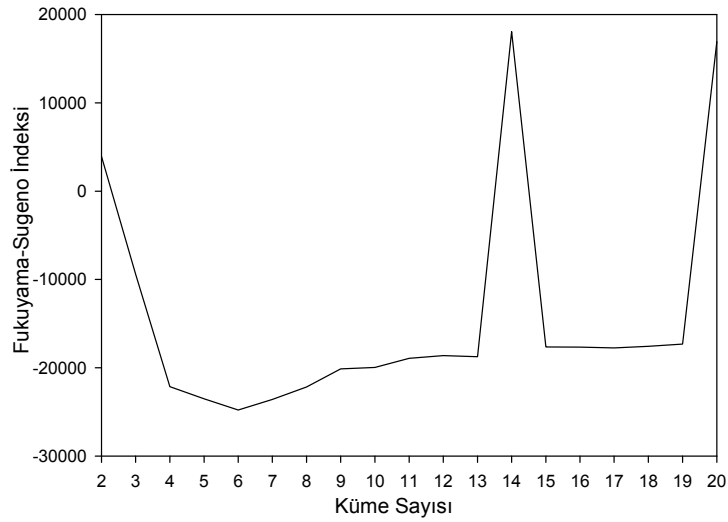


Şekil 4.27: 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için MPC indeksi değerleri

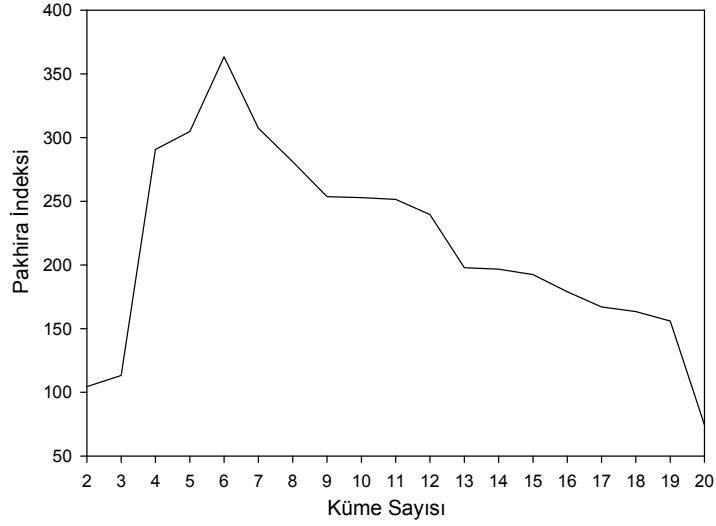


Şekil 4.28: 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Xie-Beni indeksi değerleri

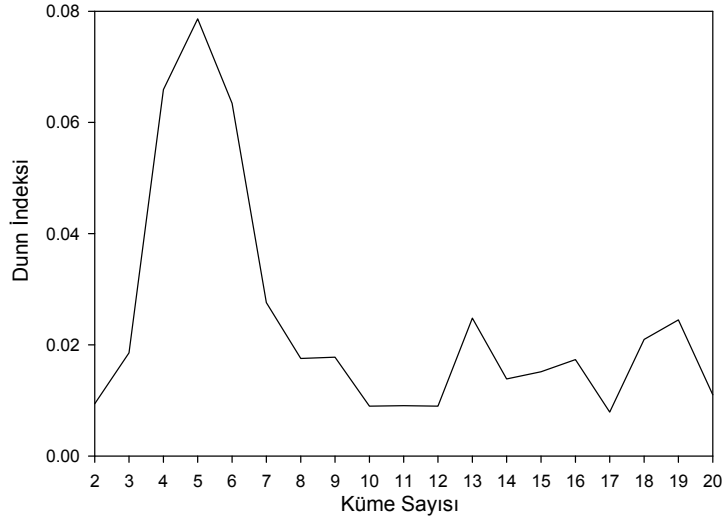
Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da Fukuyama-Sugeno ve PBMF indekslerinin 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için optimum küme sayısını 6 olarak verdiği gösterilmiştir. Dunn indeksi ise optimum küme sayısı olarak 17 olarak bulunmuştur. (Şekil 4.31)



Şekil 4.29: 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri



Şekil 4.30: 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için PBMF indeksi değerleri



Şekil 4.31: 6_2 veri setinin genişletilmiş hali için Dunn indeksi değerleri

4.4.5 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-ortalamalar 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. Bölümleme

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.

5 ÇEŞİTLİ KÜMELEME ANALİZİ YÖNTEMLERİ İLE BORU HASARLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Giriş

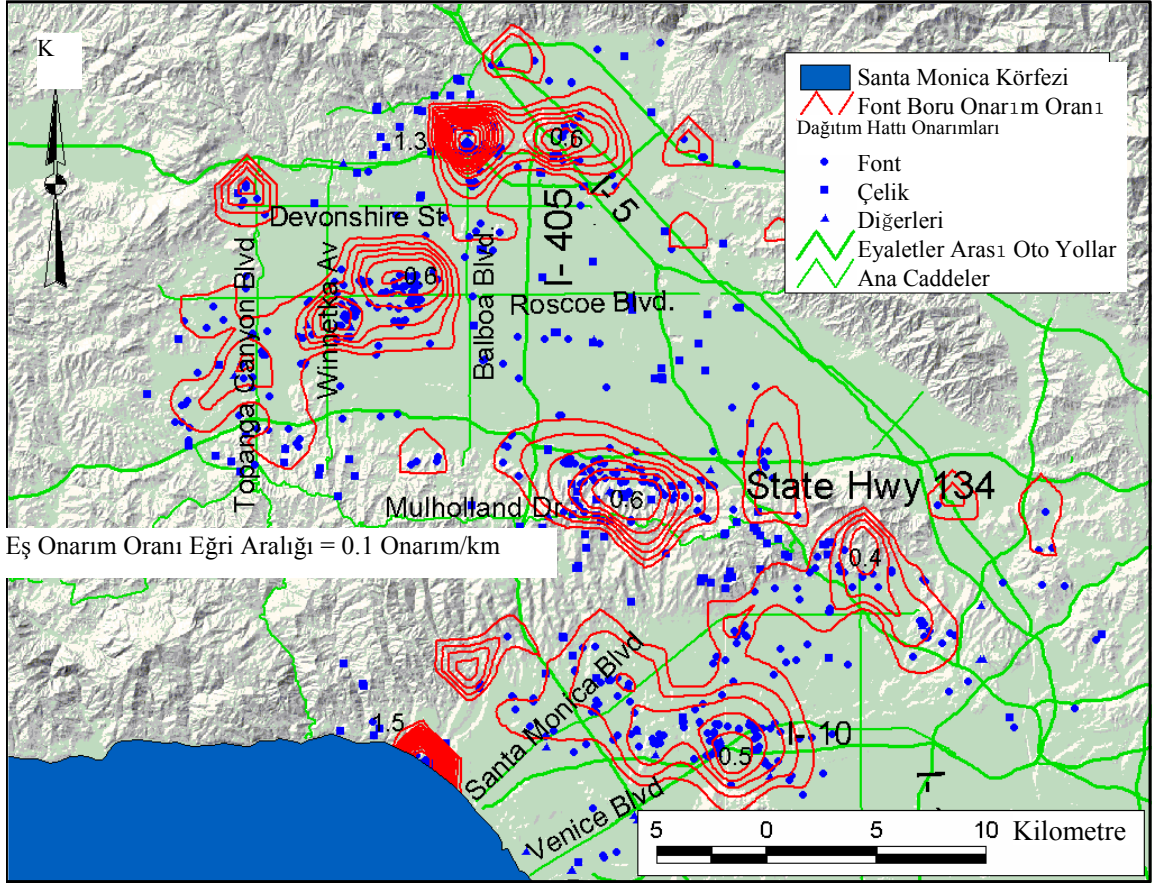
Bu bölümde üçüncü bölümde detaylı olarak anlatılan boru hasarlarının, dördüncü bölümde anlatılan bazı kümeleme algoritmaları kullanılarak değerlendirilmesi anlatılmıştır. Kümeleme algoritmalarından bulanık c-ortalama yöntem ve çıkarımlı kümeleme analizi kullanılmıştır. Kümeleme geçerlilik indeksleri yardımıyla bulanık c-ortalama yöntemiyle boru hasarlarının konumlarına göre kümeleme analizi yapılırken, çıkarımlı kümeleme analizi değerlendirmesinde ise çıkarımlı kümeleme analizi parametrelerinin etkisi de ayrıca anlatılmış ve boru hasarlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Tüm değerlendirmeler yapılırken MATLAB programı var olan altprogramları bazı değişikliklerle kullanılmıştır (Palm, 2004; Balasko ve diğ. 2005)

5.2 Konuma Göre Kümeleme

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 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. 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.

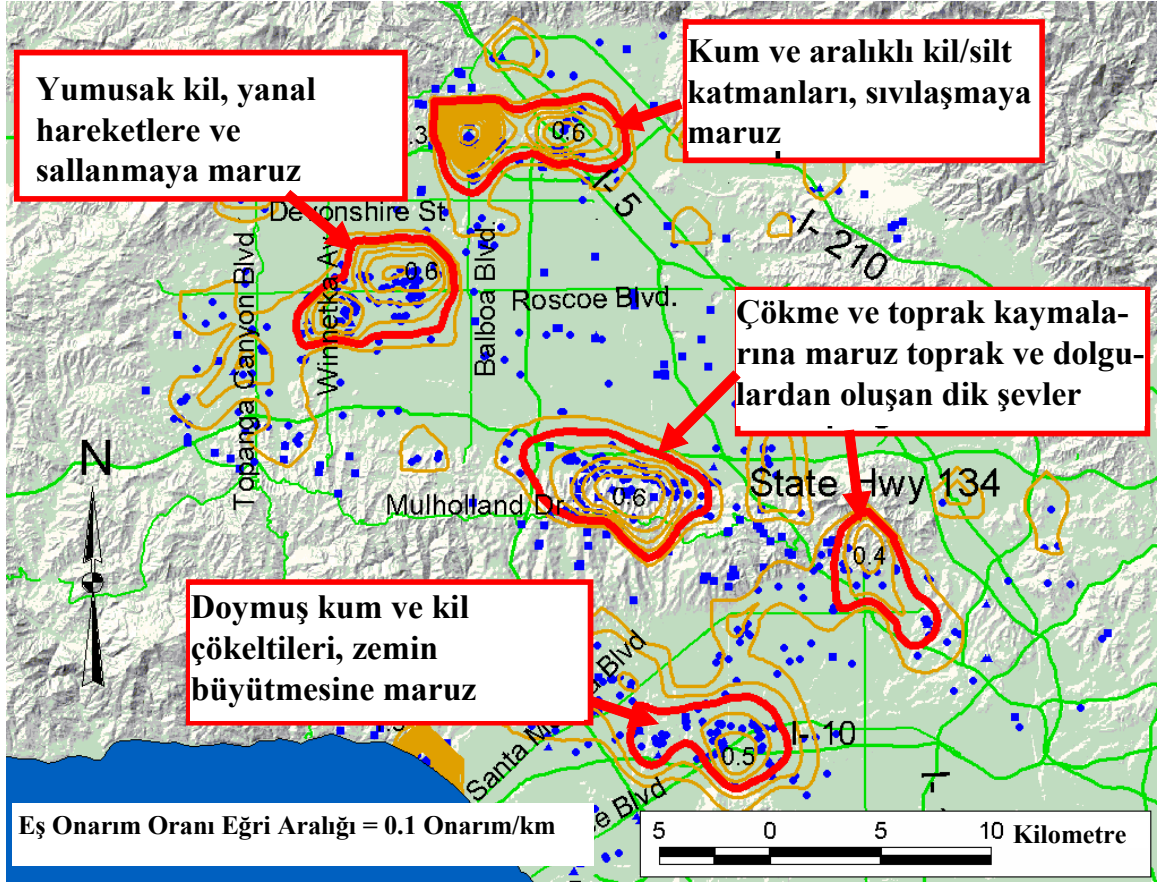
Boru hasarlarının yoğunlaştığı bölgelerin belirlenmesi değişik şekillerde gerçekleştirilebilir. Bir kişi boru hasarlarını gösteren bir haritaya baktığında (örneğin, haritanın üzerinde hasarlar noktasal veri olarak gösterilsin) algılanan benzerliklere göre onları sınıflandırıp manalı gruplara bölmeye 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 5.1, 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 5.1 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 5.1, 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).



Şekil 5.1: 1994 Northridge depremi için font boru hatları eş onarım oranı eğrileri (O'Rourke ve Toprak, 1997)

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 5.2, bu bölgeleri açıkça göstermektedir.



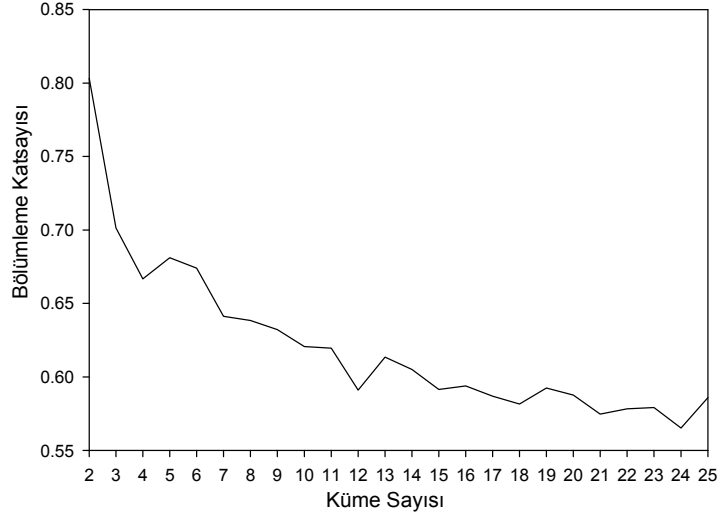
Şekil 5.2: 1994 Northridge depreminde yüksek boru hasarlarının gerçekleştiği alanların geoteknik özellikleri (O'Rourke ve diğ., 2001)

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

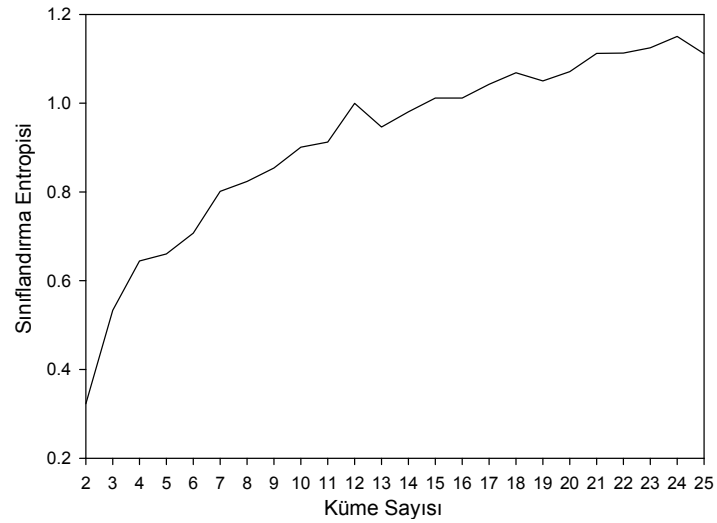
Bulanık c-ortalamlar kümeleme analizi daha öncede bahsedildiği gibi bulanık kümeleme algoritmalarından en yaygın şekilde kullanılan analiz yöntemidir. Bu analiz yöntemiyle boru hasarları üzerinde değerlendirme yapılırken ilk olarak konuma göre kümeleme yapmak seçilmiştir. Boru hasarlarında konum denilen parametre x ve y koordinatlarından oluşan iki boyutlu veri seti olarak alınmıştır. Bu veri setine ait boru hasarları 734 adet olup bu hasarlar kümelendirirken, 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.

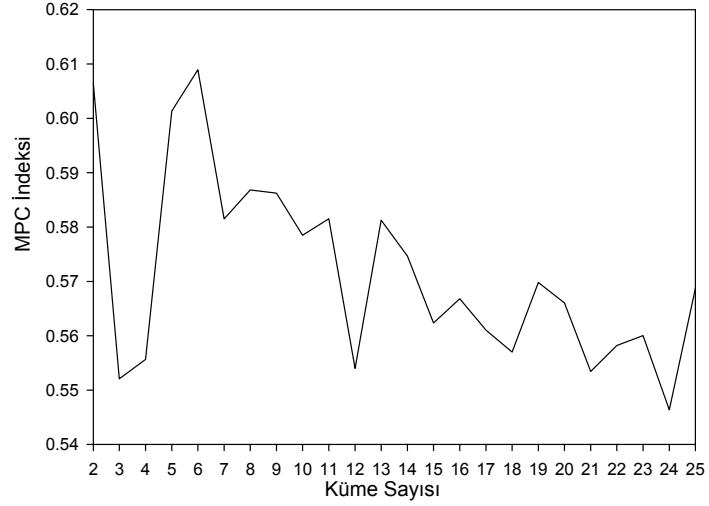
Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’ de bölümlene katsayısı ve sınıflandırma entropisi için optimum küme sayısının 2 olduğu görülmektedir. Şekil 5.5’ de MPC indeksinin boru hasarlarında optimum küme sayısı olarak 6 kümeyi verdiği görülmektedir.



Şekil 5.3: Boru hasarları için bölümlene katsayısı değerleri

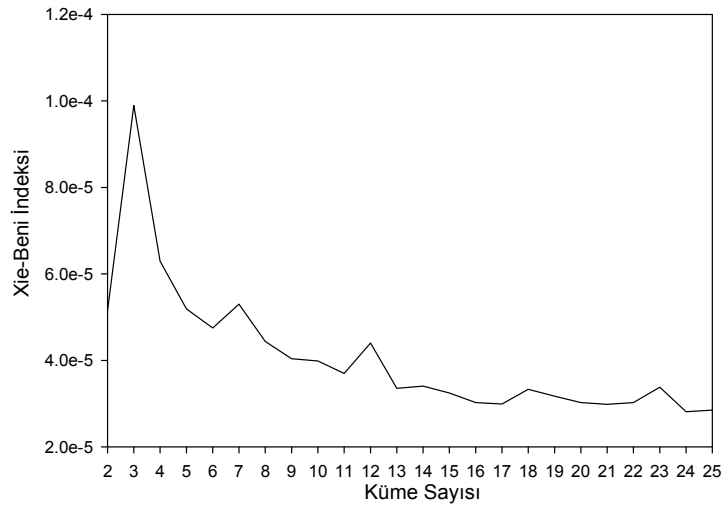


Şekil 5.4: Boru hasarları için sınıflandırma entropisi değerleri

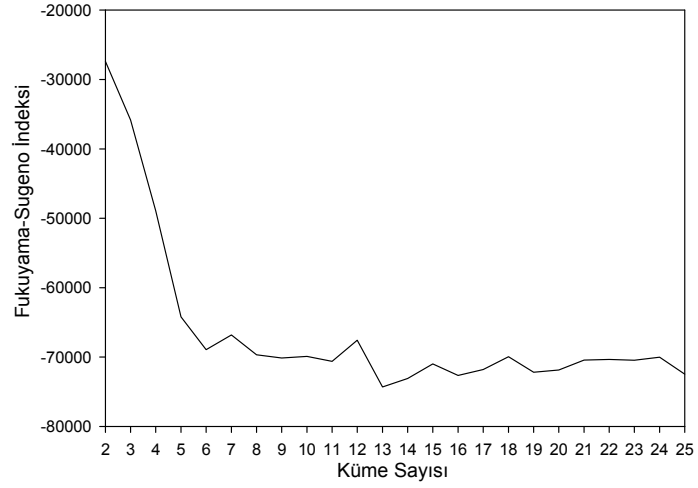


Şekil 5.5: Boru hasarları için MPC indeksi değerleri

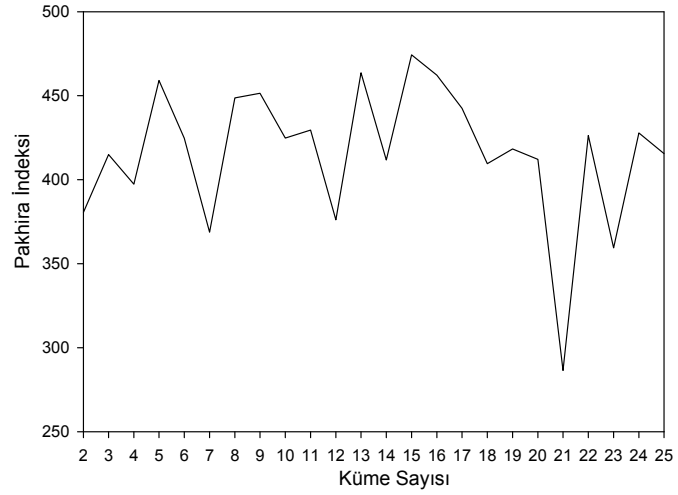
Şekil 5.6’da Xie-Beni indeksinin optimum küme sayısı için 24’ü göstermektedir. Şekil 5.7’de Fukuyama-Sugeno indeksi optimum küme sayısı olarak 13’ü göstermektedir. Şekil 5.8’de PBMF indeksi optimum küme sayısı olarak 15 değerini gösterirken, Şekil 5.9’da Dunn indeksi en uygun küme sayısı değeri olarak 5 değerini vermektedir. Kümeleme geçerlilik indekslerinin değerleri ve en uygun küme sayıları için sıralamaları tablolar şeklinde ekte sunulmuştur.



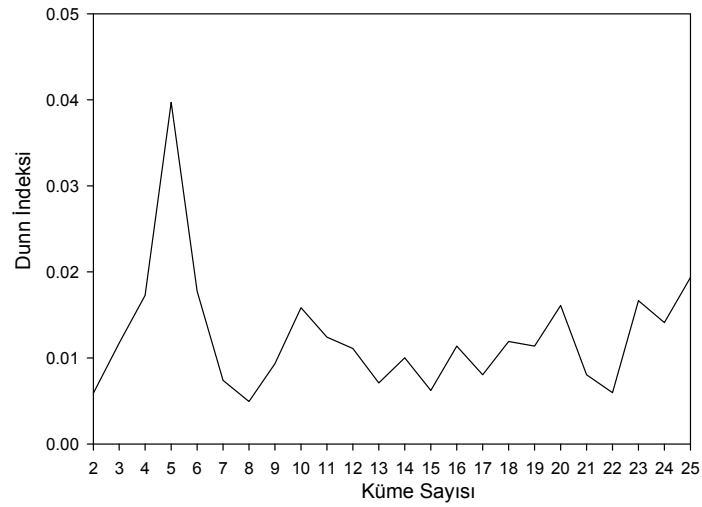
Şekil 5.6: Boru hasarları için Xie-Beni indeksi değerleri



Şekil 5.7: Boru hasarları için Fukuyama-Sugeno indeksi değerleri



Şekil 5.8: Boru hasarları için PBMF indeksi değerleri



Şekil 5.9: Boru hasarları için Dunn indeksi değerleri

Los Angeles şehri boru hasarlarının, bulanık c-ortalamalar algoritmasıyla yedi farklı indekse göre belirlenen küme sayıları Tablo 5.1 ve Tablo 5.2’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.

Tablo 5.1 : Boru hasarları için kümeleme geçerlilik indeksleri (PC, CE, MPC ve Xie-Beni)

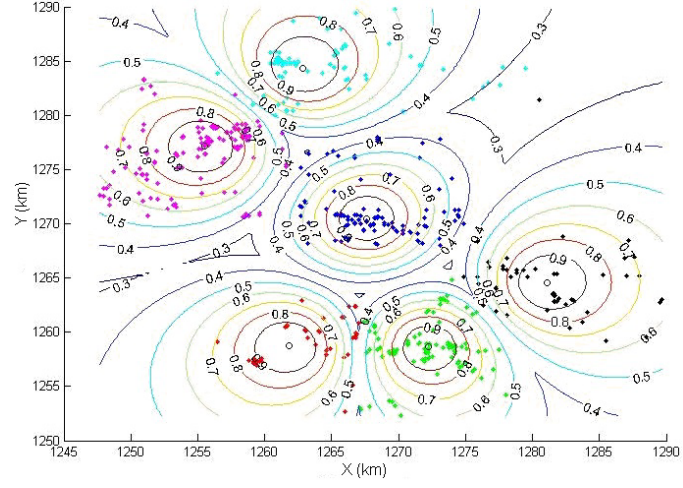
PC indeksi	Küme say.	CE indeksi	Küme say.	MPC indeksi	Küme say.	Xie-Beni	Küme say.
0.803	2	0.323	2	0.609	6	2.813E-05	24
0.701	3	0.533	3	0.606	2	2.85E-05	25
0.681	5	0.644	4	0.601	5	2.984E-05	21
0.674	6	0.661	5	0.587	8	2.993E-05	17
0.667	4	0.707	6	0.586	9	3.024E-05	16
0.641	7	0.801	7	0.582	11	3.025E-05	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

Tablo 5.2 : Boru hasarları için kümeleme geçerlilik indeksleri
(Fukuyama-Sugeno, PBMF ve Dunn)

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

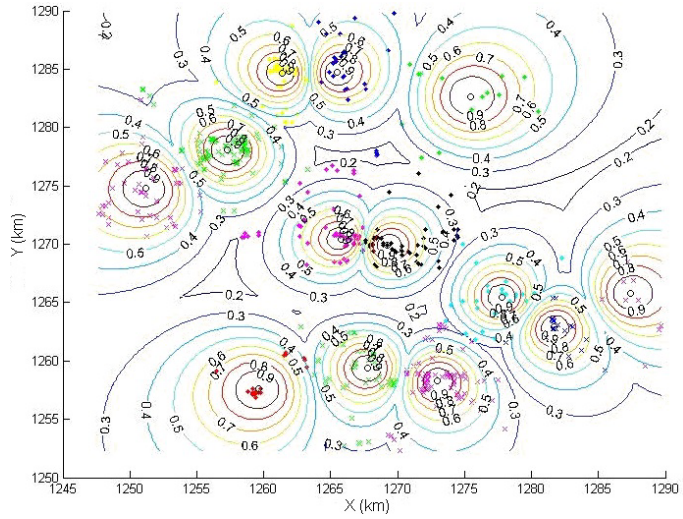
Dördüncü bölümde hazır veri setleri sonucundan çıkan sonuçlarla MPC, Fukuyama-Sugeno ve PBMF indekslerinin diğer dört indekse göre daha geçerli kümeleme yapıldığı anlatılmıştı. Bu bilgiler ışığında bu bölümde MPC, Fukuyama-Sugeno ve PBMF indekslerinin sırasıyla verdiği 6, 13 ve 15 küme sayıları için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

Şekil 5.10’ da boru hasarlarının 6 kümeye bölünmesi gösterilmektedir. 734 boru hasarı, 6 kümeye 181, 144, 137, 116, 97 ve 59 hasar olmak üzere dağılmıştır.

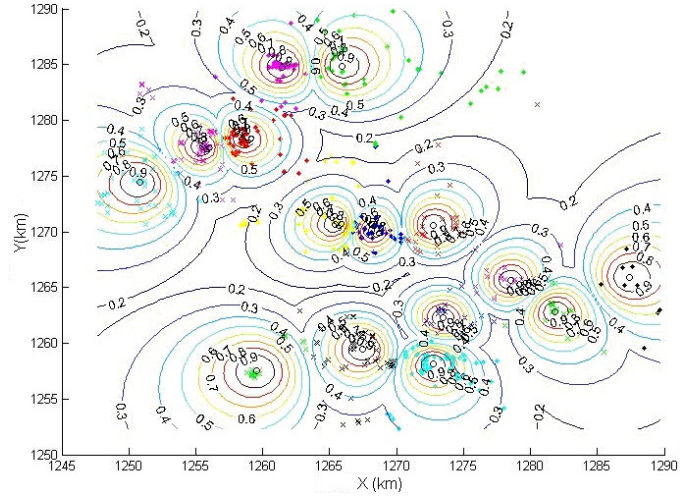


Şekil 5.10: Boru hasarlarının 6 kümeye bölünmesi

Şekil 5.11’ de 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 5.12’ de 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.



Şekil 5.11: Boru hasarlarının 13 kümeye bölünmesi

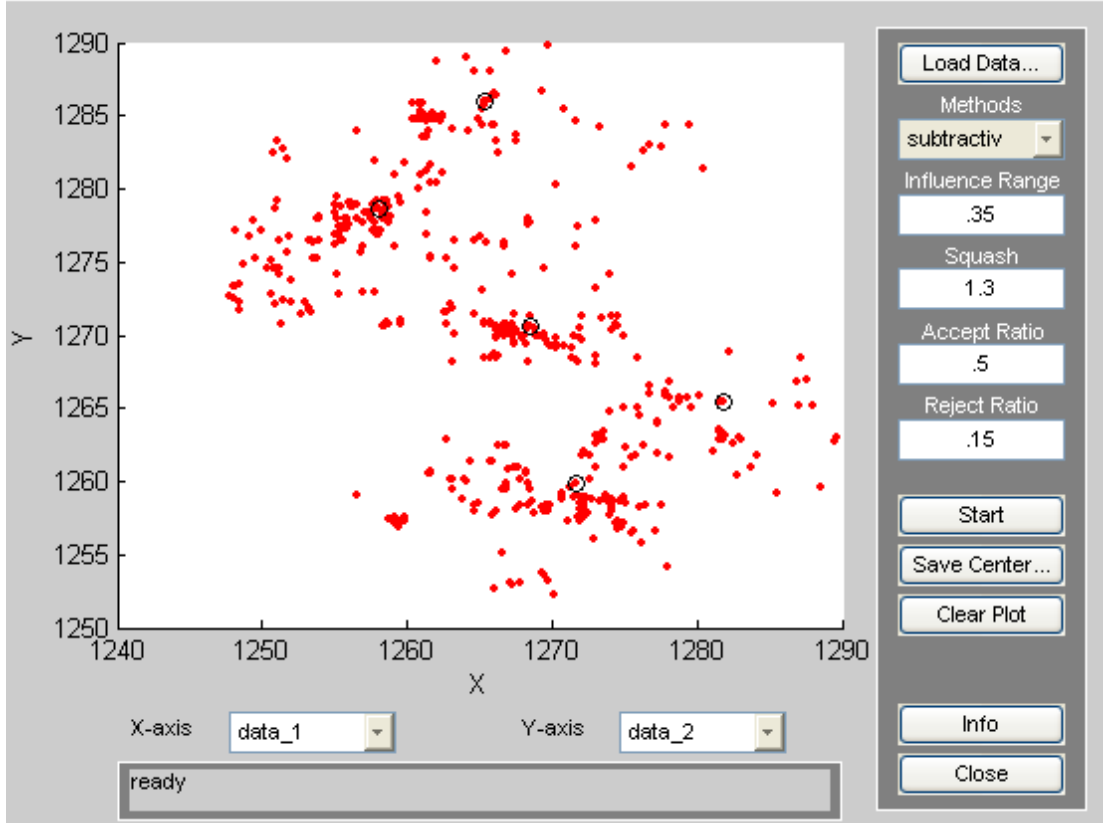


Şekil 5.12: Boru hasarlarının 15 kümeye bölünmesi

5.4 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 5.13). Beş kümenin tercih edilmesinin sebebi Şekil 5.2’de görülen zemin özelliklerine ve hasar yoğunlaşmasına bağlı olarak belirlenen bölge sayısıdır. Bu kümeleme yapılırken çıkarımlı kümeleme parametreleriyle denemeler yapılmış ve Şekil 5.13’de 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 5.13’de elde edilen küme merkezleriyle Şekil 5.2’de görülen yoğun hasar bölgeleri birbirleriyle çakışmaktadırlar.

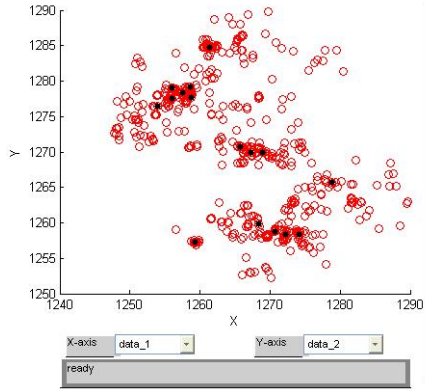


Şekil 5.13: Çıkarımlı kümeleme analizi kullanılarak boru hasarlarının beş kümeye bölünmesi (Toprak ve diğ., 2009)

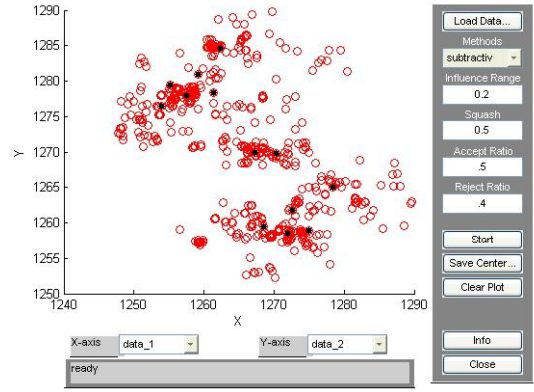
5.5 Çıkarımlı Kümeleme Parametrelerinin Kümeleme Analizine Etkisi

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 5.14' de parametrelerden bazılarının değiştirilmesi ile küme sayılarının ve merkez noktaların nasıl değiştiğini göstermektedir.

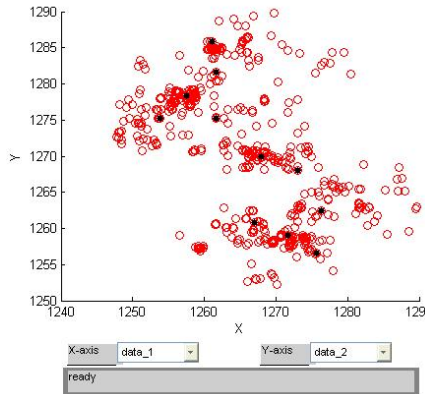
Bu parametrelerin değişimiyle küme sayılarına etkisi tablolar halinde verilmiştir. Bu tablolardan farklı parametre değerleri için küme sayılarını belirlemek mümkün olmaktadır. Tablo 5.3'de etki aralığı 0.1, çarpım faktörü 1.25 değerleri için küme sayılarının AR ve RR parametrelerine göre değişimi gösterilmiştir (Toprak ve diğ., 2010).



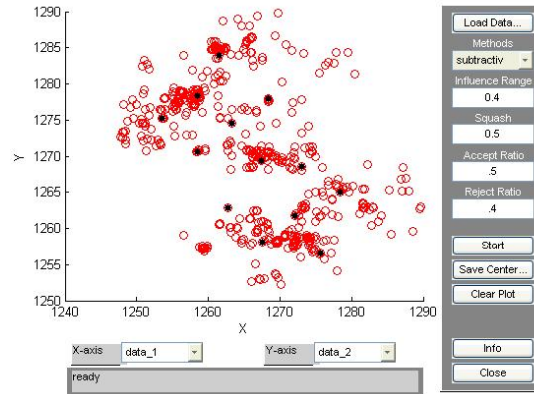
SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.1



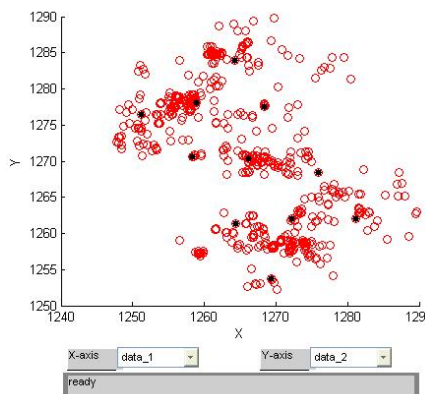
SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.2



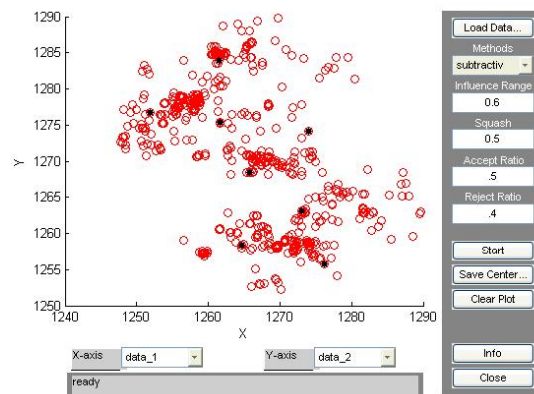
SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.3



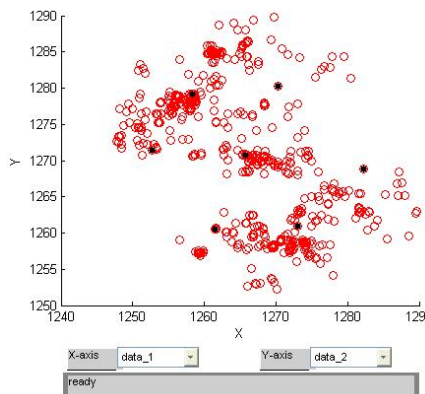
SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.4



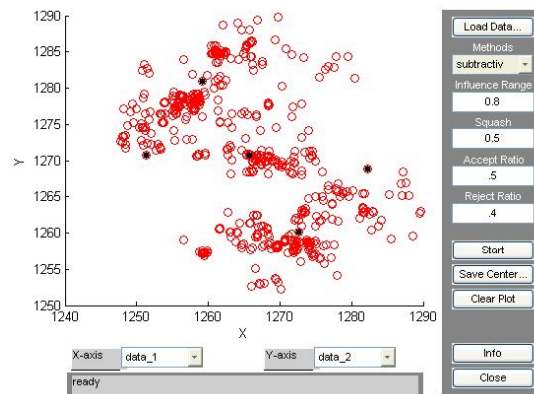
SF=0.5 AR=0.5 RR= 0.4 IR=0.5



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 5.14: Boru hattı hasarları için farklı parametreler ile küme merkezlerinin bulunması

Tablo 5.3 : 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, Tablo 5.5, Tablo 5.6, Tablo 5.7, Tablo 5.8, Tablo 5.9 ve Tablo 5.10 'da görülmektedir.

Tablo 5.4 : 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 5.5 : 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 5.6 : 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	2

Tablo 5.7 : 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	2

Tablo 5.8 : 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	2	1	
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1

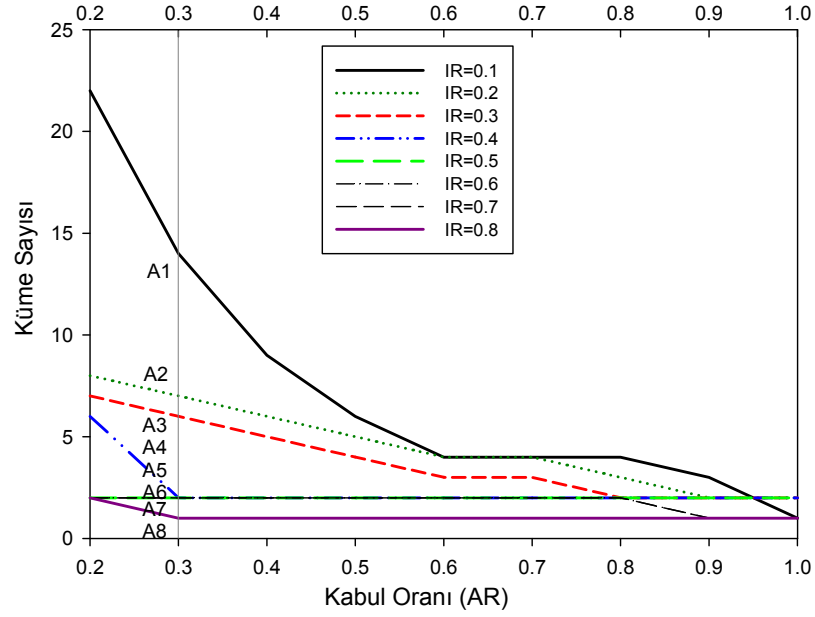
Tablo 5.9 : Etki aralığı = 0.7 ve çarpım faktörü = 1.25 için küme sayıları

		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	2	1	1

Tablo 5.10 : 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	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 5.15). Grafikteki IR çizgileri tablolardaki köşegen değerinin okunmasıyla bulunmuştur. Bu çizgiler herhangi bir AR değeriyle, o değer için 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 5.3). Şekil 5.15’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 5.15).



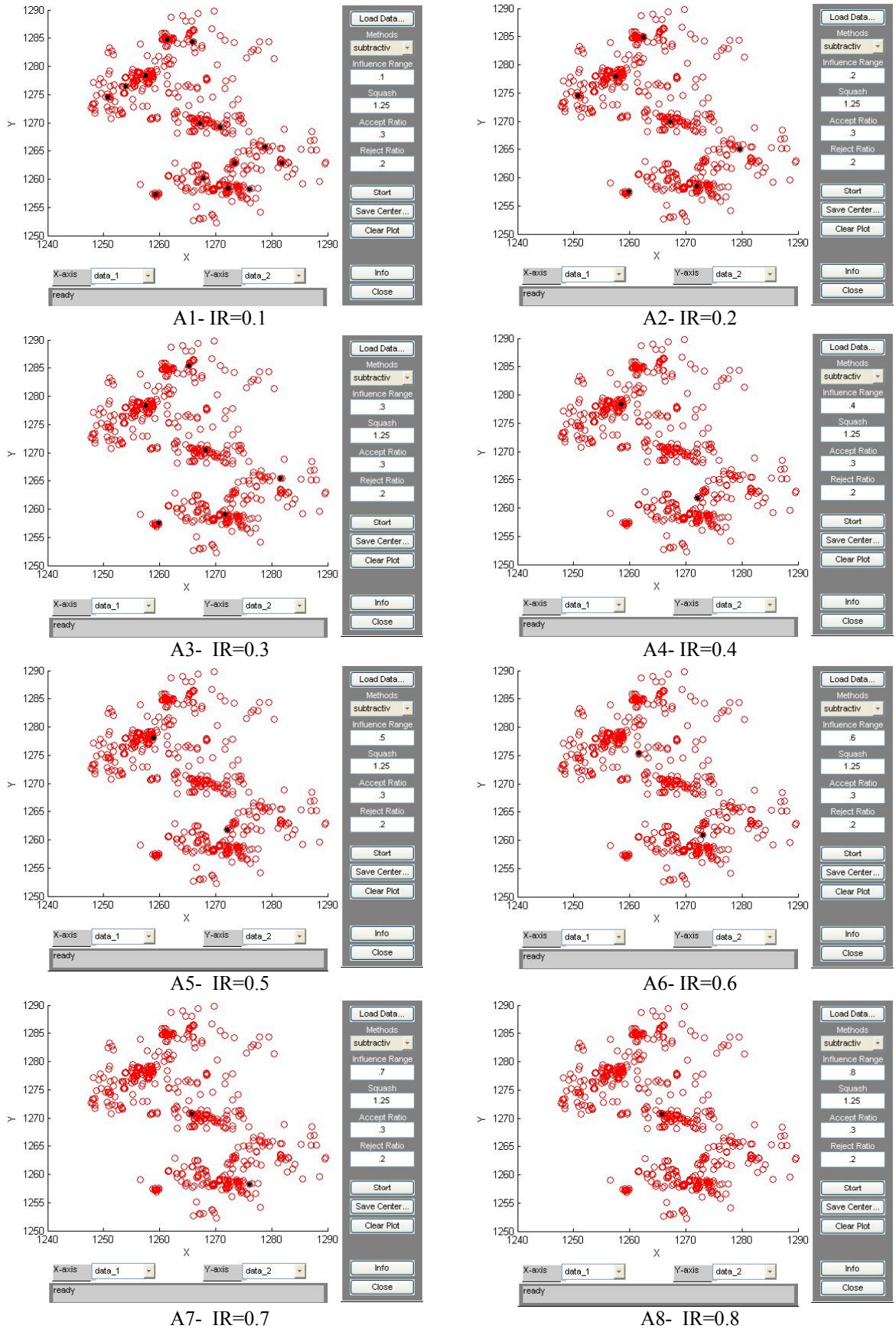
Şekil 5.15: SF=1.25 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)

Şekil 5.15' 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.

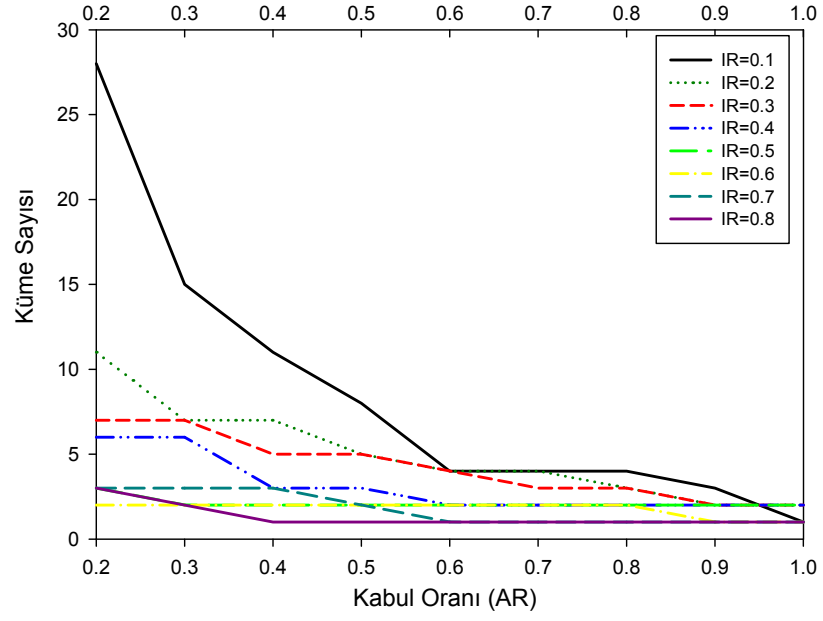
Şekil 5.16'da ise bu A serisinin küme merkezleri gösterilmiştir.

Şekil 5.16' da 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.

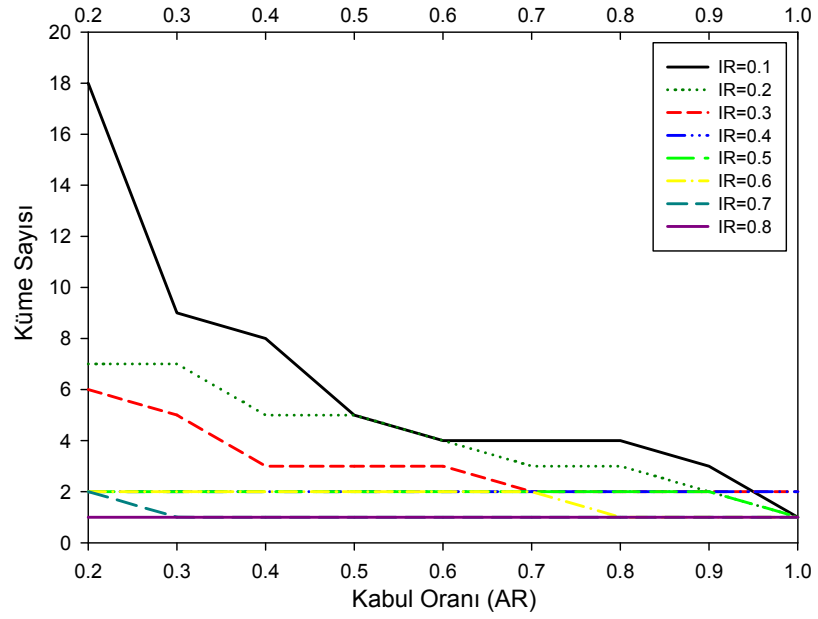
Şekil 5.15'e benzer olarak SF=1.1, SF=1.5, SF=1.75 ve SF=2 değerleri için farklı IR değerlerinde AR değerine bağlı olarak küme merkez sayılarının değişimlerini, Toprak ve diğ., (2010) göstermiştir (Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20).



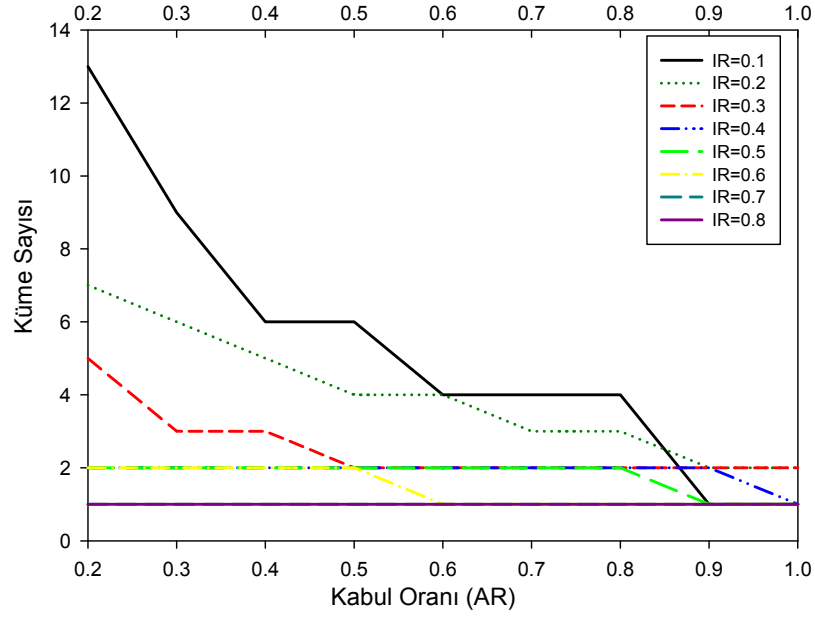
Şekil 5.16: SF=1.25 ve AR=0.3 için Şekil 5.15’deki A serisinin küme merkezleri (Toprak ve diğ., 2010)



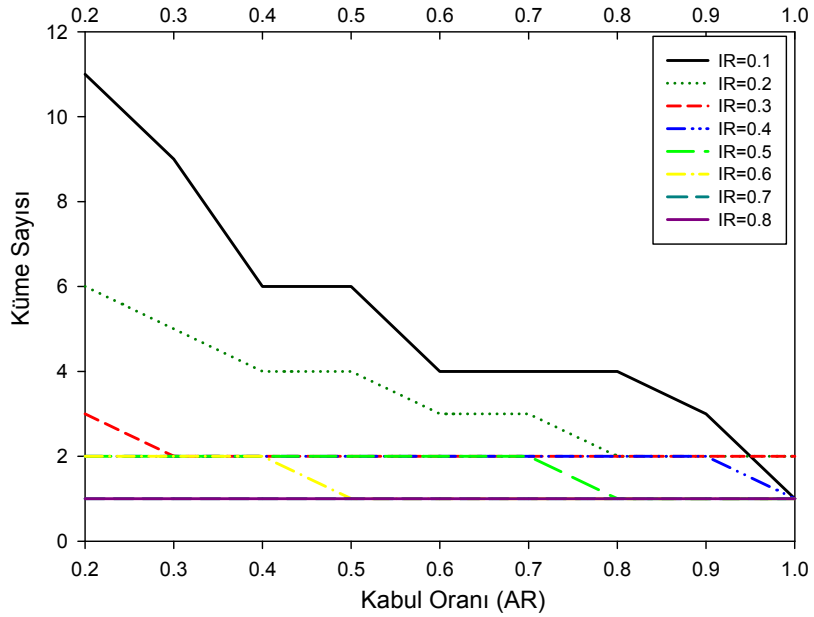
Şekil 5.17: SF=1.1 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)



Şekil 5.18: SF=1.5 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)



Şekil 5.19: SF=1.75 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)



Şekil 5.20: SF=2 için değişen IR ve AR parametrelerine göre küme sayıları (Toprak ve diğ., 2010)

Yapılan çıkarımlı kümeleme analizleri sonucunda genel olarak üç parametre (IR, AR ve RR) sabit kalırken, SF parametresinin artması küme sayısına azaltıcı etkiye 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).

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında deprem etkisiyle oluşan boru hasarlarının CBS ve kümeleme analiziyle değerlendirilmesi anlatılmıştır. Geçmişte yaşanan büyük depremler (Northridge 1994, Kocaeli 1999 vb.) altyapı sistemlerine büyük zarar vermiştir. 1994 Northridge ve 1999 Kocaeli depremleri gibi büyük depremlerin etkisiyle su dağıtım şebekeleri kullanılamaz hale gelmiştir. Depremlerde altyapıda oluşan hasarların hangi parametrelerden ne derece etkilendiğini belirleyebilmek, hem mevcut durumdaki altyapının deprem karşısındaki davranışını anlamaya hem de gelecekteki olası depremlere göre altyapıyı tasarlamak açısından son derece önemlidir. Bu yüzden altyapıyla ilgili olarak birçok araştırmacı tarafından hasar ilişkileri geliştirilmiştir.

Bu çalışmada Northridge depreminden dolayı oluşan boru hasarlarının veri tabanı Toprak (1998), O'Rourke ve diğ. (1998) ve O'Rourke ve Toprak (1997) yayınlarında literatüre giren Los Angeles veri seti için değerlendirmeler yapılmıştır. Toprak (1998), Northridge Depremi ve Los Angeles şehri için yaptığı çalışmada boru onarım yerleri, boruların cins ve boyut özellikleri ile ilgili bilgileri CBS veri tabanı olarak ARC/INFO yazılımı ile hazırlamıştır. 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. 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 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 gözlemde 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. Eş PGV konturları için çıkartılan hasar ilişkilerinde 2 cm/s'den 10 cm/s'ye kadar PGV aralığı büyüdükçe r^2 değerinde artış 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 üretilen probabilistik hasar görülebilirlik eğrileri sonucunda 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 yakın olduğu gözlemlenmiştir.

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 kümelenmesinin daha doğru olduğu kanaatine 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 kullanılarak 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 için hasar dağılımları gösterilmiştir. 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.

KAYNAKLAR

- Abonyi, J. ve Feil, B.,** 2007: Cluster analysis for data mining and system identification, Cover design, Alexander Faust, Basel, Switzerland Printed in Germany.
- Abtew, W., Obeysekera, J. ve Shih, G.,** 1993: Spatial analysis for monthly rainfall in South Florida, *Water Resources Bulletin*, 29, 179-188.
- Balasko, B., Abonyi J. ve Feil, B.,** 2005: Fuzzy clustering and data analysis toolbox for use with matlab, Department of Process Engineering, University of Veszprem.
- Ball, G. H. ve Hall, D.J.,** 1967: A clustering technique for summarizing multivariate data, *Behav. Sci.*, Vol. 12, No. 2, pp. 153–155.
- Bandyopadhyay, S. ve Maulik, U.,** 2001: Non-parametric genetic clustering: comparison of validity indices, *IEEE Trans. Syst. Man Cybernet.* Part-C 31 (1), 120–125.
- Bandyopadhyay, S. ve Maulik, U.,** 2002: Genetic clustering for automatic evolution of clusters and application to image classification, *Pattern Recognition*, vol.35, pp. 1197-1208.
- Bandyopadhyay, S. ve Pal, S. K.,** 2007: Classification and learning using genetic algorithms: Applications in bioinformatics and web intelligence, *Springer*, Heidelberg.
- Başkan, O.,** 2004: Gölbaşı yöresi topraklarının mühendislik, fiziksel özellik ilişkilerinde jeostatistik uygulaması, Doktora Tezi, A.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bezdek, J. C.,** 1974: Cluster validity with fuzzy sets, *J. Cybernet*, 3, 58–74.
- Bezdek, J. C.,** 1974: Numerical taxonomy with fuzzy sets, *Journal of Mathematical Biology*, 1, 57–71.
- Bezdek, J. C.,** 1981: Pattern recognition with fuzzy objective function, Plenum Press, New York.
- Burrough, P. A.,** 1998: Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assesment, Oxford University Pres, 2. ed.
- Chiu, S. L.,** 1994: Fuzzy model identification based on cluster estimation. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2, John Wiley & Sons, 267-278.
- Committee on gas and liquid fuel lifelines,** 1984: Guidelines for the seismic design of oil and gas pipeline systems, ASCE, New York, NY.
- Cox, D. R.,** 1957: Note on grouping, *J. Amer. Stat. Assoc.*, Vol. 52, pp. 543–547.
- Dave, R. N.,** 1996: Validating fuzzy partition obtained through c-shells clustering, *Pattern Recognition Lett.*, 613–623.

- Deutsch, C. ve Journel, A. G.**, 1992: Geostatistical software library and User's Guide, New York: Oxford University Pres.
- Dunn, J. C.**, 1973: A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting Compact well-separated clusters. *Journal of Cybernetics* 3, 32-57.
- Fukuyama, Y. ve Sugeno, M.**, 1989: A new method of choosing the number of clusters for the fuzzy c-means method, *Proceedings of Fifth Fuzzy Systems Symposium*, pp. 247–250.
- Gath, J. ve Geva, A.B.**, 1989: Unsupervised optimal fuzzy clustering, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11(7), 773-781.
- Gustafson, E. E. ve Kessel, W. C.**, 1979: Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix, *IEEE CDC*, San Diego, California, 761-245.
- Jain, A. K. ve Dubes, R. C.**, 1988: Algorithms for clustering data, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Kaufman, L. ve Rousseeuw, P. J.**, 1987: Clustering by means of medoids, *First International Conference on Statistical Data Analysis Based on the L1-Norm and Related Methods*. Neuchatel (Switzerland), 31 August – 4 September.
- MacQueen, J. B.**, 1967: Some methods for classification and analysis of multivariate observations, *Proc. 5-th Symp. Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, CA, Vol. 1, pp. 281–297.
- Mao, J. ve Jain, A. K.**, 1996: A self-organizing network for hyperellipsoidal clustering (HEC), *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 7, No. 1, pp. 16-29.
- O'Rourke, T. D ve Jeon, S. S.**, 1999: Factors affecting the earthquake damage of water distribution systems. Optimizing post-earthquake lifeline system reliability, proceedings, *Fifth U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering*, W. M. Elliott and P. McDonough, Eds., Seattle, WA, ASCE s-379-88.
- O'Rourke, T. D. ve Toprak, S.**, 1997. GIS assessment of water supply damage from the Northridge earthquake, Frost, JD, Editor, *Geotechnical Special Publication*, ASCE New York, NY, s. 117-31.
- O'Rourke, T. D., Stewart, H. E., ve Jeon, S. S.**, 2001: Geotechnical aspects of lifeline engineering, *Proceeding of Institution of Civil Engineers Geotechnical Engineering*, 149, Issue 1, Jan. 2001, 13-26.
- O'Rourke, T. D., Toprak, S. ve Sano, Y.**, 1998: Factors affecting water supply damage caused by the Northridge Earthquake, *Proceedings, Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Seattle, WA, s. 1-12.
- O'Rourke, T.D., Toprak, S. ve Jeon, S. S.**, 1999: GIS characterization of the Los Angeles water supply, earthquake effects, and pipeline damage, *Research Progress and Accomplishments, 1997-1999*, MCEER, Buffalo, NY.

- Pakhira, M. K. ve Bandyopadhyay, S. U. ve Maulik, S.,** 2004: Validity index for crisp and fuzzy clusters, *Pattern Recognition*, 37,487–501.
- Palm, W. J.,** 1994: Introduction to Matlab 7 for engineers, McGraw-Hill, New York.
- Sharma, S.,** 1996: Applied Multivariate Techniques, John Wiley & Sons, Inc. Newyork.
- Tercan, A. E. ve Saraç, C.,** 1998: Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler, T.M.M.O.B Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
- Toprak, S. ve F. Taşkın.,** 2007: Estimation of earthquake damage to buried pipelines caused by ground shaking, *Natural Hazards, Springer*, The Netherlands, 40, 1-24.
- Toprak, S. ve Yoshizaki, K.,** 2003: Boru hatlarına deprem yüklerinin etkisi, 5. *Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi*, İstanbul, No: 025. (CDROM).
- Toprak, S.,** 1998. Earthquake effects on buried lifeline systems, PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, NY.
- Toprak, S.,** 2004. Gömülü boru sistemlerinde deprem zararlarının tahmini, *Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, s. 823-832.
- Toprak, S., Koc, A. C., Cetin, O. A. ve Nacaroglu, E.,** 2008: 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.
- Toprak, S., Nacaroglu, E., Cetin, O. A. ve Koc, A. C.,** 2009: Pipeline damage assessment using cluster analysis, *TCLÉE 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.
- Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C. ve 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., Nacaroglu, E., Koc, A. C. ve 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., O'Rourke, T. D., ve Tutuncu, I.,** 1999: GIS characterization of spatially distributed lifeline damage optimizing post-earthquake lifeline system reliability, Proceedings, *Fifth U.S. Conference on Lifeline Earthquake Engineering*, Seattle, WA, ASCE, 110-119.
- Wald, D. J., Worden, B. C., Quitoriano, V. ve Pankow, K. L.,** 2005: ShakeMap Manual: Users Guide, Technical Manual, and Software Guide, *USGS Techniques and Methods* 12-A1, 128 pp.
<http://pubs.usgs.gov/tm/2005/12A01/>

- Xie, X. L. ve Beni, G.**, 1991: A validity measure for fuzzy clustering, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intel*, 13, (8), 841–847.
- Yager, R. R. ve Filev, D. P.**, 1992: Approximate clustering via the mountain method (2nd Edn.), *Technical Report, MII-1305*, IONA College, Machine Intelligence Institute, New Rochelle, NY10801.
- Yomralıoglu, T.**, 2000: Coğrafi Bilgi Sistemleri, Akademi Kitabevi, Trabzon, 479 s.
- Zhang, Y., Wang, W., Zhang, X. ve Li, Y.**, 2008: A cluster validity index for fuzzy clustering, *Information Sciences* 178, 1205–1218.

EKLER

Tablo A.1 : GRID 4x4 km.'de 2 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
11	10_12	0.19	0	0
13	12_14	102.45	0	0
15	14_16	62.52	0	0
17	16_18	275.19	8	0.029
19	18_20	574.47	9	0.016
21	20_22	781.24	11	0.014
23	22_24	303.55	36	0.119
25	24_26	345.17	20	0.058
27	26_28	379.78	51	0.134
29	28_30	303.95	26	0.086
31	30_32	366.51	46	0.126
33	32_34	358.81	43	0.120
35	34_36	143.28	58	0.405
37	36_38	322.49	17	0.053
39	38_40	206.77	32	0.155
41	40_42	205.48	14	0.068
43	42_44	295.01	17	0.058
45	44_46	Boru Yok		
47	46_48	199.04	21	0.106
49	48_50	165.33	56	0.339
51	50_52	243.69	9	0.037
53	52_54	124.20	21	0.169
55	54_56	161.23	13	0.081
57	56_58	311.73	36	0.115
59	58_60	Boru Yok		
61	60_62	Boru Yok		
63	62_64	91.49	4	0.044
65	64_66	Boru Yok		
67	66_68	Boru Yok		
69	68_70	Boru Yok		
71	70_72	355.69	49	0.138
73	72_74	Boru Yok		
75	74_76	2.27	0	0
77	76_78	Boru Yok		
79	78_80	152.57	46	0.301

Tablo A.2 : GRID 4x4 km.'de 5 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
12.5	10_15	142.04	0	0
17.5	15_20	872.77	17	0.019
22.5	20_25	1259.63	55	0.044
27.5	25_30	854.07	89	0.104
32.5	30_35	868.59	147	0.169
37.5	35_40	529.26	49	0.093
42.5	40_45	500.49	31	0.062
47.5	45_50	364.37	77	0.211
52.5	50_55	406.96	36	0.088
57.5	55_60	433.91	43	0.099
62.5	60_65	91.49	4	0.044
67.5	65_70	Boru Yok		
72.5	70_75	357.96	49	0.137
77.5	75_80	152.57	46	0.301

Tablo A.3 : GRID 4x4 km.'de 10 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
15	10_20	1014.81	17	0.017
25	20_30	2113.70	144	0.068
35	30_40	1397.85	196	0.140
45	40_50	864.85	108	0.125
55	50_60	840.87	79	0.094
65	60_70	91.49	4	0.044
75	70_80	510.54	95	0.186

Tablo A.4 : GRID 4x4 km.'de 15 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
17.5	10_25	2274.44	72	0.032
32.5	25_40	2251.93	285	0.127
47.5	40_55	1271.81	144	0.113
62.5	55_70	525.40	47	0.089
75	70_80	510.54	95	0.186

Tablo A.5 : GRID 4x4 km.'de 20 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
20	10_30	3128.51	161	0.051
40	30_50	2262.70	304	0.134
60	50_70	932.36	83	0.089
75	70_80	510.54	95	0.186

Tablo A.6 : GRID 2x2 km.'de 2 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
11	10_12	7.91	0	0
13	12_14	125.08	0	0
15	14_16	141.16	0	0
17	16_18	394.00	12	0.030
19	18_20	394.95	5	0.013
21	20_22	474.87	21	0.044
23	22_24	577.57	4	0.007
25	24_26	265.41	21	0.079
27	26_28	462.83	41	0.089
29	28_30	304.54	51	0.167
31	30_32	245.61	41	0.167
33	32_34	250.59	26	0.104
35	34_36	433.68	101	0.233
37	36_38	130.09	8	0.061
39	38_40	249.27	12	0.048
41	40_42	149.69	14	0.094
43	42_44	247.59	14	0.057
45	44_46	184.94	15	0.081
47	46_48	199.81	19	0.095
49	48_50	154.40	8	0.052
51	50_52	206.70	39	0.189
53	52_54	192.85	42	0.218
55	54_56	39.50	1	0.025
57	56_58	44.27	3	0.068
59	58_60	118.11	11	0.093
61	60_62	225.06	32	0.142
63	62_64	32.39	0	0
65	64_66	53.88	3	0.056
67	66_68	175.33	8	0.046
69	68_70	43.20	34	0.787
71	70_72	97.72	41	0.420
73	72_74	67.06	3	0.045
75	74_76	13.84	1	0.072
77	76_78	27.56	1	0.036
79	78_80	75.31	9	0.120

Tablo A.7 : GRID 2x2 km.'de 5 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
12.5	10_15	169.78	0	0
17.5	15_20	893.33	17	0.019
22.5	20_25	1260.43	39	0.031
27.5	25_30	824.81	99	0.120
32.5	30_35	683.74	111	0.162
37.5	35_40	625.49	77	0.123
42.5	40_45	483.78	33	0.068
47.5	45_50	452.64	37	0.082
52.5	50_55	439.05	82	0.187
57.5	55_60	162.38	14	0.086
62.5	60_65	275.49	34	0.123
67.5	65_70	254.37	43	0.169
72.5	70_75	176.35	45	0.255
77.5	75_80	105.14	10	0.095

Tablo A.8 : GRID 2x2 km.'de 10 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
15	10_20	1063.10	17	0.016
25	20_30	2085.23	138	0.066
35	30_40	1309.23	188	0.144
45	40_50	936.42	70	0.075
55	50_60	601.43	96	0.160
65	60_70	529.87	77	0.145
75	70_80	281.49	55	0.195

Tablo A.9 : GRID 2x2 km.'de 15 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
17.5	10_25	2323.53	56	0.024
32.5	25_40	2134.04	287	0.134
47.5	40_55	1375.48	152	0.111
62.5	55_70	692.24	91	0.131
75	70_80	281.49	55	0.195

Tablo A.10 : GRID 2x2 km.'de 20 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
20	10_30	3148.34	155	0.049
40	30_50	2245.66	258	0.115
60	50_70	1131.30	173	0.153
75	70_80	281.49	55	0.195

Tablo A.11 : GRID 1x1 km.'de 2 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
11	10_12	7.91	0	0
13	12_14	102.84	0	0
15	14_16	185.81	0	0
17	16_18	385.31	12	0.031
19	18_20	391.86	9	0.023
21	20_22	447.63	10	0.022
23	22_24	486.34	15	0.031
25	24_26	401.05	17	0.042
27	26_28	330.02	35	0.106
29	28_30	408.27	63	0.154
31	30_32	275.16	43	0.156
33	32_34	219.93	16	0.073
35	34_36	382.81	89	0.232
37	36_38	173.10	9	0.052
39	38_40	223.00	24	0.108
41	40_42	195.64	11	0.056
43	42_44	232.04	24	0.103
45	44_46	178.35	6	0.034
47	46_48	197.86	19	0.096
49	48_50	201.36	21	0.104
51	50_52	159.34	39	0.245
53	52_54	121.29	17	0.140
55	54_56	145.05	15	0.103
57	56_58	51.87	8	0.154
59	58_60	147.54	9	0.061
61	60_62	50.89	5	0.098
63	62_64	138.22	26	0.188
65	64_66	108.27	8	0.074
67	66_68	95.47	16	0.168
69	68_70	87.21	20	0.229
71	70_72	83.20	16	0.192
73	72_74	32.02	7	0.219
75	74_76	57.60	20	0.347
77	76_78	63.33	2	0.032
79	78_80	40.03	1	0.025

Tablo A.12 : GRID 1x1 km.'de 5 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
12.5	10_15	202.54	0	0
17.5	15_20	871.19	21	0.024
22.5	20_25	1157.07	38	0.033
27.5	25_30	916.23	102	0.111
32.5	30_35	713.89	112	0.157
37.5	35_40	560.11	69	0.123
42.5	40_45	492.67	37	0.075
47.5	45_50	512.58	44	0.086
52.5	50_55	329.39	62	0.188
57.5	55_60	295.70	26	0.088
62.5	60_65	238.65	34	0.142
67.5	65_70	241.39	41	0.170
72.5	70_75	159.23	43	0.270
77.5	75_80	116.95	3	0.026

Tablo A.13 : GRID 1x1 km.'de 10 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
15	10_20	1073.73	21	0.020
25	20_30	2073.30	140	0.068
35	30_40	1274.00	181	0.142
45	40_50	1005.26	81	0.081
55	50_60	625.08	88	0.141
65	60_70	480.05	75	0.156
75	70_80	276.18	46	0.167

Tablo A.14 : GRID 1x1 km.'de 15 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
17.5	10_25	2230.80	59	0.026
32.5	25_40	2190.23	283	0.129
47.5	40_55	1334.64	143	0.107
62.5	55_70	775.74	101	0.130
75	70_80	276.18	46	0.167

Tablo A.15 : GRID 1x1 km.'de 20 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
20	10_30	3147.03	161	0.051
40	30_50	2279.25	262	0.115
60	50_70	1105.13	163	0.147
75	70_80	276.18	46	0.167

Tablo A16 : GRID 0.5x0.5 km.'de 2 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
11	10_12	12.25	0	0
13	12_14	84.53	0	0
15	14_16	225.89	0	0
17	16_18	336.91	6	0.018
19	18_20	444.47	13	0.029
21	20_22	411.63	9	0.022
23	22_24	505.81	22	0.043
25	24_26	367.70	14	0.038
27	26_28	371.30	34	0.092
29	28_30	346.18	49	0.142
31	30_32	317.05	52	0.164
33	32_34	231.04	22	0.095
35	34_36	374.54	81	0.216
37	36_38	192.13	24	0.125
39	38_40	168.89	14	0.083
41	40_42	232.90	18	0.077
43	42_44	223.14	10	0.045
45	44_46	178.17	15	0.084
47	46_48	205.84	13	0.063
49	48_50	211.66	27	0.128
51	50_52	131.50	26	0.198
53	52_54	129.38	29	0.224
55	54_56	110.63	15	0.136
57	56_58	105.00	12	0.114
59	58_60	97.72	5	0.051
61	60_62	107.56	14	0.130
63	62_64	107.70	7	0.065
65	64_66	122.15	15	0.123
67	66_68	105.30	22	0.209
69	68_70	70.81	12	0.169
71	70_72	79.26	25	0.315
73	72_74	49.51	15	0.303
75	74_76	46.40	5	0.108
77	76_78	53.20	7	0.132
79	78_80	49.34	3	0.061

Tablo A.17 : GRID 0.5x0.5 km.'de 5 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
12.5	10_15	200.53	0	0
17.5	15_20	903.50	19	0.021
22.5	20_25	1122.84	39	0.035
27.5	25_30	879.77	89	0.101
32.5	30_35	746.88	117	0.157
37.5	35_40	536.77	76	0.142
42.5	40_45	564.98	34	0.060
47.5	45_50	486.72	49	0.101
52.5	50_55	302.34	60	0.198
57.5	55_60	271.88	27	0.099
62.5	60_65	282.51	33	0.117
67.5	65_70	231.01	37	0.160
72.5	70_75	156.48	42	0.268
77.5	75_80	121.23	13	0.107

Tablo A.18 : GRID 0.5x0.5 km.'de 10 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
15	10_20	1104.04	19	0.017
25	20_30	2002.61	128	0.064
35	30_40	1283.65	193	0.150
45	40_50	1051.70	83	0.079
55	50_60	574.22	87	0.152
65	60_70	513.52	70	0.136
75	70_80	277.71	55	0.198

Tablo A.19 : GRID 0.5x0.5 km.'de 15 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
17.5	10_25	2226.88	58	0.026
32.5	25_40	2163.42	282	0.130
47.5	40_55	1354.04	143	0.106
62.5	55_70	785.40	97	0.124
75	70_80	277.71	55	0.198

Tablo A.20 : GRID 0.5x0.5 km.'de 20 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
20	10_30	3106.65	147	0.047
40	30_50	2335.35	276	0.118
60	50_70	1087.74	157	0.144
75	70_80	277.71	55	0.198

Tablo A.21 : GRID 0.25x0.25 km.'de 2 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
11	10_12	11.49	0	0
13	12_14	86.02	0	0
15	14_16	221.40	0	0
17	16_18	337.31	6	0.018
19	18_20	435.30	13	0.030
21	20_22	422.85	9	0.021
23	22_24	523.23	25	0.048
25	24_26	347.60	11	0.032
27	26_28	362.46	36	0.099
29	28_30	363.09	45	0.124
31	30_32	311.87	54	0.173
33	32_34	236.65	21	0.089
35	34_36	363.88	81	0.223
37	36_38	183.78	20	0.109
39	38_40	192.37	14	0.073
41	40_42	231.88	20	0.086
43	42_44	215.08	14	0.065
45	44_46	198.19	17	0.086
47	46_48	180.28	8	0.044
49	48_50	219.16	29	0.132
51	50_52	133.82	28	0.209
53	52_54	115.43	16	0.139
55	54_56	120.04	27	0.225
57	56_58	101.89	11	0.108
59	58_60	99.08	7	0.071
61	60_62	119.92	14	0.117
63	62_64	113.37	8	0.071
65	64_66	104.03	20	0.192
67	66_68	98.41	12	0.122
69	68_70	84.55	12	0.142
71	70_72	71.38	29	0.406
73	72_74	53.15	14	0.263
75	74_76	48.07	2	0.042
77	76_78	44.39	8	0.180
79	78_80	57.74	9	0.156

Tablo A.22 : GRID 0.25x0.25 km.'de 5 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
12.5	10_15	210.23	0	0
17.5	15_20	881.29	19	0.022
22.5	20_25	1137.02	42	0.037
27.5	25_30	882.21	84	0.095
32.5	30_35	747.51	121	0.162
37.5	35_40	541.03	69	0.128
42.5	40_45	548.22	39	0.071
47.5	45_50	496.37	49	0.099
52.5	50_55	309.67	60	0.194
57.5	55_60	260.59	29	0.111
62.5	60_65	278.63	25	0.090
67.5	65_70	241.65	41	0.170
72.5	70_75	146.89	44	0.300
77.5	75_80	127.84	18	0.141

Tablo A.23 : GRID 0.25x0.25 km.'de 10 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
15	10_20	1091.52	19	0.017
25	20_30	2019.22	126	0.062
35	30_40	1288.55	190	0.147
45	40_50	1044.59	88	0.084
55	50_60	570.27	89	0.156
65	60_70	520.27	66	0.127
75	70_80	274.73	62	0.226

Tablo A.24 : GRID 0.25x0.25 km.'de 15 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
17.5	10_25	2228.54	61	0.027
32.5	25_40	2170.76	274	0.126
47.5	40_55	1354.26	148	0.109
62.5	55_70	780.87	95	0.122
75	70_80	274.73	62	0.226

Tablo A.25 : GRID 0.25x0.25 km.'de 20 cm/s PGV aralığı için onarım oranı

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
20	10_30	3110.74	145	0.047
40	30_50	2333.14	278	0.119
60	50_70	1090.54	155	0.142
75	70_80	274.73	62	0.226

Tablo A.26 : 2 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
11	10_12	Boru Yok		
13	12_14	41.09	0	0
15	14_16	157.40	0	0
17	16_18	244.68	4	0.016
19	18_20	427.80	12	0.028
21	20_22	426.55	6	0.014
23	22_24	484.66	15	0.031
25	24_26	456.36	21	0.046
27	26_28	317.51	14	0.044
29	28_30	372.13	52	0.140
31	30_32	322.25	59	0.183
33	32_34	264.49	24	0.091
35	34_36	353.44	61	0.173
37	36_38	262.30	48	0.183
39	38_40	183.67	18	0.098
41	40_42	201.12	12	0.060
43	42_44	231.84	18	0.078
45	44_46	208.38	8	0.038
47	46_48	176.87	19	0.107
49	48_50	197.56	16	0.081
51	50_52	174.84	33	0.189
53	52_54	124.47	32	0.257
55	54_56	123.31	12	0.097
57	56_58	111.33	19	0.171
59	58_60	111.88	6	0.054
61	60_62	95.68	11	0.115
63	62_64	108.69	8	0.074
65	64_66	112.90	10	0.089
67	66_68	112.04	20	0.179
69	68_70	88.42	13	0.147
71	70_72	74.89	15	0.200
73	72_74	61.75	22	0.356
75	74_76	49.60	15	0.302
77	76_78	46.67	4	0.086
79	78_80	52.23	4	0.077

Tablo A.27 : 4 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
12	10_14	41.09	0	0
16	14_18	402.07	4	0.010
20	18_22	854.35	18	0.021
24	22_26	941.01	36	0.038
28	26_30	689.64	66	0.096
32	30_34	586.74	83	0.141
36	34_38	615.75	109	0.177
40	38_42	384.79	30	0.078
44	42_46	440.22	26	0.059
48	46_50	374.43	35	0.093
52	50_54	299.31	65	0.217
56	54_58	234.64	31	0.132
60	58_62	207.56	17	0.082
64	62_66	221.60	18	0.081
68	66_70	200.46	33	0.165
72	70_74	136.64	37	0.271
76	74_78	96.27	19	0.197
79	78_80	52.23	4	0.077

Tablo A.28 : 5 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
12.5	10_15	198.49	0	0
17.5	15_20	672.47	16	0.024
22.5	20_25	1367.57	42	0.031
27.5	25_30	689.64	66	0.096
32.5	30_35	940.19	144	0.153
37.5	35_40	445.97	66	0.148
42.5	40_45	641.34	38	0.059
47.5	45_50	374.43	35	0.093
52.5	50_55	422.62	77	0.182
57.5	55_60	223.21	25	0.112
62.5	60_65	317.28	29	0.091
67.5	65_70	200.46	33	0.165
72.5	70_75	186.25	52	0.279
77.5	75_80	98.90	8	0.081

Tablo A.29 : 8 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
14	10_18	443.17	4	0.009
22	18_26	1795.36	54	0.030
30	26_34	1276.38	149	0.117
38	34_42	1000.53	139	0.139
46	42_50	814.64	61	0.075
54	50_58	533.95	96	0.180
62	58_66	429.16	35	0.082
70	66_74	337.11	70	0.208
77	74_80	148.50	23	0.155

Tablo A.30 : 10 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
15	10_20	870.96	16	0.018
25	20_30	2057.21	108	0.052
35	30_40	1386.16	210	0.151
45	40_50	1015.76	73	0.072
55	50_60	645.83	102	0.158
65	60_70	517.74	62	0.120
75	70_80	285.14	60	0.210

Tablo A.31 : 12 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
16	10_22	1297.52	22	0.017
28	22_34	2217.40	185	0.083
40	34_46	1440.75	165	0.115
52	46_58	908.38	131	0.144
64	58_70	629.62	68	0.108
75	70_80	285.14	60	0.210

Tablo A.32 : 15 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
17.5	10_25	2238.53	58	0.026
32.5	25_40	2075.80	276	0.133
47.5	40_55	1438.38	150	0.104
62.5	55_70	740.95	87	0.117
75	70_80	285.14	60	0.210

Tablo A.33 : 16 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi

Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
18	10_26	2238.53	58	0.026
34	26_42	2276.92	288	0.126
50	42_58	1348.59	157	0.116
66	58_74	766.26	105	0.137
77	74_80	148.50	23	0.155

Tablo A.34 : 20 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi

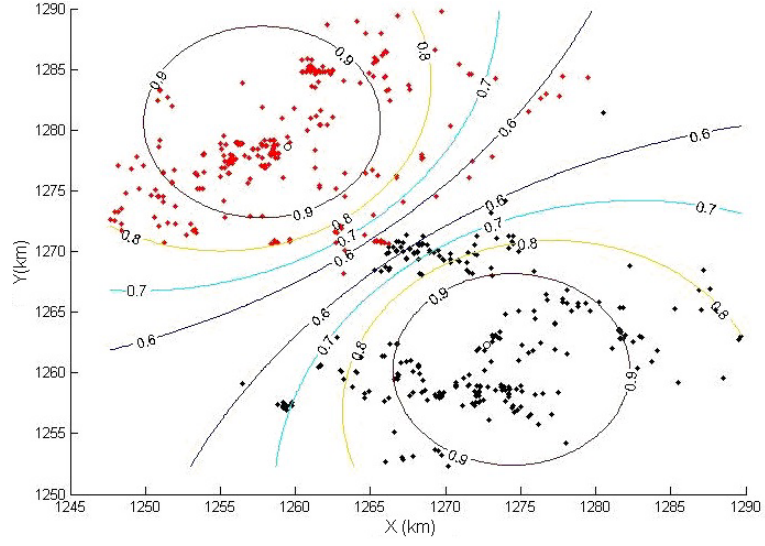
Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
20	10_30	2928.17	124	0.042
40	30_50	2401.92	283	0.118
60	50_70	1163.57	164	0.141
75	70_80	285.14	60	0.210

Tablo A.35 : 24 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi

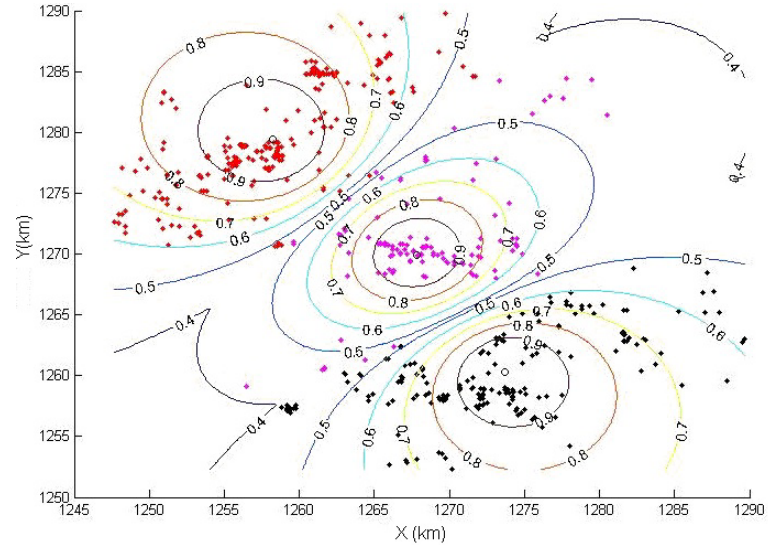
Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
22	10_34	3514.91	207	0.059
46	34_58	2349.13	296	0.126
69	58_80	914.76	128	0.140

Tablo A.36 : 28 cm/s PGV aralığı için eş PGV kontörlerinde hasar ilişkisi

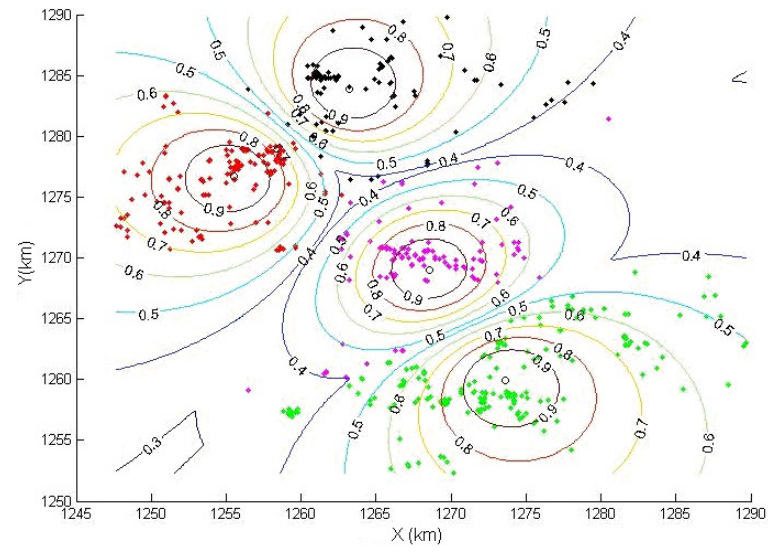
Ortalama PGV (cm/s)	PGV Aralığı (cm/s)	Boru Uzunluğu (km)	Hasar Sayısı	Onarım Oranı
24	10_38	4130.66	316	0.077
52	38_66	2162.54	222	0.103
73	66_80	485.61	93	0.192



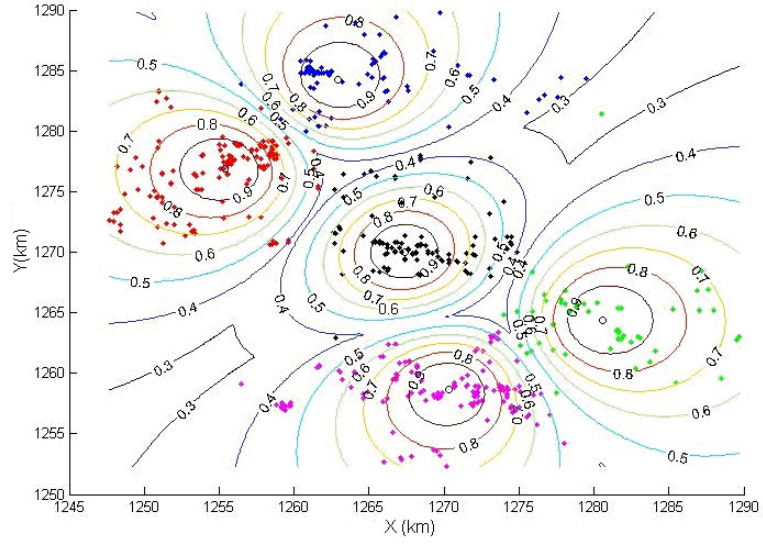
Şekil B. 1: Boru hasarlarının 2 kümeye bölünmesi



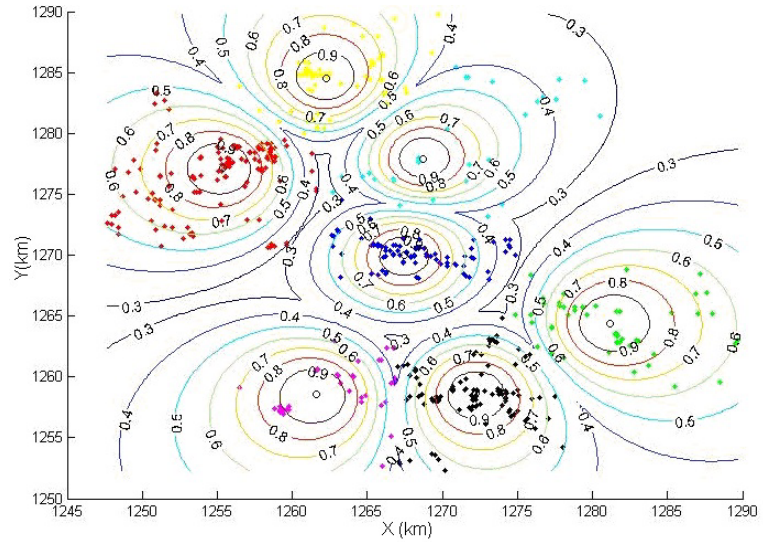
Şekil B. 2: : Boru hasarlarının 3 kümeye bölünmesi



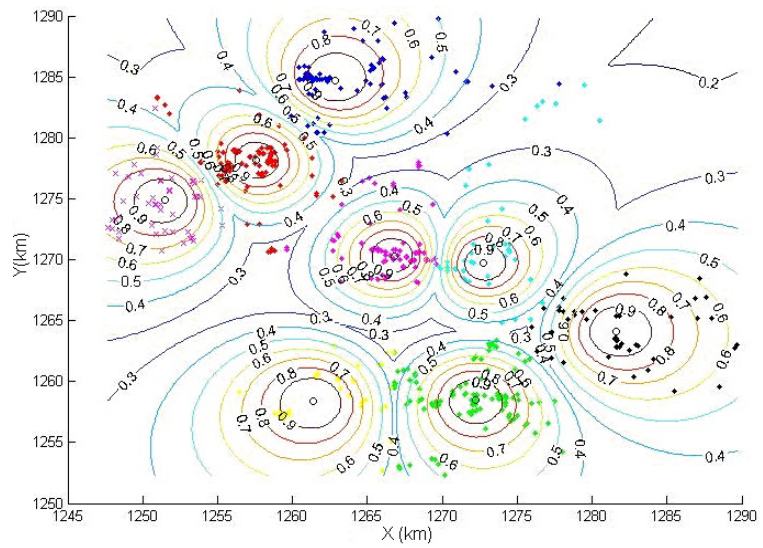
Şekil B.3 : Boru hasarlarının 4 kümeye bölünmesi



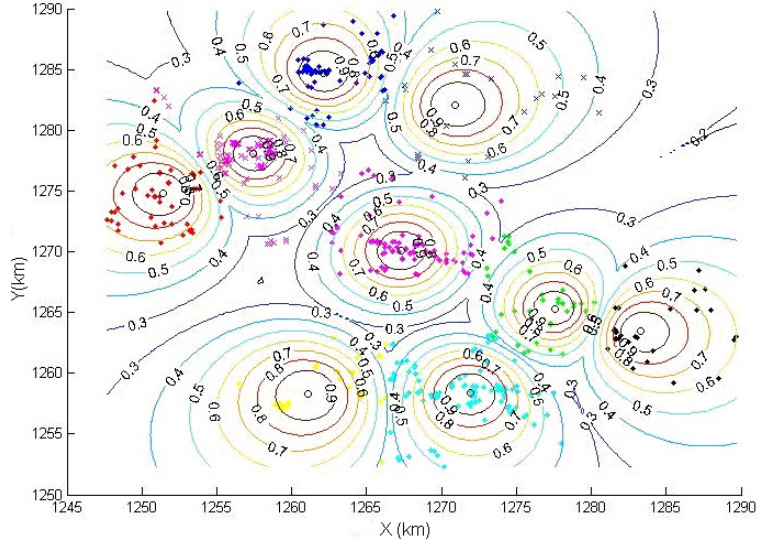
Şekil B.4 : Boru hasarlarının 5 kümeye bölünmesi



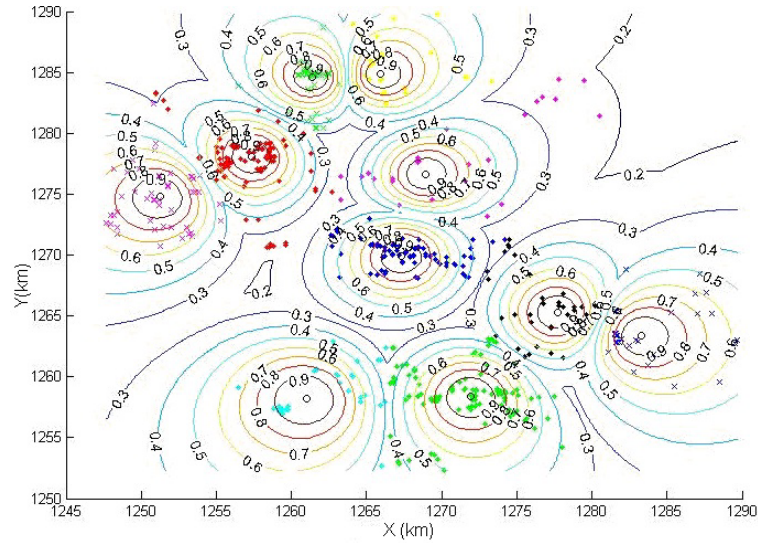
Şekil B.5 : Boru hasarlarının 7 kümeye bölünmesi



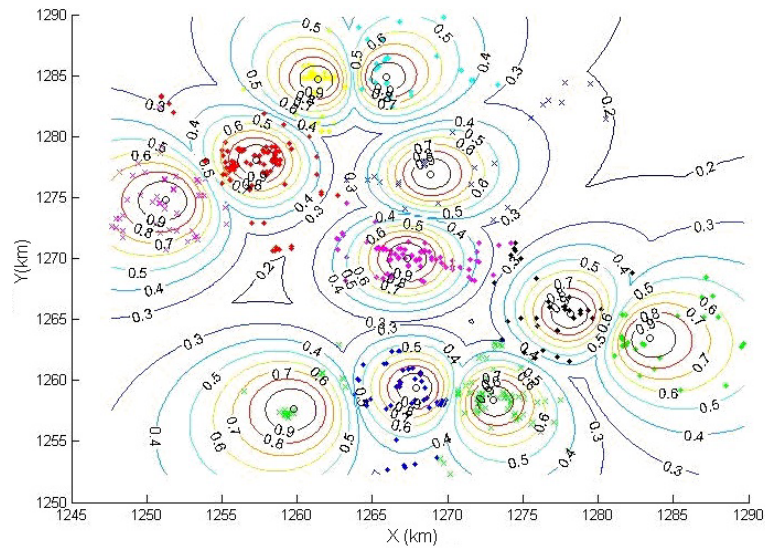
Şekil B.6 : Boru hasarlarının 8 kümeye bölünmesi



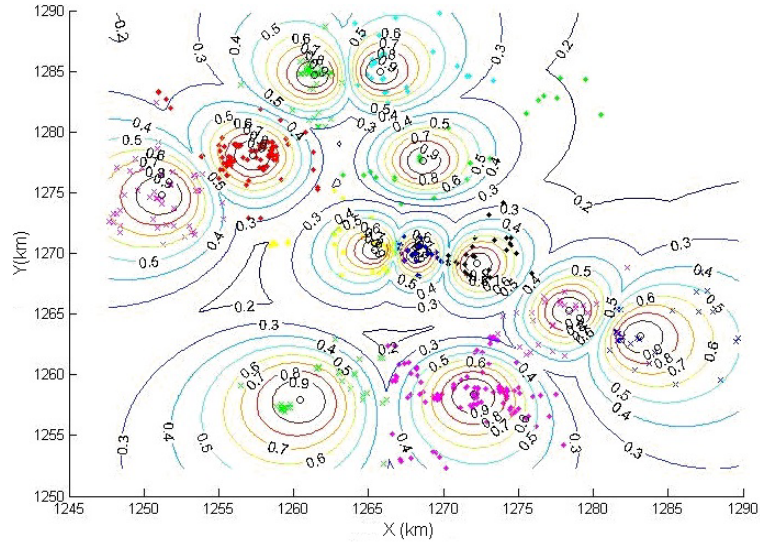
Şekil B.7 : Boru hasarlarının 9 kümeye bölünmesi



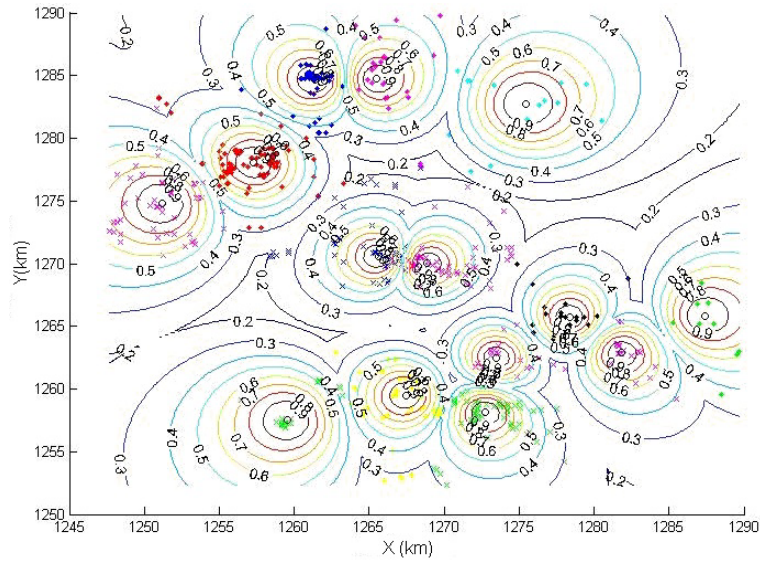
Şekil B.8 : Boru hasarlarının 10 kümeye bölünmesi



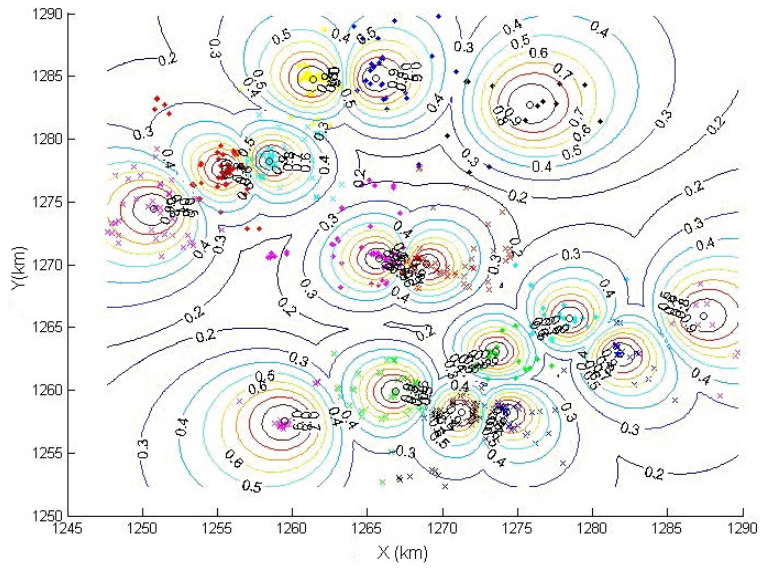
Şekil B.9 : Boru hasarlarının 11 kümeye bölünmesi



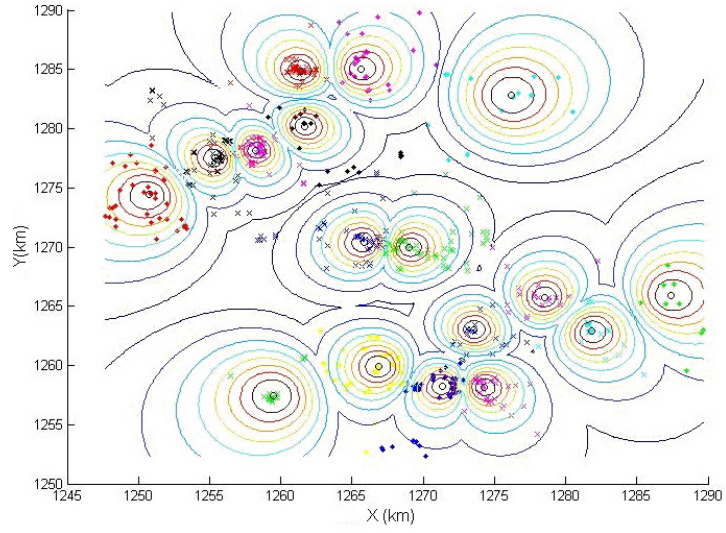
Şekil B.10 : Boru hasarlarının 12 kümeye bölünmesi



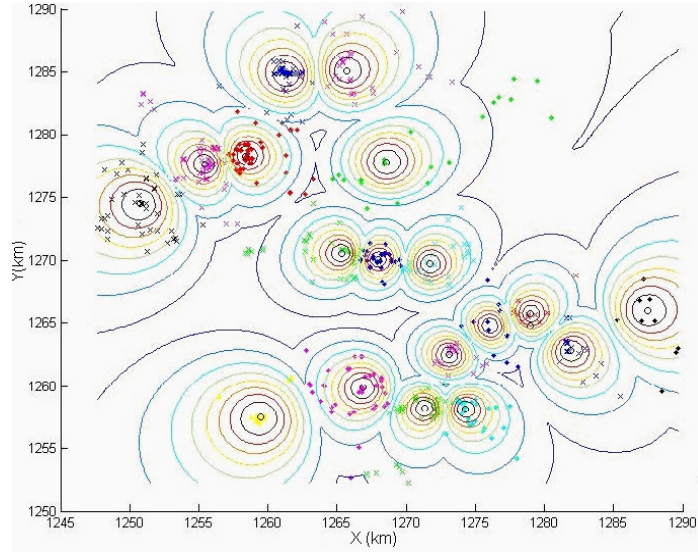
Şekil B.11 : Boru hasarlarının 14 kümeye bölünmesi



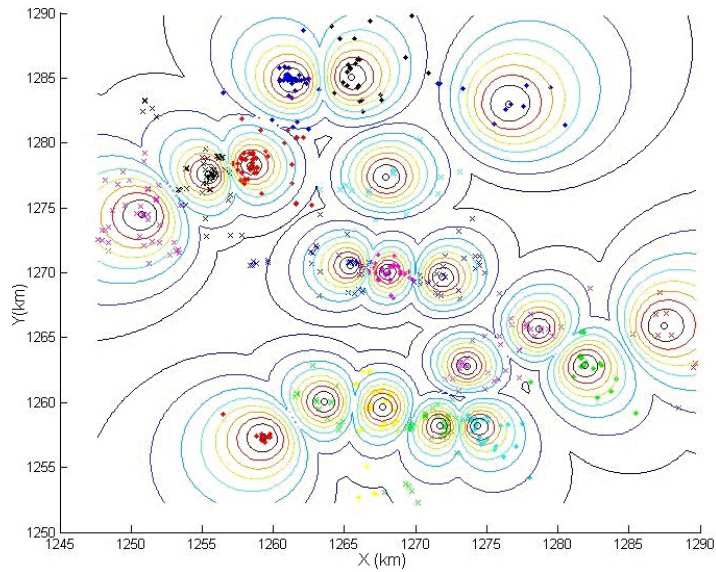
Şekil B.12 : Boru hasarlarının 16 kümeye bölünmesi



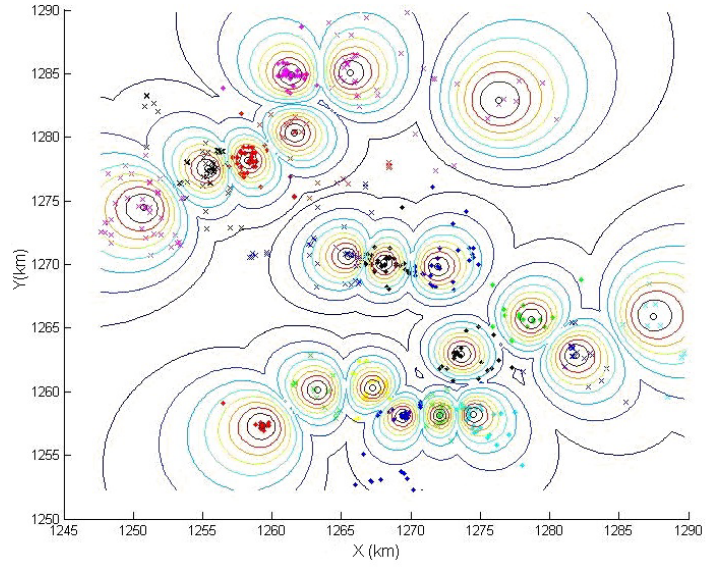
Şekil B.13 : Boru hasarlarının 17 kümeye bölünmesi



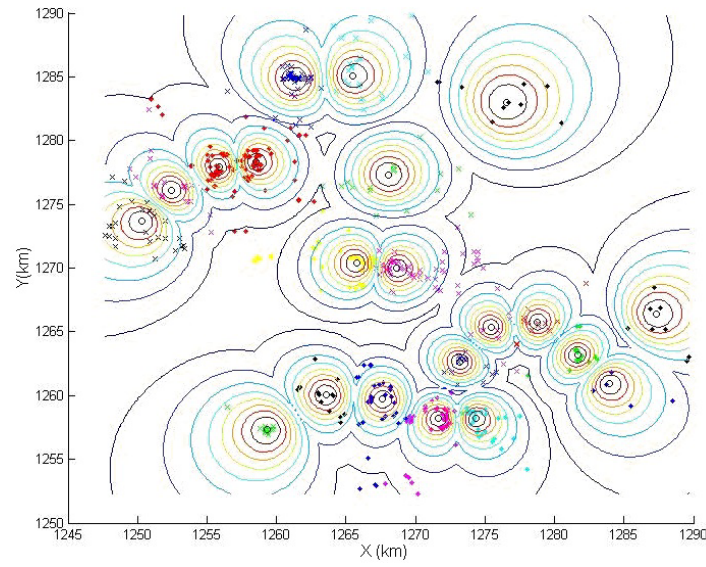
Şekil B.14 : Boru hasarlarının 18 kümeye bölünmesi



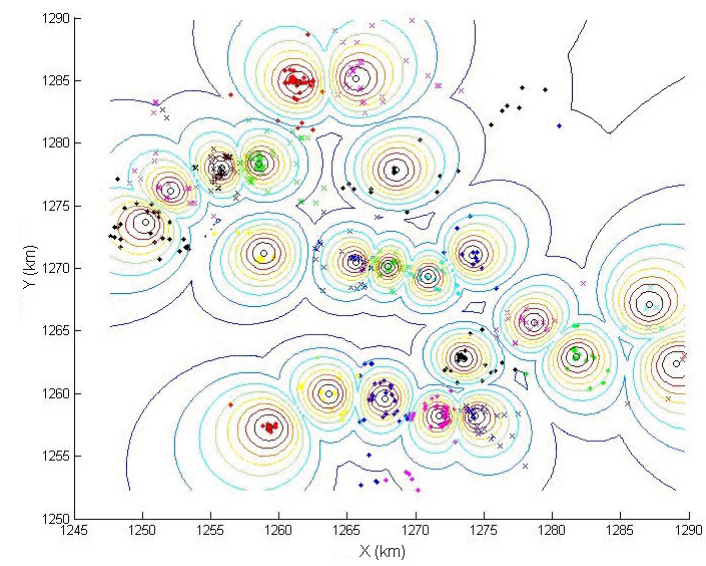
Şekil B.15 : Boru hasarlarının 19 kümeye bölünmesi



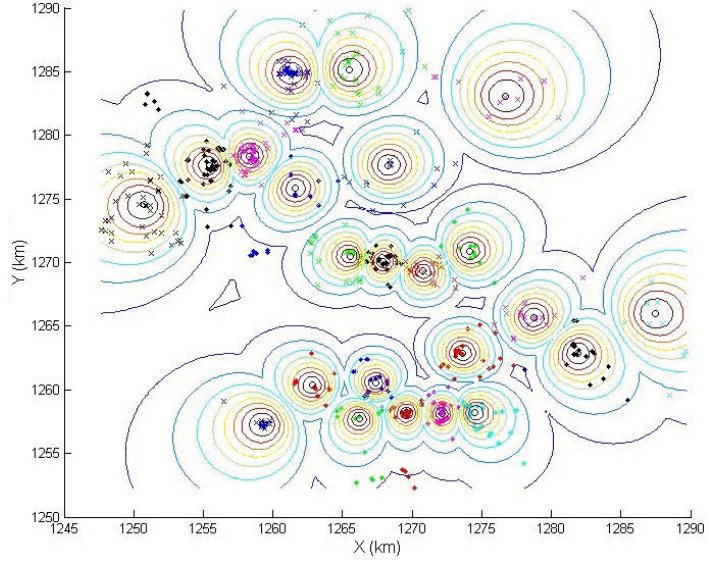
Şekil B.16 : Boru hasarlarının 20 kümeye bölünmesi



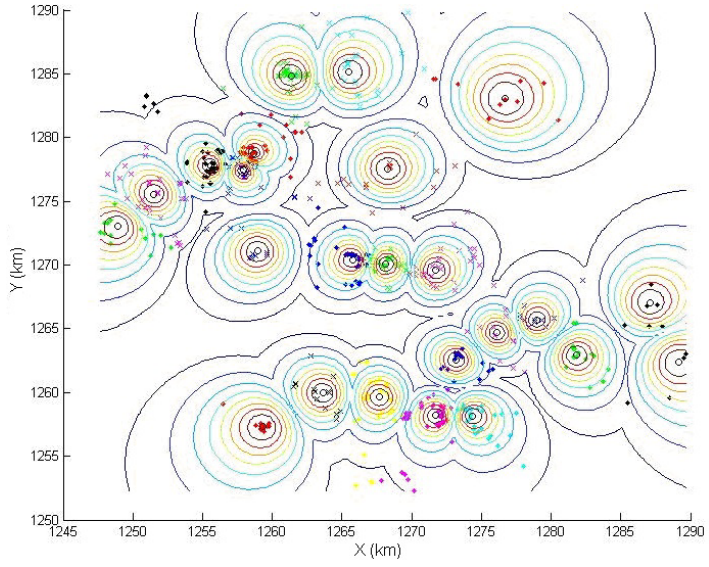
Şekil B.17 : Boru hasarlarının 21 kümeye bölünmesi



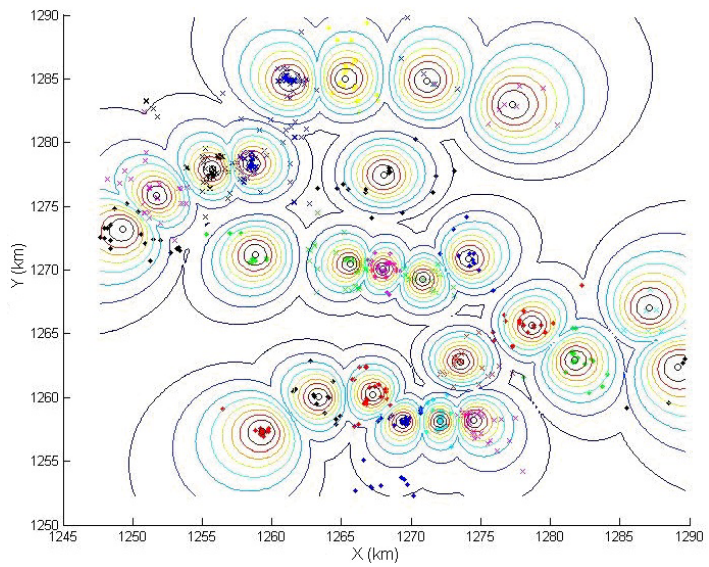
Şekil B.18 : Boru hasarlarının 22 kümeye bölünmesi



Şekil B.19 : Boru hasarlarının 23 kümeye bölünmesi



Şekil B.20 : Boru hasarlarının 24 kümeye bölünmesi



Şekil B.21 : Boru hasarlarının 25 kümeye bölünmesi

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Engin NACAROĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: 03/12/1981

Kahramanmaraş

Adres: Yunus Emre Mah. 6414 Sk. Önder Sitesi

No: 3 Daire: 4 Denizli

Lisans Üniversitesi: Pamukkale Üniversitesi

Yayın Listesi:

- Toprak, S., Cetin, O. A., **Nacaroglu, E.**, ve Koc, A. C., 2010: Pipeline performance under longitudinal permanent ground deformation, *14th European Conference on Earthquake Engineering*, Ohrid, Republic of Macedonia, August 30- September 03.
- Toprak, S., Koc, A. C., Cetin, O. A. ve **Nacaroglu, E.**, 2008: 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.
- Toprak, S., Koc, A. C., Cetin, O. A. ve **Nacaroglu, E.**, 2010: A GIS approach for seismic analysis of pipeline Networks, *9th International Congress on Advances in Civil Engineering*, 27-30 September, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey.
- Toprak, S., Koç, A. C., Fırat, M., Dikbaş, F., Bacanlı. Ü. G., **Nacaroglu. E.** ve Çetin. O. A., 2008: Kentsel Altyapı Sistemlerinin Performans Değerlendirmesi, Denizli.
- Toprak, S., **Nacaroglu, E.**, Cetin, O. A. ve Koc, A. C., 2009: Pipeline damage assessment using cluster analysis, *TCLÉE 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.
- Toprak, S., **Nacaroglu, E.**, Koc, A. C. ve 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., **Nacaroglu, E.**, Koc, A. C. ve 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).