

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SİSMİK ETKİLER ALTINDA BORU HASARLARININ
KÜMELEME ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİZEM DÜNDAR

DENİZLİ, TEMMUZ - 2019

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**SİSMİK ETKİLER ALTINDA BORU HASARLARININ
KÜMELEME ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİZEM DÜNDAR

DENİZLİ, TEMMUZ - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

GİZEM DÜNDAR tarafından hazırlanan "SİSMİK ETKİLER ALTINDA BORU HASARLARININ KÜMELEME ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 18.07.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çeklüğü~~ ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Engin NACAROĞLU



Üye
Prof. Dr. Selçuk TOPRAK



Üye
Doç Dr. Devrim ALKAYA



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 31/07/2019 tarih ve 31/19 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

✓

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.



GİZEM DÜNDAR

ÖZET

SİSMİK ETKİLER ALTINDA BORU HASARLARININ KÜMELEME ANALİZİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİZEM DÜNDAR

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. Ü. ENGİN NACAROĞLU)

DENİZLİ, TEMMUZ - 2019

Dünyada her yıl yaklaşık olarak 500 bin depremin meydana geldiği düşünülürse deprem; dünyanın önemli bir gerçeğidir. Depremlerin yapılar üzerinde etkileri geçmişten günümüze devam etmektedir. Can ve mal kaybında yer üstü yapıları önemli olduğu kadar, deprem sonrasında hayat akışının sürdürülebilmesi için yer altı yapılarının önemi büyüktür. Geçmişte meydana gelen depremlerin alt yapılara verdiği hasarlar incelendiğinde deprem sonrası altyapı sistemlerinin devamlılığını sürdürememesinin olumsuz sonuçlar doğurduğu gözlemlenmiştir. Literatürde “Canterbury Deprem Dizisi (CES)” adı verilen 4 Eylül 2010’da başlayan bir dizi depremin Yeni Zelanda’yı etkilemesi, sismik etkiler altında boru hasarlarına büyük bir örnek teşkil eder. Bu deprem dizisi; 4 Eylül 2010’da 7.1, 22 Şubat 2011’de 6.2, 13 Haziran 2011’de 6.0 ve 23 Aralık 2011’de 5.9 büyüklüğünde ve ana depremlerin yanında binlerce artçı şoktan oluşmaktadır. Zeminde meydana gelen sıvılaşma ve yanal yayılmanın iletim hatlarına verdiği zararların Canterbury Deprem Dizisi (CES) ile farkına bir kez daha varılmıştır.

Bu tez kapsamında; sismik etkiler altında gömülü borularda meydana gelen hasarlar kümeleme analizi ile değerlendirilmiştir. Kümeleme analizi; bir veri setinde yer alan elemanları anlamlı şekilde alt veri gruplarına ayırmayı sağlayan istatistiksel bir uygulamadır. Canterbury Deprem Dizisi’nden Christchurch’te 22 Şubat 2011 tarihinde meydana gelen 6.2 büyüklüğündeki deprem sonrası hasar gören boru hatlarının gözlemlenen yoğun hasar bölgeleri ile karşılaştırma yapılabilmesi için öncelikli olarak konuma göre 2 boyutlu kümeleme yapılmıştır. Ardından zemin parametreleri ile yoğun hasar bölgeleri arasında ilişki kurulabilmesi için sıvılaşma şiddeti parametrelerinden sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI), sıvılaşma şiddeti katsayısı (LSN) ve hacimsel bir boyutlu oturma (S_{VID}) eklenmiş 3 boyutlu kümeleme yapılmıştır. Böylece gözlemlenen yoğun hasar bölgeleri ile elde edilen kümeler karşılaştırılmış; geçerlilik indeksleri ile elde edilen optimum kümelerin uyumuna bakılmıştır. Bu tez kapsamında 3 boyutlu kümeleme analizi tekniği ile sıvılaşma şiddeti parametreleri literatürde ilk kez kullanılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Kümeleme analizi, Sıvılaşma şiddeti parametreleri, Boru Hasarı, Christchurch, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Deprem

ABSTRACT

DAMAGE ASSESMENT OF BURIED PIPELINE SYSTEMS UNDER SEISMIC EFFECTS WITH CLUSTERING ANALYSIS

MSC THESIS

GIZEM DUNDAR

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR:ASSIST. PROF. DR. ENGIN NACAROGLU)

DENİZLİ, JULY 2019

Considering that approximately 500 thousand earthquakes occur each year in the world, the earthquake; is an important fact of the world. Although the earth has not been affected to a large extent by any earthquake, the effects of earthquakes on buildings have continued from the past to the present. Above ground structures are important in the loss of lives and property, as well as the importance of underground structures in order to maintain the life flow after the earthquake. When the damages caused by the earthquakes occurred in the past were examined, it was observed that the failure of the infrastructure systems to continue after the earthquake had negative consequences. The fact that a series of earthquakes that began on September 4, 2010, called “Canterbury Earthquake Sequence (CES) in the literature, affects New Zealand is a major example of pipe damage under seismic effects. This earthquake sequence; 7.1 magnitude on September 4, 2010, 6.2 magnitude on 22 February 2011, 6.0 magnitude on 13 June 2011 and 5.9 magnitude on 23 December 2011 and consists of thousands of aftershocks in addition to major earthquakes. The damages to the transmission lines caused by liquefaction and lateral spreading on the ground were once again recognized by the Canterbury Earthquake Sequence (CES).

In this thesis; Damages in buried pipes under seismic effects were evaluated by cluster analysis. Cluster analysis; is a statistical application that provides the meaningful separation of elements in a data set into sub-data groups. In order to make a comparison with the intense damage zones observed after the earthquake of 6.2 magnitude earthquake occurred on 22 February 2011 in Christchurch from Canterbury Earthquake Sequence, 2-dimensional clustering was made primarily by location. Then, in order to establish a relationship between soil parameters and dense damage zones, three-dimensional clustering was performed with liquefaction potential index (LPI), liquefaction severity number (LSN) and one-dimensional volumetric reconsolidation settlement (S_{VID}). Thus, the clusters obtained with the dense damage zones observed were compared; The validity indexes were compared with the optimum clusters. In this thesis, liquefaction parameters are used for the first time in the literature with 3D clustering analysis technique.

KEYWORDS: Clustering Analysis, Liquefaction Parameters, Pipeline Repairs, Christchurch, Geographical Information Systems (GIS), Earthquake

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR.....	3
3. KÜMELEME ANALİZİ.....	16
3.1 Kümeleme Analizi Algoritmaları	16
3.1.1 Çıkarımlı Kümeleme Algoritması.....	17
3.1.2 Bulanık C-Ortalamalar Kümeleme Algoritması	18
3.1.3 K-Ortalamalar Kümeleme Algoritması	19
4. GEÇERLİLİK İNDEKSLERİ.....	20
4.1 K-Ortalamalar Kümeleme Algoritması İçin Geçerlilik İndeksleri	20
4.1.1 Calinski-Harabasz İndeksi (C-H).....	23
4.1.2 Davies-Bouldin İndeksi (D-B).....	23
4.2 Bulanık C-Ortalamalar Kümeleme Algoritması İçin Geçerlilik İndeksleri	23
4.2.1 Bölümleme Katsayısı (PC)	24
4.2.2 Sınıflandırma Entropisi (CE)	24
4.2.3 MPC İndeksi	24
4.2.4 Xie-Beni İndeksi (X-B)	24
4.2.5 Fukuyama ve Sugeno İndeksi (F-S).....	25
4.2.6 Pakhira İndeksi (PBMF).....	25
4.2.7 Dunn İndeksi (DI)	26
4.2.8 Alternatif Dunn İndeksi (ADI).....	26
5. SIVILAŞMA.....	27
5.1 Zeminlerin Sıvılaşılabirliği	28
5.2 Sıvılaşıma Analizi.....	30
5.2.1 Sıvılaşıma Tetikleme Metotları.....	31
5.2.1.1 Robertson ve Wride (1998) Sıvılaşıma Tetikleme Metodu	32
5.2.1.2 Moss ve Seed (2006) Sıvılaşıma Tetikleme Metodu	32
5.2.1.3 Idriss ve Boulanger (2008) Sıvılaşıma Tetikleme Metodu	33
5.2.1.4 Boulanger ve Idriss (2014) Sıvılaşıma Tetikleme Metodu	33
5.2.2 Basitleştirilmiş Sıvılaşıma Analizi	33
5.2.2.1 CSR Hesabı	34
5.2.2.2 CRR Hesabı.....	36
5.2.2.2.1 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) Kullanarak CRR Hesabı	36
5.2.2.2.2 Konik Penetrasyon Deneyi (CPT) Kullanarak CRR Hesabı	37
5.2.2.3 MSF Hesabı.....	39

5.2.3	Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI) Hesabı	41
5.2.4	Sıvılaşma Şiddeti Katsayısı (LSN) Hesabı	42
5.2.5	Hacimsel Bir Boyutlu Oturma (S_{VID}) Hesabı	46
6.	KONUMA GÖRE KÜMELEME (2 BOYUTLU).....	47
6.1	K-Ortalamlar Kümeleme Algoritması Kullanarak Boru Hasarlarının Konuma Göre Kümelenmesi.....	49
6.2	Bulanık C-Ortalamlar Kümeleme Algoritması Kullanarak Boru Hasarlarının Konuma Göre Kümelenmesi.....	51
6.3	Çıkarımlı Kümeleme Algoritması Kullanarak Boru Hasarlarının Konuma Göre Kümelenmesi	53
7.	SIVILAŞMA ŞİDDETİ PARAMETRELERİNE GÖRE KÜMELEME (3 BOYUTLU).....	55
7.1	K-Ortalamlar Kümeleme Algoritması Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme.....	60
7.1.1	LPI Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme	60
7.1.2	LSN Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme	63
7.1.3	S_{VID} Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme.....	68
7.2	Bulanık C-Ortalamlar Kümeleme Algoritması Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme	71
7.2.1	LPI Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme	72
7.2.2	LSN Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme	74
7.2.3	S_{VID} Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme.....	77
8.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
9.	KAYNAKLAR	88
10.	EKLER	99
EK A	.....	99
EK B	.....	103
EK C	.....	107
EK C.1	.....	107
EK C.2	.....	115
EK C.3	.....	121
EK D	.....	123
EK D.1	.....	123
EK D.2	.....	127
EK D.3	.....	131
EK E	.....	135
EK E.1	.....	135
EK E.2	.....	139
EK E.3	.....	143
11.	ÖZGEÇMİŞ.....	147

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Canterbury depremlerinin tarih, büyüklük ve merkez üsleri (GNS, 2013).	3
Şekil 2.2: Christchurch şehrinde örnek bir jeolojik kesit bölgesi (Tonkin ve Taylor 2011).	9
Şekil 2.3: Christchurch şehri jeojik kesit örneği (Tonkin ve Taylor 2011).	10
Şekil 2.4: Christchurch bölgesinde yapılmış CPT örneği- “CPT_1115_Rep01” (NZGD).	11
Şekil 2.5: Christchurch bölgesinde yapılmış SPT örneği- “Borehole_50569_Rep01” (NZGD).	12
Şekil 2.6: Christchurch bölgesin için PL=%15’e göre hazırlanmış sıvılaşma şiddeti parametreleri bölgeleri (Toprak vd. 2019).	13
Şekil 4.7: Yapay veri setinin (data6.2) k-ortalamlar kümeleme algoritması ile 6 küme halinde gösterimi.	21
Şekil 4.8: Yapay veri setinin (data6.2) Calinski-Harabasz İndeksi sonuçları. ...	22
Şekil 4.9: Yapay veri setinin (data6.2) Davies-Bouldin İndeksi sonuçları.	22
Şekil 5.1: 2011 Christchurch depremi sonrası Kilmore Caddesinde sıvılaşma (Trafford, 2011).	27
Şekil 5.2: Deprem öncesi, sırası ve sonrasında dane dağılımı.	28
Şekil 5.3: Çin Kriterlerine Göre Sıvılaşma Grafiği (Seed ve Idriss, 1982).	29
Şekil 5.4: $N_{1,60}$ ve I_c Değerlerine Bağlı CRR Hesap Grafiği (Seed vd., 1985).	37
Şekil 5.5: q_{C1} ve I_c Değerlerine Bağlı CRR Hesap Grafiği (Stark ve Olson, 1995).	38
Şekil 5.6: q_{C1} ve I_c Değerlerine Bağlı CRR Hesap Grafiği (Stark ve Olson, 1995).	39
Şekil 5.7: FS_L , D_r , N_1 (veya q_{C1}) ve γ_{max} değerlerine bağlı ε_v değeri (Ishihara ve Yasmine, 1992).	43
Şekil 5.8: CSR ve $N_{1,60}$ değerlerine bağlı ε_v değeri okunması (Tokimatsu ve Seed, 1984).	44
Şekil 5.9: Arazi hasar gözlemleriyle LSN arasındaki ilişkiler (Tonkin ve Taylor 2015, Van Ballegooy vd. 2015b).	45
Şekil 6.1: Christchurch bölgesinde gerçekleşen sıvılaşma sonucunda oluşan boru hasarlarına örnek.	48
Şekil 6.2: Christchurch bölgesi boru hasarları ve boru hatlarının gösterimi. ...	48
Şekil 6.3: Christchurch bölgesi için k-ortalamlar kümeleme sonucu elde edilmiş 12 ve 20 küme gösterimi.	50
Şekil 6.4: Christchurch bölgesi için bulanık c-ortalamlar kümeleme sonucu elde edilmiş 4 ve 9 küme gösterimi.	52
Şekil 6.5: Christchurch bölgesi için IR=0.1, SF=1.3, AR=0.3 ve RR=0.2 seçilerek çıkarımlı kümeleme sonucu elde edilmiş 9 küme gösterimi.	53
Şekil 7.1: Christchurch bölgesi için LPI (PL=%15) haritası.	56
Şekil 7.2: Christchurch bölgesi için LSN (PL=%15) haritası.	57
Şekil 7.3: Christchurch bölgesi için S_{VID} (PL=%15) haritası.	57

Şekil 7.4: Boru hatları, hasarları ve LSN sınıvlaşma bölgesinin yakın plan sokak gösterimi.....	58
Şekil 7.5: 2 boyutlu kümeleme ile 3 boyutlu kümeleme sonucunda 3 küme için aynı sonucun elde edildiğinin gösterilmesi.	59
Şekil 7.6: LPI 3 boyutlu k-ortalamlar kümeleme sonucunda 3 ve 20 küme gösterilmesi.	61
Şekil 7.7: LPI dağılım histogramı.	62
Şekil 7.8: Christchurch LPI (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.	63
Şekil 7.9: LSN 3 boyutlu k-ortalamlar kümeleme sonucunda 3 ve 20 küme gösterilmesi.	65
Şekil 7.10: LSN dağılım histogramı.	65
Şekil 7.11: Christchurch LSN (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.	66
Şekil 7.12: Christchurch bölgesi için deprem sonrası meydana gelen yer yüzeyi hasarları (NZGD).	67
Şekil 7.13: S _{VID} 3 boyutlu k-ortalamlar kümeleme sonucunda 3 ve 20 küme gösterilmesi.	69
Şekil 7.14: S _{VID} dağılım histogramı.	70
Şekil 7.15: Christchurch S _{VID} (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.	71
Şekil 7.16: LPI 3 boyutlu bulanık c-ortalamlar kümeleme sonucunda 2 ve 3 küme gösterilmesi.....	73
Şekil 7.17: LPI dağılım histogramı.	73
Şekil 7.18: Christchurch LPI (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.	74
Şekil 7.19: LSN 3 boyutlu bulanık c-ortalamlar kümeleme sonucunda 2 ve 3 küme gösterilmesi.	75
Şekil 7.20: LSN dağılım histogramı.	76
Şekil 7.21: Christchurch LSN (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi	76
Şekil 7.22: S _{VID} 3 boyutlu bulanık c-ortalamlar kümeleme sonucunda 2 ve 3 küme gösterilmesi.....	78
Şekil 7.23: Christchurch S _{VID} (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.	79
Şekil 7.24: Christchurch S _{VID} (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.	79

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 5.1: Siltli ve Killi Kumların Sıvılaşılabirliği (Andrews ve Martin, 2000).	30
Tablo 5.2: MSF'in deprem büyüklüklerine bağlı düzeltme değerleri (Seed, 1983).	39
Tablo 5.3: LPI değerlerine göre sıvılaşma durumları (Iwasaki vd., 1982).	41
Tablo 6.1: Calinski-Harabasz ve Davies-Bouldin indeksleri sonuçlarının gösterimi.	50
Tablo 6.2: Geçerlilik indeksleri sonuçlarının gösterimi.	51
Tablo 7.1: 3 boyutlu LPI veri setinin k-ortalamlar kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.	61
Tablo 7.2: 3 boyutlu LSN veri setinin k-ortalamlar kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.	64
Tablo 7.3: 3 Kümenin LSN dağılımı.	66
Tablo 7.4: 3 boyutlu S _{VID} veri setinin k-ortalamlar kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.	69
Tablo 7.5: 3 boyutlu LPI veri setinin bulanık c-ortalamlar kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.	72
Tablo 7.6: 3 boyutlu LSN veri setinin bulanık c-ortalamlar kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.	75
Tablo 7.7: 3 boyutlu S _{VID} veri setinin bulanık c-ortalamlar kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.	78

SEMBOL LİSTESİ

M_w	:	Moment Magnitudü
ϵ_v	:	Hacimsel Yoğunlaşmış Şekil Değişirme
S_{VID}	:	Hesaplanmış Hacimsel Tek Boyutlu Oturma
k	:	Küme Sayısı
n	:	Veri Sayısı
IR	:	Etki Aralığı
SF	:	Çarpım Faktörü
R_a	:	Komşuluğu Belirten Pozitif Katsayı
R_b	:	Komşuluğu Tanımlayan Yarıçap
u_{ij}	:	i.Elemanın j. Kümeye Üyelik derecesi
m	:	Bulanıklık İndeksi
c_i	:	i.Kümenin Küme Merkezi
c_j	:	j.Kümenin Küme Merkezi
SS_B	:	Kümeler Arası Varyans
SS_W	:	Kümeler İçi Varyans
σ_i	:	i.Küme Elemanlarının i.Küme Merkezine Uzaklığı
σ_j	:	j.Küme Elemanlarının j.Küme Merkezine Uzaklığı
v_i	:	i.Kümenin Küme Merkezi Vektörü
v_j	:	j.Kümenin Küme Merkezi Vektörü
w_n	:	Doğal Su Muhtevası
w_c	:	Su Muhtevası
a_{max}	:	Yüzeydeki En Büyük Yatay Gerilme
σ_v	:	Toplam Düşey Gerilme
σ'_v	:	Efektif Düşey Gerilme
r_d	:	Gerilme Azaltma Katsayısı
z	:	Sıvılaştırılabilir Katman Kalınlığı
τ_{max}	:	Maksimum Kayma Gerilmesi
$N_{1,60,Cs}$	:	İnce Dane Oranına Göre Düzenlenmiş SPT-N Değeri
I_c	:	İnce Dane Oranı
q_c	:	Koni Uç Direnci
$q_{c,1}$	:	Düzeltilmiş Koni Uç Direnci
D_r	:	Rölatif Yoğunluk
γ_{max}	:	Maksimum Kayma Deformasyonu

KISALTMA LİSTESİ

AC	: Asbetli Çimento
ADI	: Alternatif Dunn İndeksi
AI	: Aries Şiddeti
AR	: Kabul Oranı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CE	: Sınıflandırma Entropisi
CES	: Canterbury Deprem Dizisi
CGD	: Canterbury Geoteknik Veri Tabanı
C-H	: Calinski-Harabasz İndeksi
CI	: Dökme Demir
CRR	: Tekrarlı Dayanım Oranı
CSR	: Tekrarlı Gerilim Oranı
D-B	: Davies-Bouldin İndeksi
DI	: Dunn İndeksi
F-S	: Fukuyama ve Sugeno İndeksi
FC	: İnce Dane İçeriği
FS_L	: Sıvılaşma Güvenlik Katsayısı
LPI	: Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi
LPI_{ISH}	: Modifiye Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi
LSN	: Sıvılaşma Şiddeti Katsayısı
MBIE	: Yeni Zelanda Yapım, Yenilik ve İstihdam Bakanlığı
MMI	: Mercalli Şiddeti
MPC	: Düzenlenmiş Bölümleme Katsayısı
MSF	: Deprem Düzeltme Katsayısı
NZGD	: Yeni Zelanda Geoteknik Veri Tabanı
PBMF	: Pakhira İndeksi
PC	: Bölümleme Katsayısı
PGA	: En Büyük Yer İvmesi
PGD	: En Büyük Yer Deformasyonu
PGV	: En Büyük Yatay Yer Hızı
PL	: Sıvılaşma Olasılığı
PVC	: Polivinil Klorür
SA	: Spektral İvme
SI	: Spektrum Şiddeti
X-B	: Xie-Beni İndeksi

ÖNSÖZ

İlk olarak çıktığım bu zorlu yolda her zaman yanımda olan annem Firdevs Melek HASIRCI'ya binlerce teşekkür ederim. Lisansüstü hayatımın bu ilk adımında yol gösteren ve çalışmalarım için desteğini hiç esirgemeyen tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Engin NACAROĞLU ve Prof. Dr. Selçuk TOPRAK'a teşekkür ederim. Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Gürhan GÜRARSLAN, Doç. Dr. Özgür BAŞKAN, Dr. Öğr. Ü. Bayram Tanık ÇAYCI ve Araş. Gör. Ali KALKAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim. Sağladığı katkılar için jüri üyesi Doç. Dr. Devrim ALKAYA'ya teşekkür ederim. Lisansın ilk senesinden bu yana yanımda olan arkadaşım Muhammet CEYLAN'a teşekkür ederim. Her türlü manevi desteği sağlayan oda ve yol arkadaşlarıma ayrıca teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

18. yüzyılın ikinci yarısında İngiltere’de başlayan Sanayi Devrimi ile üretim yapısında ve ekonomide büyük gelişmeler yaşanmıştır. Bu dünyayı değiştiren devrimle birlikte kaynakların kullanılması ve iletilmesi önemli bir konu olmuştur. Gelişen ve güvenilirliği artan ticaret ortamıyla ülkeler tüketim ve hayati önemi olan maddelerin ticaretine başlamışlardır. Bunun için hava, kara ve su yolları kullanılmıştır. Böylece köprü, viyadük, kanal gibi yapıların sayısı hızla artmaya başlamıştır. Hayati önem taşıyan içme suyu gibi maddelerin taşınmasında tüm ulaşım çeşitlerinin yanında, aslında hepsinden daha eski olan, yer altından borular yardımıyla taşınması da kullanılmıştır. Böylece altyapı sistemleri de gelişmeye başlamıştır. Altyapı; bir yapı, kent ve ülke için gerekli olan yol, su, elektrik, gaz, kanalizasyon, peyzaj, çevre ve ulaşım gibi donanımların tümünü içerir. Altyapı, malların üretim sürecinden pazara ulaşmasını sağlamakta; okul ve hastane gibi toplumsal hizmetlerle bir ülkedeki temel yaşam gereksinimlerinin karşılanmasına yardımcı olmaktadır. Altyapı sistemlerinin devamlılığını sürdürebilmesi oldukça önemlidir. Örneğin içme suyu taşıyan altyapı sistemlerinde üretim ve inşaa hatası olması şehir için hem manevi hem maddi kayıp oluşturur. Aynı zamanda deprem ile oluşabilecek hasarlar, deprem sonrası hayatın akışının ve ihtiyaç sahiplerine yardım sağlanabilmesi için devamlılığı etkilerse kayıpları ve zararları artırabilir.

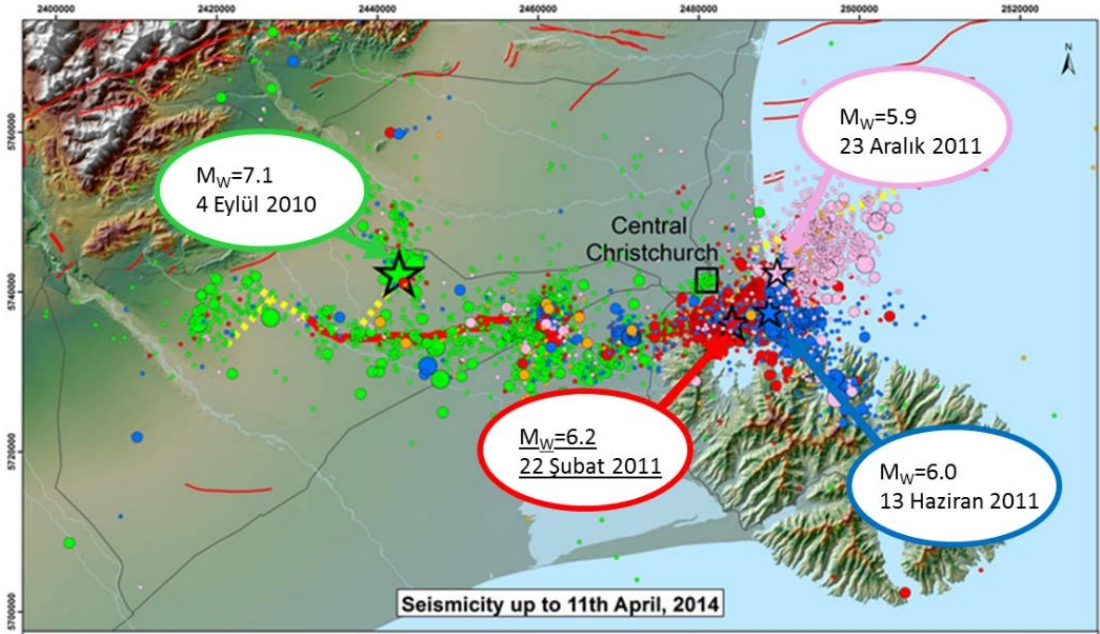
Dünyada her yıl yaklaşık olarak 500 bin depremin meydana geldiği düşünülürse deprem dünyanın önemli bir gerçeğidir. Depremlerin yapılar üzerinde etkileri geçmişten günümüze devam etmektedir. Can ve mal kaybında yer üstü yapıları önemli olduğu kadar deprem sonrasında hayat akışının sürdürülebilmesi için yer altı yapılarının da önemi büyüktür. İletim hatlarının, meydana gelen depremler sonrasında aldıkları hasarlar bu yapıların hayati önemini tekrar göstermiştir. Geçmişte meydana gelen depremlerin alt yapılara verdiği hasarlar incelendiğinde deprem sonrası altyapı sistemlerinin devamlılığını sürdürememesinin olumsuz sonuçlar doğurduğu gözlemlenmiştir.

Bu tez kapsamında bu olumsuz sonuçlardan yola çıkarak istatistik biliminin yardımıyla araştırmalar yapılacaktır. Tek cümle ile özetlenecek olursa; sismik etkiler altında meydana gelen boru hasarları, kümeleme analizi ile değerlendirilecektir. Kümeleme analizlerinin boru hatlarında kullanımı ilk olarak Toprak vd. (2009) alışmasında görölmüştür. Ancak ilgili çalışmada 1994 Northridge depreminde Los Angeles şehrinde oluşan boru hasarları kullanılmıştır. 22 şubat 2011 Christchurch depreminde 1994 Northridge depremine göre çok üştün bir veri seti elde edildiğinden bu çalışmada daha detaylı analizler mümkün olabilmüştir.

Tez kapsamında 2010 yılında başlayan, literatüre Canterbury Deprem Dizisi (CES) olarak geçen depremlerden 22 şubat 2011 tarihinde meydana gelen 6.2 büyüklüğündeki Christchurch depremi sonucu oluşan boru hasarları kullanılacaktır. Veri seti olarak dünyada az sayıda araştırmacıda bulunan, ilk kez 2012 yılında daha sonra 2014 yılında O'Rourke vd.'lerinin çalışmasında kullanılmış, en güncel hali ile Bouziou (2015)'in çalışmasında kullanılan boru hasarları veri seti kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR

Tez kapsamında literatür çalışması deprem boru hasarları ilişkileri, kümeleme analizi ve deprem etkisiyle oluşan altyapı sistemlerinde meydana gelen boru hasarlarının kümeleme analizleri ile değerlendirilmesi olarak üç ana başlık şeklinde yapılmıştır. Yeni Zelanda'yı 4 Eylül 2010'da başlayan, literatüre "Canterbury Deprem Dizisi (CES)" olarak geçmiş bir dizi deprem ve artçılar etkilemiştir. Bu depremlerin en büyükleri; 4 Eylül 2010'da $M_w=7.1$, 22 Şubat 2011'de $M_w=6.2$, 13 Haziran 2011'de $M_w=6.0$ ve 23 Aralık 2011'de $M_w=5.9$ büyüklüğünde gerçekleşmişlerdir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Canterbury depremlerinin tarih, büyüklük ve merkez üsleri (GNS, 2013).

Günümüzde halen bu depremler devam etmektedir. Örneğin; 6 Ocak 2015'te meydana gelen $M_w=6.0$, 14 Şubat 2016'da meydana gelen $M_w=5.7$. Bunlara ek çok sayıda artçı deprem de meydana gelmiştir. Yapılan çalışmalarda, Canterbury Deprem Dizisi (CES) sonrası Canterbury Geoteknik Veri Tabanı (CGD, 2012) olarak oluşturulan ve Yeni Zelanda Geoteknik Veri Tabanı (NZGD) olarak değiştirilen veri tabanından kısmen yararlanılmıştır. Dünyada geoteknik ile ilgili en geniş veri tabanı olarak kabul edilen Yeni Zelanda Geoteknik Veri Tabanı (NZGD), yeni ve mevcut geoteknik bilgiler için aranabilir bir depo sağlayan çevrimiçi bir veri tabanıdır.

NZGD, öncelikle geoteknik bilgilere daha verimli erişim sağlamayı amaçlamaktadır. Doğal afetlerin iyileştirilmesine yardımcı olmak, felaket kayıplarının modellenmesi ve arazi planlama ve düzenleme süreçlerinin bilgilendirilmesi gibi daha stratejik amaçlar için de kullanılabilir. Veri tabanı içerisinde yaklaşık 36000 konik penetrasyon deneyi (CPT) sonucu bulunmaktadır. Bu tez kapsamında kullanılan sıvılaşma şiddeti parametreleri bu veri tabanında yer almaktadır.

Toprak (2011a) çalışmasında 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) ya da ilgili alan içinde boru hatlarının bazı zayıflıklara (örneğin boru malzemesi, boru çapı ve boru ekleri) sahip olduğuna işaret etmektedir.

Boru hasarları üzerinde deprem etkisine en büyük örnek 1994 Los Angeles, Northridge depremi sonrası gözlenen hasarlar verilebilir. 1994 Northridge depremi, 1906 San Fransisco depreminden beri A.B.D.'de bir su dağıtım şebekesinde meydana gelen en büyük zararı vermiştir. Başka bir önemli örnek Yeni Zelanda'da 2010 yılında başlayan ve arka arkaya gerçekleşen depremlerdir. Canterbury Deprem Dizisi (CES) ile içme ve atık su sistemleri çok ciddi hasarlar görmüştür. 22 Şubat 2011 Christchurch depreminde yaklaşık 1730 km içme suyu şebekesinde 1502 hasar gözlemlenmiştir. 22 Şubat 2011 Christchurch depremi ile ilgili son yıllarda altyapı konusunda birçok çalışma yapılmıştır (O'Rourke vd. 2012, 2014, Bouziou 2015, Nacaroglu 2017, Toprak vd. 2018a). Benzer şekilde 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı su dağıtım sistemi çok büyük oranda zarar görmüştür (Toprak vd. 2007).

Yakın tarihten başka bir örnek ise Japonya'da meydana gelen depremlerdir. 2011 yılının Mart ayında Japonya, arka arkaya gerçekleşen 3 büyük ve farklı merkez üssüne bağlı birbirini tetiklemiş olan depremlerle sarsılmış, aralarında en büyüğü olan; yerel saatle 14:46'da 11 Mart 2011 tarihinde, Kuzey Amerika ve Pasifik levhalarının sınırındaki yitim zonu üzerinde bindirme faylanması sonucu meydana gelen depremin büyüklüğü 9.0 olarak kayda geçmiştir. Japonya tarihinin en büyük depremi ve dünya tarihinin ise beşincisi olan bu depremin merkez üssü Japonya'nın Tohoku bölgesinin doğu kıyısında, yerin 24,4 km derinliğinde okyanusta meydana

gelmiştir. Şehirdeki 4458 km uzunluğundaki su boru hattı ağı ve 1064 lokasyon büyük hasar görmüştür (Wakamatsu, 2016). Bu hasarların yanında yüksekliği 37.9 m'ye ulaşan tsunamiye, buna bağlı gelişen nükleer santral sızıntısına sebep olmuştur. Ancak etkileri sadece deprem bölgesine değil dünyaya da ulaşmıştır; deprem sonrası dünya eksenini yaklaşık olarak 10 cm kaymış ve buna bağlı dünya dönüş hızının artmasıyla günlerin kısalmasına sebep olduğu belirtilmiştir.

JP Morgan ve Chase&Co, Canterbury Deprem Dizisinin (CES) ekonomik olarak 1994 Northridge ve 2011 Tohoku depreminden sonra dünyanın en zarar veren üçüncü depremi olduğunu belirtmiştir (Tonkin ve Taylor, 2019). Dünyanın en zarar verici depremi olarak Tohoku ardından Northridge depremi gelmektedir. Örnekler; Kobe 1995, ChiChi 1999, Şili 2010, Emilia 2012 gibi depremlerle çoğaltılabilir. Örnekler çoğaltılabilir ancak sonuçları genellikle aynı olacaktır. Bu sebeple birçok araştırmacı bu doğabilecek olası sonuçları engelleyebilmek amacıyla hasarların nelere bağlı geliştiklerini bulabilmek için çalışmalar yapmışlardır.

Geçmişte meydana gelen depremlerden sonra iletim hatlarında meydana gelen hasarlar incelendikçe konunun öneminin farkına varılmış ve araştırmacılar konuya yeni yaklaşımlar sunmaya başlamıştır. Bu yaklaşımlar literatürde her deprem sonrası elde edilen yeni veriler ve bilgiler ile genişletilmiştir. Genel ismi ile hasar ilişkileri adı verilen analizler literatürde birçok araştırmacı tarafından çeşitli deprem verileri kullanılarak hasar ilişkileri ortaya konulmuştur.

Deprem sonrası iletim hatlarında meydana gelen hasarlar üzerine çalışmış araştırmacılardan bazıları meydana gelen hasarlar ile deprem parametreleri üzerine ilişkiler geliştirerek hasar ilişkilerini ortaya koymuştur. İletim hatlarında meydana gelmiş hasarların depremin hangi parametresinden hangi derecede etkilendiğinin belirlenebilmesi; mevcut yapının deprem esnasında davranışını anlamlandırmaya ve gelecek olası depremlere karşı tasarımı geliştirme açısından önemlidir. Hasar ilişkilerinde kullanılan birçok parametre vardır; en büyük yatay yer hızı (PGV), onarım oranı (RR), en büyük yer ivmesi (PGA), spektrum şiddeti (SI), boru cinsi, boru çapı, boru yaşı gibi.

Son yıllarda büyük yerleşim bölgelerini etkileyen depremlerde, altyapı sistemlerinin performansı coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak değerlendirilmiş

ve hangi faktörlerin bu performansı etkilediği araştırılmıştır (Toprak ve Yoshizaki, 2003). 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, sorgulanması ve sunulması fonksiyonlarını yerine getiren donanım, yazılım personel, coğrafi veri ve yöntemler bütünüdür. O'Rourke vd. (1998) ve Toprak (1998), 1994 Northridge depremi sonrası coğrafi bilgi sistemine (CBS) dayanan metotlarla Los Angeles Su ve Elektrik İdare'sine (LADWP) ve Metropolitan Su Kuruluşu'na (MWD) ait suyu şehir içerisine ulaştıran iletim borularında MMI, PGA, PGV, en büyük yer deformasyonu (PGD), arias şiddeti (AI), spektral ivme (SA) ve spektrum şiddeti (SI) parametreleriyle hesaplanan hasar ilişkileri sonucunda PGV ve onarım oranı arasındaki ilişkinin en iyi sonucu verdiğini ortaya koymuşlardır. Buna ek olarak Toprak vd. (2007) ve Nacaroglu (2010) çalışmalarında boru hasar ilişkilerini kapsamlı incelemişlerdir.

Literatürde boru hasarı ve bazı deprem parametrelerini kullanan çalışmalar Katayama vd.'nin (1975) en büyük yer ivmesi (PGA) parametresini kullanmasıyla başlamaktadır. Katayama vd. (1975), asbestli çimento (AC), ve dökme demir (CI) tipi boruların hasar ilişkilerini altı farklı deprem senaryosu için PGA parametresini kullanarak hesaplamıştır. Isoyama ve Katayama (1982) çalışmasında yine PGA parametresini kullanarak boru hasar ilişkileri analizleri yapmıştır. Eguchi (1983 ve 1991) çalışmalarında AC tipi boruların polivinil klorür (PVC) tipi borulara göre, PVC tipi boruların ise CI ve kaynaklı çelik borulara göre daha kırılğan olduğunu mercalli şiddetini (MMI) kullanarak onarım oranı yardımıyla ortaya koymuştur. Barenberg (1988) çalışmasında en büyük yer hızı (PGV) parametresini boru hasar ilişkilerinde ilk kez kullanmıştır. Ballantyne vd. (1990), Barenberg'in (1988) boru hattı hasar verisini genişletip MMI parametresini kullanarak yeni bir kırılğanlık ilişkisi sunmuştur. O'Rourke ve Ayala (1993), Barenberg'in (1988) hasar veri noktalarını kullanarak PGV parametresiyle yeni bir hasar ilişkisi hesaplamıştır. 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.

Altyapı sistemlerinin hasar ilişkilerinde yukarıda verilen parametrelere göre sıvılaşma şiddeti parametrelerinin kullanılması çok daha yeni bir çalışma konusudur. Toprak vd. (2017), sıvılaşma şiddeti parametrelerinden sıvılaşma şiddeti katsayısı (LSN) ile depremlerden hasar gören boru hatları arasındaki ilişkiyi literatürde ilk defa ortaya koymuşlardır. Nacaroglu (2017) çalışmasında çeşitli sıvılaşma şiddeti parametrelerini kullanarak boru hasarlarıyla ilişkileri hakkında kapsamlı bir çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında literatürde sıvılaşma şiddeti parametreleri ile boru hasarları arasında ilk kez hasar ilişkileri ortaya konulmuştur. Sıvılaşma potansiyel indeksi (LPI), sıvılaşma şiddeti katsayısı (LSN) ve hacimsel bir boyutlu oturma (S_{VID}) parametreleri ile AC, CI ve PVC tipi borular için ilişkiler geliştirmiş ve Canterbury depremleri için boru hasarlarında diğer parametrelere göre LSN parametresinin en iyi sonuçları verdiğini literatüre geçirmiştir. Toprak vd. (2019) çalışmasında sıvılaşma şiddeti parametreleri kullanarak boru hasarları tahmini yapmıştır. Çalışmada AC borular için onarım oranları (RR), CI boru RR'lerinden yaklaşık 1,5 kat, PVC borulardan 5 kat daha büyüktür. AC ve CI boruları en çok 22 Şubat 2011 depreminden etkilenmiş, PVC ve MPVC (modifiye polivinil klorür) boruları önemli ölçüde daha iyi performans göstermiştir. Nispeten yüksek r^2 değerleri, CI, AC ve PVC boru hatları için RR ve DPR olarak ifade edilen boru hattı hasarı ile LPI'ya karşı AC boru hattı hasarı için korelasyon hariç, RR olarak ifade edilen boru hattı hasarı arasındaki güçlü ilişkiyi göstermektedir.

İlk olarak 1930'lu yılların sonunda Casagrande tarafından öne sürülen sıvılaşma kavramı inşaat mühendisliği için önemli bir olgudur. Çalışmasında; herhangi bir kum yatağının boşluk oranı kritik boşluk oranından büyük ise deprem sırasında hacminin azalacağını, kum yatağı drenajsız ise boşluk suyu basıncının yükselip sıvılaşma riskini artıracığı sonuçlarını ortaya koymuştur. 1979 yılında Seed depremin büyüklüğünün ve şiddetinin, zemin türünün ve yapısal özelliklerinin, sismik karakteristiklerinin ve diğer arazi özelliklerinin de sıvılaşma potansiyelinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. 1971 yılında Seed ve Idriss tarafından geliştirilen basitleştirilmiş sıvılaşma analizi (FS_L)'in derinlere inildikçe farklılıklar göstermesi tek başına yetersiz olduğunu ortaya koymuş ve 1978 yılında sıvılaşma potansiyeli

indeksini (LPI) Iwasaki geliştirmiştir. Iwasaki (1978) önerdiği LPI parametresinin Ishiara (1985a)'in limit eğrisi kullanılarak türetilen modifiye sıvılaşma potansiyel indeksi LPI_{Ish} , seğilmiş sıvılaşma vaka geğmişlerini kullanarak değerlendirilir. 2013 yılında Tonkin ve Taylor tarafından hacimsel yoğunlaşmış şekil değiştirme (ϵ_v) ve derinliğe bağlı sıvılaşma şiddeti katsayısı (LSN) geliştirilmiştir. Yoğunlaştırılmış şekil değiştirmelerini tahmin etmek için geliştirilen bir diğer parametre hacimsel bir boyutlu oturma (S_{VID}) Yeni Zelanda Yapım, Yenilik ve İştihad Bakanlığı (MBIE 2012), Idriss ve Boulanger'ın tetikleme metodu ile normalize edilmiş uç direnci ve gúvenlik katsayısını kullanır.

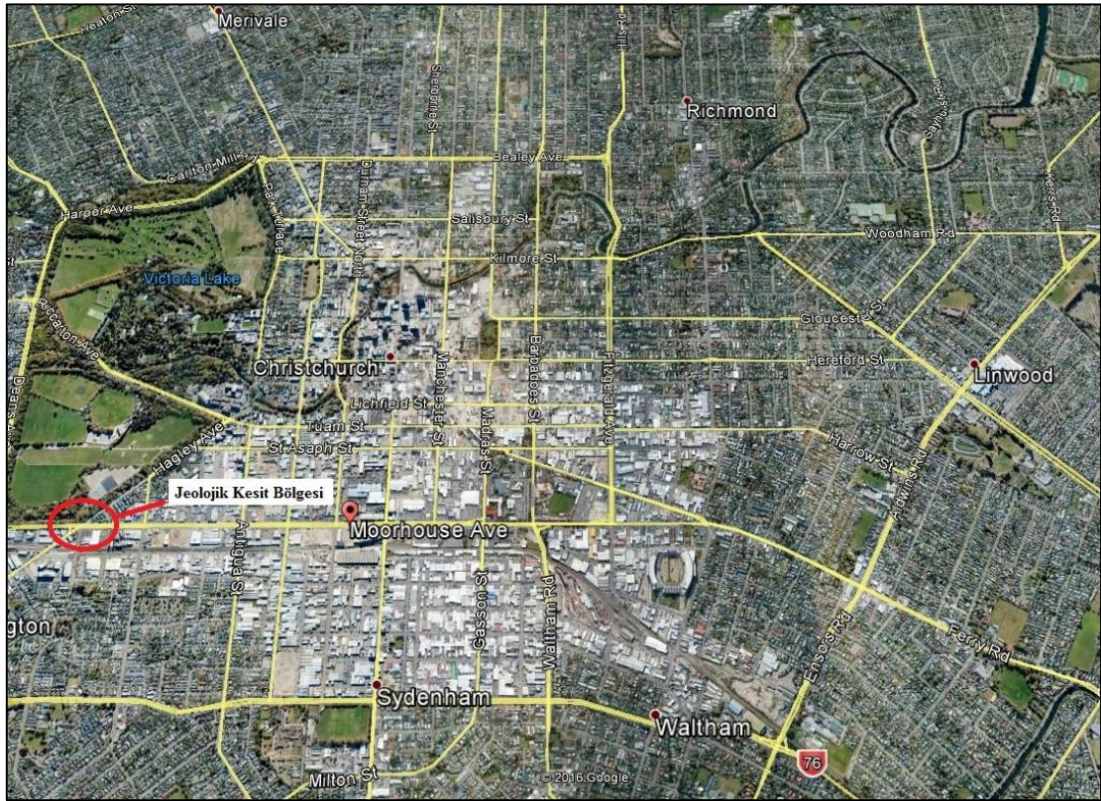
CPT bazlı sıvılaşma tetikleme metotlarının ilerlemesine katkılar 1980'lerin başından beri devam etmektedir ve tetikleme prosedúrleri arasında Shibata ve Teparaksa (1988), Stark ve Olson (1995), Suzuki vd. (1995, 1997), Robertson ve Wride (1997, 1998), Olsen (1997), Moss ve Seed (2006) ve Idriss and Boulanger (2004, 2008) yer alır. Literatúrede ise yaygın olarak Robertson ve Wride (1997, 1998), Moss ve Seed (2006), Idriss ve Boulanger (2008), Boulanger ve Idriss (2014) tetikleme metodu yaklaşımları kullanılmaktadır. Literatúrede ise yaygın olarak Robertson ve Wride (1997, 1998), Moss ve Seed (2006), Idriss ve Boulanger (2008), Boulanger ve Idriss (2014) tetikleme metodu yaklaşımları kullanılmaktadır. Tonkin ve Taylor (2013 ve 2015), Van Ballegooy vd. (2015a) sözü geçen dört farklı sıvılaşma tetikleme metodu ile hesaplanan sıvılaşma şiddeti parametreleriyle analizler yapmış sonuç olarak Boulanger ve Idriss (2014) metodunun en iyi sonuçları verdiğini ortaya koymuşlardır.

Van Ballegooy vd. (2015a) ęalıřmalarında Boulanger ve Idriss (2014) sıvılaşma tetikleme metodunun Canterbury Deprem Dizisi (CES) depremleri sonucu meydana gelen sıvılaşmanın gözlemlenen boyutu ve şiddetinin, sıvılaşma olasılığı %15 ve %85 için öngörúlen aralıktta olduğunu göstermiştir. Doğu Christchurch için gözlemlenen arazi hasarı, genel olarak sıvılaşma olasılığı %15 ile, Batı Christchurch için ise sıvılaşma olasılığı %85 ile daha yakın korelasyon göstermektedir. Deterministik sıvılaşma analizlerinde ise sıvılaşma olasılığı %15 kullanılmaktadır.

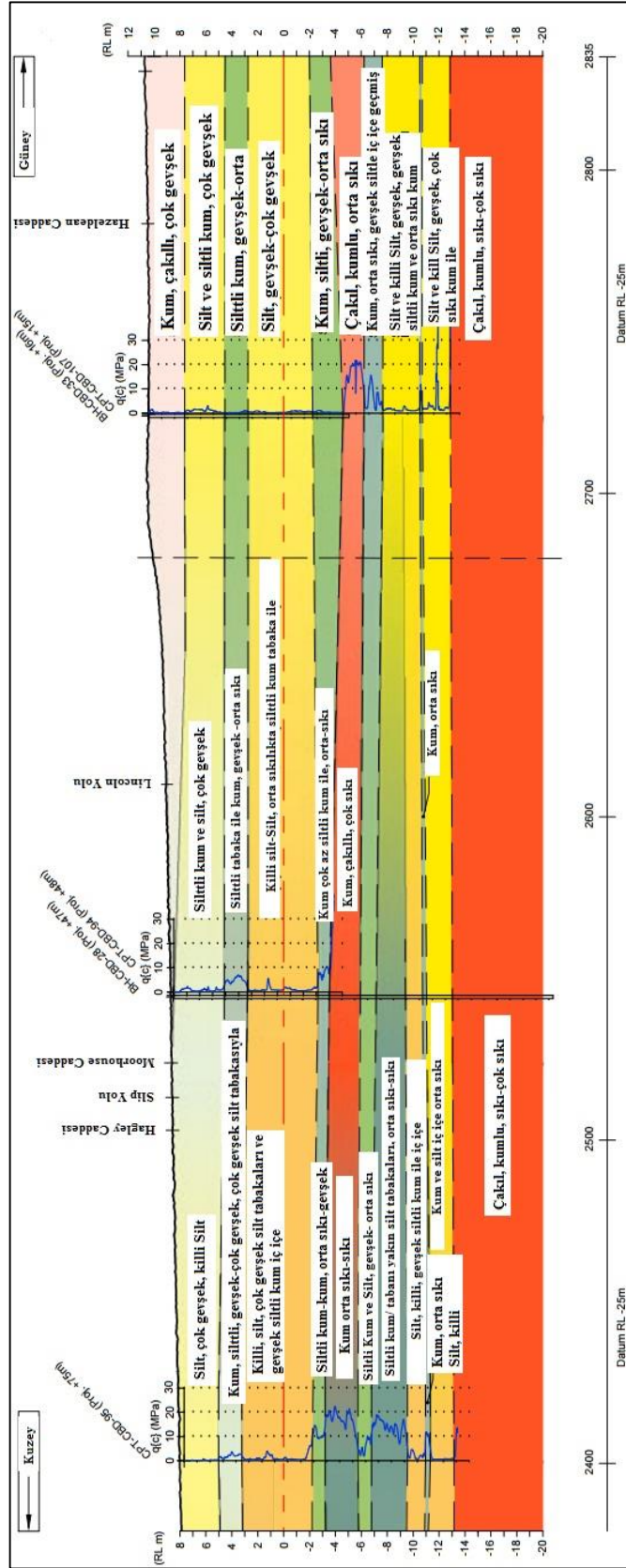
Tonkin ve Taylor (2013 ve 2015) ęalıřmalarında Canterbury Deprem Dizisini (CES) ęok kapsamlı bir şekilde inceleyip değerlendirmişlerdir. Farklı sıvılaşma şiddeti parametrelerini kullanarak Canterbury Deprem Dizisinin (CES) tetiklediği

sıvılaşma olayını hem arazi hem de bina temelleri ile ilişkilendirip araştırmışlardır. Sıvılaşma şiddeti parametreleri olarak sıvılaşma potansiyel indeksi (LPI), modifiye sıvılaşma potansiyel indeksi (LPI_{İsh}), hacimsel bir boyutlu oturma (S_{V1D}) parametrelerini kullanmışlar ayrıca sıvılaşma şiddeti katsayısını (LSN) literatüre katarak LSN'nin Canterbury Deprem Dizisini (CES) için kullanılabilir en uygun sıvılaşma şiddeti parametresi olduğunu ortaya koymuşlardır.

Sıvılaşmanın gerçekleşebilmesi ancak uygun zemin şartlarının mevcudiyeti ve yeterli sismik hareketin olması ile mümkün olabilir. Christchurch şehrinden zemin şartlarının belirlenebilmesi için çok sayıda arazi ve laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Örneğin halihazırda 36000 CPT ve 19000 standart penetrasyon deneyi (SPT) deney sonuçları mevcuttur. Bu deney sonuçlarına göre çıkarılan jeolojik kesit Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Şekil 2.3 örnek CPT kesiti göstermektedir.

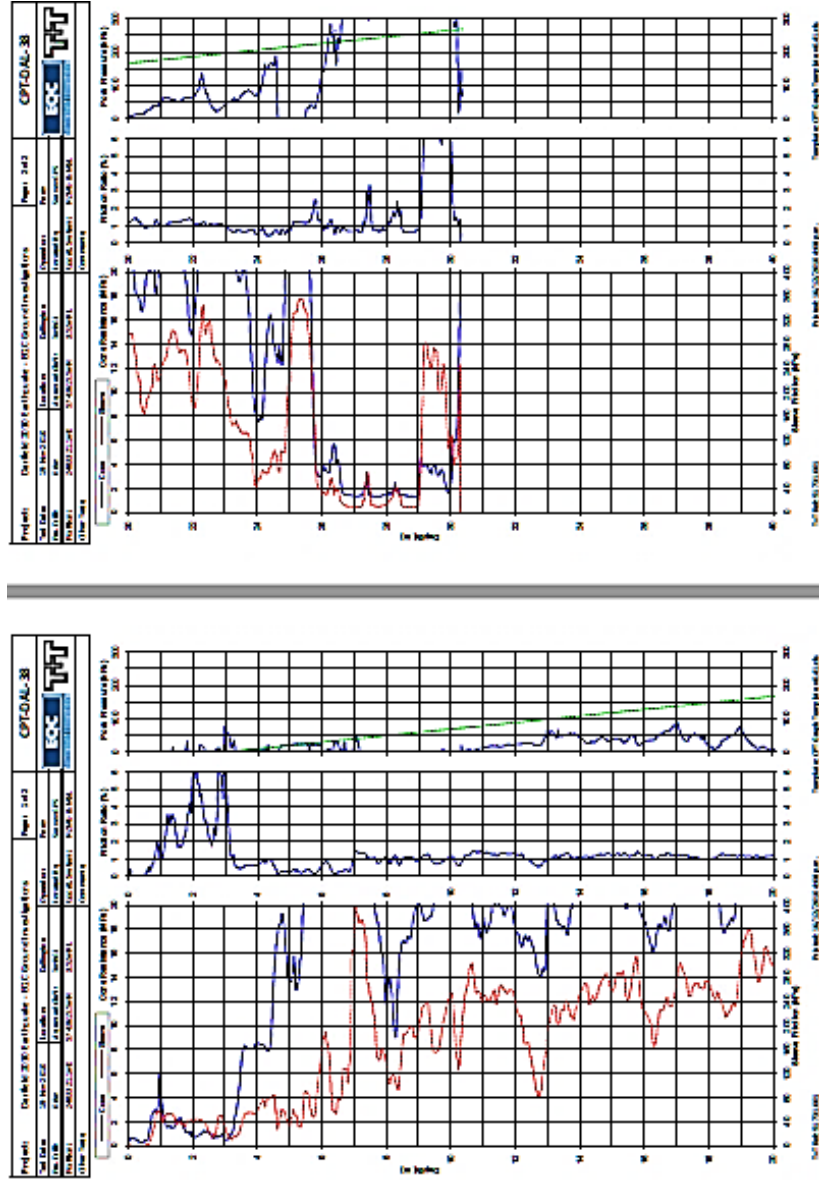


Şekil 2.2: Christchurch şehrinde örnek bir jeolojik kesit bölgesi (Tonkin ve Taylor 2011).



Şekil 2.3: Christchurch şehri jeojik kesit örneği (Tonkin ve Taylor 2011).

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi bölge içerisinde sıvılaştırılabilir zemin olarak değerlendirilen kum-çakıl zemin bulunmaktadır. Verilen jeolojik kesit için Christchurch bölgesi için tipik bir kesit olduğu söylenebilir. CPT, yumuşak-gevşek ince daneli zeminlerden çakıl boyutundaki iri daneli zeminlere kadar olan kesit boyunca karşılaşılan zemin tabakalarında zemin özelliklerinin örselenme olmaksızın yerinde belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Tek bir CPT deneyi ile uç direnci, yeraltı su seviyesi, boşluk basıncı, zemin sıkılığı, içsel sürtünme açısı gibi parametreler elde edilebilmektedir. Bu çalışmada da en yaygın kullanılan CPT sonuçları ile elde edilmiştir. Şekil 2.5 ve Şekil 2.4'de bölge içerisinden alınmış örnek CPT ve SPT deneyi sonuçları gösterilmiştir.

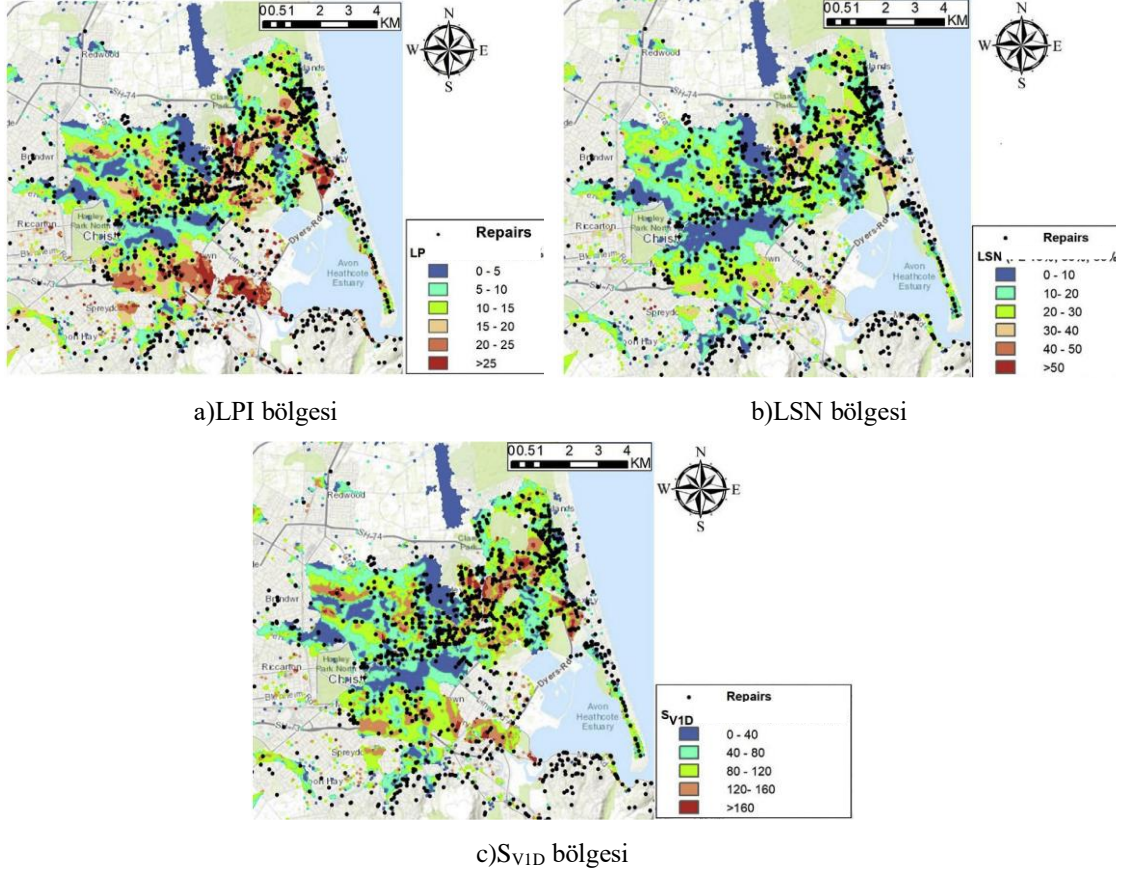


Şekil 2.4: Christchurch bölgesinde yapılmış CPT örneği- "CPT_1115_Rep01" (NZGD).

Golder Associates		Location: 65 Dallington Terrace, Dallington				Reference: GA_19663					
Soil Borehole Log		Grid: -				Datum: MSL					
		North (m): 5181980 East (m): 1573396 Elevation (m): 4 Hole Depth (m): 15.45 Orientation (°): - Inclination (°): 90									
Formation	Graphic Log	Description	USC	Mixture Condition	Consistency / Density	Water Observations	Depth	TCR (%)	SPT N-value	Samples & In-situ Testing	Backfill & Installation
		ASPHALT Sandy fine to coarse GRAVEL trace of silt. Brown, lightly packed, moist, rounded to subrounded, well graded. Sand to fine to coarse. (RLL)	GAV	M	H		0.00				
		SILT. Grey, soft, moist, low plasticity. Silty fine SAND. Brown, loose, moist, poorly graded.		M	L		0.00				
		Silty fine SAND, trace organic (rootlets). Brown, very loose, wet, uniform grading.	SM	W	VL		1.00			SPT N = 2 Depth: 1.00m Type: Raymond Split Spoon 0, 0/0, 1, 0, 1 450 mm penetration	
		Silt. Grey mottled orange brown, stiff, moist, low plasticity.		M			2.00			SPT N = 14 Depth: 2.00m Type: Raymond Split Spoon 1, 2/3, 4, 3, 4 450 mm penetration	
		Becoming wet from 3 metres.	ML	W	St		3.00			SPT N = 11 Depth: 3.00m Type: Raymond Split Spoon 1, 2/2, 3, 3, 3 450 mm penetration	
		Silty fine SAND. Grey, loose, saturated, uniform grading.	SM		L		4.00			SPT N = 7 Depth: 4.00m Type: Raymond Split Spoon 0, 1/1, 1, 2, 3 450 mm penetration	
		Sandy fine to coarse GRAVEL trace silt. Brownish grey, medium density, saturated, rounded to sub rounded, well graded. Sand to fine to coarse.			MD		5.00			SPT N = 20 Depth: 5.00m Type: Raymond Split Spoon 1, 5/5, 5, 5, 12 450 mm penetration	
		Becoming dense from 6 metres.	GAV		D		6.00			SPT N = 46 Depth: 6.00m Type: Raymond Split Spoon 7, 17/15, 12, 10, 11 450 mm penetration	
		Fine to medium SAND, minor silt. Grey, very dense, saturated, well graded.		S	VD		7.00			SPT N = 50+ Depth: 7.00m Type: Raymond Split Spoon 3, 5/11, 11, 14, 14 450 mm penetration	
		Becoming dense with a trace of fine to medium rounded gravel from 8 m to 10 m.	SW		D		8.00			SPT N = 37 Depth: 8.00m Type: Raymond Split Spoon 2, 5/8, 8, 11, 11 450 mm penetration	
							9.00			SPT N = 38 Depth: 9.00m Type: Raymond Split Spoon 5, 7/8, 8, 11, 10 450 mm penetration	
							10.00			SPT N = 34 Depth: 10.00m Type: Raymond Split Spoon 5, 9/8, 8, 8, 8 450 mm penetration	
							10.80				
Driller Speight		Logger MS		Remarks Elevation and coordinates are estimates only. SPT Hammer Efficiency Coefficient = 0.95 Groundwater level measured on completion of borehole.							
Drill Method / Rig HQ3/CS1000		Checked By RJS		Borehole logged in accordance with NZGS guideline "Field description of soil and rock" 2005 Vane tests completed in accordance with NZGS guideline							
Start Date 30/01/2014		End Date 30/01/2014		Hole Depth 15.45m Page 1 of 2							

Şekil 2.5: Christchurch bölgesinde yapılmış SPT örneği- "Borehole_50569_Rep01" (NZGD).

Bu çalışmada Toprak vd. (2019) çalışmasında elde edilen sıvılaşma şiddeti parametreleri LPI, LSN ve SV1D'nin %15 olasılığa göre hesaplanmış sıvılaşma bölgeleri kullanılmıştır.



Şekil 2.6: Christchurch bölgesin için $PL=0.15$ 'e göre hazırlanmış sıvılaşma şiddeti parametreleri bölgeleri (Toprak vd. 2019).

Kümeleme analizi veri matrisinde yer alan elemanları benzerliklerini veya farklılıklarını kullanarak alt gruplara ayırır. Çok sayıda veriyi anlamlı kümeler haline getirip incelemeyi sağlar. Tez kapsamında yapılacak olan kümeleme analizleri için çıkarımlı, k-ortalamlar ve bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritmaları kullanılmıştır. 1992 yılında Yager ve Filev tarafından dağ kümeleme algoritması geliştirilmiştir. 1994 yılında Chiu bu algoritmayı geliştirerek ortaya çıkarımlı kümeleme algoritmasını çıkarmıştır. Her bir elemanı potansiyel birer küme merkezi olarak görür ve her bir elemanın etrafındaki elemanların, yoğunluğuna bağlı küme merkezleri olabilme istatistiğini hesaplar. En yalın algoritma olan k-ortalamlar kümeleme algoritması, 1967 yılında J.B. MacQueen tarafından geliştirilmiş bilinen en eski kümeleme algoritmalarından biridir. Bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması 1973 yılında ilk olarak Dunn tarafından ortaya atılmıştır. 1981 yılında Bezdek tarafından geliştirilmiştir. K-ortalamlar ve bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritmalarının her ikisi de tez kapsamında Öklid uzaklık bağıntısı kullanarak hesaplanmıştır.

Kümeleme analizleri sonrası veri seti için en uygun küme sayısının ne olması gerektiği sorunu ve sorusu ortaya çıkmaktadır. Bunun üzerine birçok araştırmacı tarafından farklı yöntemler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Miligan ve Cooper (1985) hiyerarşik kümeleme algoritmaları için küme içi homojenliğe göre 30 adet geçerlilik indeksinin bir karşılaştırmasını sunarken Dimitriadu (2002) ikili veri durumunda 15 adet geçerlilik indeksinin karşılaştırmasını sunmuştur. Literatürde geçerlilik indeksleri ile ilgili kapsamlı çalışmalara örnek olarak bu iki çalışma verilebilir.

Kümeleme analizleri sonucunda elde edilen kümeler, optimum küme değerinin bulunabilmesi için k-ortalamlar ve bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması için geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiştir. Bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması için kullanılan geçerlilik indeksleri için literatürde çok sayıda karşılaştırmalı çalışmalar yapılmıştır. Optimum küme sayısı için, Nacaroğlu (2010) geçerlilik indekslerini farklı veri setleri üzerinde test etmiş ve özellikle bölümlenme katsayısı (MPC), Pakhira İndeksi (PBMF) ve Fukuyama-Sugeno indeksinin diğerlerine göre en iyi sonuçları verdiğini göstermiştir. Zhang vd. (2008) çok daha fazla veri seti üzerinde yaptığı analizlerde benzer sonuçları göstermiş, ancak yukarıdaki indekslerden düzenlenmiş bölümlenme katsayısı (MPC) ve Pakhira indeksi (PBMF)'nin diğerlerinden daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Birçok farklı geçerlilik indeksi yöntemlerinden tez kapsamında, k-ortalamlar kümeleme algoritması için iki, c-ortalamlar kümeleme algoritması için sekiz adet geçerlilik indeksi kullanılmıştır.

İlk olarak kümeleme analizinin altyapı sistemlerinde kullanılmasını Toprak vd. (2009, 2010a) ve Nacaroğlu (2010) gerçekleştirmiştir. Toprak vd. (2010b) çıkarımlı kümeleme analizi, Toprak vd. (2011b) ise bulanık kümeleme analizi ve çıkarımlı kümeleme analizi yöntemleri üzerinde durarak bu yöntemlerin gömülü boru hatlarındaki deprem hasarlarının değerlendirilmesinde ve hasarların yoğun olduğu alanların belirlenmesinde kullanılması hususunu incelemiştir. Toprak vd. (2018b) çalışmasında çıkarımlı, bulanık c-ortalamlar ve k-ortalamlar kümeleme yöntemleri boru hasarlarının analizlerinde kullanılmıştır. Geçerlilik indeksleri kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen optimum küme sayılarının düşük olduğu durumlar toprak kaymaları, sıvılaşma, zemin büyütmesi gibi bölgesel sorunlara ve

zemin problemlerine işaret ederken, yüksek olduğu durumlar kötü zemin şartları, boru zayıflıkları gibi yerel sorunlara işaret etmekte olduğunu göstermiştir. Son yıllarda gittikçe popülerleşen kümeleme analizi bilimin örüntü tanıma, veri madenciliği, yapay zekâ, görüntü işleme, biyoloji gibi alanlarında da kullanılmaktadır. Kümeleme analizi birçok farklı algoritma kullanılarak yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında bu algoritmalarından k-ortalamlar, bulanık c-ortalamlar ve çıkarımlı kümeleme algoritmaları kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında mevcut deprem verisi kullanarak boru hatlarında meydana gelen hasarların konumları kümeleme algoritmaları kullanarak 2 boyutlu kümeleme analizleri ile değerlendirilmiştir. Geçerlilik indeksleri ile optimum küme sayıları hesaplanmıştır. Elde edilen optimum kümeler ile gözlemlenen yoğun hasar bölgeleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen optimum kümelerin zemin parametreleri ile ilişkisinin araştırılabilmesi için hasarların konum verilerine ek olarak zemin parametresi olan sıvılaşma şiddeti parametreleri eklenmiştir. Sıvılaşma şiddeti parametreleri eklenmiş hasar konum verileri 3 boyutlu kümelendirilmiştir. Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile incelenmiş ve optimum kümeler içi ve arası uyum aranmıştır.

3. KÜMELEME ANALİZİ

Kümeleme analizi; bir veri setinde yer alan elemanları anlamlı şekilde alt veri gruplarına ayırmayı sağlayan istatistiksel bir uygulamadır. Kümeleme analizi, veri matrisinde yer alan elemanları benzerliklerini veya farklılıklarını kullanarak alt gruplara ayırır. Çok sayıda veriyi anlamlı kümeler haline getirip incelemeyi sağlar. Kümeleme analizi sonucunda elde edilen kümelerde elemanlar arası bağıntının yüksek, kümeler arası ise düşük olması beklenir. Bir başka deyişle elde edilen her bir küme kendi içerisinde homojenlik gösterirken kümeler arası heterojenlik oldukça yüksektir. Kümeleme analizi birçok farklı algoritma kullanılarak yapılabilmektedir. Bunlara örnek olarak tek bağlantı kümeleme, tam bağlantı, ortalama bağlantı, McQuitty bağlantı, küresel bağlantı, medyan bağlantı, Ward bağlantı kümeleme algoritmaları verilebilir. Bu tez kapsamında kümeleme algoritmalarından çıkarımlı, bulanık c-ortalamlar ve k-ortalamlar kümeleme algoritmaları kullanılmıştır.

Tez kapsamında kullanılan bulanık c-ortalamlar ve k-ortalamlar kümeleme algoritmalarının en önemli adımı küme sayısına karar verilmesidir. Küme sayısının karar verilmesinde kullanılacak olan veri seti $n \times p$ şeklinde matris olarak düşünülür. n değeri için kabaca $n \times p$ veri matrisinin satır sayısı, p değeri için ise sütun yani değişken sayısı denilebilir. Yapılan çalışmada maksimum küme sayısı bu denklem gözetilerek belirlenmiştir. Ancak 1974 yılında Everitt; bu denklemin büyük örneklemli araştırmalarda kullanılması durumunda sağlıklı sonuçlara ulaşmanın zorlanacağını belirtmiştir.

$$k = \sqrt{\frac{n}{2}} \quad (3.1)$$

Burada k , küme sayısıdır.

3.1 Kümeleme Analizi Algoritmaları

Bu tez kapsamında 3 farklı kümeleme algoritması kullanılmıştır. Bunlar; çıkarımlı, bulanık c-ortalamlar ve k-ortalamlar kümeleme algoritmasıdır.

3.1.1 Çıkarımlı Kümeleme Algoritması

Çıkarımlı kümeleme algoritması hızlı ve etkili bir yöntemdir. 1992 yılında Yager ve Filev tarafından dağ kümeleme algoritması geliştirilmiştir. 1994 yılında Chiu bu algoritmayı geliştirerek ortaya çıkarımlı kümeleme algoritmasını çıkarmıştır. Her bir elemanı potansiyel birer küme merkezi olarak görür ve her bir elemanın etrafındaki elemanların, yoğunluğuna bağlı küme merkezleri olabilme istatistiğini hesaplar. Etrafında daha fazla eleman olan bir elemanın küme merkezi olması etrafında daha az eleman olan elemandan daha yüksektir.

Çıkarımlı kümeleme algoritması için öncelikle anlatıldığı gibi etrafında daha çok eleman olan elemanı küme merkezi olarak seçmekle başlanır. Daha sonra diğer küme merkezini bulabilmek için seçilen küme merkezinin etrafındaki elemanlar kaldırılır. Bu işlemler her bir eleman bir kümeye dâhil olana dek sürdürülür.

Chiu tarafından 1994 yılında geliştirilen her bir elemanın potansiyel değeri için etrafındaki elemanların yoğunluğuna göre kullanılan denklem;

$$P_i = \sum_{j=1}^n e^{-4*\|x_i-x_j\|^2/R_a^2} \quad (3.2)$$

Burada R_a , komşuluğu belirten pozitif katsayı, x_i ve x_j ise veri seti içerisinde yer alan elemanlardır. Her bir eleman için bu işlem yapıldıktan sonra en yüksek potansiyele sahip eleman ilk küme merkezi olarak seçilir.

Çıkarımlı küme algoritması içerisinde önem teşkil eden 4 faktör vardır. Bunlar; etki aralığı (IR), çarpım faktörü (SF), kabul oranı (AR) ve çıkarma oranı (RR)'dir. Bu parametreler için çarpım faktörü 1'den büyük olmalı, çıkarma oranı kabul oranından küçük olmalıdır. Parametreler bu sınırlar içerisinde değiştirilerek kümeler ve küme merkezleri değişimi gözlenir.

$$S_F = R_a/R_b \quad (3.3)$$

Çarpım faktörünün (S_F) hesabında iki değişken kullanılır; R_a ve R_b . R_a (3.2) eşitliğinde açıklanmıştır. R_b ; komşuluğu tanımlayan yarıçaptır. Küme merkezlerinin

birbirine yakın olmasından kaçınabilmek için R_b, R_a 'dan büyük seçilerek işlemlere başlanması tavsiye edilir.

3.1.2 Bulanık C-Ortalamalar Kümeleme Algoritması

Kümeleme yöntemleri arasında en yaygın kullanılanı ve bilinenlerinden olan bulanık c-ortalamalar algoritmasıdır. 1973 yılında ilk olarak Dunn tarafından ortaya atılmıştır. 1981 yılında Bezdek tarafından geliştirilmiştir. Bulanık kümeleme algoritmasında her elemanın her bir kümeye 0 ile 1 arasında üyelik dereceleri vardır. Diğer bir deyişle her bir elemanın her bir kümeye üyeliği bulunmaktadır. Her bir elemanın her kümeye olan üyelik dereceleri toplamı 1'i verir. Her eleman en yüksek üyelik derecesiyle bağlı olduğu kümeye atanır. Bulanık kümeleme algoritmasında Öklid uzaklık denklemi kullanılır. Öklid uzaklık denklemi;

$$d(x_i, x_j) = \left(\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2 \right)^{1/2} = \|x_i - x_j\| \quad (3.4)$$

Bulanık kümeleme yönteminde kullanılan amaç fonksiyonu;

$$J_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c u_{ij}^m \|x_i - c_j\|^2 \quad (3.5)$$

Burada u_{ij} , i. elemanın j. kümeye üyelik derecesi; m, 1'den büyük bir reel sayı olmak üzere bulanıklık indeksi; c_j , j. kümenin küme merkezidir. Hesap her bir küme sayısı için tekrarlanarak güncellenir.

Algoritmanın başlatılabilmesi için rasgele bir üyelik matrisi kullanılır. Daha sonra ise küme merkezi vektörleri hesaplanır. Merkez için kullanılan denklem;

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m x_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \quad (3.6)$$

Hesaplanan merkezlere göre tekrar her bir eleman için üyelik dereceleri hesaplanır. Rasgele seçilmiş üyelik dereceleri ile hesaplanan yeni üyelik dereceleri karşılaştırılır. Üyelik derecesi hesabı için denklem;

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{\|x_i - c_j\|}{\|x_j - c_j\|} \right)^{\frac{2}{1-m}}} \quad (3.7)$$

Aşağıda verilen şart sağlandığında işlemler durdurulur.

$$\max\{|u_{ij}^{(k+1)} - u_{ij}^k|\} < \varepsilon \quad (3.8)$$

Verilen şartta k, tekrarlanma sayısı; ε , 0 ile 1 arasında değişen sonlandırma ölçütüdür. Bu algoritma ile J_m minimuma yaklaşır.

3.1.3 K-Ortalamalar Kümeleme Algoritması

Bilinen en eski kümeleme algoritmalarından biri olan k-ortalamalar kümeleme algoritması 1967 yılında J.B. MacQueen tarafından geliştirilmiştir. Bulanık kümeleme algoritmasından farklı olarak her bir elemanın her bir kümeye üyelik derecesi yoktur. Bir eleman bir kümeye ya aittir ya değildir. Başka bir deyişle her bir elemanın üyelik derecesi ya 1'dir ya 0.

Algoritmaya başlamak için ilk adımda k adet küme belirlenir. Elemanlar arasından seçilmiş k adet eleman küme merkezlerini oluşturduğu varsayılarak her bir elemanın bu k adet elemana olan uzaklıkları hesaplanır. Uzaklık hesabı için (3.4) eşitliğinde verilmiş olan Öklid uzaklık formülü bu algoritma için de kullanılır.

Her bir elemanın k kadar seçilmiş elemanlara hesaplanan uzaklıkları değerlendirilir. Hangi eleman seçilmiş küme merkezine daha yakınsa o eleman seçilmiş merkezin kümesine atanır. “k” kadar seçilmiş kümeler hesaplanarak bulunduktan sonra yeni küme merkezleri hesaplanır ve uzaklıklar tekrar hesaplanır. Küme elemanları değişmediği zaman hesap durdurulur.

4. GEÇERLİLİK İNDEKSLERİ

‘Bölüm 3’ içerisinde anlatılan kümeleme algoritmalarında işlemler küme sayıları baştan seçilerek yapılmaktadır. Küme sayısı seçilirken küme sayısı, pratikte minimum 1, maksimum veri sayısına kadar seçilebilir. Bu tez kapsamında eşitlik (3.1) kullanılarak maksimum küme sayısına karar verilmiştir. En küçük 2, en büyük küme sayısı eşitlik (3.1) kullanarak bulunan küme sayısı seçilerek kümeleme işlemleri yapılır. Bu süreçten sonra ise ortaya veri seti için en uygun küme sayısının ne olması gerektiği sorunu ve sorusu çıkmaktadır. Bunun üzerine birçok araştırmacı tarafından farklı yöntemler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Miligan ve Cooper (1985) hiyerarşik kümeleme algoritmaları için 30 iç geçerlilik indeksinin bir karşılaştırmasını sunarken Dimitriadu (2002) ikili veri durumunda 15 geçerlilik indeksinin karşılaştırmasını sunmuştur. Bu farklı yöntemlerden k-ortalamalar kümeleme algoritması için iki, c-ortalamalar kümeleme algoritması için sekiz adet geçerlilik indeksi kullanılmıştır.

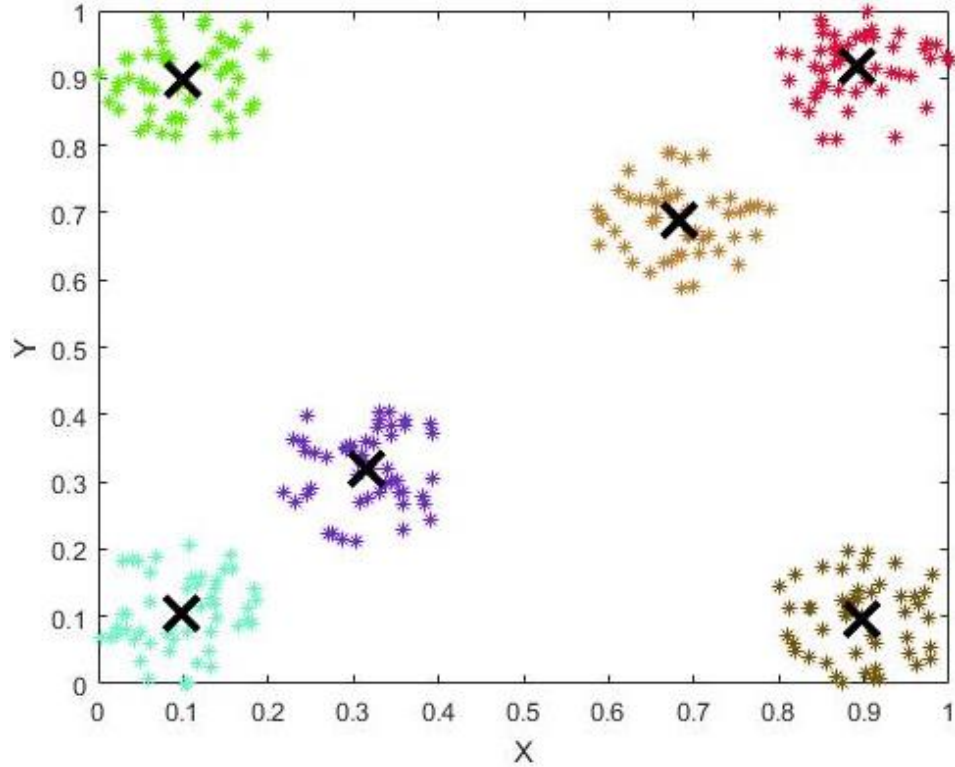
Geçerlilik indekslerinin çalışma prensibi küme içi benzerliklere veya kümeler arası farklılıklara dayanmaktadır. Küme içi benzerlik prensibine göre çalışan indeksler, Calinski-Harabasz indeksinde olduğu gibi varyans hesabından faydalanmaktadır. Kümeler arası farklılık prensibine göre çalışan indeksler, Sınıflandırma Entropisi’nde (CE) olduğu gibi küme bölümünün bulanıklığını ölçmekten faydalanmaktadır.

4.1 K-Ortalamalar Kümeleme Algoritması İçin Geçerlilik İndeksleri

K-ortalamalar kümeleme algoritması için optimum küme sayısına karar verebilmek için literatürde yer alan iki yöntem kullanılmıştır. Bunlar; Calinski-Harabasz (C-H) ve Davies-Bouldin (D-B) indeksi. Saitta (2008) çalışmasında k-ortalamalar kümeleme algoritması için geçerlilik indekslerinden Calinski-Harabasz, Davies-Bouldin, Dunn, Silhouette, Maulik-Ban, Maulik-Bandyopadhyay, Geometric indekslerini yapay ve gerçek veri setleri üzerinde karşılaştırmıştır. Uyumsuz, iç içe geçmiş veri setleri, çok boyutlu olarak hazırlanmış ve normalize edilerek

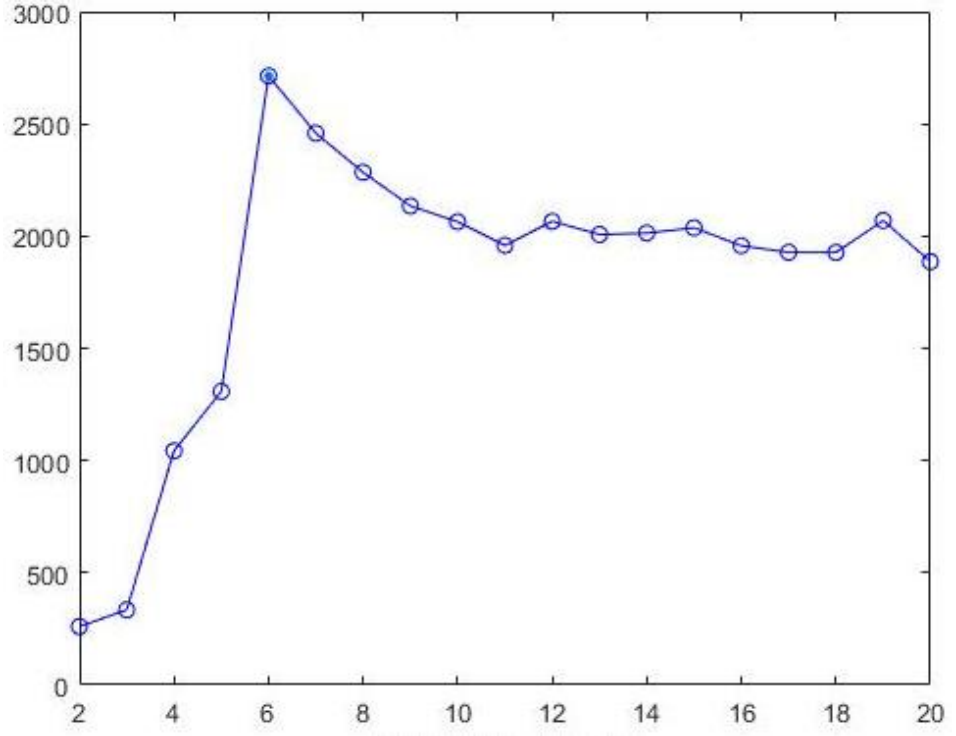
kullanılmıştır. Çalışma sonucunda Calinski-Harabasz ve Davies-Bouldin grupları yakalamış ancak en iyi sonuçları Calinski-Harabasz vermiştir.

Tez kapsamında kullanılacak olan Calinski-Harabasz ve Davies-Bouldin indeksleri, karşılaştırılması için yapay veri seti üzerinde test edilmiştir. Yapay veri seti k-ortalamlar kümeleme algoritması kullanarak 6 küme halinde Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

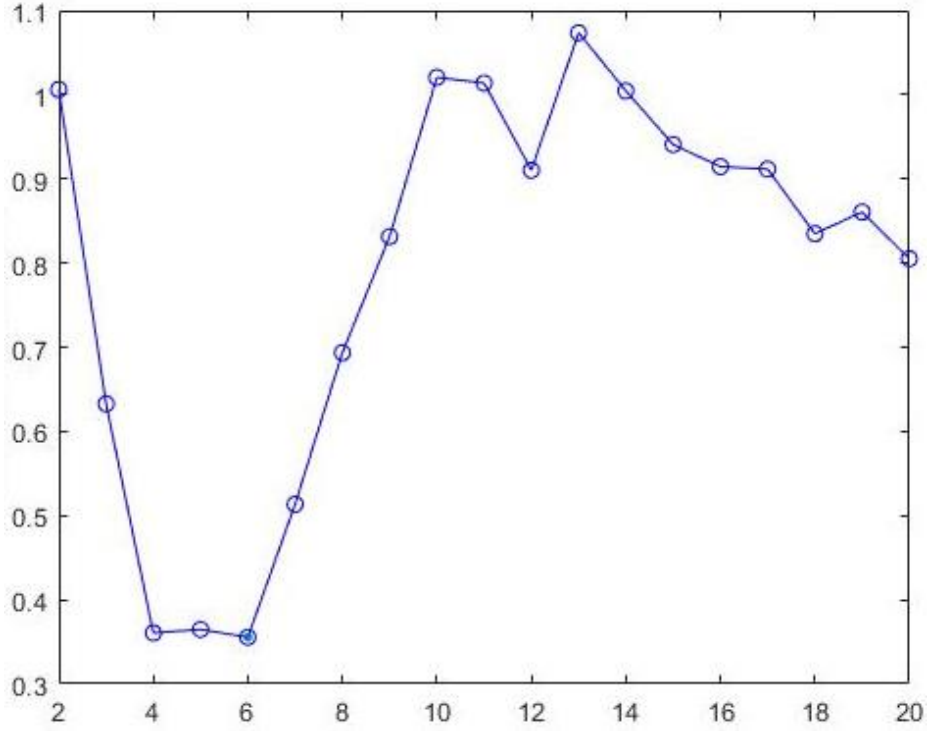


Şekil 4.7: Yapay veri setinin (data6.2) k-ortalamlar kümeleme algoritması ile 6 küme halinde gösterimi.

Veri seti minimum 2 ve maksimum 20 küme olacak şekilde k-ortalamlar kümeleme algoritması için seçilen geçerlilik indeksleri Calinski-Harabasz ve Davies-Bouldin’e göre değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar grafik halinde Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’te gösterilmiştir. İndeksler 6 kümeyi yakalamışlardır. Ancak Davies-Bouldin indeksi sonuçları incelendiğinde 4 ve 5 kümenin 6 kümeyle yaklaşık değerde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8: Yapay veri setinin (data6.2) Calinski-Harabasz İndeksi sonuçları.



Şekil 4.9: Yapay veri setinin (data6.2) Davies-Bouldin İndeksi sonuçları.

4.1.1 Calinski-Harabasz İndeksi (C-H)

1974 yılında geliştirilen Calinski-Harabasz indeksinin en büyük değerindeki küme sayısı optimum küme sayısı olarak kabul edilir.

$$C - H = \frac{N - k}{k - 1} * \frac{SS_B}{SS_W} \quad (4.1)$$

Burada SS_B , kümeler arası varyans; SS_W , kümeler içi varyanstır.

4.1.2 Davies-Bouldin İndeksi (D-B)

1979 yılında geliştirilen Davies-Bouldin indeksinde minimum yapan küme sayısı optimum küme sayısını vermektedir.

$$D - B = \frac{1}{k} \sum_{i=1, j \neq i}^k \max \frac{\sigma_i + \sigma_j}{d(c_i, c_j)} \quad (4.2)$$

σ_i , i. küme elemanlarının küme merkezine (c_i) uzaklığı; σ_j , j. küme elemanlarının küme merkezine (c_j) uzaklığı ve $d(c_i, c_j)$, küme merkezleri arasındaki uzaklığı göstermektedir.

4.2 Bulanık C-Ortalamalar Kümeleme Algoritması İçin Geçerlilik İndeksleri

Bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması için optimum küme sayısına karar verebilmek için literatürde yer alan sekiz yöntem kullanılmıştır. Bunlar; bölümlenme katsayısı, MPC, sınıflandırma entropisi, Xie-Beni indeksi, Fukuyama ve Sugeno indeksi, Pakhira indeksi (PBMF), Dunn ve alternatif Dunn indeksi.

4.2.1 Bölümlene Katsayısı (PC)

1974 yılında Bezdek tarafından geliştirilen indeks kümeler arası üst üste kesişme miktarını ölçer. Bölümlene katsayısının en büyük değerindeki küme sayısı optimum küme sayısı olarak kabul edilir.

$$PC = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^2 \quad (4.3)$$

4.2.2 Sınıflandırma Entropisi (CE)

1974 yılında Bezdek tarafından geliştirilen indeks küme bölümünün bulanıklığını ölçer. Sınıflandırma entropisinin en küçük değerindeki küme sayısı optimum küme sayısı olarak kabul edilir.

$$CE = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n u_{ij} \log(u_{ij}) \quad (4.4)$$

4.2.3 MPC İndeksi

1996 yılında Dave tarafından geliştirilen indeks PC indeksinin küme sayısına göre düzenlenmesi ile bulunmuştur. MPC indeksinin en büyük değerindeki küme sayısı optimum küme sayısı olarak kabul edilir.

$$MPC = 1 - \frac{c}{c-1} * (1 - PC) \quad (4.5)$$

4.2.4 Xie-Beni İndeksi (X-B)

1991 yılında Xie-Beni tarafından geliştirilen indeks toplam değişimin oranını kümeler ve kümelerin ayırımı beraberinde ölçmeyi amaçlamıştır. Xie-Beni indeksinin en büyük değerindeki küme sayısı optimum küme sayısı olarak kabul edilir.

$$X - B = \frac{\sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^m \|x_j - v_i\|^2}{n \min_{ij} \|x_j - v_i\|^2} \quad (4.6)$$

Eşitlikte yer alan v_i , i . küme merkezi; m , pozitif katsayıdır.

4.2.5 Fukuyama ve Sugeno İndeksi (F-S)

1989 yılında Fukuyama ve Sugeno tarafından geliştirilen indeksin küçük değerlere yaklaştığı değerindeki küme sayısı optimum küme sayısını verir.

$$J_m(U, V) - K_m(U, V) = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^m \|x_j - v_i\|^2 - \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n (u_{ij})^m \|v_i - \bar{v}\|^2 \quad (4.7)$$

Burada v , küme merkezi vektörleridir.

4.2.6 Pakhira İndeksi (PBMF)

2004 yılında Pakhira vd. Tarafından geliştirilen indeks PBM indeksinin düzenlenmesi ile bulunmuştur. İndeksin en büyük değerindeki küme sayısı optimum küme sayısı olarak kabul edilir.

$$PBMF = \frac{1}{c} * \frac{E_1}{J_m} * D_c \quad (4.8)$$

$$E_1 = \sum_{j=1}^n \|x_j - v\| \quad (4.9)$$

$$D_c = \max_{i,j=1}^c \|v_i - v_j\| \quad (4.10)$$

4.2.7 Dunn İndeksi (DI)

1974 yılında Dunn tarafından geliştirilen indeks ilk olarak sıkı ve iyi ayrılmış kümelerin belirlenmesinde kullanılmıştır. Dunn indeksinin en büyük değerindeki küme sayısı optimum küme sayısı olarak kabul edilir.

$$DI = \min_{i \in c} \left\{ \min_{j \in c, i \neq j} \left\{ \frac{\min_{x \in c_i, y \in c_j} d(x, y)}{\max_{k \in c} \left\{ \max_{x, y \in c} d(x, y) \right\}} \right\} \right\} \quad (4.11)$$

4.2.8 Alternatif Dunn İndeksi (ADI)

1974 yılında Dunn tarafından geliştirilen Dunn indeksinin basitleştirilmek amacıyla düzenlenmiş halidir (Shafi vd., 2010). İndeksin en küçük değerindeki küme sayısı optimum küme sayısı olarak kabul edilir.

$$ADI = \min_{i \in c} \left\{ \min_{j \in c, i \neq j} \left\{ \frac{\min_{x \in c_i, y \in c_j} |d(y, v_i) - d(x, v_j)|}{\max_{k \in c} \left\{ \max_{x, y \in c} d(x, y) \right\}} \right\} \right\} \quad (4.12)$$

5. SIVILAŞMA

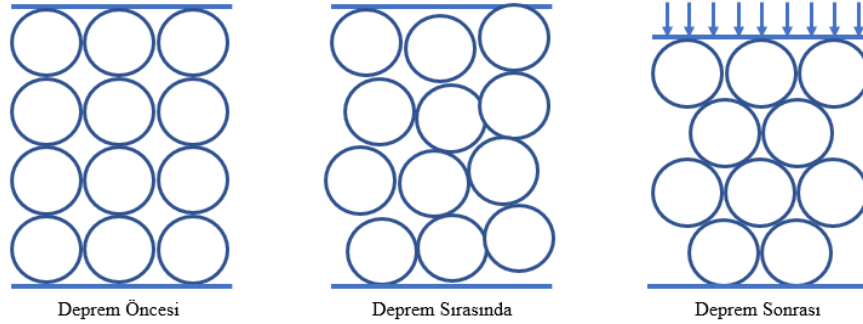
İlk olarak 1930'lu yılların sonunda Casagrande tarafından öne sürülen sivilaşma kavramı inşaat mühendisliği için önemli bir olgudur. Sivilaşmaya karşı duyarlı zeminler; zemin yüzeyine yakın yeraltı su seviyesine sahip yeni çökelmiş veya yerleşmiş gevşek kumlar olarak genellenebilir. Şekil 5.1'de Christchurch depremi sebebiyle oluşan sivilaşmaya spesifik bir örnek görülmektedir. Dikkat edilirse sağ tarafta sivilaşma sebebiyle araçların zemin içine girdiği görülmektedir.



Şekil 5.1: 2011 Christchurch depremi sonrası Kilmore Caddesinde sivilaşma (Trafford, 2011).

Sismik sarsıntı yani deprem çok hızlı meydana geldiği için kohezyonsuz zemin drenajsız yüklemeye maruz kalır. Zeminin deprem anında kayma dalgaları yayılımının neden olduğu devirsel kayma gerilmelerine maruz kalması boşluk suyu basıncının artmasıyla sonuçlanarak gevşek kumun büzülmesine neden olur. Boşluk suyu basıncındaki artış kum kaynamaları veya çamur fişkirmaları olarak ortaya çıkan zemin suyunun zemin yüzeyine doğru akışına neden olur. Deprem sebebiyle yüksek boşluk suyu basınçlarının oluşumu ve zemin suyunun zemin yüzeyine doğru akışı kumda sivilaşmaya neden olur. Sivilaşmanın bu durumu için efektif gerilme sıfıra yaklaşır ve her bir zemin partikülü suda yüzüyormuş (Şekil 5.2) gibi herhangi bir tutucu kuvvet kalmamıştır. Genel olarak deprem etkisinde oluşabileceği gibi yeraltı

su seviyesi artışına bağlı da oluşabilmektedir. Başka bir deyişle sıvılaşma yeraltı su seviyesi altında boşluk suyu basıncı artışına bağlı mukavemet kaybı olarak da tanımlanabilir.



Şekil 5.2: Deprem öncesi, sırasında ve sonrasında dane dağılımı.

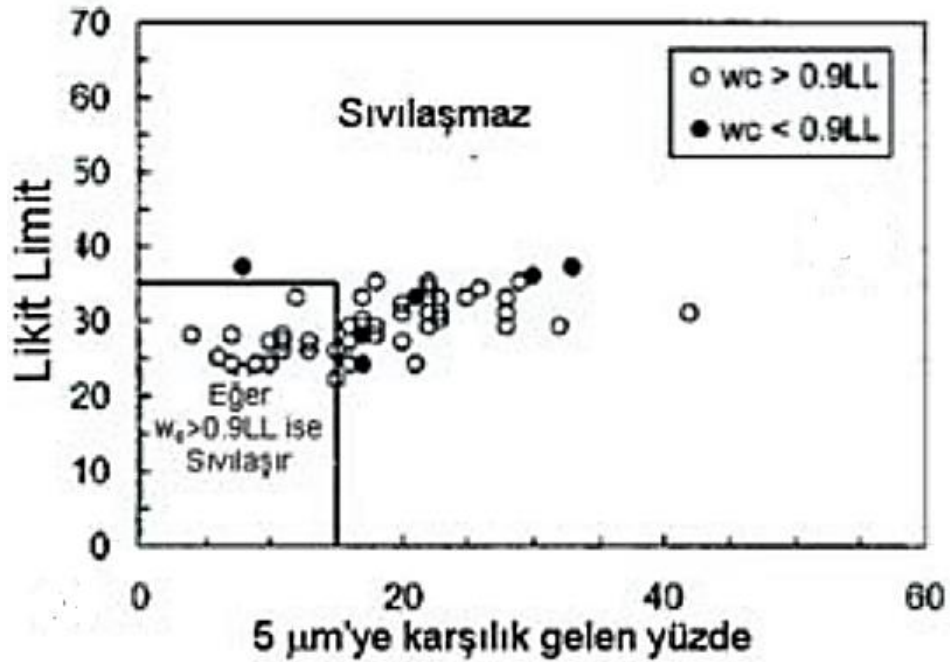
Depremle sıvılaşan gevşek kum çökeli üzerinde yapı var ise ya batar ya da devrilir, gevşek kum sıvılaştığı zaman ise gömülü bulunanlar yüzeye hareket eder. Zemin sıvılaştıktan sonra aşırı boşluk suyu basıncı sönmeye başlar. Zeminin sıvılaşmış halde kalması iki genel ifadeyle açıklanabilir; deprem nedeniyle oluşan sismik sarsıntı süresi ve sıvılaşan zeminin drenaj şartları. Depremden kaynaklanan devirsel kayma gerilmelerinin zemine uygulanması ne kadar uzun ve güçlü ise sıvılaşma durumu da o kadar uzun sürer. Eğer ki sıvılaşan zemin katmanı üstten ve alttan zemin tabakası ile sınırlanmış ise sıvılaşan zeminin aşırı boşluk suyu basıncını sönmeye ve suyun akışını durdurması daha uzun sürer. Sıvılaşmadan sonra zemin daha sıkı davranır. Sıvılaşma; zemin yüzeyinin oturmasına veya temelin taşıma gücü yenilmesine neden olabilir. Ayrıca şevlerde yanal yayılmaya da sebebiyet verebilir.

5.1 Zeminlerin Sıvılaşabilirliği

İlk adım olan sıvılaşma başlama veya tetiklenme olasılığı zemini oluşturan malzemenin kabaca dane dağılımına ve geçirimsizliğine bağlıdır. Zemin sıvılaşmasının belirlenebilmesini ilk olarak zemin profilini oluşturan potansiyel sıvılaşabilir katmanın veya katmanların bulunup bulunmadığı sağlar. İncelenen zeminde böyle bir katman veya katmanlar bulunuyorsa sıvılaşma riskini artıracak etkiler düşünülür. Bunlar kısaca; deprem büyüklüğü ve deprem merkezine mesafe,

jeolojik geçmiş, dane boyutu ve dağılımı, geçirimsizlik, yeraltı suyu seviyesi, boşluk suyu basıncı, zeminin sismik ve dinamik yükler altında ki hareketi olarak özetlenebilir.

Zemin profillerine göre yapılan çalışmalarda sıvılaşabilirliğin, sığ depremlerin büyüklüğü ve deprem merkezine olan mesafesi arasındaki bir eğri ile sınırlandırıldığı gözlenen (Ambraseys, 1988) sıvılaşmanın, sadece kohezyonsuz kumlu zeminlerde olduğu düşünülmesine rağmen son dönemlerde yapılan değerlendirmeler düşük kohezyonlu siltler (Ishihara, 1984-1985b) ve çakıllı zeminlerde (Youd, 1985; Evans ve Seed, 1987) görüldüğü belirlenmiştir. Bu şekilde düşük plastisiteli ince daneli zeminler için sık sık kullanılmış geçmişte hazırlanan Çin Kriterlerine (Wang, 1979) göre sıvılaşma riski olmadığı düşünülen zeminlerin ülkemizde meydana gelen 1999 Marmara Depremi sonrası sıvılaşma görülebilir olması büyük etki yaratmıştır. Çin Kriterlerine (Şekil 5.3) göre ince daneli zeminlerin sıvılaşabilirliği likit limitin 35'ten küçük ve w_c/LL oranının 0.9'dan büyük olması gerekir.



Şekil 5.3: Çin Kriterlerine Göre Sıvılaşma Grafiği (Seed ve Idriss, 1982).

Adapazarı'nda Çin Kriterlerine göre sıvılaşma riski bulunmamasına rağmen sıvılaşma oluşmuş ve yıkıcı etkisi büyük olmuştur. Bu da sıvılaşma riski bulunan

zeminler ve tespit yöntemleri için tekrar düşünmeye ve çalışmalarla geliştirmeye itmiştir (Önalp ve Arel, 2002).

Zeminin sıvılaşması için Çin Kriterlerine göre (Önalp ve Arel, 2002) likit limit oranının %30'dan küçük, kil oranının %10'dan küçük, w_n değerinin likit limitten büyük ve likitlik indisinin %1'den küçük olması yönünde düzenlemelerle uygulanmasını öne sürülmüştür.

Killi zeminler için genel kanı sıvılaşma olmadığı yönündedir. Bazı görüşler ise suya doygun örselenmemiş yumuşak killerin deprem yüklerinden daha fazla etkilendiği yönündedir. Bu da ince daneli, kohezyonlu silt ve kil karışımli zeminlerin sıvılaşp sıvılaşmaması üzerine tartışmalara sebep olmuştur. Silt, kil ve kum karışımli zeminlerin sıvılaşması üzerine yapılan birçok çalışma ve denemelerden (Andrews ve Martin, 2000) Tablo 5.1 oluşturulmuştur.

Tablo 5.1: Siltli ve Killi Kumların Sıvılaşabilirliği (Andrews ve Martin, 2000).

	Likit limit ¹ < 32	Likit limit ¹ ≥ 32
Kil içeriği ² < %10	Sıvılaşabilir.	İleri çalışma gerekir. (plastik kil harici boyutlu dane olduğu düşünülerek-mika gibi)
Kil içeriği ² ≥ %10	İleri çalışma gerekir. (plastik olmayan kil boyutlu dane olduğu düşünülerek-maden veya ocak atığı gibi)	Sıvılaşmaz.
Notlar:		
¹ . Casagrande tipi darbe aleti ile belirlenen likit limit.		
² . Kil 0.002mm'den küçük dane olarak tarif edilebilir.		

5.2 Sıvılaşma Analizi

Deprem etkisiyle granüler zeminde artan boşluk suyu basıncı ve azalan efektif gerilme sonucu zeminin likit davranış sergilemesi ile sıvılaşma meydana gelir. Zeminde meydana gelen veya geleceği öngörülen zemin deformasyonu olan sıvılaşma için bu tez kapsamında konik penetrasyon deneyi (CPT) verileri kullanarak hesaplanmış 3 sıvılaşma şiddeti parametresinden yardım alınacaktır. Bunlar;

sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI), sıvılaşma şiddeti katsayısı (LSN) ve hacimsel bir boyutlu oturma (S_{VID}).

Nacaroğlu'nun 2017 yılında yaptığı çalışmada sıvılaşma şiddeti parametreleri ile boru hasarları arasındaki ilişkileri ilk kez ortaya koyması açısından büyük önem taşıyan sıvılaşma şiddeti parametreleri ile boru hatları arasındaki hasar ilişkileri hesaplanmıştır. LPI, S_{VID} ve LSN parametreleri farklı sıvılaşma tetikleme olasılıkları (%15, %50 ve %85) kullanarak AC, CI ve PVC tipi borular için hasar ilişkileri hesaplanmıştır. AC tipi borularda LPI için %50, S_{VID} için %15 ve LSN için %50 sıvılaşma olasılığında en yüksek hasar ilişkisi elde edilmiştir. CI tipi borularda LPI için %85, S_{VID} için %85 sıvılaşma olasılığında en yüksek hasar ilişkisi elde edilirken LSN için birbirine yakın sonuçlar alınmıştır. PVC tipi borularda LPI için %85, S_{VID} için %85 ve LSN için %85 sıvılaşma olasılığında en yüksek hasar ilişkisi elde edilmiştir. Hasar ilişkileri sıvılaşma şiddeti parametreleri ile kırılgenlikleri sırasıyla; AC, CI ve PVC elde edilmiş olmasıyla doğrulanmıştır.

Sıvılaşma direncinin olasılık analizi, kullanılan deterministik analiz formundan kaynaklanır. Deterministik sıvılaşma değerlendirme yöntemleri, analitik (toprak davranışının ilk prensiplerine dayanan kurucu modeller), deneysel (saha gözlemleri ve laboratuvar testleri) veya ikisinin bir kombinasyonudur. Literatürde çeşitli sıvılaşma tetikleme metotları bulunmaktadır.

5.2.1 Sıvılaşma Tetikleme Metotları

Konik Penetrasyon Deneyi (CPT) ve Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), zeminlerin sıvılaşma özelliklerini değerlendirmek için en yaygın kullanılan iki göstergedir. İlk olarak SPT sıvılaşma korelasyonlarının geliştirilmesinde kullanılmıştır. Özel durumlarda kayma dalga hızı (V_s) testleri, Becker Penetrasyon Deneyleri (BPT) ve büyük penetrometre deneyleri (LPT) kullanılabilir. Sıvılaşmanın olabilmesi için bir tetikleme olması gerekmektedir.

SPT ve CPT tabanlı sıvılaşma tetikleme prosedürlerin geliştirilmesi, sayısız araştırmacının çabaları yoluyla yıllar içinde ilerlemiştir. SPT'ye dayalı korelasyonların mühendislik uygulamaları ile geliştirilmesi, Japonya'da (örneğin,

Kishida 1966) Seed vd. (1984, 1985) tarafından standartları belirlemiştir (Youd vd. 2001). SPT tabanlı prosedürlerde yapılan son güncellemeler, Idriss ve Boulanger (2008, 2010) tarafından yapılanları içermektedir. CPT bazlı prosedürlerin geliştirilmesi, 1978 Tangshan depreminden gözlemler kullanılarak Zhou (1980) tarafından yapılan çalışmalarla başlamıştır. Ardından Seed ve Idriss (1981) ve Douglas vd. (1981) CPT ile kullanım için mevcut SPT bazlı sınıvlaşma tetikleyici çizelgeleri dönüştürmek için SPT ve CPT penetrasyon dirençleri arasındaki korelasyonların kullanılmasını önermiştir. CPT bazlı sınıvlaşmanın ilerlemesine diğer katkılar 1980'lerin başından beri devam etmekte ve tetikleme prosedürleri arasında Shibata ve Teparaksa (1988), Stark ve Olson (1995), Suzuki vd. (1995, 1997), Robertson ve Wride (1997, 1998), Olsen (1997), Moss ve Seed (2006) ve Idriss and Boulanger (2004, 2008). CES için 4 farklı sınıvlaşma tetikleme metodu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bunlar; Robertson ve Wride (1998), Moss ve Seed (2006), Idriss ve Boulanger (2008) ve Boulanger ve Idriss (2014) sınıvlaşma tetikleme metotlarıdır.

5.2.1.1 Robertson ve Wride (1998) Sınıvlaşma Tetikleme Metodu

İlk kez 2001 yılında Youd vd. çalışmasında tetikleme metodu olarak kullanılan Robertson ve Wride (1998) sınıvlaşma tetikleme metodu deprem mühendisliği araştırma ulusal merkezi (National Centre for Earthquake Engineering Research, NCEER) tarafından yapılan konferansta sonuçlanmıştır. Deterministik yöntem kullanılarak CPT verileri normalize edilmektedir.

5.2.1.2 Moss ve Seed (2006) Sınıvlaşma Tetikleme Metodu

Moss ve Seed (2006) sınıvlaşma tetikleme metodu 2003 yılında Seed vd. tarafından yapılan bir çalışmadan uyarlanmıştır. Uyarlama tetikleme ilişkilerinin detaylı bir olay analizi verilerinin gözden geçirilmesi ile yapılmıştır. 2006 yılında Moss ve Seed tarafından olay analizi veri tabanından elde edilen kritik katmanlar kullanılarak geliştirilmiştir. İterativ yöntem kullanılarak CPT verileri normalize edilmektedir.

5.2.1.3 Idriss ve Boulanger (2008) Sıvılaşma Tetikleme Metodu

İnce dane oranının düzeltilmesi ile önceki iki metoda göre avantajlı olan Idriss ve Boulanger (2008) sıvılaşma tetikleme metodu Deprem Mühendisliği Araştırma Enstitüsüne 2008 yılında sunulmuştur.

5.2.1.4 Boulanger ve Idriss (2014) Sıvılaşma Tetikleme Metodu

Temiz kum eşdeğeri düzeltilmesi, zeminin tekrarlı yükler altındaki dayanımının dolaylı ifadesi olan tekrarlı dayanım oranı (CRR) ve deprem düzeltme katsayısı (MSF) ile diğer metodlardan ayrılmaktadır. Boulanger ve Idriss (2014) sıvılaşma tetikleme metodu Idriss ve Boulanger (2008) sıvılaşma tetikleme metodunun güncellenmesi ile oluşturulmuştur.

Van Ballegooy vd. (2015a) CES için 4 farklı sıvılaşma tetikleme metodu üzerine çalışmalar yapılmış, Boulanger ve Idriss (2014) sıvılaşma tetikleme metodunun CES için metodunun en iyi sonuçları verdiğini ortaya koymuşlardır.

5.2.2 Basitleştirilmiş Sıvılaşma Analizi

Basitleştirilmiş sıvılaşma analizi; zeminin tekrarlı yükler altındaki dayanımının dolaylı ifadesi olan tekrarlı dayanım oranı CRR ve depremin analizi yapılan noktada yaratacağı tekrarlı gerilim oranı CSR'ye bağlıdır. Bu analiz yöntemi Seed ve Idriss tarafından 1971'de geliştirilmiştir. Düz serbest saha koşulları ve sığ çökeller için geçerli sonuçlar verebilen bu yaklaşım, eğimli sahalarda veya ağır yapılar altındaki katmanlarda başlangıç gerilmelerinin varlığına ve yüksek çevre basınçlarının etkisine bağlı olarak düzeltmelere gidilmesini gerektirmiştir.

$$FS_L = \frac{CRR}{CSR} MSF \quad (5.1)$$

MSF, deprem düzeltme katsayısıdır. Bu yöntemle ilgili olarak hesaplanması gereken değerler sırayla;

- a) Depremin analizi yapılan noktada yaratacağı tekrarlı gerilim oranı olan CSR,
- b) Zeminin tekrarlı yükler altındaki dayanımının dolaylı ifadesi olan tekrarlı dayanım oranı, CRR.

5.2.2.1 CSR Hesabı

CSR; depremin yol açtığı hareketin etkisinin devirsel kayma gerilmesi oranıdır. Bu hesap yaklaşık 23 metre derinliğe kadar yapılır. Bunun sebebi 23 metre derinlik sonrası sıvılaşma görülmez kabulüne bağlıdır. Bu nedenle gerilme azaltma katsayısı 23 metre derinliğe kadar değişen aralıklar için iki ayrı denklemle tanımlanmış ve sınırlandırılmıştır.

$$CSR = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d \quad (5.2)$$

$$r_d = 1 - 0.00765z \quad ; \quad z < 9.15m \quad (5.3)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad ; \quad 9.15 < z \leq 23m \quad (5.4)$$

Denklemden yer alan a_{\max} , yüzeydeki en büyük yatay gerilme; σ_v , toplam düşey gerilme; σ'_v , efektif düşey gerilme; r_d , gerilme azaltma katsayısı ve z , sıvılaşabilir katmanın metre cinsinden yüzeyden itibaren derinliğini ifade eder.

Eğimli saha ve ağır yapılar altındaki katmanlar için Seed'in önerdiği statik kayma gerilmeleri ve yüksek çevre basınçlarının dikkate alınması için yapılan düzenleme aşağıdaki gibidir;

$$\alpha = \frac{\tau_{h,statik}}{\sigma'_{v0}} \quad (5.5)$$

$$K_\alpha = 1 - c_\alpha \ln \frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \quad (5.6)$$

$$c_\alpha = \frac{1}{18.9 - 2.55\sqrt{N_{1,60}}} \quad (5.7)$$

K_σ değerinin gevşek ve sığ çökellerde 1.0'dan küçük, sıkı zeminlerde ise 1.0'dan büyük alınması (Seed vd., 1990) önerilmiştir. Sıvılaşma direncini tanımlamak için kullanılan CRR; arazi deneyleri ve korelasyon ile veya laboratuvar deneyleri ile elde edilebilir.

CSR için bir diğer hesap şekli olarak 12 metre derinliğe kadar deprem durumunda oluşabilecek kayma gerilmesine bağlı olarak aşağıdaki bağıntı önerilmiştir;

$$\tau_{\max} = \frac{\gamma z}{g} a_{\max} r_d \quad (5.8)$$

Ortalama eşdeğer kayma gerilmelerinin maksimum gerilmenin %65'inde oluştuğundan yola çıkarak ve bu değerleri efektif düşey gerilmeler ile normalize ederek aşağıdaki denklem oluşturulmuştur;

$$\text{CSR} = \frac{\tau_{\text{avg}}}{\sigma'_{v0}} = 0,65 \frac{\tau_{\max}}{\sigma'_{v0}} \quad (5.9)$$

Eşitlik (4.9)'da bilinmeyen değerler yerine konulduğunda verilen eşitlik (5.2)'te yer alan CSR denklemi elde edilmiş olunur.

Derinliğe bağlı olan gerilme azaltma katsayısı değerinin hesabı aşağıdaki formül kullanılarak yapılabilir;

$$r_d = \frac{1 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5}}{1 - 0.4117z^{0.5} + 0.05729z + 0.006205z^{1.5} + 0.00121z^2} \quad (5.10)$$

Yüzeydeki maksimum yatay yer ivmesi değerinin hesabı aşağıdaki formül kullanılarak yapılabilir;

$$a_{\max} = 2.18e^{0.0218(33.3M_w - R_e + 7.8427S_A + 18.9282S_B)} \quad (5.11)$$

Denklemden yer alan R_e değeri depremin merkez üssüne olan uzaklığı; M_w ise depremin büyüklüğüdür. S_A ve S_B değerleri için bakılacak koşullar ve kullanılacak değerler şöyledir; zemin türü kaya ise S_A ve S_B sıfır (0) alınır, zemin karma ise S_A için 1 değeri alınırken S_B değeri için sıfır (0) alınır ve zemin yumuşak ise S_A değeri için sıfır (0) alınırken S_B değeri için 1 alınır.

5.2.2.2 CRR Hesabı

CRR hesabı yapılırken iki farklı arazi deneyi kullanılabilir. Bunlar; standart penetrasyon ve konik penetrasyon deneyleridir.

5.2.2.2.1 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) Kullanarak CRR Hesabı

Standart penetrasyon (SPT) deneyi kullanılarak zeminin devirsel direnç oranı belirlenebilir. SPT deneyinde gerekli düzeltmeler uygulanarak işlemlerde düzeltilmiş SPT değeri kullanılır. Ayrıca zeminin ince dane oranına (I_c) göre aşağıda ki düzeltmenin yapılması önerilmiştir;

$$N_{1,60,C_s} = \alpha + \beta N_{1,60} \quad (5.12)$$

Denklemden yer alan $N_{1,60,C_s}$ değeri ince dane oranına göre yeniden düzenlenmiş SPT-N'dir. α ve β değerleri ise ince dane oranının aralığına göre belirlenen değişkenlerdir. Bu değişkenlerin değerleri aşağıda belirtilmiştir;

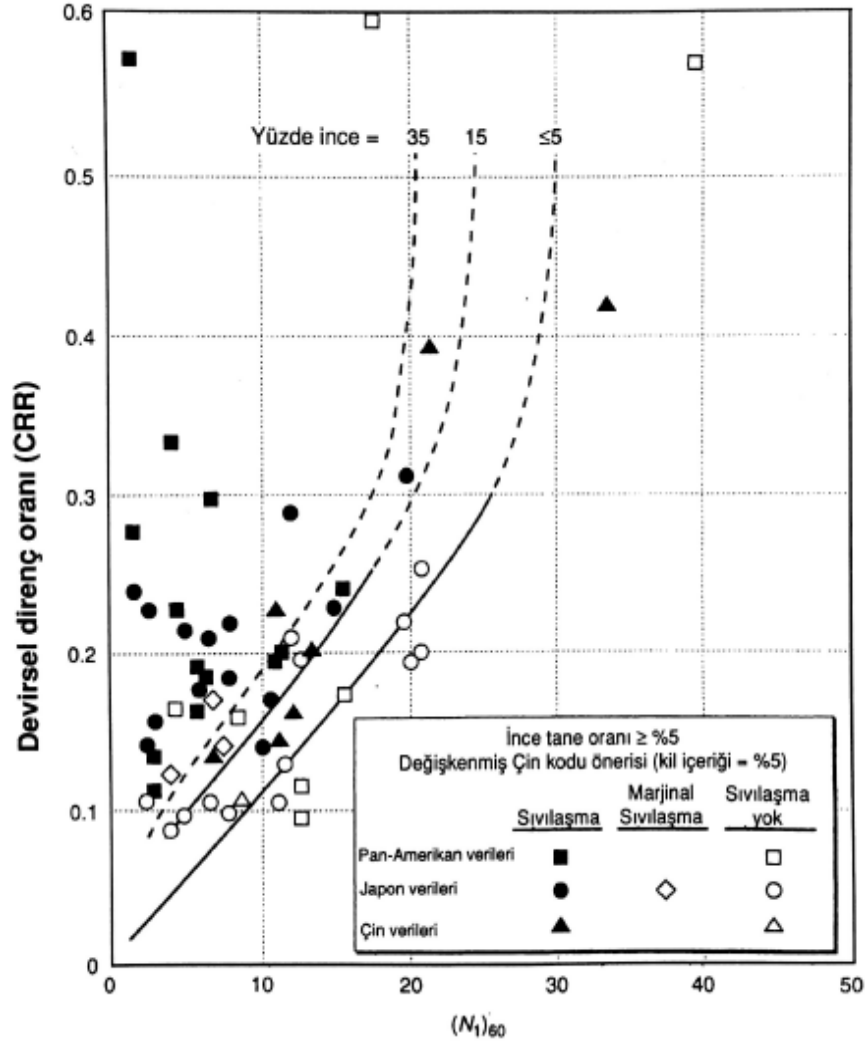
$$I_c \leq \%5 \rightarrow \alpha = 0, \beta = 1.00 \quad (5.13)$$

$$\%5 < I_c < \%35 \rightarrow \alpha = \exp\left(1.76 - \frac{190}{I_c^2}\right), \beta = 0.99 + \left(\frac{I_c}{1000}\right)^{1.5} \quad (5.14)$$

$$I_c \geq \%35 \rightarrow \alpha = 5.0, \beta = 1.20 \quad (5.15)$$

Bu düzeltme faktörleri Youd ve Seed (2001) kriterlerine göre verilmiştir.

Depremler esnasında sivilaşmış veya sivilaşmamış pek çok yerde yapılmış olan araştırmalara dayalı olarak geliştirilen $N_{1,60}$ değeri ve ince dane oranının keşitirilip CRR hesabında kullanılan grafik Şekil 5.4'te verilmiştir. Bu tablo ince dane oranı %35, %15 ve %5 olan zeminleri ifade eder. Verilen grafik temiz kum ve siltler için $M_w=7.5$ depremlerinde kullanılan devirsel direnç oranı (CRR) içindir. Gerekli düzeltmelerin uygulanıp hesaplanmış $N_{1,60}$ ve zemin içindeki ince dane oranının hesaplanmış veya tahmin edilmiş değerinin grafik üzerinde keşitirilmesi ve bu keşitimle CRR değerinin okunması için kullanılır (Seed vd. 1985).



Şekil 5.4: $N_{1,60}$ ve I_c Değerlerine Bağlı CRR Hesap Grafiği (Seed vd., 1985).

5.2.2.2.2 Konik Penetrasyon Deneyi (CPT) Kullanarak CRR Hesabı

Standart penetrasyon deneyi verilerine ek olarak güncel olan konik penetrasyon deneyi verileri kullanarak devirsel direnç oranı hesaplanabilir. Bunun için öncelikle koni penetrasyon uç direnci düzeltmesi uygulanmalıdır;

$$q_{C1N} = C_Q \frac{q_c}{P_a} \quad (5.16)$$

$$C_Q = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \quad (5.17)$$

Eşitliklerde yer alan C_Q , koni penetrasyon direnci için normalleştirme faktörü; $P_a = 100$ kPa olarak ifade edilir.

$$(q_{C1N})_{CS} = K_C q_{C1N} \quad (5.18)$$

$$I_C \leq 1.64 \rightarrow K_C = 1.00 \quad (5.19)$$

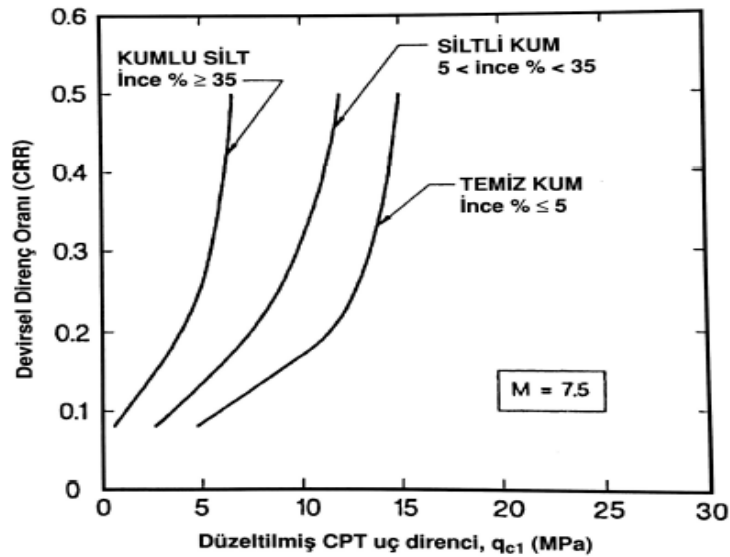
$$I_C > 1.64 \rightarrow K_C = 0.403I_C^4 + 5.581I_C^3 - 21.63I_C^2 + 33.75I_C - 17.88 \quad (5.20)$$

Yapılan düzeltmeler sonucu bulunan q_{C1N} değerine bağlı CRR hesabı;

$$(q_{C1N})_{CS} < 50 \rightarrow CRR = 0.833 \frac{(q_{C1N})_{CS}}{1000} + 0.05 \quad (5.21)$$

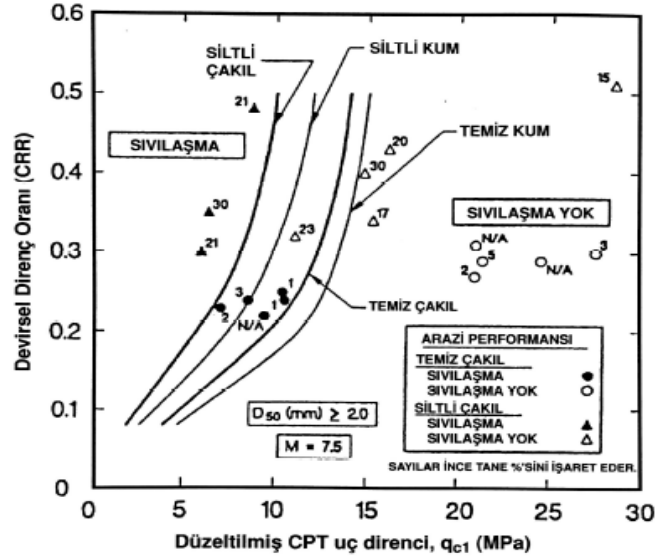
$$50 \leq (q_{C1N})_{CS} < 160 \rightarrow CRR = 93 \left(\frac{(q_{C1N})_{CS}}{1000} \right)^3 + 0.08 \quad (5.22)$$

CRR hesabında CPT değeri için Şekil 5.5'ten faydalanılabilir. İnce dane oranı kumlu silt için %35'ten büyük veya eşit, siltli kum için %5'ten büyük %35'ten küçük ve temiz kum için %5'ten küçük veya eşit değerleri için düzeltilmiş CPT uç direnci q_{C1} değerinin çakıştırılıp CRR değerinin okunması için kullanılır (Stark ve Olson 1995). Grafik M_w değeri 7.5 olan deprem için hazırlanmıştır.



Şekil 5.5: q_{C1} ve I_C Değerlerine Bağlı CRR Hesap Grafiği (Stark ve Olson, 1995).

Siltli çakıl, temiz çakıl, siltli kum ve temiz kum için koni uç direnci q_{c1} ile çakıştırılarak CRR hesaplanması için M_w değeri 7.5 olan depreme göre hazırlanmış Şekil 5.6 kullanılabilir.



Şekil 5.6: q_{c1} ve I_c Değerlerine Bağlı CRR Hesap Grafiği (Stark ve Olson, 1995).

5.2.2.3 MSF Hesabı

Hesaplanan CRR ve CSR değerleri büyüklüğü 7.5 olan depremler için geçerlidir. Standart penetrasyon (SPT) ve koni uç direnci (CPT) düzeltmelerine benzer şekilde bu değerlerin de düzeltilmesi gereklidir. Büyüklüğünün 7.5'ten küçük veya büyük olması sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörünü değiştirir. Daha önce de anlatıldığı gibi sıvılaşma üzerinde deprem büyüklüğünün önemi yüksektir. Deprem büyüklüğüne bağlı sarsıntı süresi de değişmektedir ki buda önemli bir faktör olmasını açıklar. CSR ve CRR için deprem düzeltme katsayısı Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2: MSF'in deprem büyüklüklerine bağlı düzeltme değerleri (Seed, 1983).

DEPREM BÜYÜKLÜĞÜ	MSF
8.5	0.89
7.5	1
6.75	1.13
6	1.32
5.25	1.5

Tabloda verilen deprem büyüklükleri dışında bir değerde deprem gerçekleşirse, MSF değeri için aşağıda verilen formül kullanılabilir (Youd vd. 2001);

$$MSF = \left(\frac{M_W}{7.5}\right)^{-2.56} \quad (5.23)$$

Tez kapsamında kullanılan Christchurch bölgesi sınılaşma şiddeti parametrelerinin hesabında yer alan sınılaşma güvenlik katsayısı, Boulanger ve Idriss (2014) sınılaşma tetikleme metoduna göre sınılaşma olasılığı %15 için işlem yapılmıştır. Eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$CRR_{M=7.5} = e^{\frac{q_{C1Ns}}{113} + \left(\frac{q_{C1Ns}}{1000}\right)^2 - \left(\frac{q_{C1Ns}}{140}\right)^3 + \left(\frac{q_{C1Ns}}{137}\right)^4} - C_0 \quad (5.24)$$

$$q_{C1Ns} = \left(11.9 + \frac{\frac{q_{C1Ns}}{P_a}}{14.6}\right) e^{\left(1.63 - \frac{9.7}{FC} - \left(\frac{15.7}{FC+2}\right)^2\right)} \quad (5.25)$$

$$C_0 = 2.8 \rightarrow PL = \%15 \quad (5.26)$$

Eşitlikte yer alan FC, ince dane içeriğidir.

$$CSR_{M=7.5} = 0.65 \frac{a_{mak}}{g} \frac{\sigma_{vc}}{\sigma'_{vc}} r_d \frac{1}{MSF} \frac{1}{K_\sigma} \quad (5.27)$$

$$r_d = e^{\left(-1.12 - 1.126 \sin\left(\frac{z}{11.73} + 5.133\right)\right) + \left(0.106 + 0.118 \sin\left(\frac{z}{11.28} + 5.142\right)\right) * M} \quad (5.28)$$

Eşitlikte yer alan M, deprem büyüklüğüdür.

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \frac{\sigma'_{vc}}{P_a} \leq 1.1 \quad (5.29)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{37.3 - 8.27(q_{C1Ns})^{0.264}} \leq 0.3 \quad (5.30)$$

$$MSF = 1 + (MSF_{mak} - 1) \left(8.64e^{-\frac{M}{4}} - 1.325\right) \quad (5.31)$$

$$MSF_{mak} = 1.09 + \left(\frac{q_{C1Ns}}{180}\right)^3 \leq 3.2 \quad (5.32)$$

5.2.3 Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI) Hesabı

Sıvılaşma güvenlik katsayısı F_{SL} tek başına sıvılaşma riskinin değerlendirilmesinde derinlere inildikçe farklılıklar oluşması sebebiyle yetersiz kalmıştır. Daha sonra sıvılaşma potansiyeli indeksi LPI; Iwasaki tarafından 1978 yılında geliştirilmiş ve önerilmiştir.

Sıvılaşma güvenlik katsayısı hesabında olduğu gibi LPI hesabı da belli bir derinliğe kadar hesaplanmaktadır. Bu derinlik 20 metre olarak belirlenmiştir. Sıvılaşma güvenlik katsayısının 1.00'dan küçük eşit veya büyük olmasına bağlı olarak denklemi değişkenlik gösterir. Iwasaki vd. (1978, 1982) tarafından önerilen eşitlik;

$$LPI = \int_0^{20m} Fw(z)dz \quad (5.33)$$

$$F_{SL} \leq 1.00 \rightarrow F = 1 - F_{SL} \quad (5.34)$$

$$F_{SL} > 1.00 \rightarrow F = 0 \quad (5.35)$$

$$w(z) = 10 - 0.05z \quad (5.36)$$

Yukarıda verilen eşitlikler kullanılarak sıvılaşma potansiyeli indeksi hesaplanabilir. Hesaplanan LPI değerlerine göre aşağıdaki (Tablo 5.3) risk tablosu oluşturulmuştur;

Tablo 5.3: LPI değerlerine göre sıvılaşma durumları (Iwasaki vd., 1982).

<u>LPI</u>	<u>SIVILAŞMA POTANSİYELİ</u>
0	Çok az
0-5	Az
5-15	Yüksek
15<	Çok yüksek

1982 yılında Iwasaki vd. Tablo 5.3'te gösterildiği gibi LPI değeri 15'ten büyük olan bölgelerin yüksek sıvılaşma riski altında olduğunu belirtmişlerdir. 2003

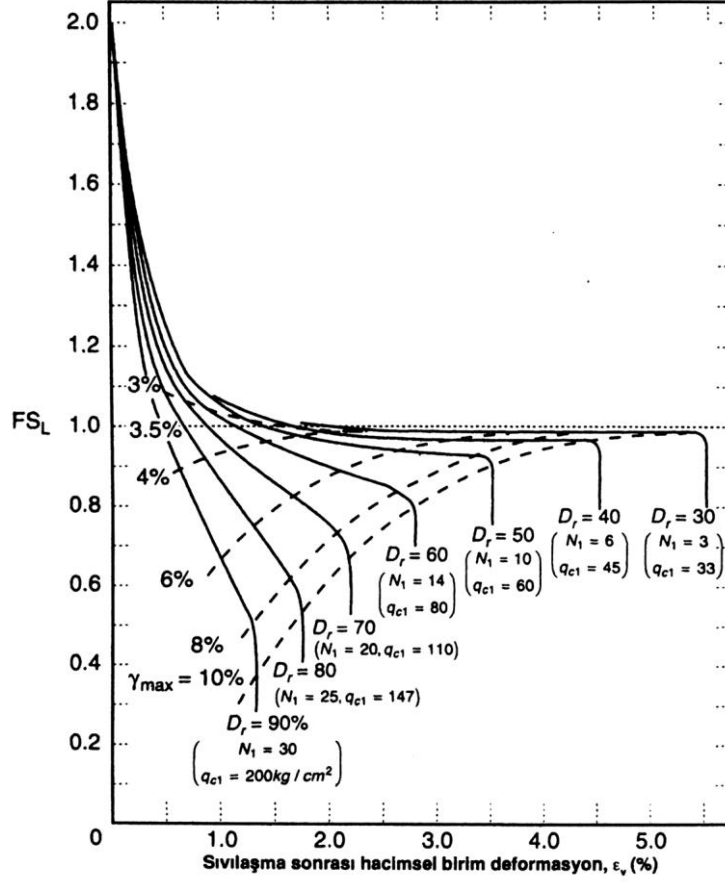
yılında Toprak ve Holzer tarafından yapılan çalışmada, 1989 Loma Prieta depreminden elde edilen gözlemler ile benzer LPI değerlerini göstermiş ve LPI değerinin 5 ve 15 olduğu durumlarda sıvılaşmanın yüzeyde görülebilme olasılığının sırasıyla %58 ve %93 olduğunu göstermiştir. 2005a ve 2005b yılında Juang vd. tarafından yapılan çalışmada ise LPI değerinin 5'ten büyük olması durumunda yüksek sıvılaşma riski olduğunu göstermiştir.

5.2.4 Sıvılaşma Şiddeti Katsayısı (LSN) Hesabı

2013 yılında Tonkin ve Taylor tarafından geliştirilen LSN, yerleşim alanları ve temeller üzerinde yüzeysel sıvılaşmanın zararlı etkilerini göstermektedir. LSN, muhtemel yer yüzeyinde zemin hasarı olan sıvılaşma güvenliği yerine zemin katmanları arasında derinlik ağırlıklı hesaplanmış hacimsel yoğunlaştırılmış şekil değiştirmeyi dikkate alır. LSN'nin dikkat edilmesi gereken bir yönü de güvenlik düşüşü faktörü olarak başlangıç bağıl yoğunluğuna bağlı kendi sınırını zorlamasıdır. Bu nedenle, belirli bir toprak profili, PGA arttıkça yöneleceği maksimum LSN'e sahiptir. LSN hesabı için gerekli denklem;

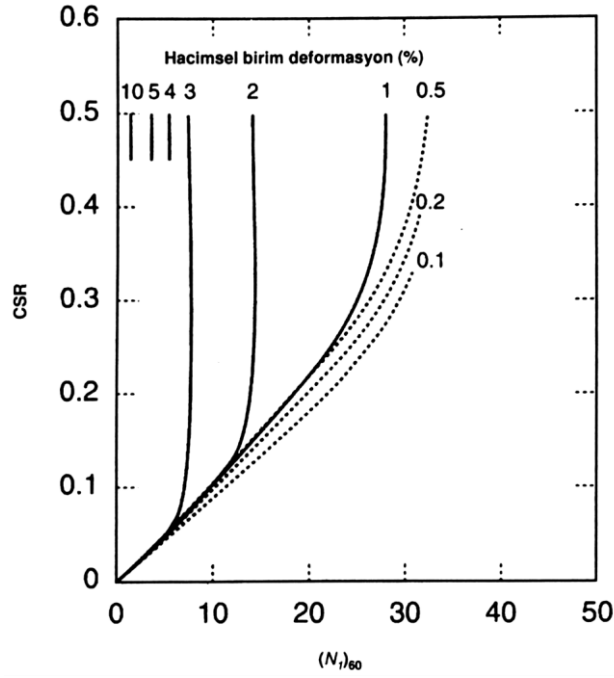
$$LSN = 1000 \int \frac{\varepsilon_v}{z} dz \quad (5.37)$$

Eşitlikte yer alan ε_v , hacimsel yoğunlaştırılmış şekil değiştirmeyi göstermektedir. ε_v Değeri; sıvılaşma güvenlik katsayısı, arazideki zeminin rölatif yoğunluğu (D_r), tasarım depremin neden olacağı maksimum kayma deformasyonu (γ_{max}), düzeltilmiş koni uç direnci (q_{C1}) veya japon standart penetrasyon deneyi değeri ($N1$) yardımıyla Şekil 5.7'de yer alan grafik üzerinden okunabilir. Japon standart penetrasyon değeri yerine ona eşit olduğu varsayılarak düzeltilmiş SPT değeri olan $N_{1,60}$ kullanılabilir.



Şekil 5.7: FS_L , D_r , N_1 (veya q_{c1}) ve γ_{max} değerlerine bağlı ϵ_v değeri (Ishihara ve Yasmine, 1992).

ϵ_v Değeri bir başka yöntem olarak; deprem büyüklüğü 7.5 için hesaplanan CSR değerinin MSF faktörüne göre düzeltilmiş hali ve standart penetrasyon değeri ($N_{1,60}$) yardımıyla Şekil 5.8'deki grafikten okunabilir. Kullanılan grafikte yer alan devamlı çizgiler sıvılaşmaya karşı emniyet faktörünün 1.00'dan küçük veya eşit olduğu durumda hacimsel birim deformasyon oranını ifade eder.



Şekil 5.8: CSR ve $N_{1,60}$ değerlerine bağlı ε_v değeri okunması (Tokimatsu ve Seed, 1984).

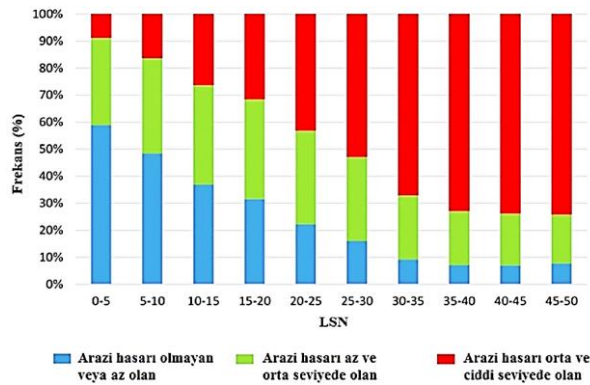
2014b yılında Van Ballegooy vd. çalışmasında yerleşim yerleri için sıvılaşmanın sebep olduğu yer hasarlarının değerlendirmesinde, LPI ve LSN arasındaki temel farklılıkları aşağıdaki gibi sunmuştur.

- LSN, hacimsel şekil değiştirme ampirik formüllerine dayandığından, FS'nin birden büyük değerleri için bile LSN değerleri sürekli olarak hesaplanabilmektedir. Böylece LSN değerleri, Zhang vd. (2002)'de anlatıldığı üzere hacimsel şekil değiştirme fonksiyonu olarak, $FS < 2$ olduğu zaman aşırı boşluk suyu basıncı yükselişi gibi artmaya başlamaktadır ve $FS < 1$ olduğunda sürekli yumuşak bir geçiş içermektedir.

- Zhang vd. (2002) ile Ishihara ve Yoshimine (1992) çalışmalarında LSN formülündeki hacimsel şekil değiştirme ilişkileri, sismik talebin fonksiyonu değil de zemin göreceli yoğunluk fonksiyonu olarak sınırlayıcı bir hacimsel şekil değiştirmeye ulaşır. Tersine, LPI parametresinin artışı PGA'nın artmasıyla devam etmektedir. Çünkü LPI, FS'nin direk fonksiyonudur ve sismik talep arttıkça azalmaktadır. LPI'nin göreceli yoğunluk ile FS arasındaki ilişkiyi tam olarak belirtmediğinden, farklı yoğunluktaki zemin bölgelerinin hasar potansiyellerini LSN'ye göre belirlemede zayıf kalmıştır.

- Düşük göreceli yoğunluğa sahip sıvılaşılabilen tabakalar, yüksek göreceli yoğunluğa sahip tabakalara göre yer yüzeyinde daha fazla şekil değiştirme geliştirmeleri beklenmektedir. LSN ile hesaplanmış şekil değiştirme değeri hasar indeksi olarak kullanıldığında sadece oturmaya göre hesaplanmış indekse göre kuvvet kaybının ve zemin püskürme potansiyelinin etkilerini daha fazla içermektedir.
- Buna karşılık hesaplanan FS değeri için, LPI aynı değeri zeminin göreceli yoğunluğunu dikkate almaksızın sağlamaktadır. Bu yaklaşım sıvılaştıran zeminlerin göreceli yoğunluğunun verilen FS'i için sıvılaşma sonuçlarıyla ilişkili olmadığı yanlışı göstermektedir.
- LSN, hiperbolik derinlik ağırlıklı fonksiyonu kullanarak yer altı su tabakası yüzeye yakın olduğunda sıvılaşmayan kabuk kalınlığına daha çok önem vermektedir. LPI'deki sığ ve derin tabakaların katkısıyla karşılaştırıldığında LSN, sığ sıvılaşmanın yer ve yüzey yapılarına derin sıvılaşmaya göre çok daha büyük zarar verdiğini önermektedir. Böylece LSN, kabuğun ince olduğu ve ciddi püskürme sonucunu, kabuğun kalın ve çok daha az miktarda püskürme meydana geldiği zamanla ayırt etme kabiliyetine sahiptir.

Yapılmış önceki çalışmalarda zemin sıvılaşma şiddeti parametrelerinden LSN'in en güçlü parametre olduğu gösterilmiştir (Tonkin ve Taylor (2015), Van Ballegooy vd. (2015b)). Daha önce yapılmış olan Tonkin ve Taylor (2015), Van Ballegooy vd. (2015b) çalışmalarında LSN için Şekil 5.9'da Tonkin ve Taylor (2015), Van Ballegooy vd. (2015b) çalışmalarında yer alan arazi hasar gözlemleriyle LSN arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 5.9: Arazi hasar gözlemleriyle LSN arasındaki ilişkiler (Tonkin ve Taylor 2015, Van Ballegooy vd. 2015b).

5.2.5 Hacimsel Bir Boyutlu Oturma (S_{VID}) Hesabı

Hacimsel bir boyutlu oturma (S_{VID}); temelde düz zemin koşullarına sahip sahalarda sıvılaşma kaynaklı zemin oturmalarını tahmin etmek için CPT tabanlı bir yaklaşım sunmaktır. Hacimsel yoğunlaştırılmış şekil değiştirme zeminin oturmasının hesabında kullanılmaktadır. Yeni Zelanda Yapım, Yenilik ve İstihdam Bakanlığı (MBIE 2012), Idriss ve Boulanger'ın tetikleme metodu ile normalize edilmiş uç direnci ve güvenlik katsayısını kullanan hacimsel yoğunlaştırılmış şekil değiştirmenin, Zhang vd. (2002) çalışmasındaki gibi hesaplanmasını önermiştir. 2002 yılında Zhang vd., sıvılaşma güvenlik katsayısının 2'den küçük olduğu katmanlarda şekil değiştirmeyi tahmin etmektedir. Hesaplanmış bir boyutlu oturma, sıvılaşmış durum malzeme yaklaşımlarında ve güvenlik faktörü düşüşlerinde artmaktadır. Bu sebeple sıvılaşma tetiklemesinin gerçekleşmediği halde güvenlik katsayısı 1'den fazla olduğunda oturma hesabı yapılabilmektedir. Hesaplanmış bir boyutlu oturma (S_{VID}) hesabı aşağıda gösterilmiştir.

$$S_{VID} = \int \varepsilon_v dz \quad (5.38)$$

Eşitlikte yer alan ε_v için Şekil 5.7'de yer alan grafik kullanılabilir. Böylece CPT ile sonuç kolayca elde edilebilmektedir.

6. KONUMA GÖRE KÜMELEME (2 BOYUTLU)

Yeni Zelanda'yı 4 Eylül 2010'da başlayan, literatüre "Canterbury Deprem Dizisi (CES)" olarak geçmiş bir dizi deprem ve artçılar etkilemiştir. Bu depremler; 4 Eylül 2010'da $M_w7.1$, 22 Şubat 2011'de $M_w6.2$, 13 Haziran 2011'de $M_w6.0$ ve 23 Aralık 2011'de $M_w5.9$ büyüklüğünde gerçekleşmişlerdir (Şekil 2.1). Günümüzde halen bu depremler devam etmektedir. Örneğin; 6 Ocak 2015'te meydana gelen $M_w6.0$, 14 Şubat 2016'da meydana gelen $M_w5.7$. Bunlara ek çok sayıda artçı deprem de meydana gelmiştir.

Büyüklikleri $M_w5.9$ ile $M_w7.1$ arasında değişen depremlerin bölgeye verdiği en önemli etkilerinden biri sıvılaşma olmuştur. Sıvılaşma; sismik ve dinamik etkiler altında zemindeki boşluk suyu basıncının artması sonucu zeminin sıvı gibi davranması olayıdır. Sıvılaşma ile birlikte kum kaynamaları, tetiklenen oturmalar, toprak kaymaları ve yanal hareketler gibi etkiler sonucu yapılar hem yer altı hem yer üstünde ağır hasarlar almıştır. Tez kapsamında CES içerisinde 22 Şubat 2011'de meydana gelen Christchurch depremi kullanılmıştır. Christchurch depremi 22 Şubat 2011, yerel saatle 12:51'de büyüklüğü 6.2 olan depremdir. Deprem sonrası 1730 km içme suyu şebekesinde 1502 hasar (Şekil 6.2) gözlemlenmiştir. CES depremleri ile tetiklenen sıvılaşma sonucu oluşan boru hasarlarına örnek Şekil 6.1'de verilmiştir.



a) AC boru bağlantısındaki gerginlik etkileri, Sewfield Street Kaiapoi, Darfield merkez üssüne göre aksnel, 2010, (O'Callaghan, 2014)



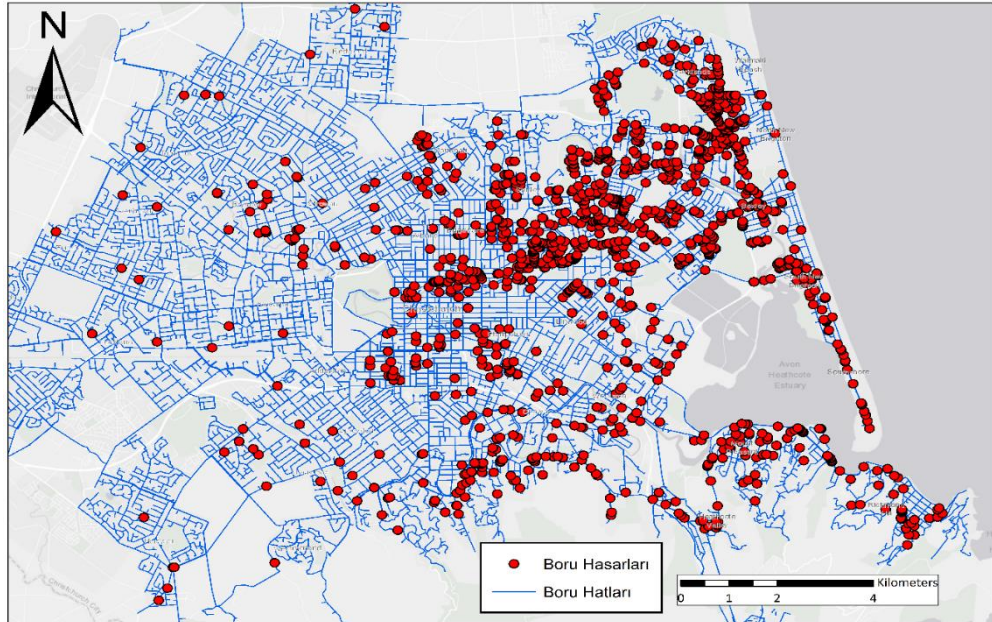
b) AC boru bağlantısındaki sıkıştırma etkileri, Sewell Street, Kaiapoi, Darfield merkez üssüne eksensel olarak hizalı, 2010, (O'Callaghan, 2014)



c) Christchurch bölgesinde gerçekleşen boru hasarlarına bir örnek (McLachlan, 2013)

Şekil 6.1: Christchurch bölgesinde gerçekleşen sivilaşma sonucunda oluşan boru hasarlarına örnek.

Christchurch depremi sonucu oluşan boru hasarları veri seti olarak dünyada az sayıda araştırmacıda bulunmaktadır. İlk kez 2012 yılında daha sonra 2014 yılında O'Rourke vd.'lerinin çalışmasında kullanılmış, en güncel hali ile Bouziou (2015)'in çalışmasında kullanılan boru hasarları tez kapsamında veri seti olarak kullanılmıştır. Kullanılan veri seti içerisinde 1502 boru hasarlarının çeşitli özellikleri (boruların cinsi, çapı, adresi, uzunluğu, konum bilgileri vb.) yer almaktadır.



Şekil 6.2: Christchurch bölgesi boru hasarları ve boru hatlarının gösterimi.

Yerleşim bölgelerine yakın olarak gerçekleşen geçmiş depremlerde hasar gören boru hatlarındaki gözlemler, hasarların belli noktalarda daha fazla yoğunlaştıklarını göstermiştir (yoğun hasar bölgeleri) (Toprak (2011)). Hasarların yoğunlaştığı bölgelerin belirlenmesi özel bir öneme sahiptir, çünkü bu bölgeler zemin açısından problemlili alanlara (örneğin, sıvılaşma veya zemin oturması) ya da ilgili alan içinde boru hatlarının bazı zayıflıklara (örneğin boru malzemesi, boru çapı ve boru ekleri) sahip olduğuna işaret etmektedir.

Tez kapsamında kullanılan Christchurch depremi sonrası oluşan boru hasarları veri seti içerisinde yer alan 1502 hasarın konum verisi kümeleme analizi algoritmalarına göre kümelendi. Bu bölüm içerisinde sadece konum verileri yoğun hasar bölgeleri ile uyumun aranabilmesi için 2 boyutlu olarak çıkarımlı, k-ortalamlar ve bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritmasına göre kümelendi ve sonuçlar incelenmiştir. Kümeleme analizleri MATLAB yazılımı kullanarak gerçekleştirilmiştir.

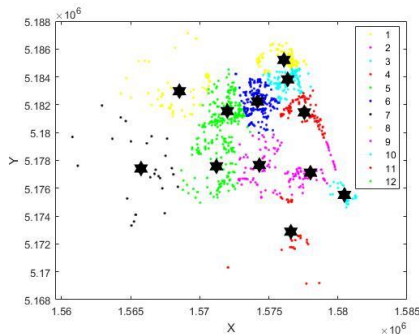
6.1 K-Ortalamlar Kümeleme Algoritması Kullanarak Boru Hasarlarının Konuma Göre Kümelendi

Bilinen en eski ve yalın bir yöntem olan k-ortalamlar kümeleme algoritması kullanarak konum değerlerinden oluşan 2 boyutlu veri seti kümelendi. Minimum küme sayısı 2 maksimum küme sayısı ise eşitlik (3.1) kullanarak 20 seçilmiştir. İşlemler MATLAB yazılımı yardımıyla yapılmıştır. Her kümelemeye başlanıldığında küme merkezleri ilk adımda rastgele seçilip elde edilen kümeler için elemanlar arası Öklid mesafelerine göre işlemler yinelenmektedir. Bu rastgele küme merkezi seçimi aynı küme sayısı için farklı kümeleme sonuçları doğurmaktadır. Örneğin 3 küme için, birkaç farklı küme merkezi elde edilebilir. Bunun sebebi araştırılmış ve şu sonuca varılmıştır; k-ortalamlar kümeleme algoritması uygulanırken veri setinden rastgele seçilmiş olan elemanlar küme merkez noktası olarak atanır. Atanan bu merkez noktalara diğer elemanların mesafelerinin değerlerine göre kümeler şekillenir. Tez kapsamında yapılacak her k-ortalamlar kümeleme algoritmasına göre analizde elde edilen ilk küme dağılımının kullanılmasına karar verilmiştir.

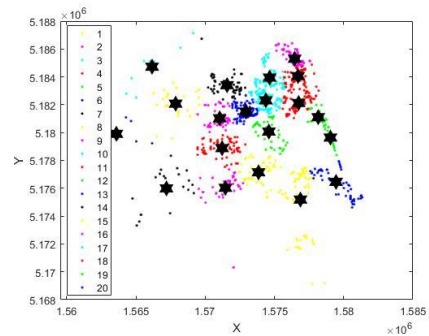
Minimum 2 ve maksimum 20 küme seçilerek yapılan k-ortalamlar kümeleme algoritması için seçilen geçerlilik indeksleri Calinski-Harabsz ve Davies-Bouldin'dir. İndeks sonuçları Tablo 6.1'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Calinski-Harabsz indeksi optimum küme sayısını 20 verirken, Davies-Bouldin indeksi 12 küme vermiştir. Geçerlilik indeksleri sonucu elde edilen 12 ve 20 küme Şekil 6.3'te gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Calinski-Harabsz ve Davies-Bouldin indeksleri sonuçlarının gösterimi.

Küme Sayısı	C-H	Küme Sayısı	D-B
20	1556,51	12	0,73312
19	1529,18	17	0,73435
18	1516,71	20	0,73564
17	1501,76	16	0,75187
14	1455,77	8	0,75744
13	1418,35	13	0,76079
16	1394,75	11	0,7609
12	1363,48	15	0,76097
9	1350,24	18	0,76155
15	1335,96	19	0,76195
11	1333,58	10	0,76683
10	1327,21	14	0,76747
6	1323,33	7	0,78286
7	1310,2	6	0,78489
5	1294,77	9	0,79786
8	1293,45	3	0,81593
3	1270,29	5	0,83061
4	1268,28	4	0,86989
2	881,025	2	1,07887



a) 12 küme gösterimi



b) 20 küme gösterimi

Şekil 6.3: Christchurch bölgesi için k-ortalamlar kümeleme sonucu elde edilmiş 12 ve 20 küme gösterimi.

2 boyutlu veri seti için Calinski-Harabsz indeksi 20 küme vermiştir. 20 küme dağılımının küme içi homojenlik kümeler arası heterojenliğe uyduğu görülememiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda yüksek elde edilen küme sayısı kötü zemin şartları, boru zayıflıkları gibi yerel sorunlara işaret etmektedir (Toprak vd. (2018b)).

6.2 Bulanık C-Ortalamlar Kümeleme Algoritması Kullanarak Boru Hasarlarının Konuma Göre Kümelenmesi

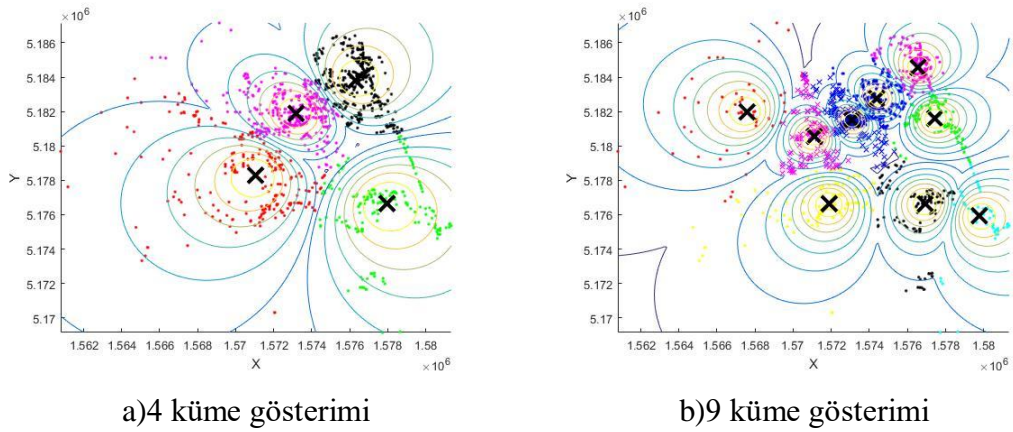
Bir diğer yöntem bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması yaygın bir kullanıma sahip ve hızlı sonuç elde etmeyi sağlamaktadır. 2 boyutlu veri seti minimum küme sayısı 2 maksimum küme sayısı ise eşitlik (3.1) kullanarak 20 seçilerek kümelennmiştir. İşlemler MATLAB yazılımı yardımıyla yapılmıştır.

Burada k-ortalamlar kümeleme algoritmasından farklı olarak her elemanın her bir kümeye aitliği bulunması sebebiyle aynı küme sayısı için farklı küme sonuçları olmamaktadır. Her işlem tekrarında aynı küme sayısı için aynı küme dağılımı bulunmaktadır. Bu avantaj ile bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması sonucu elde edilen kümelere dağılım sabit kalmakta ve işlemlerin doğruluğunu artırmaktadır. Bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması sonucu elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar tablo halin Tablo 6.2’de detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 6.2: Geçerlilik indeksleri sonuçlarının gösterimi.

Küme Savısı	PC	Küme Savısı	MPC	Küme Savısı	CE	Küme Savısı	DI	Küme Savısı	ADI	Küme Savısı	X-B	Küme Savısı	PBMF	Küme Savısı	Fukuyama-Sugeno
2	0,7103	4	0,49879	2	0,44697	13	0,00532	2	0,00716	2	1,9E-07	9	2E+20	12	-2E+10
3	0,66436	3	0,49654	3	0,60024	6	0,0044	3	0,00506	4	9,1E-08	10	1,9E+20	18	-1,5E+10
4	0,62409	5	0,48662	4	0,72062	19	0,00374	7	0,00028	5	8,9E-08	11	1,8E+20	9	-1,4E+10
5	0,58929	7	0,4776	5	0,82818	11	0,00336	9	6,8E-05	3	8,7E-08	12	1,7E+20	15	-1,4E+10
6	0,56147	9	0,47427	6	0,93066	4	0,00319	6	5,4E-05	6	8,5E-08	7	1,7E+20	17	-1,4E+10
7	0,55223	6	0,47377	7	0,97827	18	0,00278	18	5,4E-05	8	8,1E-08	8	1,7E+20	8	-1,3E+10
8	0,5392	8	0,47338	8	1,03637	3	0,00252	14	4,3E-05	7	7,4E-08	14	1,6E+20	20	-1,3E+10
9	0,53269	12	0,46274	9	1,07093	7	0,00217	19	3,3E-05	10	6,8E-08	15	1,5E+20	19	-1,3E+10
10	0,50804	10	0,45338	10	1,15019	8	0,00189	12	3,3E-05	16	6,5E-08	13	1,5E+20	11	-1,2E+10
12	0,50751	11	0,45276	11	1,18854	16	0,00186	5	3,3E-05	11	6,5E-08	17	1,5E+20	5	-1,2E+10
11	0,50251	18	0,45238	12	1,19304	10	0,00184	15	2,5E-05	9	6,4E-08	18	1,4E+20	14	-1,2E+10
13	0,48514	17	0,44686	13	1,28058	14	0,00181	13	2,4E-05	13	6,4E-08	19	1,4E+20	13	-1,1E+10
18	0,4828	20	0,44403	14	1,30186	2	0,00178	8	2,3E-05	14	5,9E-08	20	1,4E+20	16	-1E+10
17	0,4794	13	0,44224	15	1,32971	12	0,00157	20	2,2E-05	15	5,9E-08	16	1,2E+20	6	-9,7E+09
14	0,4768	19	0,44162	17	1,33642	20	0,00151	16	1,8E-05	12	5,1E-08	5	1,2E+20	7	-8,9E+09
15	0,47339	14	0,43655	18	1,34318	17	0,00148	4	1,3E-05	20	4,9E-08	6	1,1E+20	10	-8,7E+09
20	0,47183	15	0,43577	16	1,38105	5	0,00143	17	7,9E-06	17	4,5E-08	4	1,1E+20	4	-8,1E+09
19	0,47101	16	0,42398	19	1,38617	9	0,00116	11	4,9E-06	18	4,5E-08	3	1E+20	3	-5,1E+09
16	0,45998	2	0,4206	20	1,40458	15	0,00073	10	3,7E-06	19	4,5E-08	2	6,5E+19	2	5,8E+09

Optimum küme sayısı için, Nacaroğlu (2010) geçerlilik indekslerini farklı veri setleri üzerinde test etmiş ve özellikle MPC, PBMF ve Fukuyama-Sugeno indekslerinin diğerlerine göre en iyi sonuçları verdiğini göstermiştir. Zhang vd. (2008) çok daha fazla veri seti üzerinde yaptığı analizlerde benzer sonuçları göstermiş, ancak yukarıdaki indekslerden MPC ve PBMF'nin diğerlerinden daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Literatürde hiçbir indeksin tüm veri setlerinde tam doğru sonuca ulaşmadığı gözlemi ve bu sonuçlar göz önüne alınarak burada yalnızca bu iki indeksin verdiği küme sayıları işlemlerde dikkate alınmıştır. Tez kapsamında sözü geçen geçerlilik indeksleri sonucunda elde edilen kümelerden 4 ve 9 küme Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



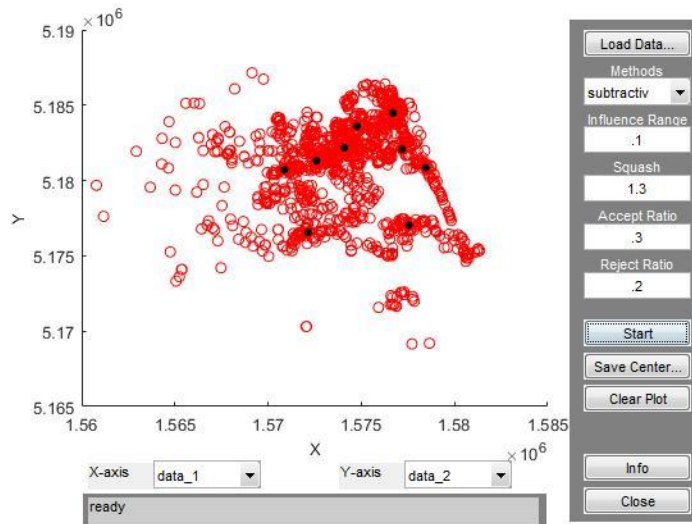
Şekil 6.4: Christchurch bölgesi için bulanık c-ortalamalar kümeleme sonucu elde edilmiş 4 ve 9 küme gösterimi.

Bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması, özellikle birbiri içine geçen dağınık küme setlerinde, her elemanın her kümeye aidiyeti bulunması sebebiyle keskin ayırım yapmaksızın kümelemeyi sağlamaktadır. Bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması sonucu elde edilen kümelerin geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş ve literatürde önerilen PBMF ve MPC indeksleri sonuçları dikkate alınmıştır. 4 ve 9 küme yoğun hasar bölgeleri ile karşılaştırılmıştır. Geçerlilik indeksleri sonucunda düşük elde edilen küme sayısı toprak kaymaları, sıvılaşma, zemin büyütmesi gibi bölgesel sorunlara işaret etmektedir (Toprak vd. (2018b)). Christchurch depreminin ağır sonuçlarından biride sıvılaşma olduğu düşünülürse elde edilen bulgular ile zemin hasarı uyum göstermektedir.

6.3 Çıkarımlı Kümeleme Algoritması Kullanarak Boru Hasarlarının Konuma Göre Kümelenmesi

Bulanık c-ortalamlar ve k-ortalamlar kümeleme algoritmaları yöntemleri gibi sık kullanılan yöntemler dışında küme merkezlerini oldukça hızlı bir şekilde veren çıkarımlı kümeleme algoritması da kullanılmaktadır. Çıkarımlı kümeleme algoritmasına göre kümeleme yapılırken göz önüne alınacak etki aralığı (IR), çarpım faktörü (SF), kabul oranı (AR) ve çıkarma oranı (RR) olmak üzere 4 farklı parametre vardır. Bu parametreler için çarpım faktörü 1'den büyük olmalı, çıkarma oranı kabul oranından küçük olmalıdır. Parametreler bu sınırlar içerisinde değiştirilerek kümeler ve küme merkezleri değişimi gözlenir.

Christchurch için hazırlanan 1502 hasarın konum veri seti kullanılarak etki aralığı 0.1 ile 0.8 arasında, çarpım faktörü 1.25 ve 1.30 alınarak, kabul oranı 0.1 ile 0.9 arasında ve çıkarma oranı ise yukarıda anlatılan kural temel alınarak 0.2 ile 1.0 arasında seçilerek çeşitli küme kombinasyonları elde edilmiştir. Parametreler değiştirilerek elde edilen küme sayıları ile bulanık c-ortalamlar geçerlilik indeksleri ile elde edilen 9 küme ortaktır. Şekil 6.5'te veri setinin etki aralığı 0.1, çarpım faktörü 1.3, kabul oranı 0.3 ve çıkarma oranı 0.2 seçilerek elde edilmiş 9 küme merkezi gösterilmiştir.



Şekil 6.5: Christchurch bölgesi için IR=0.1, SF=1.3, AR=0.3 ve RR=0.2 seçilerek çıkarımlı kümeleme sonucu elde edilmiş 9 küme gösterimi.

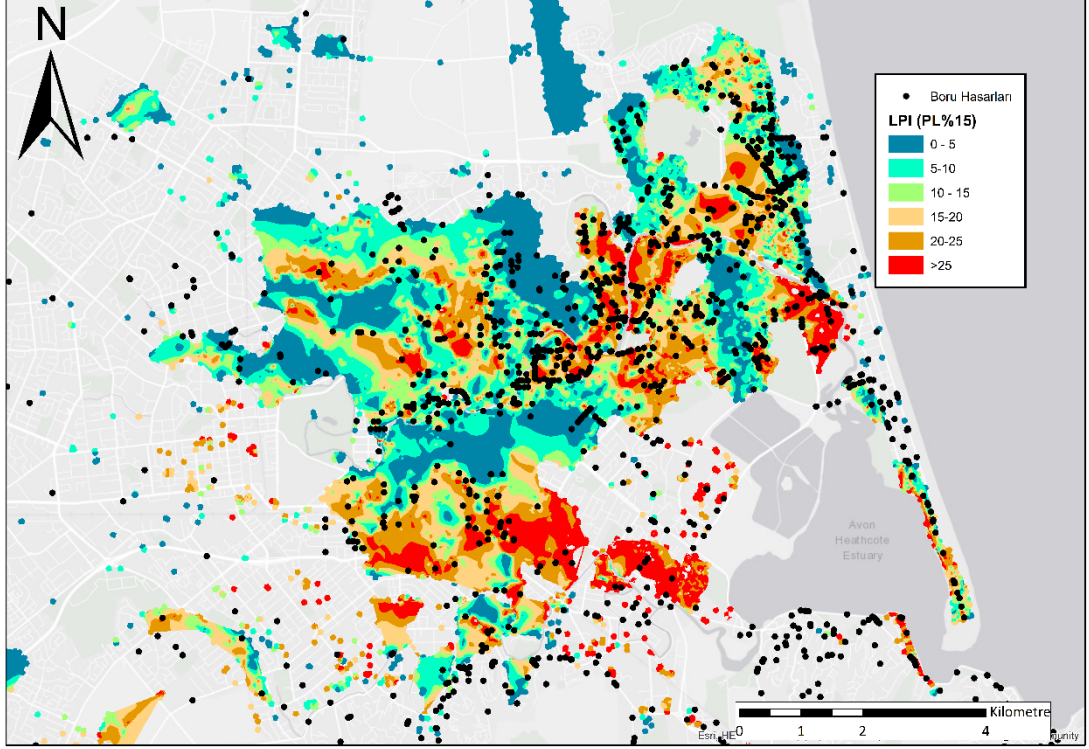
Toprak vd. (2010) ve Nacaroglu (2010) yaptıkları çalışmada çıkarımlı kümeleme algoritması sonucunda üç parametre (IR, AR ve RR) sabit kalırken, SF parametresinin artması ile küme sayısına azaltıcı etkide bulunduğunu göstermiştir. Değişen küme sayıları ve merkezleri EK C’de, elde edilen küme sayıları tablolar halinde EK C-3’te verilmiştir. Ek C-3’te verilen parametrelerin değişimlerine bağlı elde edilen küme sayıları tabloları incelendiğinde özellikle etki aralığı 0.5’ten sonra küme sayısı her parametre için 1 elde edilmiştir. Etki aralığının 0.5’ten küçük olduğu durumlarda, AR sabit iken RR değişmesiyle küme sayıları değişmekte, RR sabit iken AR değişmesiyle küme sayıları aynı kalmaktadır.

7. SIVILAŞMA ŞİDDETİ PARAMETRELERİNE GÖRE KÜMELEME (3 BOYUTLU)

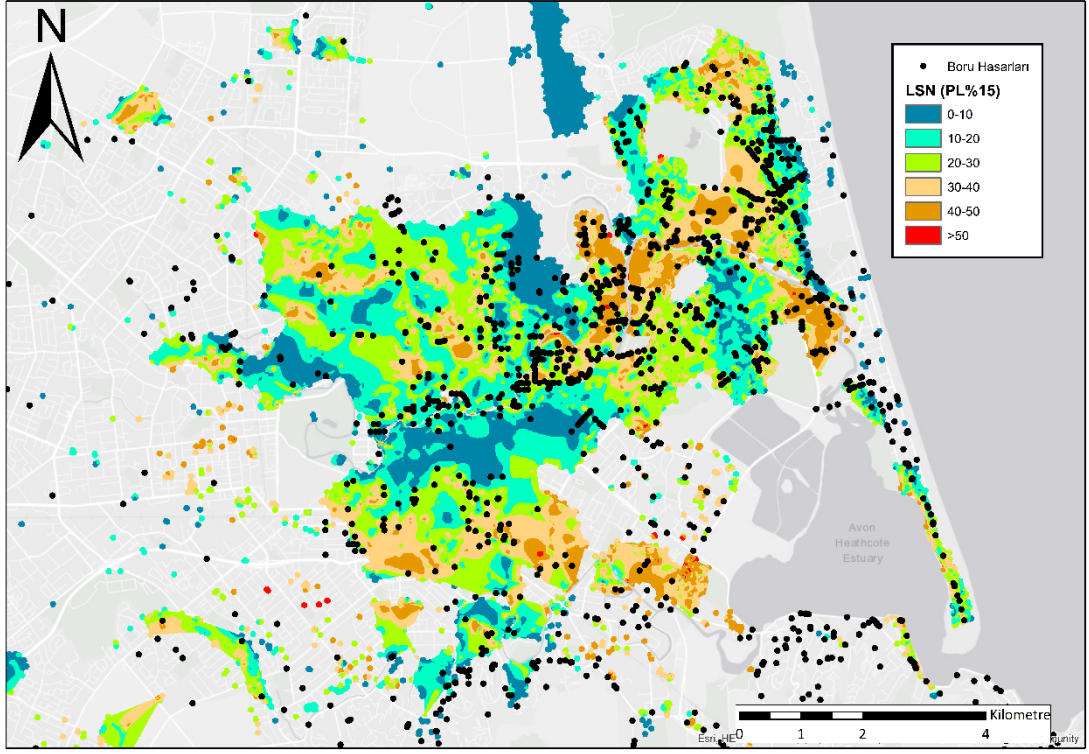
Bölüm 6’da 22 Şubat 2011 Christchurch bölgesinde meydana gelen deprem sonrası hasar alan boruların konumlarından oluşturulan 2 boyutlu veri seti kümelenmiş ve sonuçları açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlarda geçerlilik indeksleri ile elde edilen küme sayılarının azlık ve çokluğuna göre ne tür hasarlara işaret etmekte olduğu açıklanmıştır. Düşük küme sayısı ile işaret edilen bölgesel problemlerden sivilaşma, tez kapsamında kullanılan Christchurch depreminin ağır sonuçlarından biridir. Kümeleme analizlerinde eğer mümkün ise konum değerleri bilinen (x,y) boru hasarlarının yanına üçüncü veri olarak herhangi bir parametrenin (boru parametreleri, zemin parametreleri) eklenmesi direk o parametre ile boru hasarlarını değerlendirmek gibi eşsiz bir olanak sunmaktadır. Çalışmada kullanılabilir bu parametrelerden sivilaşma şiddeti parametreleri kullanılmıştır. Sivilaşma hem zemin için yukarıda anlatıldığı gibi çok önemli bir konu hem de Christchurch depreminin yol açtığı en büyük problem olarak göze çarpmaktadır. Çalışmada kümeleme analizinde kullanılan sivilaşma şiddeti parametreleriyle boru hasarlarının değerlendirilmesi ile literatüre önemli bir katkı konulduğu düşünülmektedir. Literatürde anlatıldığı üzere de araştırmacılar boru hasarları ile sivilaşma şiddeti parametreleri arası ilişkiyi araştırmışlardır. Bu tez kapsamında literatürde bir ilk olarak sivilaşma şiddeti parametrelerinin boru hasarları ile ilişkisi kümeleme analizi ile değerlendirilmiştir.

Bu bölümde boruların konum verilerinin yanına, deprem bölgesi için yapılmış zemin arazi deneyleri ile elde edilen sivilaşma analizleri sonucu; LPI, LSN ve S_{VID} değerleri eklenecektir. Bölüm 6’da yapılan işlemlere kısaca ‘2 boyutlu kümeleme’ denecek olursa bu başlık altında yapılacak olan işlemlere ise kısaca ‘3 boyutlu kümeleme’ denilebilir. 3 boyutlu veri setinin 2 boyutunu boru hasarlarının konum değerleri oluştururken 3. boyutu boru hasarlarının bulunduğu lokasyonlardan elde edilen sivilaşma şiddeti parametresi değerleri oluşturmaktadır.

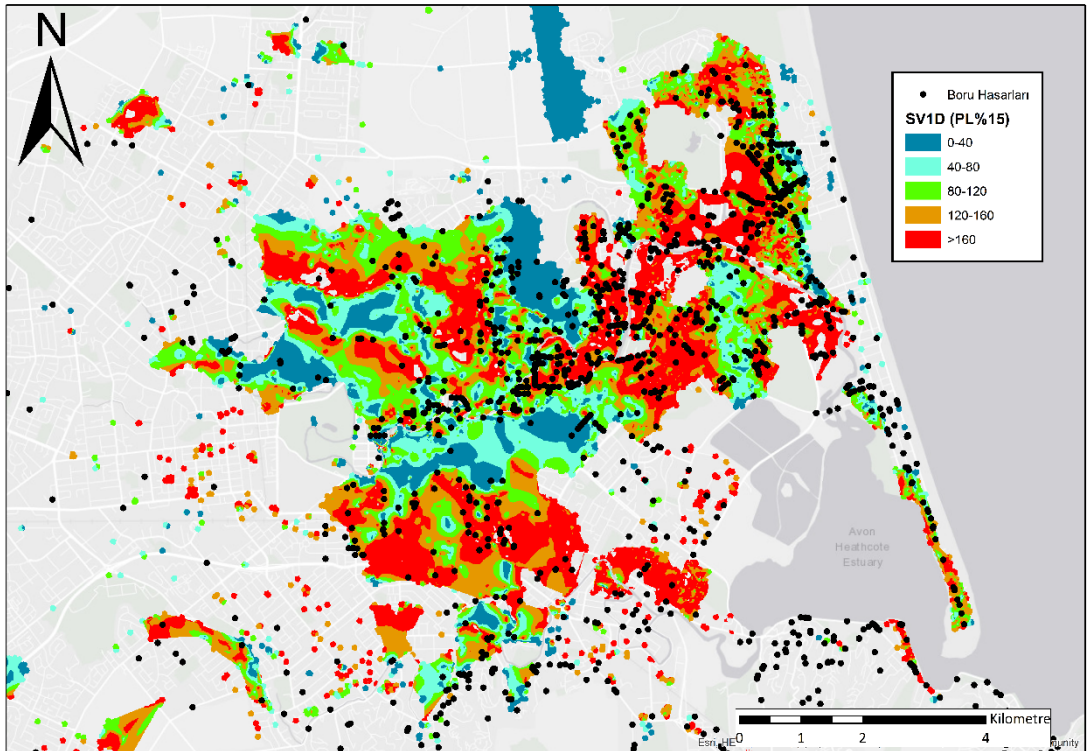
Christchurch bölgesi için önerilen sivilaşma olasılığı (PL=%15) değeri gözetilerek LPI (şekil 7.1), LSN (şekil 7.2) ve S_{VID} (şekil 7.3) haritaları aşağıda gösterilmiştir. Haritalar üzerinde boru hatları, boru hasar noktaları ve sivilaşma şiddeti parametreleri elde edilmiş bölgeler gösterilmiştir.



şekil 7.1: Christchurch bölgesi için LPI (PL=%15) haritası.



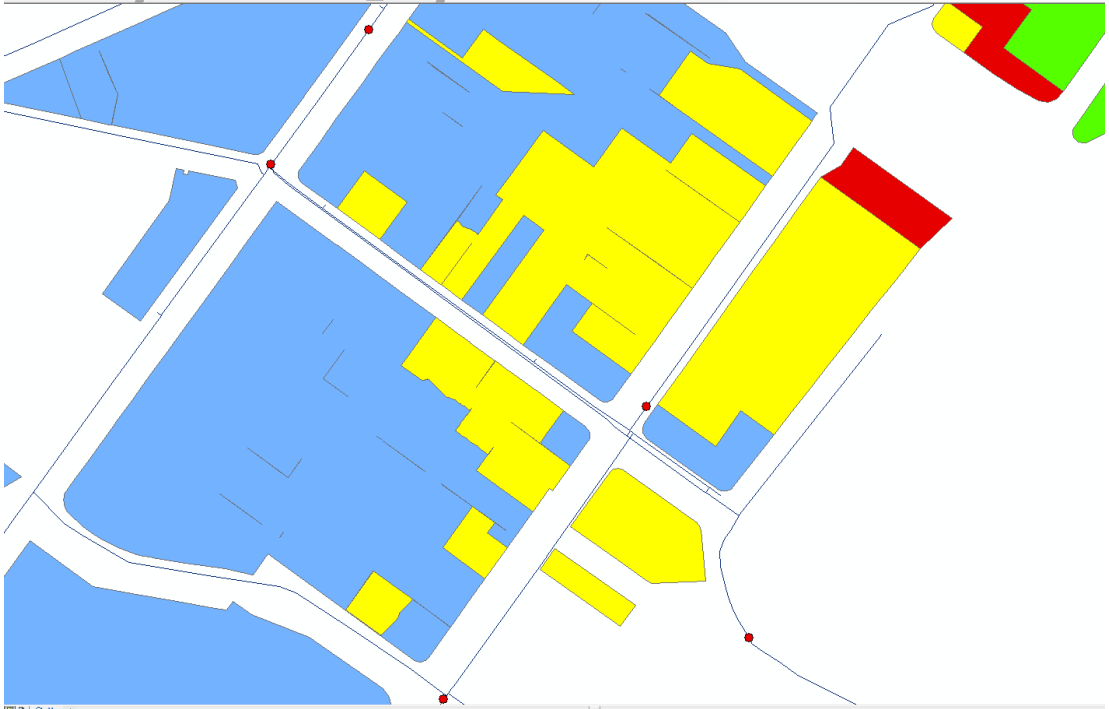
Şekil 7.2: Christchurch bölgesi için LSN (PL=15) haritası.



Şekil 7.3: Christchurch bölgesi için SV1D (PL=15) haritası.

Haritalara bakıldığında her hasar noktasının sıvılaşma bölgeleri ile çakışmadığı görülmektedir. Haritalara daha yakından bakıldığında boru hasarlarının daha çok sokaklarda sıvılaşma bölgelerinin ise yerleşim yerlerinde bulunduğu görülmüştür (Şekil 7.4). Sıvılaşma bölgelerinin yerleşim yerlerinde olmasının sebebi olarak arazi deneylerinin bina temellerinde yapılması gösterilebilir.

3 boyutlu veri seti oluşturulurken konum verilerinin yanında sıvılaşma şiddeti parametreleri olduğu söylenmiştir. Yani veri seti içerisinde sıvılaşma şiddeti parametresi değeri olmayan boru hasarları elenmelidir. Bunun için CBS yazılımlarından ARCMAP 10.2 yazılımı kullanarak boru hasarları ile sıvılaşma bölgeleri çakıştırılmıştır. Böylece elde edilen yeni hasar verisi setindeki her elemanın (boru hasarı) konum verilerinin yanına sıvılaşma şiddeti parametre değeri eklenmiştir. Her bir sıvılaşma şiddeti parametresi için ayrı ayrı 3 boyutlu veri setleri hazırlanmıştır. LPI için 1098, LSN için 1104 ve S_{VID} için ise 1098 boru hasarı konum verisi ile sıvılaşma şiddeti parametresi değeri elde edilmiştir.

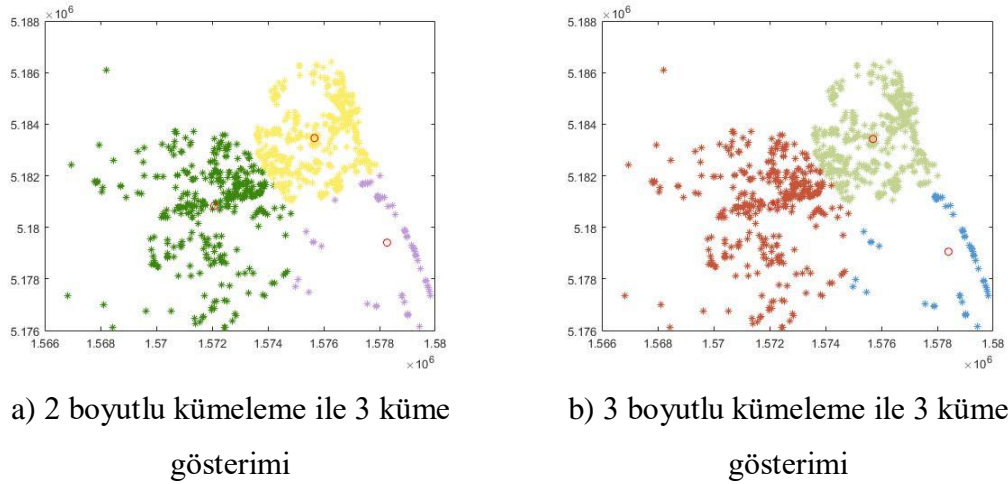


Şekil 7.4: Boru hatları, hasarları ve LSN sıvılaşma bölgesinin yakın plan sokak gösterimi.

Hazırlanan yeni veri setleri 3 başlık altında yani 3 sıvılaşma şiddeti parametresi olarak ayrı ayrı değerlendirilecek ve kümelenecektir. Bunun amacı sıvılaşma şiddeti parametreleri kullanılarak hesaplanan kümelerle elde edilen yoğun

hasar bölgelerinin araştırılmasıdır. Bu aynı zamanda tezin ana amacını oluşturmaktadır.

Hazırlanan 3 boyutlu veri setleri kümeleme analizleri ile kümelenmiştir. Ancak küme dağılımları 2 boyutlu veri setinden farklılık göstermemiştir. Bunun sebebi LPI, LSN ve S_{VID} için hazırlanan veri setlerinin iki boyutlu kısmını oluşturan konum değerlerin büyüklüğü ile eklenen 3. boyutun büyüklüğünün uyumlu olmamasıdır. Örneğin x değeri 1577894.116, y değeri 5176944.084 iken LSN değeri 27'dir. Görüldüğü üzere konum değerlerinin büyüklüğü sınıflama değerlerinin büyüklüğünden oldukça fazladır. Bu durumun sonucunda yapılan kümeleme analizlerinde 3. Boyutun işleme herhangi bir katkı sağlamadığı Şekil 7.5'te aynı küme sayısı için 2 ve 3 boyut için ayrı ayrı yapılan kümeleme sonuçları ile gösterilmiştir.



Şekil 7.5: 2 boyutlu kümeleme ile 3 boyutlu kümeleme sonucunda 3 küme için aynı sonucun elde edildiğinin gösterilmesi.

2 boyutlu kümeleme ile 3 boyutlu kümeleme sonucunda 3 küme için aynı sonuçlar elde edilmiştir. Bu sorunun giderilebilmesi için istatistik biliminde sıklıkla kullanılan normalizasyon yöntemi kullanılmıştır. Normalizasyon; veri setinde yer alan elemanların 0 ile 1 arasında değerlere indirgenmesi işlemidir. Normalizasyon kullanılarak konum verileri (x,y) ve sınıflama şiddeti parametreleri kendi içinde 0 ile 1 değerleri arasında normalize edilmiştir. Böylece veri setleri arasında büyüklük farkları ortadan kaldırılmıştır. Veri seti yer alan elemanların büyüklük uyumunun

bulunmaması durumunda normalize işlemi yapılması önerilir. Üç boyutlu kümeleme analizleri normalizasyon uygulanan veri setleri ile yapılmıştır.

7.1 K-Ortalamlar Kümeleme Algoritması Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme

Bu başlık altında, sıvılaşma şiddeti parametrelerini içeren 3 boyutlu veri setleri, k-ortalamlar kümeleme algoritmasına göre kümelendirilmiştir. 3 boyutlu veri setleri minimum küme sayısı 2 maksimum küme sayısı ise eşitlik (3.1) kullanarak 20 seçilerek k-ortalamlar kümeleme algoritması kullanarak kümelendirilmiştir. İşlemler MATLAB yazılımı yardımıyla yapılmıştır.

Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile incelenmiş ve optimum küme sayıları belirlenmiştir. Optimum kümeler ve bu kümelerde elde edilen sıvılaşma şiddeti parametre dağılımları gösterilmiştir.

7.1.1 LPI Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme

Bu bölüm içerisinde boru hasarları ile sıvılaşma şiddeti parametrelerinden LPI ilişkisi araştırılmıştır. Christchurch depremi sonrası bölgede meydana gelen sıvılaşma durumu için arazi deneyleri sonucu elde edilen sıvılaşma şiddeti parametrelerinden LPI kullanılmıştır. LPI değerleri, Şekil 7.1'de verilen sıvılaşma olasılığı ($PL=15\%$)'e göre hazırlanan LPI haritası yardımıyla boru hasarları ile karşılaştırılmış ve 1098 boru hasarı için LPI değeri elde edilmiştir. Bu veri seti histogramları çıkarılarak incelendiğinde LPI değeri 38 üzeri olan (39-164) veri sayısının toplam veri sayısına oranının binde 7 seviyesinde olduğu ve normalizasyon sürecinde tüm veri setini olumsuz etkilediği göz önüne alınarak bu değerler kümeleme analizlerinde kullanılmamıştır.

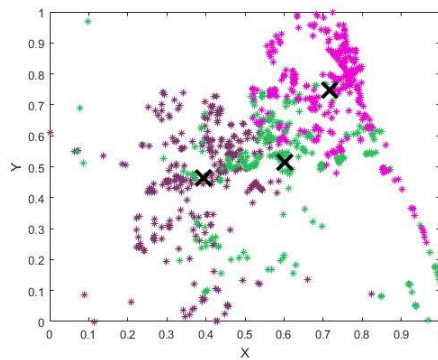
Elde edilen LPI değerleri ile 1090 boru hasarının konum değerleri birleştirilmiştir. Oluşturulan yeni LPI veri seti 1090×3 matris olarak MATLAB yazılımında tanımlanmıştır. LPI veri seti 2 ile 20 küme arasında k-ortalamlar kümeleme algoritması kullanarak kümelendirilmiştir. Elde edilen kümeler geçerlilik

indeksleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar detaylı olarak Tablo 7.1’de gösterilmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda Calinski-Harabasz indeksi için optimum küme 3 iken Davies-Bouldin indeksi için 20 kümedir.

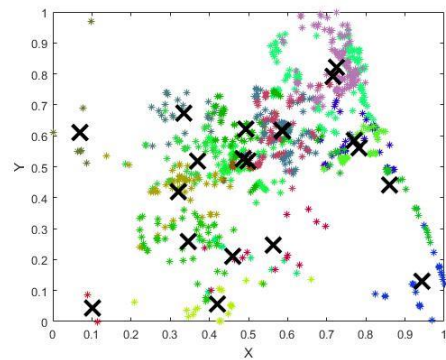
Tablo 7.1: 3 boyutlu LPI veri setinin k-ortalamlar kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.

<u>Küme</u> <u>Sayısı</u>	<u>C-H</u>	<u>Küme</u> <u>Sayısı</u>	<u>D-B</u>
3	549,486	20	0,94372
4	494,425	9	0,95086
5	489,058	10	0,96741
6	486,484	5	0,97738
2	483,152	18	0,9907
7	474,061	15	0,99341
8	469,159	19	1,00029
9	466,027	13	1,00542
12	453,594	8	1,00717
11	448,257	7	1,01046
10	447,192	16	1,01164
13	438,66	12	1,01267
14	437,333	17	1,01955
18	436,367	6	1,02399
15	435,616	14	1,02788
19	431,937	11	1,02883
16	431,099	3	1,074
20	428,366	4	1,12565
17	421,644	2	1,37393

Geçerlilik indeksleri sonucunda elde edilen 12 ve 20 kümenin gösterimi Şekil 7.6’da verilmiştir.



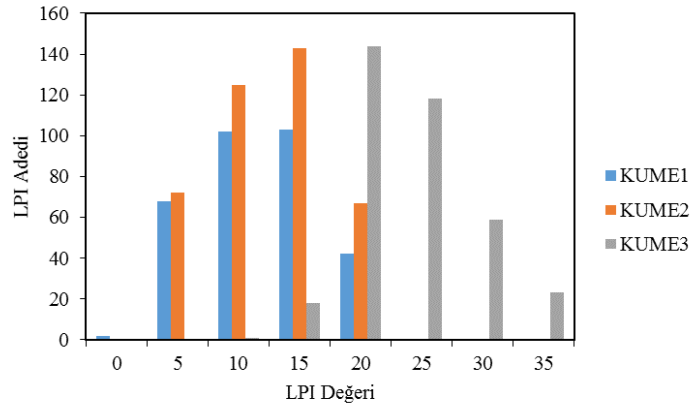
a) 3 küme gösterimi



b) 20 küme gösterimi

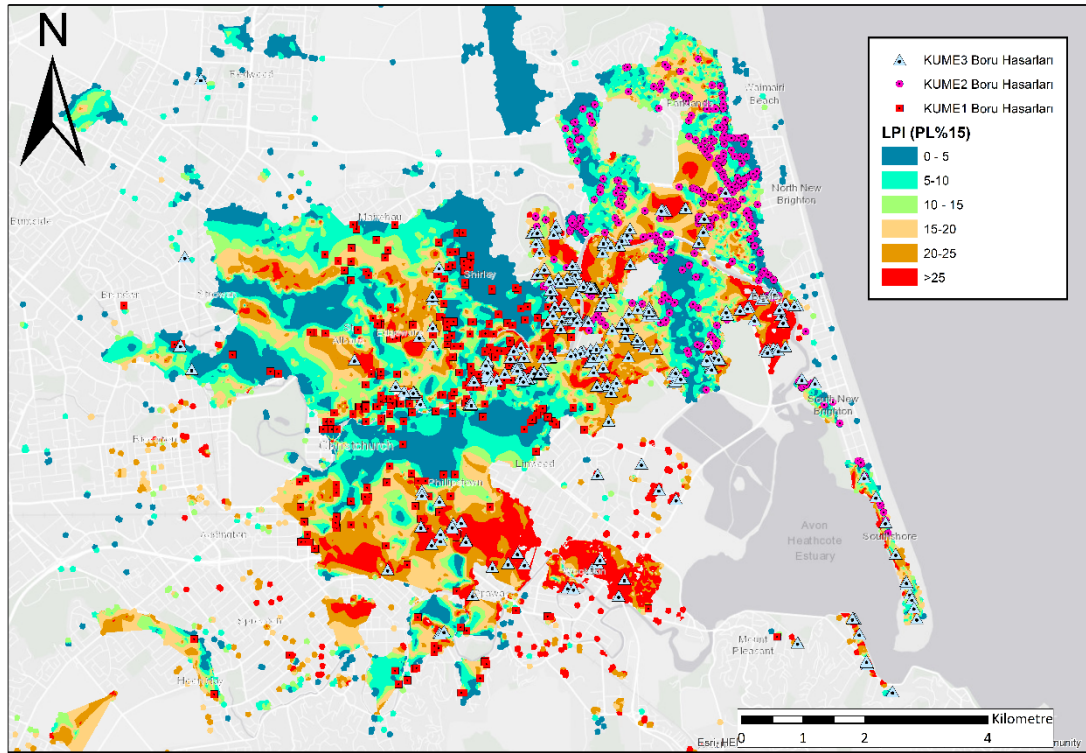
Şekil 7.6: LPI 3 boyutlu k-ortalamlar kümeleme sonucunda 3 ve 20 küme gösterilmesi.

Sıvılaşıma şiddeti parametresi LPI ile hazırlanan 3 boyutlu veri setinin k-ortalama kümeleme algoritması ile kümelendiği sonucu elde edilen kümelerin geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesinden elde edilen 3 ve 20 küme, küme içi homojenlik ve kümeler arası heterojenlik uyumunun aranması için incelenmiştir. Geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen 20 küme için LPI değerleri incelendiğinde, küme içi homojenlik ve kümeler arası heterojenlik tam olarak sağlanmadığı görülmüştür. Sıvılaşıma şiddeti parametresi yanında boru ile ilgili parametreler (cinsi, çapı, yaşı vb.) ve/veya zemin ile ilgili parametreler (şekil değiştirme, oturma vb.) kümeleme analizine dâhil edilerek daha kapsamlı ve ayrıntılı şekilde kümelerin değerlendirilmesi önerilmektedir. Gelecek çalışmalar bu kapsamda olacaktır. 3 küme için ise kümelerin LPI dağılımları Şekil 7.7’de verilmiştir.



Şekil 7.7: LPI dağılım histogramı.

Şekil 7.7’de verilen 3 küme için LPI dağılımları incelendiğinde KUME1 KUME2’nin dağılımları yaklaşık eşit ve KUME3’ten bariz bir şekilde farklı olduğu görülmektedir. Dağılımın Christchurch bölgesi üzerinde gösterimi Şekil 7.8’de verilmiştir.



Şekil 7.8: Christchurch LPI (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.

Şekil 7.7 ve Şekil 7.8 birlikte incelendiğinde LPI veri setinin k-ortalamlar kümeleme algoritması ile kümelenmesi sonucunda veri setini düşük ve yüksek LPI bölgeleri olarak kümelediği görülmüştür. Christchurch bölgesinin sol ve sağ kısımları düşük LPI değerleri içerirken (KUME1 ve KUME2) orta kısım yüksek LPI değerleri (KUME3) içermektedir.

7.1.2 LSN Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme

Bu bölüm içerisinde boru hasarları ile sıvılaşma şiddeti parametrelerinden LSN ilişkisi araştırılmıştır. Christchurch depremi sonrası bölgede meydana gelen sıvılaşma durumu için arazi deneyleri sonucu elde edilen sıvılaşma şiddeti parametrelerinden LSN kullanılmıştır. LSN değerleri, Şekil 7.2’de verilen sıvılaşma olasılığı (PL=%15)’e göre hazırlanan LSN haritası yardımıyla boru hasarları ile karşılaştırılmış ve 1104 boru hasarı için LSN değeri elde edilmiştir.

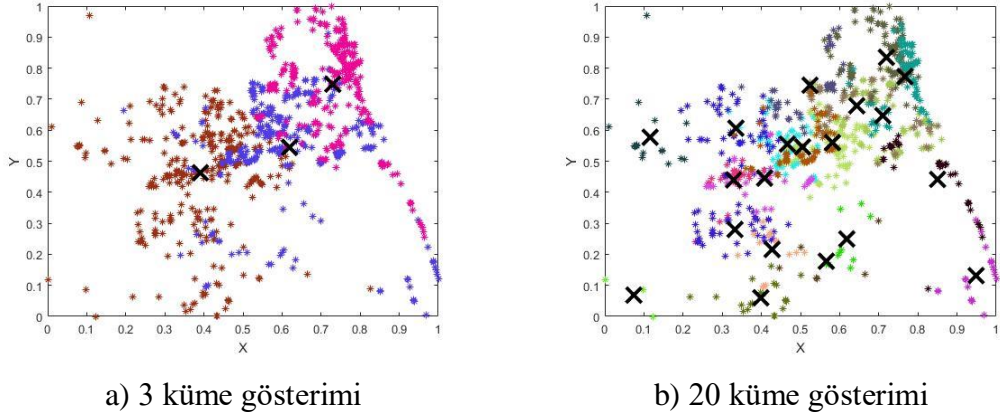
Elde edilen LSN değerleri ile 1104 boru hasarının konum değerleri birleştirilmiştir. Oluşturulan yeni LSN veri seti 1104*3 matris olarak MATLAB

yazılımında tanımlanmıştır. LSN veri seti 2 ile 20 küme arasında k-ortalamlar kümeleme algoritması kullanarak kümelendirilmiştir. Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar detaylı olarak Tablo 7.2’de gösterilmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda Calinski-Harabasz indeksi için optimum küme 3 iken Davies-Bouldin indeksi için 20 kümedir.

Tablo 7.2: 3 boyutlu LSN veri setinin k-ortalamlar kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.

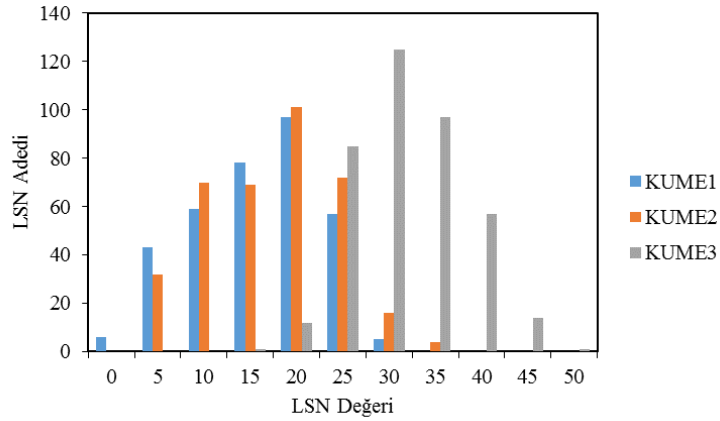
Küme	C-H	Küme	D-B
Sayısı		Sayısı	
3	536,353	20	0,93894
5	502,754	18	0,9497
4	500,841	15	0,95078
7	497,15	19	0,96153
6	486,318	5	0,9709
8	476,173	14	0,97204
9	470,801	12	0,98461
10	453,494	17	0,99402
2	452,469	16	0,99532
14	450,116	8	1,0142
11	449,978	7	1,02219
19	446,654	10	1,02532
12	441,033	6	1,03052
18	439,431	9	1,05746
17	438,26	13	1,0657
13	434,382	11	1,08657
15	432,183	3	1,09313
20	431,965	4	1,11792
16	423,553	2	1,3523

Geçerlilik indeksleri sonucunda elde edilen 3 ve 20 kümenin gösterimi Şekil 7.9’da verilmiştir.



Şekil 7.9: LSN 3 boyutlu k-ortalamlar kümeleme sonucunda 3 ve 20 küme gösterilmesi.

Sıvılaşma şiddeti parametresi LSN ile hazırlanan 3 boyutlu veri setinin k-ortalamlar kümeleme algoritması ile kümelendiği sonucu elde edilen kümelerin geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesinden elde edilen 3 ve 20 küme, küme içi homojenlik ve kümeler arası heterojenlik uyumunun aranması için incelenmiştir. İncelemenin daha iyi yapılabilmesi için 3 kümenin LSN değerinin dağılımı Şekil 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.10: LSN dağılım histogramı.

Literatürde bahsedilen önceki çalışmalarda Canterbury Deprem Dizisi için zemin sıvılaşma şiddeti parametrelerinden LSN'in en güçlü parametre olduğu gösterilmiştir. Arazi hasarları için Boulanger ve Idriss (2014), yapılar için Tonkin ve Taylor (2015), Van Ballegoy vd. (2015b) çalışmalarında LSN parametresinin en iyi sonuç veren sıvılaşma şiddeti parametresi olduğunu göstermişlerdir. Bu bilgiler ışığında boru hasarlarının sıvılaşma şiddeti parametreleriyle değerlendirilmesi

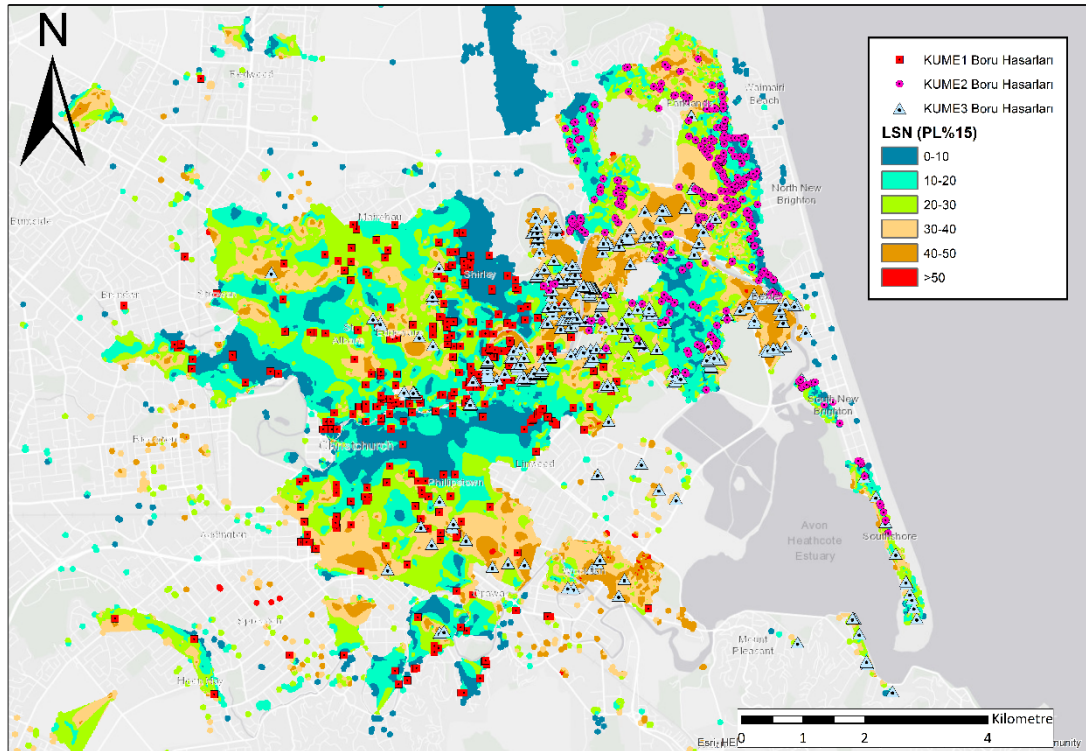
konusunda ise Toprak vd. (2017) çalışmasında LSN'i kullanarak bu alanda ilk çalışma olmuştur. Daha sonra Nacaroglu (2017), Toprak vd. (2019) çalışmalarında LSN parametresi ve diğer sıvılaşma şiddeti parametrelerinin boru hasarlarıyla ilişkilerini araştırmışlardır.

LSN veri setinin k-ortalamlar kümeleme algoritması geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen 20 kümenin anlamlılığını ortaya koymak için LPI için elde edilen 20 küme ile aynı çalışmaların yapılması gerekmektedir. 3 küme için ise LSN dağılımları Tablo 7.3'te verilmiştir.

Tablo 7.3: 3 Kümenin LSN dağılımı.

Küme	Aralık
1	0-25
2	0-25
3	>20

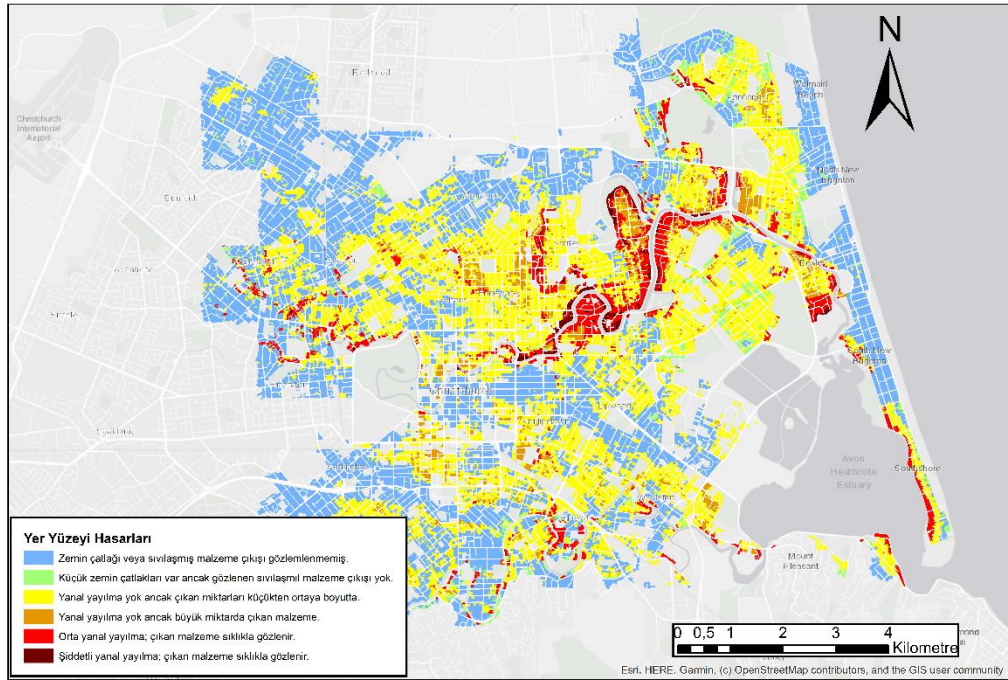
3 küme için LSN dağılımlarının arazide nasıl dağılım gösterdiği Şekil 7.11'de gösterilmiştir. Haritanın sol tarafını KUME1 oluştururken sağ tarafını KUME2 oluşturmaktadır. Ortada ise KUME3 yer almaktadır.



Şekil 7.11: Christchurch LSN (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.

Tablo 7.3 ile Şekil 7.11 birlikte incelendiğinde bölgenin orta kısmında LSN değerlerinin yükseldiği görülmektedir. Şekil 7.10 değerlendirildiğinde her bir kümenin eleman sayıları; Küme1 için 346, Küme2 için 393 ve Küme3 için 365'dir. Dağılım dışında kalan elemanlar ise KUME1 için 5 adet (LSN değerleri 26, 26, 27, 27 ve 28), KUME3 için 7 adet (19, 19, 19, 19, 19, 19 ve 14) ve KUME2 için ise 20 adettir. K ortalamalar kümeleme analizi literatürde çok keskin bir yöntem olarak geçtiği için bu farklı değerleri ait olduğuna karar verilen kümeye atanmakta zorlanmaktadır. LSN dağılımı için Şekil 7.10'da verilen histogram ve kümelerin eleman sayıları göz önüne alındığında dağılımı bozan değerlerin sayıları ve değerleri ihmal edilebilir seviyededir.

Christchurch bölgesinde meydana gelen deprem sonrası yer yüzeyi hasarları haritası Şekil 7.12'de verilmiştir.



Şekil 7.12: Christchurch bölgesi için deprem sonrası meydana gelen yer yüzeyi hasarları (NZGD).

Şekil 7.11'de yüksek LSN değerlerinin bölgenin ortasında yoğunlaştığı görülmüştür. Tablo 7.3'te k-ortalamalar kümeleme algoritması geçerlilik indeksleri ile LSN veri seti için 3 kümenin LSN dağılımı boru hasarlarının LSN dağılımıyla uyumludur. Şekil 7.12'de verilen haritada yüksek hasar alan bölgeler haritanın ortasında yoğunlaşmaktadır. Şekil 5.9'da verilen LSN dağılımı ile 3 küme ile elde edilen LSN dağılımları neredeyse tam bir uyum içerisindedir.

Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde LSN veri seti için k-ortalamlar kümeleme algoritması geçerlilik indeksi Calinski-Harabasz ile bulunan 3 kümenin boru hasarları ile LSN değerleri arasında çok yüksek bir ilişki olduğunu göstermektedir.

7.1.3 S_{VID} Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme

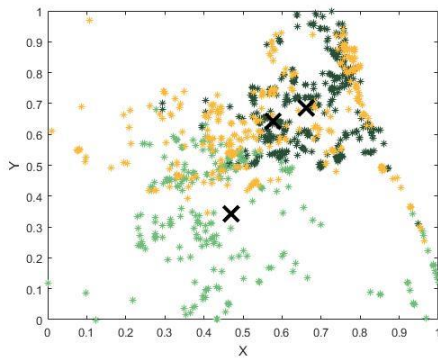
Bu bölüm içerisinde boru hasarları ile sıvılaşma şiddeti parametrelerinden S_{VID} ilişkisi araştırılmıştır. Christchurch depremi sonrası bölgede meydana gelen sıvılaşma durumu için arazi deneyleri sonucu elde edilen sıvılaşma şiddeti parametrelerinden S_{VID} kullanılmıştır. S_{VID} değerleri, Şekil 7.3’de verilen sıvılaşma olasılığı (PL=%15)’e göre hazırlanan S_{VID} haritası yardımıyla boru hasarları ile karşılaştırılmış ve 1098 boru hasarı için S_{VID} değeri elde edilmiştir. Bu veri seti histogramları çıkarılarak incelendiğinde S_{VID} değeri 170 ve üzeri olan (170-194) veri sayısının toplam veri sayısına oranının yüzde 3 seviyesinde olduğu ve normalizasyon sürecinde tüm veri setini olumsuz etkilediği göz önüne alınarak bu değerler kümeleme analizlerinde kullanılmamıştır.

Elde edilen S_{VID} değerleri ile 1064 boru hasarının konum değerleri birleştirilmiştir. Oluşturulan yeni S_{VID} veri seti 1064*3 matris olarak MATLAB yazılımında tanımlanmıştır. S_{VID} veri seti 2 ile 20 küme arasında k-ortalamlar kümeleme algoritması kullanarak kümelendirilmiştir. Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar detaylı olarak Tablo 7.4’de gösterilmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda Calinski-Harabasz indeksi için optimum küme 3 iken Davies-Bouldin indeksi için 20 kümedir.

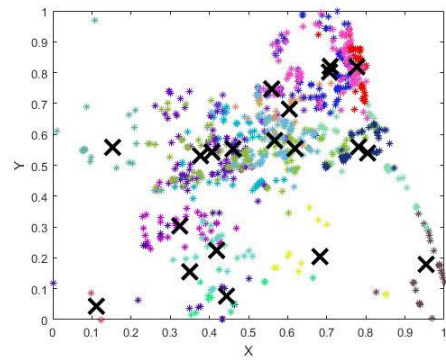
Tablo 7.4: 3 boyutlu S_{VID} veri setinin k-ortalamlar kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.

<u>Küme Sayısı</u>	<u>C-H</u>	<u>Küme Sayısı</u>	<u>D-B</u>
3	519,481	20	0,92497
5	507,428	18	0,96696
4	503,683	12	0,97504
7	498,626	16	0,97601
6	495,112	19	0,97712
2	479,692	6	0,98125
8	478,732	15	0,98299
9	478,093	7	0,99223
10	467,094	5	0,99496
13	456,797	10	0,99612
14	456,521	14	1,00568
15	453,412	13	1,0062
11	451,671	9	1,00674
12	446,847	17	1,01541
19	439,989	8	1,01819
18	437,639	11	1,02452
17	436,065	3	1,07656
16	434,113	4	1,10981
20	428,632	2	1,31054

Geçerlilik indeksleri sonucunda elde edilen 3 ve 20 kümenin gösterimi Şekil 7.13'te verilmiştir.



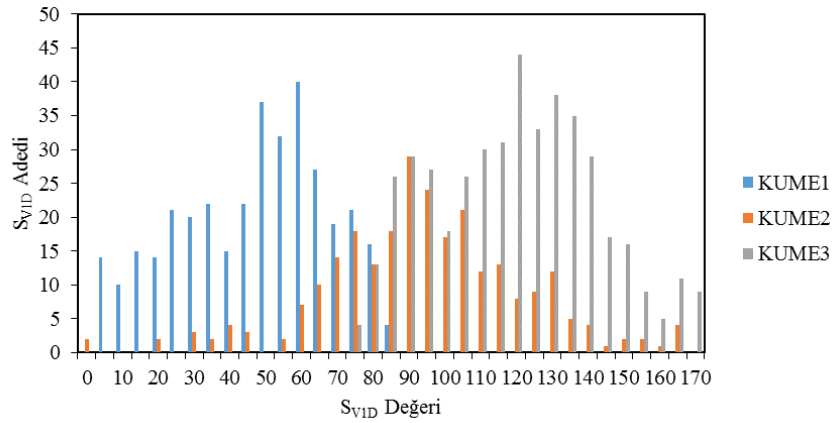
a) 3 küme gösterimi



b) 20 küme gösterimi

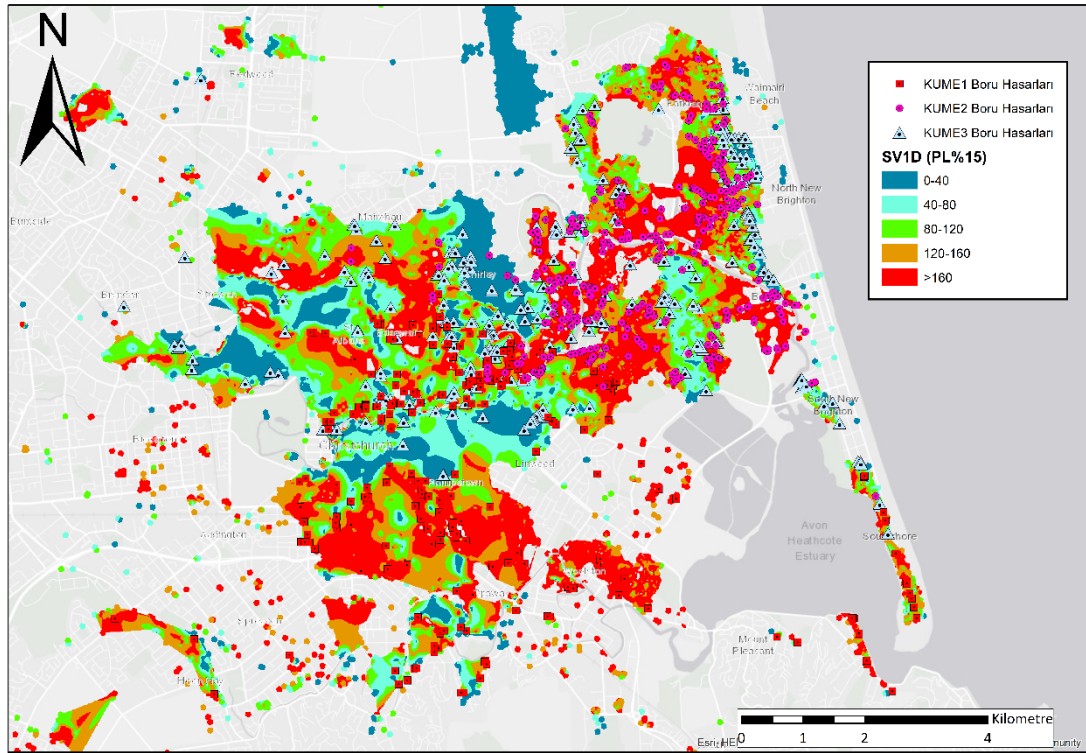
Şekil 7.13: S_{VID} 3 boyutlu k-ortalamlar kümeleme sonucunda 3 ve 20 küme gösterilmesi.

Sıvılaşma şiddeti parametresi S_{VID} ile hazırlanan 3 boyutlu veri setinin k-ortalamalar kümeleme algoritması ile kümelendiği sonucu elde edilen kümelerin geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesinden elde edilen 3 ve 20 küme, küme içi homojenlik ve kümeler arası heterojenlik uyumunun aranması için incelenmiştir. S_{VID} veri setinin k-ortalamalar kümeleme algoritması geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen 20 kümenin anlamlılığını ortaya koymak için LPI için elde edilen 20 küme ile aynı çalışmaların yapılması gerekmektedir. 3 kümenin S_{VID} değerinin dağılımı Şekil 7.14'te gösterilmiştir.



Şekil 7.14: S_{VID} dağılım histogramı.

Şekil 7.14'de verilen 3 küme için S_{VID} dağılımları incelendiğinde KUME1, KUME2 ve KUME3 dağılımlarının iç içe olduğu görülmektedir. Dağılımın Christchurch bölgesi üzerinde gösterimi Şekil 7.15'te verilmiştir.



Şekil 7.15: Christchurch S_{VID} (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.

Şekil 7.14 ve Şekil 7.15 birlikte incelendiğinde S_{VID} veri setinin k-ortalamlar kümeleme algoritması ile kümelendiği sonucunda veri setini 3 kümeye böldüğü, 3 kümenin dağılımları birbirinden farklı ancak iç içe olduğunu göstermiştir.

7.2 Bulanık C-Ortalamlar Kümeleme Algoritması Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme

Bu başlık altında, hazırlanan 3 boyutlu veri setleri, bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritmasına göre kümelendi. 3 boyutlu veri setleri minimum küme sayısı 2 maksimum küme sayısı ise eşitlik (3.1) kullanarak 20 seçilerek bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması kullanarak kümelendi. İşlemler MATLAB yazılımı yardımıyla yapılmıştır.

Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile incelenmiş ve optimum küme sayıları bulunmuştur. Optimum kümeler ve bu kümelerde elde edilen sıvılaştırma şiddeti parametre dağılımları gösterilmiştir.

7.2.1 LPI Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme

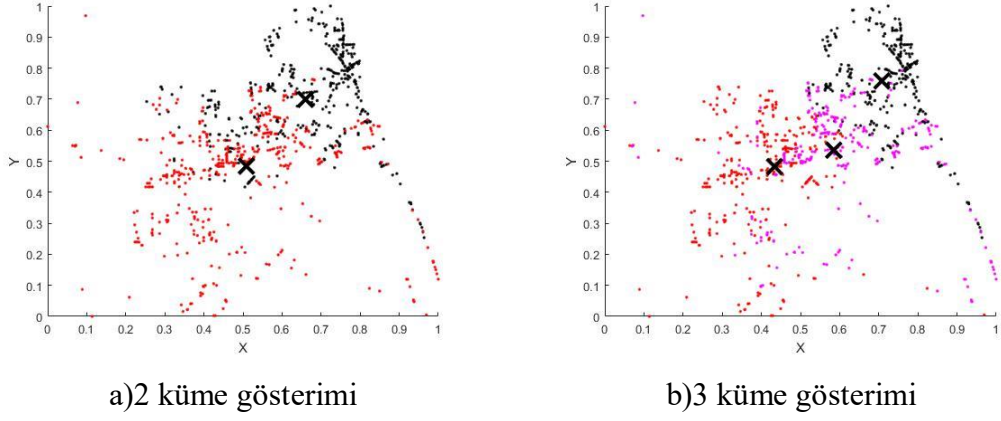
Bu bölüm içerisinde boru hasarları ile sıvılaşma şiddeti parametrelerinden LPI ilişkisi araştırılmıştır. Christchurch depremi sonrası bölgede meydana gelen sıvılaşma durumu için arazi deneyleri sonucu elde edilen sıvılaşma şiddeti parametrelerinden LPI kullanılmıştır. LPI değerleri, Şekil 7.1’de verilen sıvılaşma olasılığı ($PL=15\%$)’e göre hazırlanan LPI haritası yardımıyla boru hasarları ile çakıştırılmış ve 1098 boru hasarı için LPI değeri elde edilmiştir. Bu veri seti histogramları çıkarılarak incelendiğinde LPI değeri 38 üzeri olan (39-164) veri sayısının toplam veri sayısına oranının binde 7 seviyesinde olduğu ve normalizasyon sürecinde tüm veri setini olumsuz etkilediği göz önüne alınarak bu değerler kümeleme analizlerinde kullanılmamıştır.

Elde edilen LPI değerleri ile 1090 boru hasarının konum değerleri birleştirilmiştir. Oluşturulan yeni LPI veri seti 1090*3 matris olarak MATLAB yazılımında tanımlanmıştır. LPI veri seti 2 ile 20 küme arasında bulanık c-ortalama kümeleme algoritması kullanarak kümelendirilmiştir. Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar detaylı olarak Tablo 7.5’te gösterilmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda MPC indeksi için optimum küme 3 iken PBMF indeksi için 2 kümedir.

Tablo 7.5: 3 boyutlu LPI veri setinin bulanık c-ortalama kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.

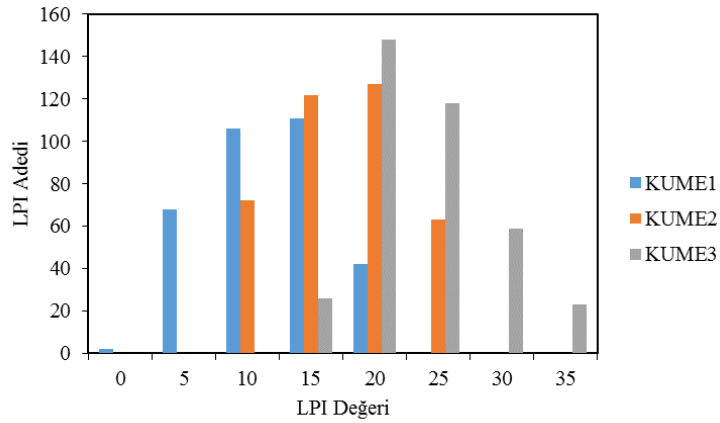
Küme Sayısı	PC	Küme Sayısı	MPC	Küme Sayısı	CE	Küme Sayısı	DUNN	Küme Sayısı	ADI	Küme Sayısı	XIE-BENI	Küme Sayısı	PBMF	Küme Sayısı	Fukuyama-Sugeno
2	0.638182489	3	0.338915085	2	0.54005194	16	0.01362919	2	0.110551343	18	0.001746536	2	1.230958121	12	-34.3468001
3	0.559276724	4	0.313972508	3	0.769417775	6	0.01268566	3	0.009860622	19	0.001806479	4	0.094721022	7	-33.65532126
4	0.485479381	6	0.30253465	4	0.974970182	10	0.012503802	5	0.00092334	20	0.001806521	6	0.087529403	8	-30.98382426
5	0.437303427	5	0.296629284	5	1.129038782	19	0.0119671	8	0.000792563	17	0.001913566	7	0.087060846	9	-29.98145787
6	0.418778875	8	0.290429454	6	1.227901533	7	0.010618843	10	0.000610165	16	0.001941209	11	0.085956908	18	-29.97075233
7	0.391666772	7	0.290277901	7	1.336184581	17	0.010605712	4	0.000309466	15	0.001978732	13	0.082062522	14	-29.04994164
8	0.379125772	9	0.282213206	8	1.412473598	18	0.010605712	11	0.000212574	13	0.002074511	8	0.079006021	16	-29.01310132
9	0.361967294	2	0.276364978	9	1.496047285	5	0.010367634	7	0.000156683	12	0.002097319	14	0.078047047	15	-28.55108801
10	0.342026837	12	0.271158222	10	1.582317282	15	0.009020016	6	0.000117842	14	0.002125217	12	0.072561835	10	-28.00306799
12	0.331895036	10	0.268918708	11	1.658627301	4	0.008365994	9	9.6777E-05	11	0.002408494	17	0.070810433	17	-27.90296481
11	0.325254513	20	0.266268574	12	1.672386083	11	0.007274422	12	2.6092E-05	9	0.002556371	10	0.070393937	20	-27.75683604
13	0.322198593	15	0.266208897	13	1.726556408	14	0.007274422	13	1.8945E-05	10	0.002580325	18	0.06803761	19	-27.6150747
15	0.315128303	13	0.265715142	14	1.789883339	12	0.0061559	14	9.80339E-06	4	0.002636729	9	0.067757178	11	-27.45829853
14	0.310695853	18	0.264013949	15	1.801361815	8	0.006098391	15	7.64403E-06	7	0.002688672	15	0.067166806	13	-25.93841812
16	0.305482223	16	0.259181038	16	1.861903851	20	0.004378807	19	3.9881E-06	8	0.002728524	19	0.065591235	6	-25.16530809
18	0.304902063	11	0.257779964	18	1.907132467	9	0.003662347	18	3.96441E-06	3	0.002732088	20	0.064378899	5	-22.92653791
20	0.302955145	14	0.257672457	17	1.91172502	13	0.002584478	17	3.79433E-06	6	0.002992642	16	0.063997873	4	-19.01151847
17	0.296812483	17	0.252863263	20	1.960999735	3	0.001388344	20	3.73518E-06	5	0.0031896	3	0.059698871	3	-9.313245045
19	0.292147478	19	0.252822338	19	1.968428437	2	0.000279446	16	1.38054E-06	2	0.005028796	5	0.05111113	2	8.765020169

Geçerlilik indeksleri sonucunda elde edilen 2 kümenin gösterimi Şekil 7.16’da verilmiştir.



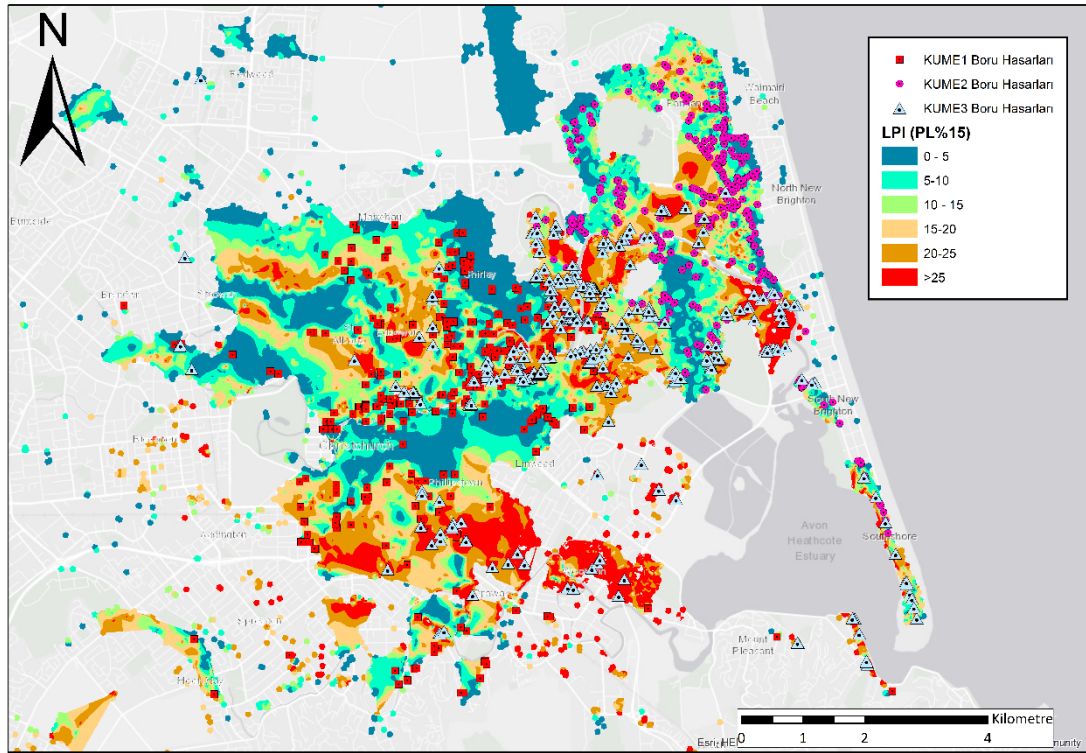
Şekil 7.16: LPI 3 boyutlu bulanık c-ortalamalar kümeleme sonucunda 2 ve 3 küme gösterilmesi.

Sıvılaşma şiddeti parametresi LPI ile hazırlanan 3 boyutlu veri setinin k-ortalamalar kümeleme algoritması ile kümelendiği sonucu elde edilen kümelerin geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesinden elde edilen 2 ve 3 küme, küme içi homojenlik ve kümeler arası heterojenlik uyumunun aranması için incelenmiştir. Geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen 2 küme incelendiğinde küme içi homojenlik ve kümeler arası heterojenlik sağlanmadığı görülmüştür. 3 küme için kümelerin LPI dağılımları Şekil 7.17’de verilmiştir.



Şekil 7.17: LPI dağılım histogramı.

Şekil 7.17’de verilen 3 küme için LPI dağılımları incelendiğinde KUME1 KUME2’nin dağılımları yaklaşık eşit ve KUME3’ten farklı olduğu görülmektedir. Dağılımın Christchurch bölgesi üzerinde gösterimi Şekil 7.18’de verilmiştir.



Şekil 7.18: Christchurch LPI (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.

Şekil 7.17 ve Şekil 7.18 birlikte incelendiğinde LPI veri setinin bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile kümelenmesi sonucunda veri setini düşük ve yüksek LPI bölgeleri olarak kümelediği görülmüştür. Christchurch bölgesinin sol ve sağ kısımları düşük LPI değerleri içerirken (KUME1 ve KUME2) orta kısım yüksek LPI değerleri (KUME3) içermektedir.

7.2.2 LSN Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme

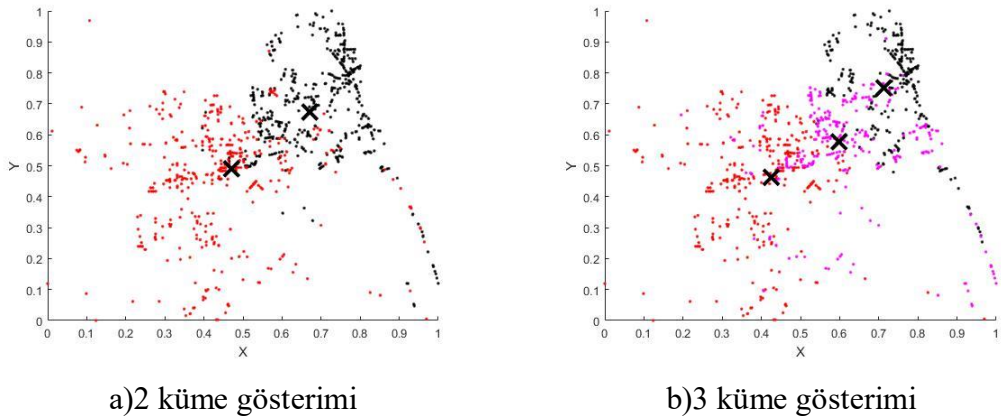
Bu bölüm içerisinde boru hasarları ile sıvılaşma şiddeti parametrelerinden LSN ilişkisi araştırılmıştır. Christchurch depremi sonrası bölgede meydana gelen sıvılaşma durumu için arazi deneyleri sonucu elde edilen sıvılaşma şiddeti parametrelerinden LSN kullanılmıştır. LSN değerleri, Şekil 7.3’de verilen sıvılaşma olasılığı (PL=%15)’e göre hazırlanan LSN haritası yardımıyla boru hasarları ile karşılaştırılmış ve 1104 boru hasarı için LSN değeri elde edilmiştir.

Elde edilen LSN değerleri ile 1104 boru hasarının konum değerleri birleştirilmiştir. Oluşturulan yeni LSN veri seti 1104*3 matris olarak MATLAB yazılımında tanımlanmıştır. LSN veri seti 2 ile 20 küme arasında bulanık c-ortalamar kümeleme algoritması kullanarak kümelendirilmiştir. Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar detaylı olarak Tablo 7.6'da gösterilmiştir.

Tablo 7.6: 3 boyutlu LSN veri setinin bulanık c-ortalamar kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.

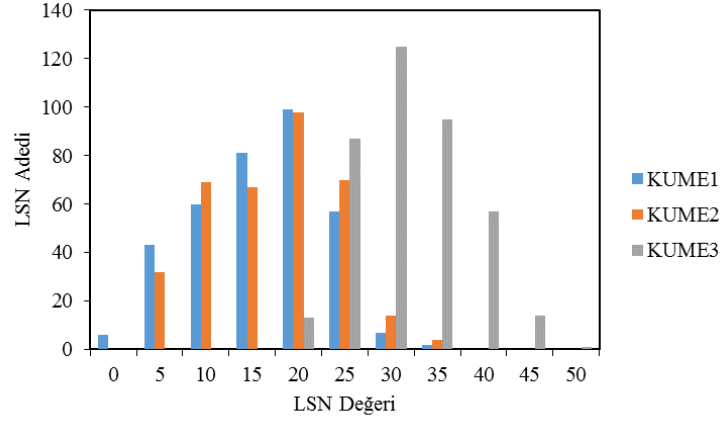
Küme Sayısı	PC	Küme Sayısı	MPC	Küme Sayısı	CE	Küme Sayısı	DUNN	Küme Sayısı	ADI	Küme Sayısı	XIE-BENI	Küme Sayısı	PBMF	Küme Sayısı	Fukuyama-Sugeno
2	0,639668384	3	0,329515086	2	0,537454871	4	0,016708298	11	0,000160431	20	0,00205769	2	1,134821906	19	-25,11311354
3	0,553010057	4	0,298651729	3	0,778014404	11	0,014247053	8	0,000147755	13	0,002068715	4	0,083409973	17	-24,89192443
4	0,473988797	5	0,283366905	4	0,993506503	9	0,012121619	9	0,000146128	19	0,002093873	6	0,081097465	20	-24,40915663
5	0,426693524	6	0,282956244	5	1,150184172	8	0,00948756	5	0,000142842	17	0,002123599	7	0,076685154	12	-23,52420989
6	0,402463537	2	0,279336769	6	1,262167641	7	0,008734385	6	0,000139062	18	0,002127669	8	0,072642544	18	-23,41849401
7	0,369809701	7	0,264777985	7	1,382546371	16	0,0085765	2	0,000137041	12	0,002213945	11	0,067401091	13	-22,9591921
8	0,352112536	10	0,262343675	8	1,473004909	19	0,008405689	7	0,000137022	15	0,002320808	12	0,06548109	15	-22,44586917
9	0,34035713	8	0,259557184	9	1,54768266	2	0,008243406	4	0,000136546	16	0,002500142	3	0,064039878	11	-19,98954338
10	0,336109307	12	0,259445074	10	1,60379021	14	0,007770601	3	0,000120305	14	0,002593197	10	0,062371024	16	-19,85852056
11	0,32498177	13	0,258657762	11	1,668400373	6	0,007295158	13	6,07082E-05	10	0,002595849	9	0,061242704	14	-19,09776121
12	0,321157985	9	0,257901771	12	1,698939168	17	0,005254302	14	5,94574E-05	11	0,002703679	13	0,059117713	10	-18,25263415
13	0,315684088	11	0,257479947	13	1,750537127	18	0,004971605	12	4,51744E-05	9	0,002814821	15	0,057183805	9	-15,75582516
14	0,300175078	17	0,255667816	14	1,83002869	12	0,004949599	10	2,45446E-05	3	0,002849175	17	0,056215399	8	-14,74146808
15	0,299926541	19	0,253367072	15	1,854855912	3	0,00479383	18	1,34965E-05	4	0,002852545	14	0,051971807	7	-12,95004204
17	0,299452062	15	0,249921294	17	1,906031213	13	0,002503353	17	1,30641E-05	7	0,002894099	18	0,051399558	6	-11,33361043
19	0,292663542	20	0,246421169	16	1,9190024	20	0,00184094	15	1,29255E-05	8	0,003039431	19	0,051124199	5	-7,121270211
16	0,289202916	14	0,246342391	18	1,964411434	15	0,001779946	19	6,37406E-06	6	0,003278284	5	0,049045604	4	-1,451000603
18	0,287766965	18	0,245870905	19	1,976037368	5	0,000387132	20	6,16672E-06	5	0,003606007	20	0,047896725	3	8,945265899
20	0,28410011	16	0,241816443	20	2,022840917	10	0,000238663	16	1,82535E-06	2	0,005548637	16	0,04526576	2	44,38502608

Geçerlilik indeksleri sonucunda elde edilen 2 ve 3 kümenin gösterimi Şekil 7.19'da verilmiştir.



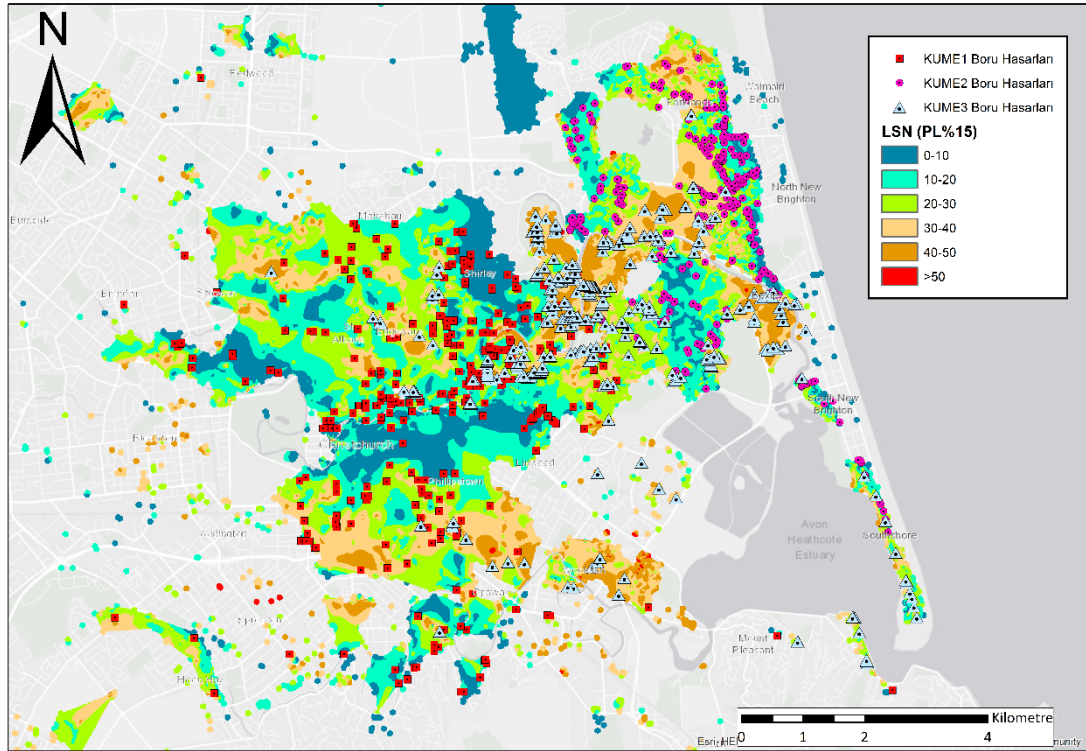
Şekil 7.19: LSN 3 boyutlu bulanık c-ortalamar kümeleme sonucunda 2 ve 3 küme gösterilmesi.

PBMF indeksi ile elde edilen 2 küme LSN dağılımı ile birlikte incelendiğinde küme içi homojenlik ve kümeler arası heterojenlik sağlayamadığı görülmüştür. 3 kümenin kümeler içi LSN dağılımı Şekil 20'de verilmiştir.



Şekil 7.20: LSN dağılım histogramı.

Sıvılaşma şiddeti parametrelerinden LSN'in önemi birçok kez anlatılmıştır. LSN veri setinin bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile kümelmesi sonucu elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiştir. Literatürde önerilen bir indeks olan MPC sonucunda 3 küme elde edilmiştir. Elde edilen 3 küme LSN veri seti için k-ortalamalar kümeleme algoritması için önerilen Calinski-Harabasz indeksi ile de elde edilmiştir. Kümelerin gösterimi Şekil 7.21'de verilmiştir.



Şekil 7.21: Christchurch LSN (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi

Şekil 7.20 ve Şekil 7.21 birlikte incelendiğinde LSN veri setinin bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile kümelenmesi sonucunda veri setini düşük ve yüksek LSN bölgeleri olarak kümelediği görülmüştür. Christchurch bölgesinin sol ve sağ kısımları düşük LSN değerleri içerirken (KUME1 ve KUME2) orta kısım yüksek LSN değerleri (KUME3) içermektedir.

7.2.3 S_{VID} Kullanarak 3 Boyutlu Kümeleme

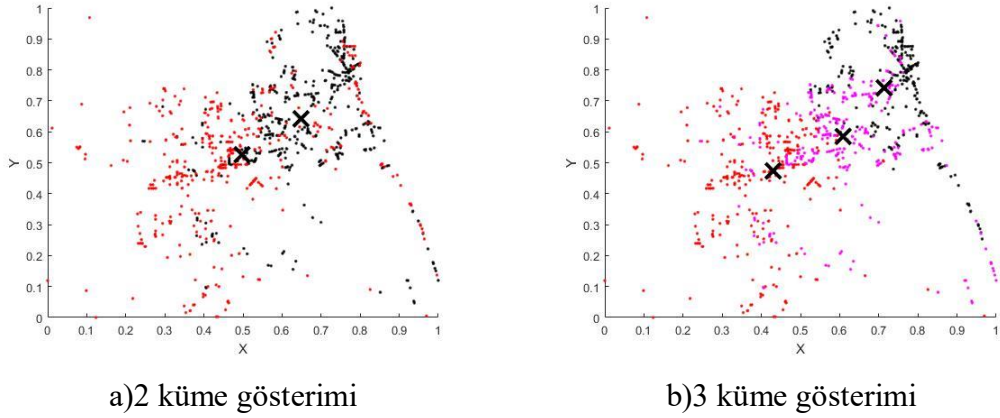
Bu bölüm içerisinde boru hasarları ile sıvılaşma şiddeti parametrelerinden S_{VID} ilişkisi araştırılmıştır. Christchurch depremi sonrası bölgede meydana gelen sıvılaşma durumu için arazi deneyleri sonucu elde edilen sıvılaşma şiddeti parametrelerinden S_{VID} kullanılmıştır. S_{VID} değerleri, Şekil 7.3’de verilen sıvılaşma olasılığı ($PL=15\%$)’e göre hazırlanan S_{VID} haritası yardımıyla boru hasarları ile karşılaştırılmış ve 1098 boru hasarı için S_{VID} değeri elde edilmiştir. Bu veri seti histogramları çıkarılarak incelendiğinde S_{VID} değeri 170 ve üzeri olan (170-194) veri sayısının toplam veri sayısına oranının yüzde 3 seviyesinde olduğu ve normalizasyon sürecinde tüm veri setini olumsuz etkilediği göz önüne alınarak bu değerler kümeleme analizlerinde kullanılmamıştır.

Elde edilen S_{VID} değerleri ile 1064 boru hasarının konum değerleri birleştirilmiştir. Oluşturulan yeni S_{VID} veri seti 1064×3 matris olarak MATLAB yazılımında tanımlanmıştır. S_{VID} veri seti 2 ile 20 küme arasında k-ortalamalar kümeleme algoritması kullanarak kümelenebilir. Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar detaylı olarak Tablo 7.7’de gösterilmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda MPC indeksi için optimum küme 3 iken PBMF indeksi için 2 kümedir.

Tablo 7.7: 3 boyutlu S_{VID} veri setinin bulanık c-ortalamalar kümeleme için geçerlilik indeksleri sonuçları.

Küme Sayısı	PC	Küme Sayısı	MPC	Küme Sayısı	CE	Küme Sayısı	DUNN	Küme Sayısı	ADI	Küme Sayısı	XIE-BENI	Küme Sayısı	PBMF	Küme Sayısı	Fukuyama-Sugeno
2	0.660846192	3	0.341273811	2	0.510581	2	0.009424641	2	2.07258E-06	2	0.004471363	2	1.419946124	20	-27.04762855
3	0.560849207	4	0.32256859	3	0.764093796	3	0.008841432	3	2.99119E-06	3	0.002829305	3	0.072472767	17	-26.71886502
4	0.491926442	2	0.321692383	4	0.962832505	4	0.010301026	4	4.81078E-06	4	0.002163388	4	0.079697137	15	-26.09024613
5	0.435063142	6	0.300582281	5	1.134251857	5	0.01587355	5	5.21609E-06	5	0.003505441	5	0.045772729	13	-25.98127514
6	0.417151901	5	0.293828927	6	1.232208212	6	0.011738425	6	5.34243E-06	6	0.002994351	6	0.087326215	19	-25.97406346
7	0.387899305	7	0.285882522	7	1.34386702	7	0.005442024	7	5.93219E-06	7	0.00281753	7	0.083096864	14	-25.75774257
8	0.354543109	11	0.269287336	8	1.459499529	8	0.005575099	8	6.41423E-06	8	0.003006333	8	0.076454688	11	-24.95368682
9	0.343885352	13	0.268212563	9	1.532179235	9	0.005575099	9	6.05245E-06	9	0.002849558	9	0.063116557	18	-24.53037352
11	0.33571576	14	0.263087403	10	1.61530693	10	0.003210773	10	2.68704E-06	10	0.002594615	10	0.067144389	12	-23.70456281
10	0.327688151	8	0.262334982	11	1.617841739	11	0.007068363	11	8.1277E-06	11	0.002025725	11	0.077124719	16	-21.5367628
13	0.324503904	9	0.261871021	12	1.690078437	12	0.007381319	12	6.05272E-06	12	0.002083079	12	0.073543232	10	-17.57539437
12	0.322105065	15	0.261820053	13	1.718964211	13	0.014252918	13	6.68623E-06	13	0.001895664	13	0.071968186	9	-17.4952893
14	0.315724017	12	0.260478252	14	1.77469827	14	0.004830183	14	6.69433E-06	14	0.002072698	14	0.069048509	7	-16.80624566
15	0.311032049	18	0.260427795	15	1.817432809	15	0.015043355	15	4.56646E-06	15	0.001971868	15	0.066418991	8	-16.30911293
18	0.301515139	10	0.252986834	16	1.913204437	16	0.007586397	16	1.19019E-07	16	0.002536877	16	0.058304107	6	-15.13718276
17	0.294383975	20	0.252935666	17	1.911156638	17	0.006488521	17	3.43146E-06	17	0.002044193	17	0.061685239	5	-10.03926015
20	0.290288882	17	0.250282973	18	1.927842369	18	0.015043355	18	1.48837E-06	18	0.001958294	18	0.05907776	4	-5.514930524
16	0.290006902	19	0.244860899	19	1.985884585	19	0.008411195	19	5.38818E-06	19	0.001847077	19	0.06297594	3	8.409276872
19	0.284605062	16	0.242674029	20	1.998267966	20	0.013138398	20	1.48849E-06	20	0.001841895	20	0.05448784	2	208.8366732

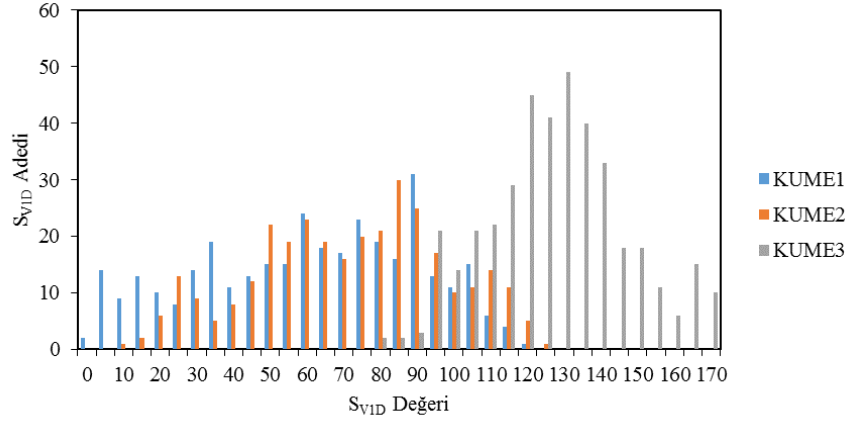
Geçerlilik indeksleri sonucunda elde edilen 2 ve 3 kümenin gösterimi Şekil 7.22'de verilmiştir.



Şekil 7.22: S_{VID} 3 boyutlu bulanık c-ortalamalar kümeleme sonucunda 2 ve 3 küme gösterilmesi.

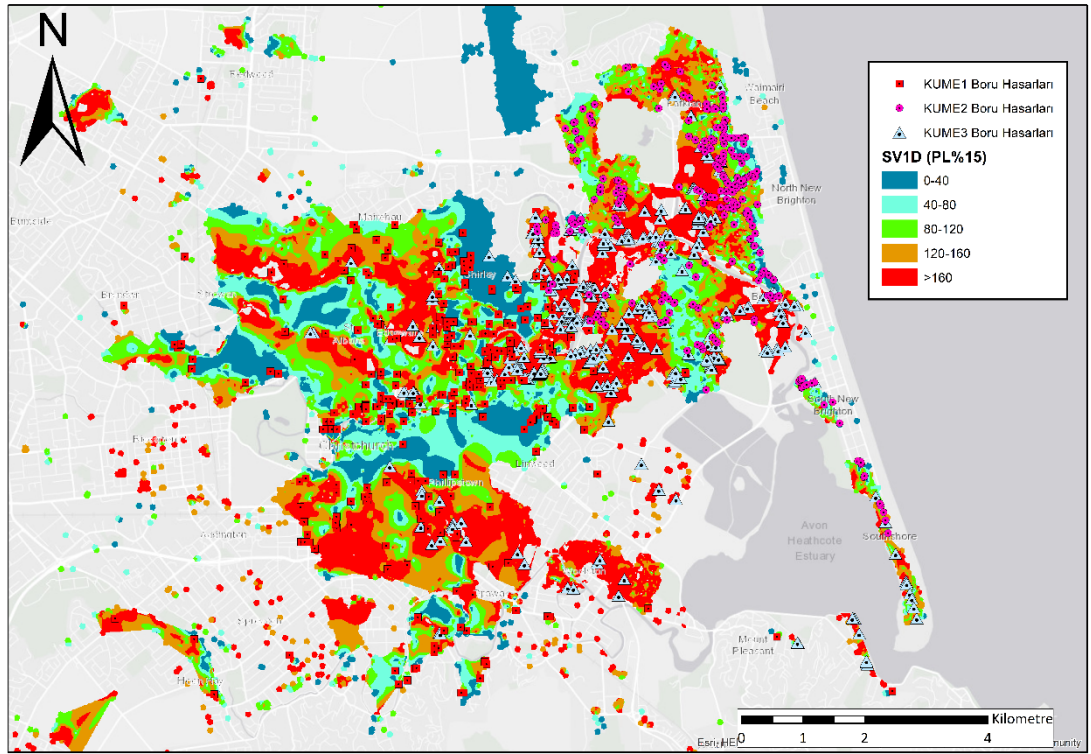
PBMF indeksi ile elde edilen 2 küme S_{VID} dağılımı ile birlikte incelendiğinde küme içi homojenlik ve kümeler arası heterojenlik sağlayamadığı görülmüştür.

S_{VID} veri setinin bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile kümelendiği sonucu elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiştir. Literatürde önerilen bir indeks olan MPC sonucunda 3 küme elde edilmiştir. Elde edilen 3 küme S_{VID} veri seti için k-ortalamalar kümeleme algoritması için önerilen Calinski-Harabasz indeksi ile de elde edilmiştir. Bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması için önerilen MPC indeksi ile elde edilmiş 3 kümenin LSN dağılımları Şekil 7.23'te verilmiştir.



Şekil 7.23: Christchurch S_{VID} (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.

3 kümenin kümeler içi S_{VID} dağılımının Christchurch bölgesi üzerinde gösterimi Şekil 7.24'te verilmiştir.



Şekil 7.24: Christchurch S_{VID} (PL%15) bölgesi ve boru hasarlarının 3 küme halinde gösterimi.

Şekil 7.23 ve Şekil 7.24 birlikte incelendiğinde S_{VID} veri setinin k-ortalamlar kümeleme algoritması ile kümelmesi sonucunda veri setini düşük ve yüksek S_{VID} bölgeleri olarak kümelediği görülmüştür. Christchurch bölgesinin sol ve sağ

kisimlari düşük S_{VID} değerleri içerirken (KUME1 ve KUME2) orta kisim yksek S_{VID} değerleri (KUME3) içermektedir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yeni Zelanda'yı 4 Eylül 2010'da başlayan, literatüre "Canterbury Deprem Dizisi (CES)" olarak geçmiş bir dizi deprem ve artçılar etkilemiştir. Günümüzde halen bu depremler devam etmektedir. Büyüklükleri Mw5.9 ile Mw7.1 arasında değişen depremlerin bölgeye verdiği en önemli etkilerinden biri sıvılaşma olmuştur. Sıvılaşma ile birlikte kum kaynamaları, tetiklenen oturmalar, toprak kaymaları ve yanal hareketler gibi etkiler sonucu yapılar hem yer altı hem yer üstünde ağır hasarlar almıştır. CES tarihte ekonomik olarak altyapıya en fazla zarar veren üçüncü deprem olma özelliğini taşımaktadır. Tez kapsamında CES içerisinde 22 Şubat 2011'de meydana gelen Christchurch depremi kullanılmıştır. Christchurch depremi 22 Şubat 2011, yerel saatle 12:51'de büyüklüğü 6.2 olan depremdir.

Christchurch depremi sonucu oluşan boru hasarları veri seti olarak dünyada az sayıda araştırmacıda bulunmaktadır. İlk kez 2012 yılında daha sonra 2014 yılında O'Rourke vd.'lerinin çalışmasında kullanılmış, en güncel hali ile Bouziou (2015)'in çalışmasında kullanılan boru hasarları tez kapsamında veri seti olarak kullanılmıştır. Bu veri seti ile yapılan çalışmalara Nacaroglu 2017, Toprak vd. 2017, 2018a, 2018b, 2019 çalışmaları örnek verilebilir. Kullanılan veri seti içerisinde 1502 boru hasarlarının çeşitli özellikleri (boruların cinsi, çapı, yaşı, adresi, uzunluğu, konum bilgileri vb.) yer almaktadır.

Yerleşim bölgelerine yakın olarak gerçekleşen geçmiş depremlerde hasar gören boru hatlarındaki gözlemler, hasarların belli noktalarda daha fazla yoğunlaştıklarını göstermiştir (yoğun hasar bölgeleri) (Toprak (2011a)). Hasarların yoğunlaştığı bölgelerin belirlenmesi özel bir öneme sahiptir, çünkü bu bölgeler zemin açısından problemlili alanlara (örneğin, sıvılaşma veya zemin oturması) ya da ilgili alan içinde boru hatlarının bazı zayıflıklara (örneğin boru malzemesi, boru çapı ve boru ekleri) sahip olduğuna işaret etmektedir.

Tez kapsamında kullanılan Christchurch depremi sonrası oluşan boru hasarları veri seti içerisinde yer alan 1502 hasarın konum verisi kümeleme analizi algoritmalarına göre kümelenebilir. Analizler MATLAB yazılımı ile yapılmıştır.

2 boyutlu veri seti minimum 2 ve maksimum 20 küme seçilerek k-ortalamalar kümeleme algoritması ile kümelendi. Kümeleme sonuçlarının geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş, Calinski-Harabsz indeksi optimum küme sayısını 20 verirken, Davies-Bouldin indeksi 12 küme vermiştir. 12 ve 20 küme sayıları kullanılarak elde edilen kümeler ayrıntılı olarak incelendiğinde küme içi homojenlik kümeler arası heterojenliğe uymadığı belirlenmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda yüksek elde edilen küme sayısı kötü zemin şartları, boru zayıflıkları gibi yerel sorunlara işaret etmektedir (Toprak vd. (2018b)).

2 boyutlu veri seti minimum 2 ve maksimum 20 küme seçilerek bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile kümelendi. Kümeleme sonuçlarının geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş, literatürde önerilen PBMF indeksi optimum küme sayısını 9 verirken, MPC indeksi 4 küme vermiştir. 4 ve 9 küme yoğun hasar bölgeleri ile karşılaştırılmıştır. Geçerlilik indeksleri sonucunda düşük elde edilen küme sayısı toprak kaymaları, sıvılaşma, zemin büyütmesi gibi bölgesel sorunlara işaret etmektedir (Toprak vd. (2018b)).

2 boyutlu kümeleme sonucunda elde edilen düşük küme sayısı ile işaret edilen bölgesel problemlerden sıvılaşma, tez kapsamında kullanılan Christchurch depreminin ağır sonuçlarından biridir. Kümeleme analizlerinde eğer mümkün ise konum değerleri bilinen (x,y) boru hasarlarının yanına üçüncü veri olarak sıvılaşma şiddeti parametreleri kullanılmıştır. Sıvılaşma hem zemin için anlatıldığı gibi çok önemli bir konu hem de Christchurch depreminin yol açtığı en büyük problem olarak göze çarpmaktadır. Çalışmada kümeleme analizinde kullanılan sıvılaşma şiddeti parametreleriyle boru hasarlarının değerlendirilmesi ile literatüre önemli bir katkı konulduğu düşünülmektedir. Literatürde anlatıldığı üzere de araştırmacılar boru hasarları ile sıvılaşma şiddeti parametreleri arası ilişkiyi araştırmışlardır. Bu tez kapsamında literatürde bir ilk olarak sıvılaşma şiddeti parametrelerinin boru hasarları ile ilişkisi kümeleme analizi ile değerlendirilmiştir.

Christchurch bölgesi için önerilen sıvılaşma olasılığı (PL=%15) değeri referans alınarak hazırlanan haritalar (LPI (Şekil 7.1), LSN (Şekil 7.2) ve S_{VID} (Şekil 7.3)) üzerinde boru hatları, boru hasar noktaları ve sıvılaşma şiddeti parametreleri elde edilmiş bölgeler gösterilmiştir.

Haritalara bakıldığında her hasar noktasının sınılaşma bölgeleri ile çakışmadığı görülmektedir. Haritalara daha yakından bakıldığında boru hasarlarının daha çok sokaklarda sınılaşma bölgelerinin ise yerleşim yerlerinde bulunduğu görülmüştür (Şekil 7.4). Sınılaşma bölgelerinin yerleşim yerlerinde olmasının sebebi olarak arazi deneylerinin bina temellerinde yapılması gösterilebilir. 3 boyutlu veri seti oluşturulurken konum verilerinin yanında sınılaşma şiddeti parametreleri olduğu söylenmiştir. Yani veri seti içerisinde sınılaşma şiddeti parametresi değeri olmayan boru hasarları elenmelidir. Bunun için CBS yazılımlarından ARCMAP 10.2 yazılımı kullanarak boru hasarları ile sınılaşma bölgeleri çakıştırılmıştır. Böylece elde edilen yeni hasar verisi setindeki her elemanın (boru hasarı) konum verilerinin yanına sınılaşma şiddeti parametre değeri eklenmiştir. Her bir sınılaşma şiddeti parametresi için ayrı ayrı 3 boyutlu veri setleri hazırlanmıştır. LPI için 1098, LSN için 1104 ve S_{VID} için ise 1098 boru hasarı konum verisi ile sınılaşma şiddeti parametresi değeri elde edilmiştir.

Hazırlanan 3 boyutlu veri setleri kümeleme analizleri ile kümelenebilir. Ancak küme dağılımları 2 boyutlu veri setinden farklılık göstermemiştir. Bunun sebebi LPI, LSN ve S_{VID} için hazırlanan veri setlerinin iki boyutlu kısmını oluşturan konum değerlerinin büyüklüğü ile eklenen 3. boyutun büyüklüğünün uyumlu olmamasıdır. Örneğin x değeri 1577894.116, y değeri 5176944.084 iken LSN değeri 27'dir. Görüldüğü üzere konum değerlerinin büyüklüğü sınılaşma değerlerinin büyüklüğünden oldukça fazladır. Bu durumun sonucunda yapılan kümeleme analizlerinde 3. Boyutun işleme herhangi bir katkı sağlamadığı Şekil 7.5'te aynı küme sayısı için 2 ve 3 boyut için ayrı ayrı yapılan kümeleme sonuçları ile gösterilmiştir. Bu sorunun giderilebilmesi için istatistik biliminde sıklıkla kullanılan normalizasyon yöntemi kullanılarak veri setleri kendi içlerinde 0 ile 1 arasında değerler almıştır. Böylece kullanılan tüm parametrelerin kümeleme analizine etkisi olması sağlanmıştır.

LPI veri seti histogramları çıkarılarak incelendiğinde LPI değeri 38 üzeri olan (39-164) veri sayısının toplam veri sayısına oranının binde 7 seviyesinde olduğu ve normalizasyon sürecinde tüm veri setini olumsuz etkilediği göz önüne alınarak bu değerler kümeleme analizlerinde kullanılmamıştır. Oluşturulan yeni LPI veri seti 1090*3 matris olarak MATLAB yazılımında tanımlanmıştır. Veri seti 2 ile 20 küme

arasında k-ortalamlar kümeleme algoritması kullanarak kümelendi. Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar detaylı olarak Tablo 7.1’de gösterilmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda Calinski-Harabasz indeksi için optimum küme 3 iken Davies-Bouldin indeksi için 20 kümedir. Geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen 20 küme için LPI değerleri incelendiğinde, küme içi homojenlik ve kümeler arası heterojenlik tam olarak sağlanmadığı görülmüştür. Sıvılaşma şiddeti parametresi yanında boru ile ilgili parametreler (cinsi, çapı, yaşı vb.) ve/veya zemin ile ilgili parametreler (şekil değiştirme, oturma vb.) kümeleme analizine dâhil edilerek daha kapsamlı ve ayrıntılı şekilde kümelerin değerlendirilmesi önerilmektedir. Gelecek çalışmalar bu kapsamda olacaktır. 3 küme için oluşturulan Şekil 7.7 ve Şekil 7.8 birlikte incelendiğinde ise LPI veri setinin k-ortalamlar kümeleme algoritması ile kümelendiği sonucunda veri setini düşük ve yüksek LPI bölgeleri olarak kümelediği başka bir deyişle kümeleme analizini başarılı bir şekilde yaptığı görülmüştür.

Oluşturulan yeni LSN veri seti 1104*3 matris olarak MATLAB yazılımında tanımlanmıştır. LSN veri seti 2 ile 20 küme arasında k-ortalamlar kümeleme algoritması kullanarak kümelendi. Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar detaylı olarak Tablo 7.2’de gösterilmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda Calinski-Harabasz indeksi için optimum küme 3 iken Davies-Bouldin indeksi için 20 kümedir. LSN veri setinin k-ortalamlar kümeleme algoritması geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen 20 kümenin anlamlılığını ortaya koymak için LPI için elde edilen 20 küme ile ilgili önerilen çalışmaların yapılması gerekmektedir. Veri seti 3 kümeyle bölündüğünde ise (Şekil 7.11) yüksek LSN değerlerinin bölgenin ortasında yoğunlaştığı görülmüştür. Tablo 7.3’te k-ortalamlar kümeleme algoritması geçerlilik indeksleri ile LSN veri seti için 3 kümenin LSN dağılımı boru hasarlarının LSN dağılımıyla uyumludur. Şekil 7.12’de verilen haritada yüksek hasar alan bölgeler haritanın ortasında yoğunlaşmaktadır. Şekil 5.9’da verilen LSN dağılımı ile 3 küme ile elde edilen LSN dağılımları neredeyse tam bir uyum içerisindedir. Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde LSN veri seti için k-ortalamlar kümeleme algoritması geçerlilik indeksi Calinski-Harabasz ile bulunan 3 kümenin boru hasarları ile LSN değerleri arasında çok yüksek bir ilişki olduğunu göstermektedir.

S_{VID} veri seti histogramları çıkarılarak incelendiğinde S_{VID} değeri 170 ve üzeri olan (170-194) veri sayısının toplam veri sayısına oranının yüzde 3 seviyesinde olduğu ve normalizasyon sürecinde tüm veri setini olumsuz etkilediği göz önüne alınarak bu değerler kümeleme analizlerinde kullanılmamıştır. Elde edilen S_{VID} değerleri ile 1064 boru hasarının konum değerleri birleştirilmiştir. Oluşturulan yeni S_{VID} veri seti 1064*3 matris olarak MATLAB yazılımında tanımlanmıştır. S_{VID} veri seti 2 ile 20 küme arasında k-ortalamar kümeleme algoritması kullanarak kümelendirilmiştir. Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar detaylı olarak Tablo 7.4'de gösterilmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda Calinski-Harabasz indeksi için optimum küme 3 iken Davies-Bouldin indeksi için 20 kümedir. S_{VID} veri setinin k-ortalamar kümeleme algoritması geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen 20 kümenin anlamlılığını ortaya koymak için LPI için elde edilen 20 küme ile aynı çalışmaların yapılması gerekmektedir. 3 küme için oluşturulan Şekil 7.14 ve Şekil 7.15 birlikte incelendiğinde S_{VID} veri setinin k-ortalamar kümeleme algoritması ile kümelendiği sonucunda veri setini 3 kümeye böldüğü, 3 kümenin dağılımları birbirinden farklı ancak iç içe olduğunu göstermiştir.

Oluşturulan yeni LPI veri seti 1090*3 matris olarak MATLAB yazılımında tanımlanmıştır. Veri seti 2 ile 20 küme arasında bulanık c-ortalamar kümeleme algoritması kullanarak kümelendirilmiştir. Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar detaylı olarak Tablo 7.5'te gösterilmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda MPC indeksi için optimum küme 3 iken PBMF indeksi için 2 kümedir. Geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen 2 küme incelendiğinde küme içi homojenlik ve kümeler arası heterojenlik sağlanamadığı görülmüştür. 3 küme için oluşturulan Şekil 7.17 ve Şekil 7.18 birlikte incelendiğinde LPI veri setinin bulanık c-ortalamar kümeleme algoritması ile kümelendiği sonucunda veri setini düşük ve yüksek LPI bölgeleri olarak kümelediği görülmüştür.

Oluşturulan yeni LSN veri seti 1104*3 matris olarak MATLAB yazılımında tanımlanmıştır. LSN veri seti 2 ile 20 küme arasında bulanık c-ortalamar kümeleme algoritması kullanarak kümelendirilmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda PBMF optimum küme 2 iken ve MPC için 3 küme elde edilmiştir. Kümelerin eleman sayıları; Küme1 için 355, Küme2 için 356 ve Küme3 için 393'tür. Küme eleman

sayıları birbirine yaklaşıktır. Ancak küme içi LSN dağılımları birbirine benzer elde edilmiştir. Tablo 7.9 ve Şekil 7.17’de verilen LSN dağılımları küme içi heterojendir. Heterojen dağılım gösteren bulanık c-ortalamar kümeleme algoritması ile elde edilmiş 3 küme, Tablo 5.3’te verilen dağılımla uyum sağlamamıştır. Bulanık c-ortalamar kümeleme algoritması, sıvılaşma şiddeti parametresi LSN ile boru hasarları arasında ilişki yakalayamamıştır.

Oluşturulan yeni S_{VID} veri seti $1064*3$ matris olarak MATLAB yazılımında tanımlanmıştır. S_{VID} veri seti 2 ile 20 küme arasında bulanık c-ortalamar kümeleme algoritması kullanarak kümelendirilmiştir. Elde edilen kümeler geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmiş ve sonuçlar detaylı olarak Tablo 7.7’de gösterilmiştir. Geçerlilik indeksleri sonucunda MPC indeksi için optimum küme 3 iken PBMF indeksi için 2 kümedir. Geçerlilik indeksleri ile değerlendirilmesi sonucu elde edilen 2 küme incelendiğinde küme içi homojenlik ve kümeler arası heterojenlik sağlanmadığı görülmüştür. 3 küme için oluşturulan Şekil 7.23 ve Şekil 7.24 birlikte incelendiğinde S_{VID} veri setinin k-ortalamar kümeleme algoritması ile kümelendiği sonucunda veri setini düşük ve yüksek S_{VID} bölgeleri olarak kümelediği görülmüştür.

Özetle 22 Şubat 2011 Christchurch bölgesinde meydana gelen deprem sonrası hasar alan boruların konumlarından oluşturulan 2 boyutlu veri seti kümelendi ve sonuçları açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlarda geçerlilik indeksleri ile elde edilen küme sayılarının azlık ve çokluğuna göre ne tür hasarlara işaret etmekte olduğu açıklanmıştır. Düşük küme sayısı ile işaret edilen bölgesel problemlerden sıvılaşma, tez kapsamında kullanılan Christchurch depreminin ağır sonuçlarından biridir. Kümeleme analizlerinde eğer mümkün ise konum değerleri bilinen (x,y) boru hasarlarının yanına üçüncü veri olarak herhangi bir parametrenin (boru parametreleri, zemin parametreleri) eklenmesi direk o parametre ile boru hasarlarını değerlendirmek gibi eşsiz bir olanak sunmaktadır. Çalışmada kullanılacak bu parametrelerden sıvılaşma şiddeti parametreleri kullanılmıştır. Sıvılaşma hem zemin için yukarıda anlatıldığı gibi çok önemli bir konu hem de Christchurch depreminin yol açtığı en büyük problem olarak göze çarpmaktadır. Çalışmada kümeleme analizinde kullanılan sıvılaşma şiddeti parametreleriyle boru hasarlarının değerlendirilmesi ile literatüre önemli bir katkı konulduğu düşünülmektedir. Literatürde anlatıldığı üzere de araştırmacılar boru hasarları ile sıvılaşma şiddeti

parametreleri arası ilişkiyi araştırmışlardır. Bu tez kapsamında literatürde bir ilk olarak sıvılaşma şiddeti parametrelerinin boru hasarları ile ilişkisi kümeleme analizi ile değerlendirilmiştir. LPI için k-ortalamlar kümeleme algoritması sonucunda elde edilen 3 küme ile bölgeyi yüksek ve düşük LPI değerleri olarak tam manası ile gruplandırırken, bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması ile yaklaşık bir grupta sağlanmıştır. LSN için k-ortalamlar kümeleme algoritması sonucunda elde edilen 3 küme ile Şekil 5.9’da verilen LSN dağılımı neredeyse tam bir uyum içerisindedir. Bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması sonucunda elde edilen 3 küme ile ise bölgeyi yüksek ve düşük LSN değerleri olarak gruplandırmıştır. S_{VID} için k-ortalamlar kümeleme algoritması sonucunda elde edilen 3 küme birbirinden farklı ancak iç içe bir dağılım verirken bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması ile bölgeyi yüksek ve düşük S_{VID} değerleri olarak gruplandırmıştır.

Çalışmada boru hasarlarının 3 boyutlu kümeleneğinde (sıvılaşma şiddeti parametreleri ile) bazı geçerlilik indeksleri sonucunda elde edilen en uygun küme sayıları yüksektir (20 küme). Elde edilen kümeler incelendiğinde sadece sıvılaşma şiddeti parametreleri yönünden, düşük küme sayılarında olduğu gibi başarılı bir şekilde tam anlamıyla kümeleri ayıramadığı bunun sebebinin ise boru hasarlarının sıvılaşma yanında boruya (boru cinsi, çapı, yaşı vb.) ve/veya başka zemin özelliklerine bağlı (şekil değiştirme, oturma vb.) olduğunu göstermektedir. Gelecek çalışmalarda sıvılaşma şiddeti parametreleri yanında yukarıda adı geçen parametreler de kümeleme analizinde kullanılacaktır. Bu şekilde yapılacak kümeleme analizlerinde hem diğer parametrelerin etkisi ortaya konacak hem de parametreler birlikte kullanılarak çok daha fazla boyutlu (örneğin 4, 5, 6 boyutlu) kümeleme analizi yapılarak alt yapı sistemlerinin özellikleriyle zemin özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi sağlanacaktır. Böylece olası gelecek depremlerde hali hazırda bulunan altyapı sisteminin performansı hakkında tahminlerde bulunulabilir veya altyapı sistemi yeni yapılacak ise bulunan sonuçlar dikkate alınarak tasarımın yapılması önerilmektedir.

9. KAYNAKLAR

Ambraseys, N. N., “Engineering seismology: part I”, *Earthquake engineering & structural Dynamics*, 17(1), 1-50, (1988).

Andrews, D. C., Martin, G. R., “Criteria for liquefaction of silty soils”, In Proc., 12th World Conf. on Earthquake Engineering. Upper Hutt, New Zealand: NZ Soc. for EQ Engrg, January (2000).

Ballantyne, D. B., Berg, E., Kennedy, J., Reneau, R., and Wu, D. “Earthquake loss estimation modeling for the Seattle water system: Report to U.S. Geological Survey under Grant 1408000 IG 1526”, Technical Report, Kennedy/Jenks/Chilton, Federal Way, WA., (1990).

Barenberg, M. E., “Correlation of pipeline damage with ground motions”, *J. Geotech. Eng, ASCE*, Haziran, 114 (6), 706711, (1988).

Bezdek, J.C., “Cluster Validity with Fuzzy Sets”, *J. Cybernet*, 3, 58–74, (1974).

Bezdek, J.C., “Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function”, Plenum Press, New York, (1981).

Boulanger, R. W., Idriss, I. M., “CPT and SPT based liquefaction triggering procedures”, Report UCD/CGM14/01, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, CA, 134 pp, (2014).

Bouziou, D., “Earthquakeinduced ground deformation effects on buried pipelines”, Ph.D Thesis, Cornell University: Ithaca, New York, (2015).

Caliński, T., Harabasz, J., “A dendrite method for cluster analysis”, *Communications in Statistics-theory and Methods*, 3(1), 1-27, (1974).

Canterbury Geotechnical Database, "Liquefaction interpreted from aerial photography, map layer CGD0200 11 Feb 2013", Available at: <https://canterburygeotechnicaldatabase.projectorbit.com/>, (2013).

Casagrande, A., "Characteristics of cohesionless soils affecting the stability of slopes and earth fills", *J. Boston Society of Civil Engineers*, 23(1), 13-32, (1936).

Chiu, S. L., "Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation", *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2(3), 267-278, (1994).

Dave, R.N., "Validating Fuzzy Partitions Obtained Through C-shells Clustering", *Pattern Recognition Letters*, 17(6), 613-623, (1996).

Davies, D. L., Bouldin, D. W., "A cluster separation measure", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, (2), 224-227, (1979).

Dunn, J.C., "A fuzzy relative of the Isodata Process and its use in detecting compact well-separated clusters", *Cybernetics* 3, 32-57, (1974).

Eguchi, R. T., "Seismic hazard input for lifeline systems", *Struct. Saf.*, 10, 193-198, (1991).

Eguchi, R. T., "Seismic vulnerability models for underground pipes", *Proceedings of Earthquake Behavior and Safety of Oil and Gas Storage Facilities, Buried Pipelines and Equipment*, ASME, PVP77, New York, June, 368373, (1983).

Evans, M. D., Seed, H. B., "Undrained cyclic triaxial testing of gravels: the effect of membrane compliance", *College of Engineering, University of California*, (1987).

Everitt, B. S., "Cluster Analysis", *Heinemann Educational [for] the Social Science Research Council*, (1974).

Fukuyama, Y., Sugeno, M., “A new method of choosing the number of clusters for the fuzzy c-means method”, Proceedings of Fifth Fuzzy Systems Symposium, 247–250, (1989).

GNS Science, “The most recent aftershock map”, <http://www.gns.cri.nz/Home/OurScience/NaturalHazards/RecentEvents/Catrburyquake/Recentaftershockmap> , (2013).

Ishihara, K., “Stability of natural deposits during earthquakes”, Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, CA, USA, 1, 321–376, (1985a).

Ishihara, K., Yamazaki, A., “Analysis of wave-induced liquefaction in seabed deposits of sand”, *Soils and Foundations*, 24(3), 85-100, (1984).

Ishihara, K., Yoshimine, M., “Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes”, *Soils Found.*, 32(1), 173–188, (1992).

Ishihara, S., “Ishihara's test for colour-blindness”, Kanehara Shuppan Company, (1985b).

Isoyama, R., Katayama, T., “Reliability evaluation of water supply systems during earthquakes”, Report of the Institute of Industrial Science, University of Tokyo, 30 (I), Serial No. 194, (1982).

Iwasaki, T., Arakawa, T., Tokida, K., “Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes”, Proc. Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Southampton, 925939, (1982).

Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K., Yasuda, S., “A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies at various sites in Japan”, In Proceedings, 2nd International Conference on Microzonation, San Francisco, pp. 885–896, (1978).

Juang, C. H, Yuan, H., Kun, D., Yang, S. H., Christopher, R. A., “Estimating severity of liquefactioninduced damage near foundation”, *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, 25, 403411, (2005a).

Juang, C. H., Fang, S. Y., Li, D. K., “Reliability analysis of soil liquefaction potential.” Geotechnical Special Publication, 133, ASCE, Reston, VA, U.S.A., (2005b).

Katayama, T., Kubo, K., Sato, N., “Earthquake damage to water and gas distribution systems”, Proceedings of the U.S. National Conference on Earthquake Engineering, EERI, Oakland, CA, 396405, (1975).

MacQueen, J. B., “Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations”, In Proc. Symp. Math. Statist. and Probability, 5th, 281-297, (1967).

McLachlan, R., Morris, J., Kathirgamanathan, P., Callosa-Tarr, J., “Seismic response of underground utilities following the Canterbury earthquakes”, Proc. 19thNZGS Geotechnical Symposium, Ed. CY Chin, Queenstown, (2013).

Ministry of Business, Innovation & Employment (MBIE), “Revised issue of Repairing and rebuilding houses affected by the Canterbury earthquakes, (2012).

Nacaroğlu, E., “Deprem etkisiyle oluşan boru hasarlarının coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve kümeleme analizi ile değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2010).

Nacaroğlu, E., “Sismik Etkiler Altında Gömülü Boru Hatlarında Hasar Analizleri”, Doktora Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Denizli, (2017).

O’Callaghan, F. W., “Pipeline performance experiences during seismic events in New Zealand over the last 27 years”, In: Proceedings of the 17th plastic pipes conference, september 22-24, chicago, Illinois, USA, (2015).

O’Rourke, T. D., “An Overview of geotechnical and lifeline earthquake engineering”, In Geotechnical Special Publication No. 75, ASCE (Pakoulis, P., Yegian, M., Holtz, D. (eds.)), Reston, VA, 1998, II, 13921426, (1998).

O’Rourke, T. D., Jeon, S. S., Toprak, S., Cubrinovski, M., Hughes, M., Ballegooy, S., Bouziou, D., “Earthquake response of underground pipeline networks in Christchurch, NZ”, Earthquake Engineering Research Institute, EERI, 30, 1, 183204 (2014).

O’Rourke, M. J., Ayala, G. “Pipeline damage due to wave propagation”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE*, 119 (9), 14901498, (1993).

O’Rourke, T. D., Jeon, S. S., Toprak, S., Cubrinovski, M., Jung, J. K., “Underground lifeline system performance during the Canterbury earthquake sequence”, 15th World Conference in Earthquake Engineering, 2012, September. Lisbon, Portugal, (2012).

Önalp, A., Arel, E., “Siltlerin sıvılaşma yeteneği: Adapazarı kriteri”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, 1, 363-372, (2002).

Pakhira, M.K., Bandyopadhyay, S.U., Maulik, S., “Validity index for crisp and fuzzy clusters”, *Pattern Recognition*, 37, 487–501, (2004).

Seed R. B., Harder L. F., “SPT-based analysis of cyclic pore pressure generation and undrained residual strength”, in J.M Duncan ed., Proceedings, H. Bolton Seed Memorial Symposium, University of California, Berkeley, Vol.2, 351-376, (1990).

Seed, B., "Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 105.ASCE, 14380, (1979).

Seed, H. B., Idriss I. M., "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential." *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div*, (1971).

Seed, H. B., Idriss, I. M., "On the Importance of Dissipation Effects in Evaluating Pore-Pressure Changes Due to Cyclic Loading", *Soil mechanics transient and cyclic loads*, 53-69, (1982).

Seed, H. B., Idriss, I. M., Arango, I., "Evaluation of liquefaction potential using field performance data", *Journal of Geotechnical Engineering*, 109(3), 458-482, (1983).

Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., Chung, R. M., "Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations", *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(12), 1425-1445, (1985).

Shafi, I., Ahmad, J., Shah, S. I., Ikram, A. A., Khan, A. A., Bashir, S. "Validity-guided fuzzy clustering evaluation for neural network-based time-frequency reassignment", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing* 2010, 9, (2010).

Stark, T. D., Olson, S. M., "Liquefaction resistance using CPT and field case histories", *Journal of Geotechnical Engineering*, 121(12), 856-869, (1995).

Tonkin & Taylor Ltd., "Canterbury Earthquake Sequence: Increased liquefaction vulnerability assessment methodology", Report Number:52010.140.v1.0, (2015).

Tonkin & Taylor Ltd., "Canterbury Earthquake Sequence", (Haziran 2019), <https://www.tonkintaylor.co.nz/what-we-do/natural-hazards/canterbury-earthquake-sequence/> , (2019).

Tonkin & Taylor Ltd., “Liquefaction vulnerability study”, Report Number:52020.0200/v1.0, (2013).

Toprak S., Koç A. C., Taşkın F., “Evaluation of water distribution pipeline performance against earthquakes”, Paper No: 1748, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, June 25-28, 2007, Greece, (2007).

Toprak, S., “Earthquake effects on buried lifeline systems”, PhD Thesis, Cornell University, Ithaca, NY, (1998).

Toprak, S., Holzer, T. L., “Liquefaction potential index: field assessment.” *J. Geotech. Geoenviron. Eng., ASCE*, 129(4), 315–322, (2003).

Toprak, S., Nacaroglu, E., Dunder, G., Van Ballegooy, S., O’Rourke, T. D., “Boru Hatları Hasar-Sebeup İlişkilerinin kümeleme Analizi İle Değerlendirilmesi”, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Deprem Mühendisliği 17. Ulusal Konferansı, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa & İstanbul Üniversitesi (2018b).

Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C., "Boru hasarlarının değerlendirilmesinde kümeleme tekniklerinin kullanımı", 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, (2011a).

Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C., Cetin, O. A., “Seismic damage probabilities for segmented buried pipelines”, 11th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, ETH Zurich, Switzerland, August 14, (2011b).

Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C., Cetin, O. A., “Use of subtractive clustering analysis in pipeline damage assesment”, 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia, August 30-September 03, (2010).

Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C., O’Rourke, T. D., Hamada, M., Cubrinovski, M., Van Ballegooy, S., “Comparison of horizontal ground

displacements in Avonside area, Christchurch from air photo, LiDAR and satellite measurements regarding pipeline damage assessment”, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(10), 4497-4514, (2018a).

Toprak, S., Nacaroglu, E., Koc, A. C., Van Ballegooy, S., Jacka, M., Torvelainen, E., O’Rourke, T. D., “Pipeline damage predictions in liquefaction zones using LSN”, 16th World Conference on Earthquake, Santiago Chile, January 9th to 13th, (2017).

Toprak, S., Nacaroglu, E., Van Ballegooy, S., Koc, A.C., Jacka, M., Manav, Y., Torvelainen, E., O’Rourke, T. D., “Segmented pipeline damage predictions using liquefaction vulnerability parameters”, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, (2019).

Toprak, S., Taskin, F., Koc, A.C., “Prediction of earthquake damage to urban water distribution systems: a case study for Denizli, Turkey”, *Bull. Eng. Geol. Env.*, 68: 499–510, (2009).

Toprak, S., Yoshizaki, K., “Boru hatlarına deprem yüklerinin etkisi”, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi, 26-30, (2003).

Van Ballegooy, S., Cox, S.C., Thurlow, C., Rutter, H.K., Reynolds, T., Harrington, G., Fraser, J., Smith, T. “Median water table elevation in Christchurch and surrounding areas after the 4 September 2010 Darfield earthquake version 2”, GNS Science report 2014/18, Institute of Geological and Nuclear Sciences, Lower Hutt, (2014).

Van Ballegooy, S., Lacrosse, V., Simpson, J., and Malan, P. “Comparison of CPTbased simplified liquefaction assessment methodologies based on Canterbury Geotechnical Dataset”, 12th Australia New Zealand Conference on Geomechanics, Wellington, New Zealand, (2015a).

Wakamatsu, K., Nagata, S., Maruyama, Y., Ozawa, K., “Sendai water pipeline response to the 2011 Tohoku earthquake”, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 10, 461-470, (2016).

Wang, A. H. J., Quigley, G. J., Kolpak, F. J., Crawford, J. L., Van Boom, J. H., van der Marel, G., Rich, A., “Molecular structure of a left-handed double helical DNA fragment at atomic resolution”, *Nature*, 282(5740), 680, (1979).

Woodford, K., “Understanding the Christchurch earthquake: building damage”, (February 27, 2011), <https://keithwoodford.wordpress.com/2011/02/27/understanding-the-christchurch-earthquake-building-damage/>, (2011).

Xie, X. L., Beni, G., “A validity measure for fuzzy clustering”, *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 13(8), 841-847, (1991).

Yager, R. R., Filev, D. P., “Approximate clustering via the mountain method (2nd Edn.)”, Technical Report, MII-1305, IONA College, Machine Intelligence Institute, New Rochelle, NY10801, (1992).

Youd, T. L., Harp, E. L., Keefer, D. K., Wilson, R. C., “The Borah Peak, Idaho earthquake of October 28, 1983—liquefaction”, *Earthquake spectra*, 2(1), 71-89, (1985).

Youd, T. L., Idriss, I. M., “Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils”, *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 127(4), 297-313, (2001).

Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Finn, W. D. L., Harder, L. F., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson, W. F., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., Stokoe, K. H., “Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils”, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, ASCE 127(10), 817–33, (2001).

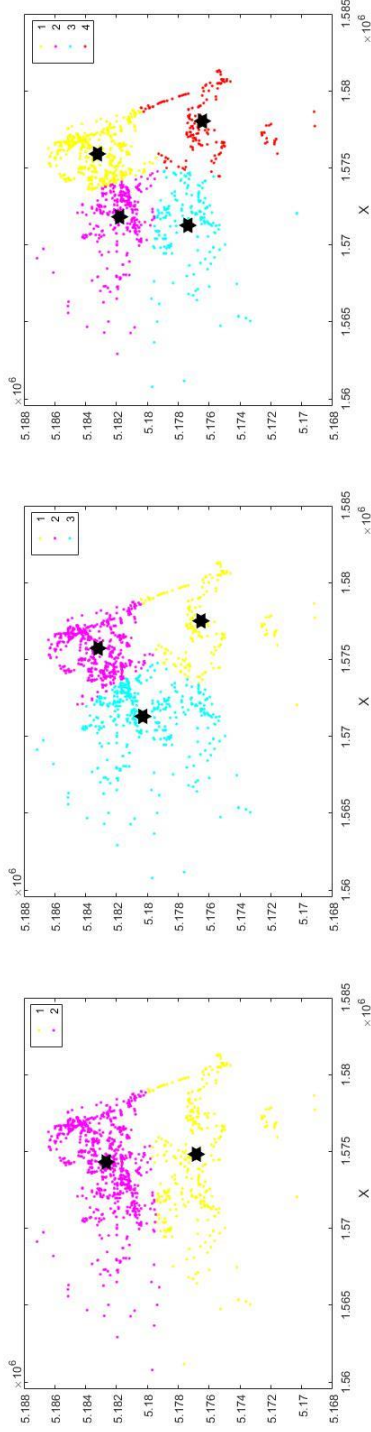
Zhang, G., Robertson, P. K., Brachman, R. W. I., “Estimating liquefaction induced ground settlements from CPT for level ground”, *Can. Geotech. J.*, 39, 1168–80, (2002).

Zhang, Y., Wang, W., Zhang, X., Li, Y., “A cluster validity index for fuzzy clustering”, *Information Sciences 178*, 1205–1218, (2008).

EKLER

10. EKLER

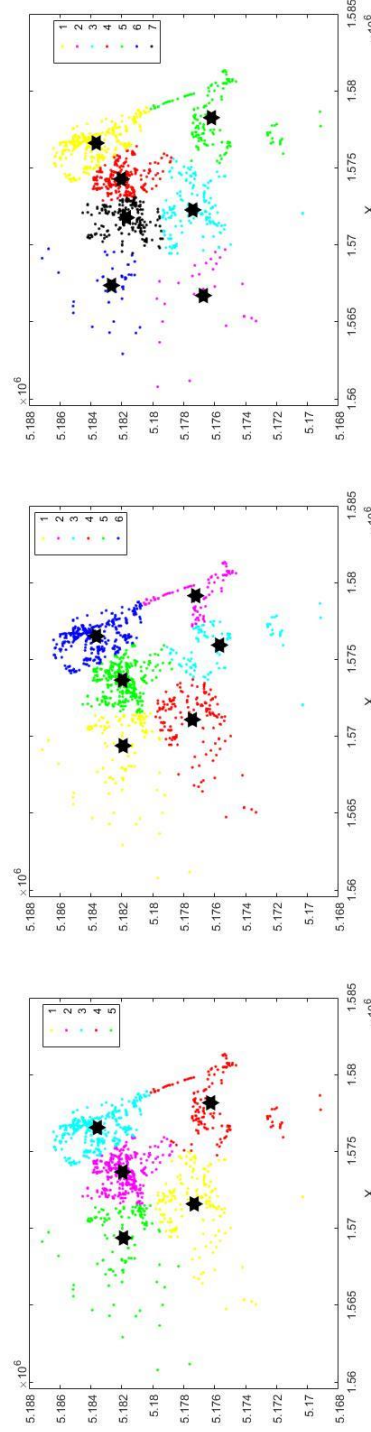
EK A



a) 2 küme ve merkezleri

b) 3 küme ve merkezleri

c) 4 küme ve merkezleri

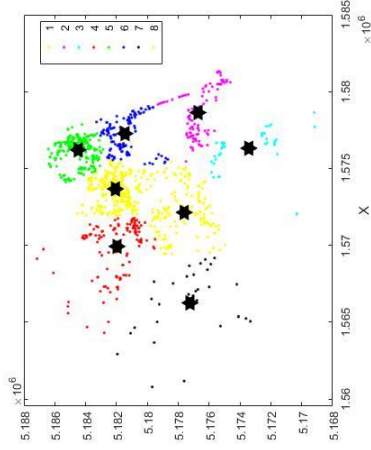


d) 5 küme ve merkezleri

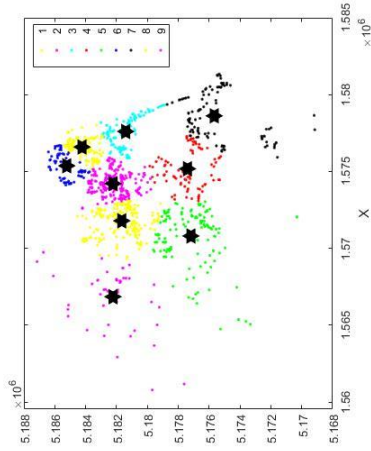
e) 6 küme ve merkezleri

f) 7 küme ve merkezleri

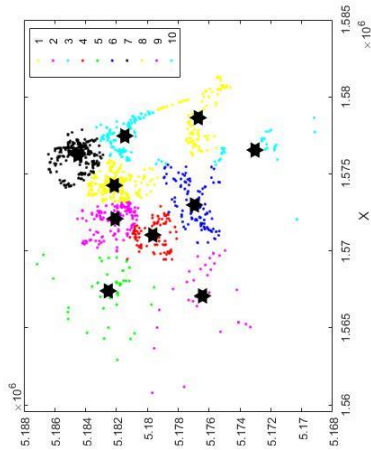
Şekil A. 1: Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalama kümeleme algoritması ile 2 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



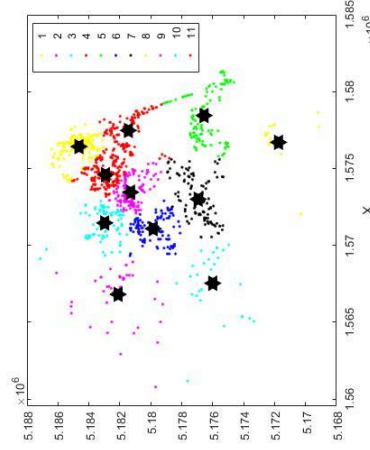
g) 8 küme ve merkezleri



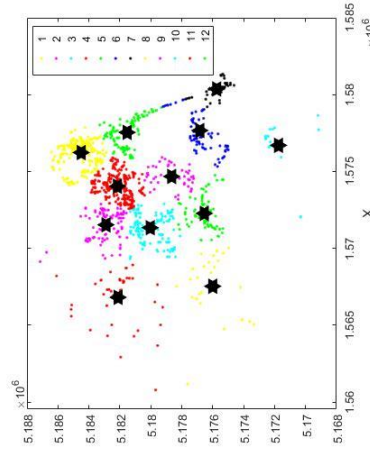
h) 9 küme ve merkezleri



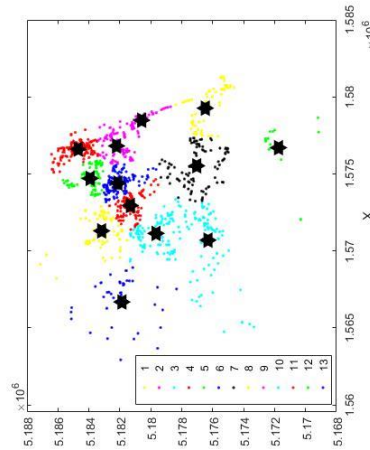
i) 10 küme ve merkezleri



j) 11 küme ve merkezleri

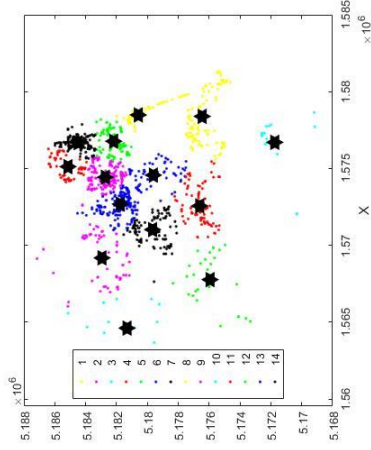


k) 12 küme ve merkezleri

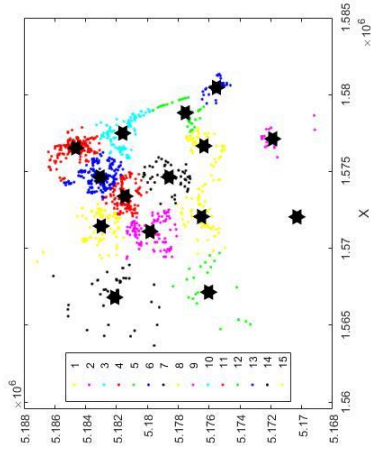


l) 13 küme ve merkezleri

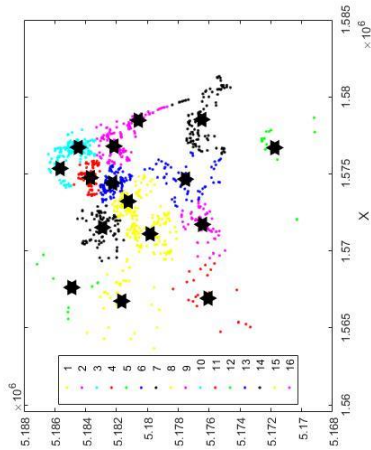
Şekil A. 1 (devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamlar kümeleme algoritması ile 2 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



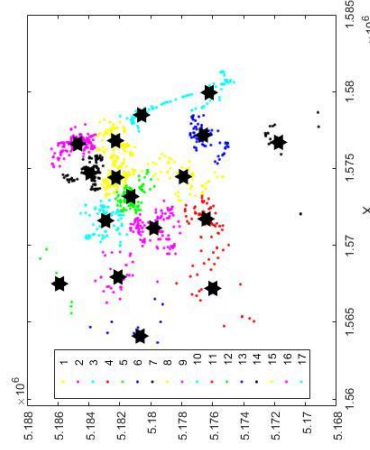
m) 14 küme ve merkezleri



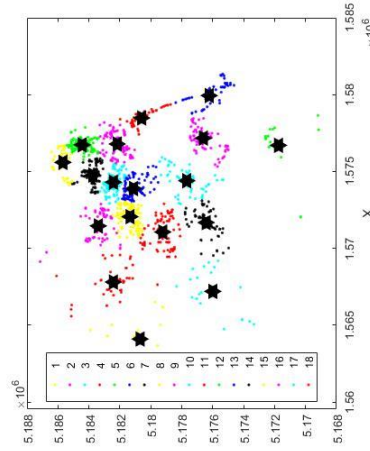
n) 15 küme ve merkezleri



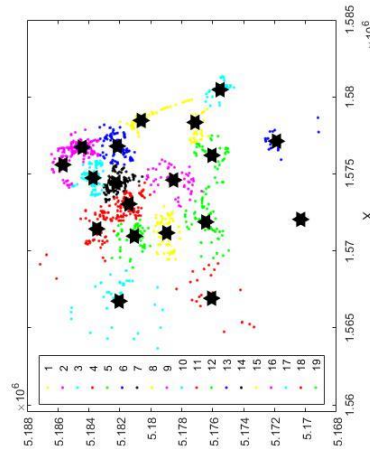
o) 16 küme ve merkezleri



p) 17 küme ve merkezleri

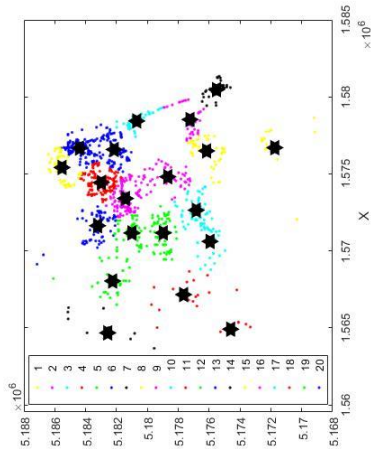


r) 18 küme ve merkezleri



s) 19 küme ve merkezleri

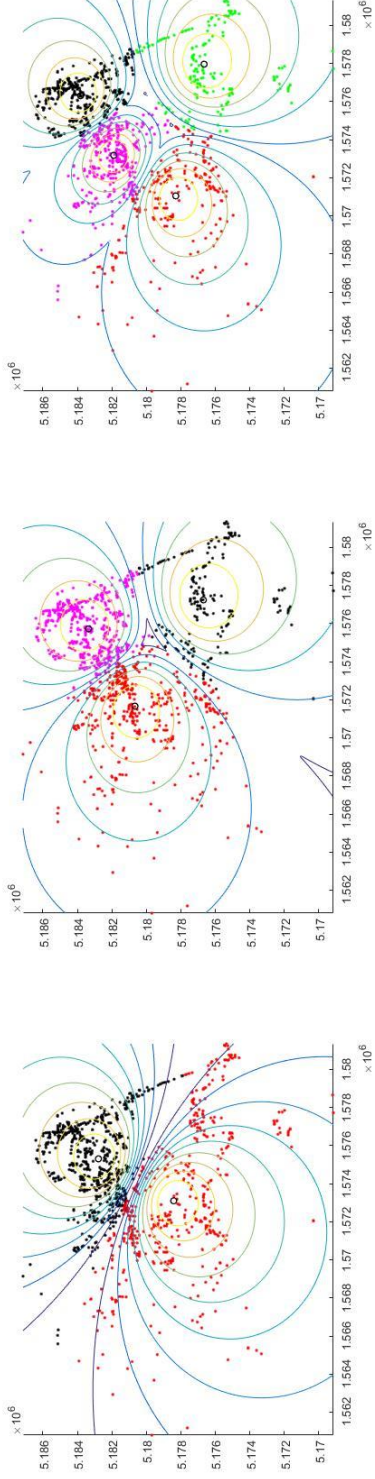
Şekil A. 1 (devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamlar kümeleme algoritması ile 2 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



t) 20 küme ve merkezleri

Şekil A. 1(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamalar kümeleme algoritması ile 2 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.

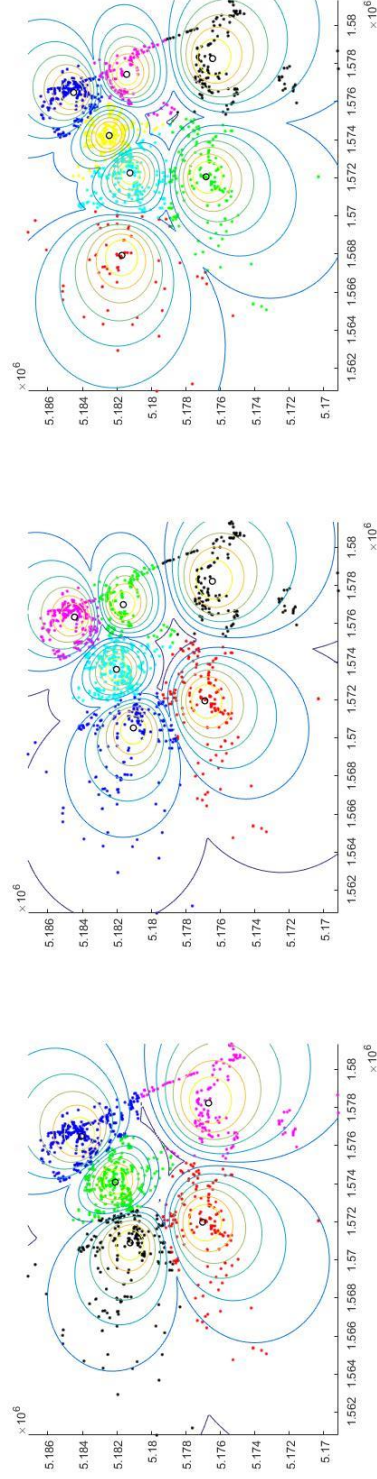
EK B



a) 2 küme ve merkezleri

b) 3 küme ve merkezleri

c) 4 küme ve merkezleri

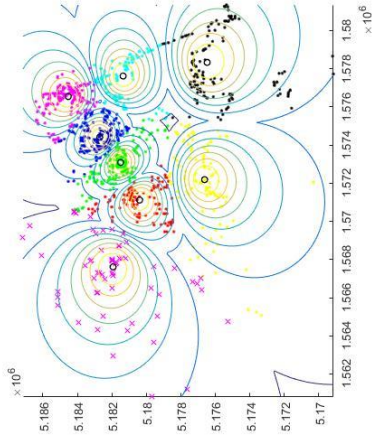


d) 5 küme ve merkezleri

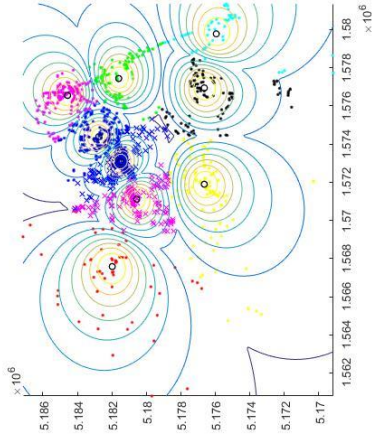
e) 6 küme ve merkezleri

f) 7 küme ve merkezleri

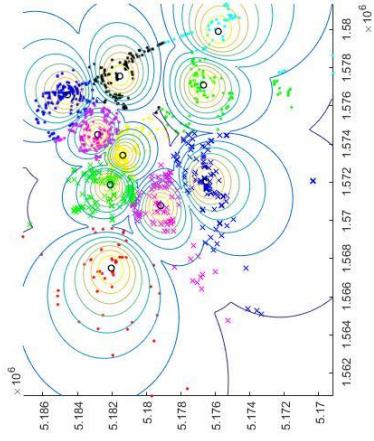
Şekil B. 1: Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile 2 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



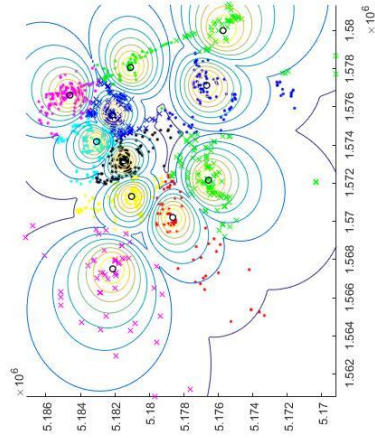
g) 8 küme ve merkezleri



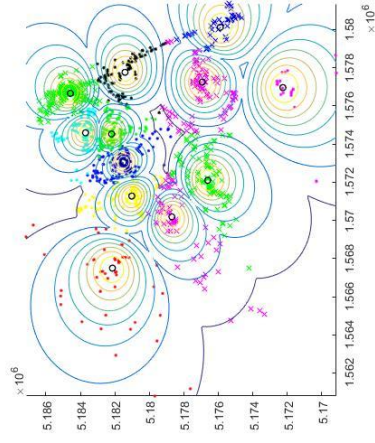
h) 9 küme ve merkezleri



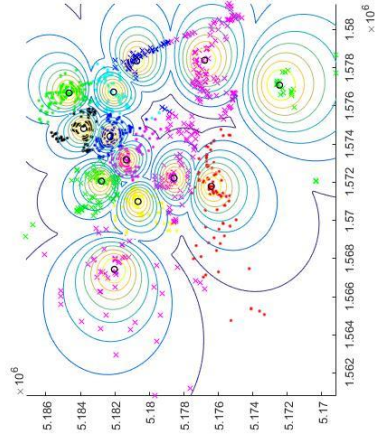
i) 10 küme ve merkezleri



j) 11 küme ve merkezleri

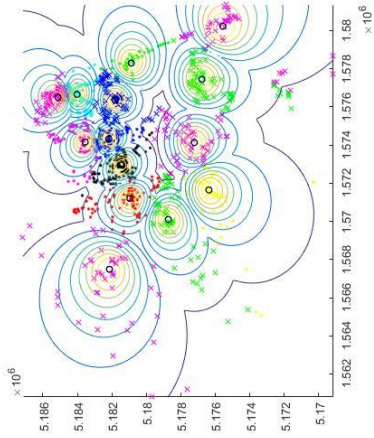


k) 12 küme ve merkezleri

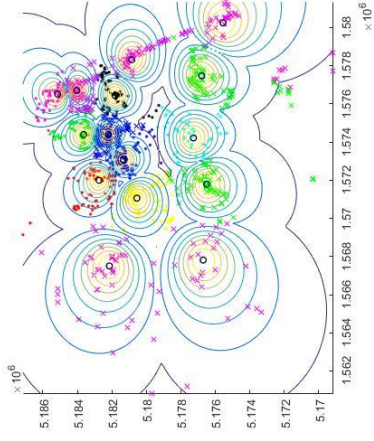


l) 13 küme ve merkezleri

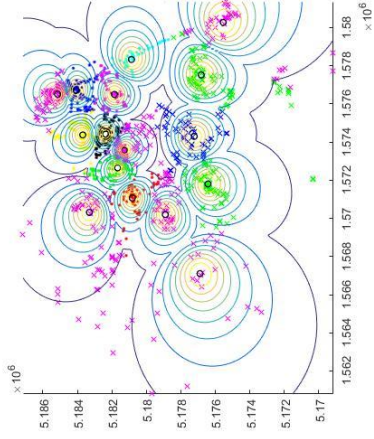
Şekil B. 1 (devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c -ortalamalar kümeleme algoritması ile 2 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



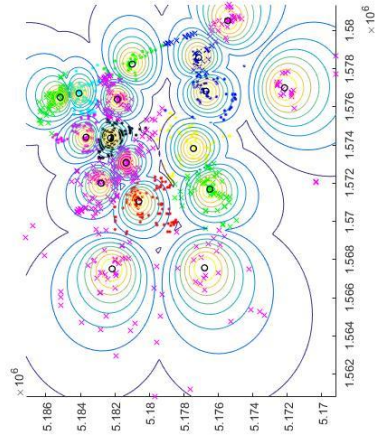
m) 14 küme ve merkezleri



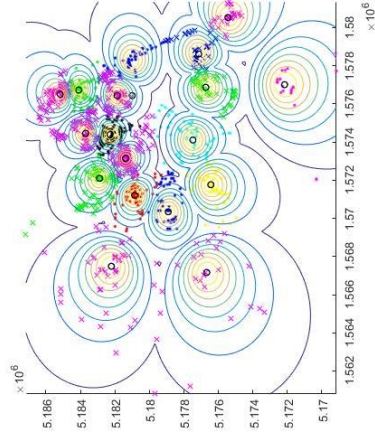
n) 15 küme ve merkezleri



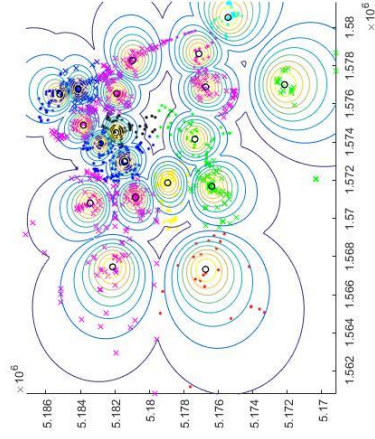
o) 16 küme ve merkezleri



p) 17 küme ve merkezleri

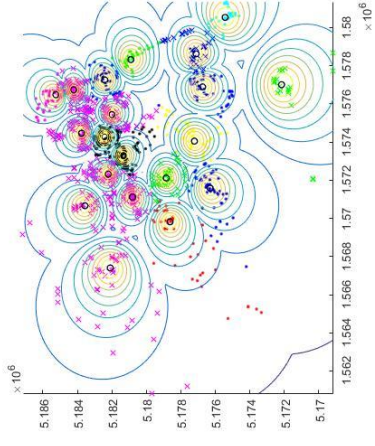


r) 18 küme ve merkezleri



s) 19 küme ve merkezleri

Şekil B. 1 (devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c -ortalamalar kümeleme algoritması ile 2 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.

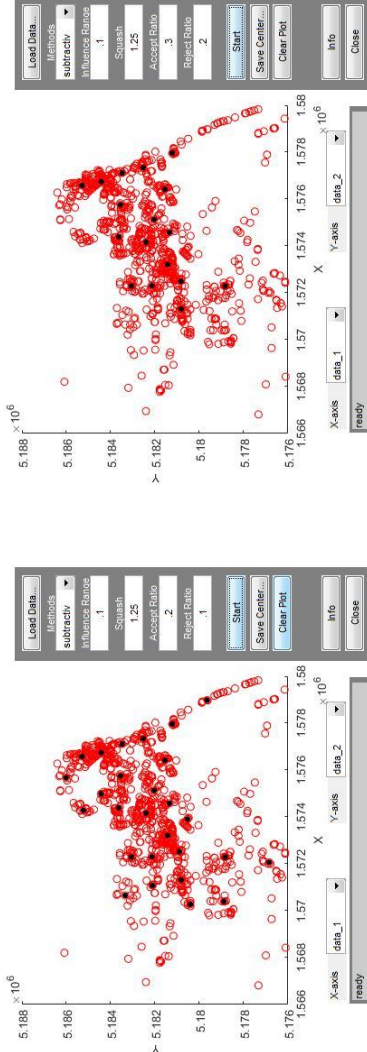


t) 20 küme ve merkezleri

Şekil B. 1 (devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c - ortalamalar kümeleme algoritması ile 2 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.

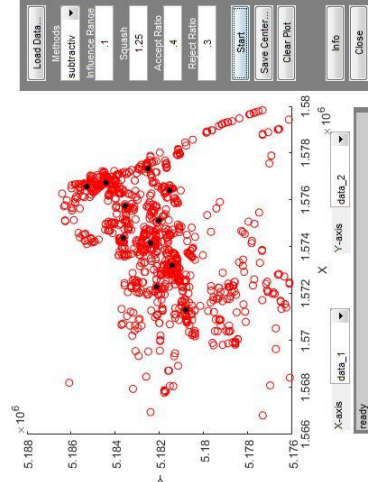
EK C

EK C.1



a) AR=0.2 ve RR=0.1 iken küme merkezleri

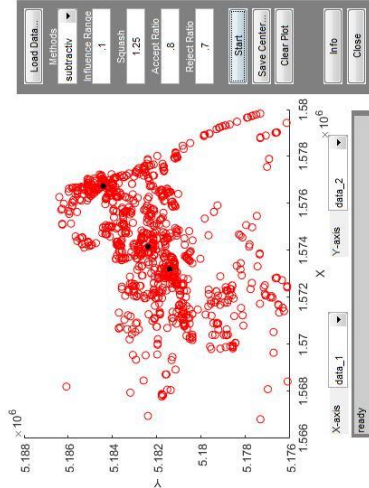
b) AR=0.3 ve RR=0.2 iken küme merkezleri



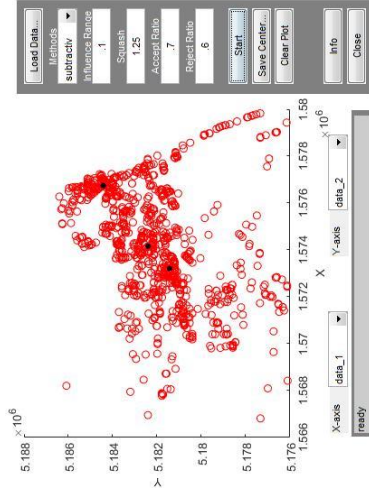
c) AR=0.4 ve RR=0.3 iken küme merkezleri

d) AR=0.5 ve RR=0.4 iken küme merkezleri

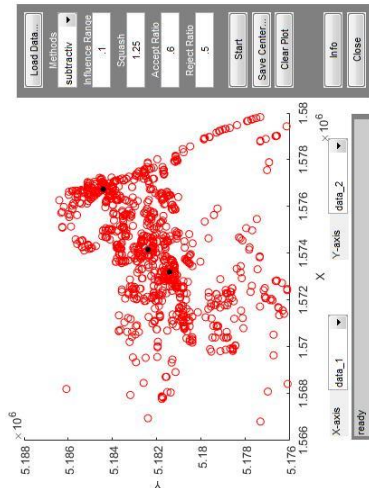
Şekil C. 1: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.1, SF=1.25 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



e) AR=0.6 ve RR=0.5 iken küme merkezleri



f) AR=0.7 ve RR=0.6 iken küme merkezleri

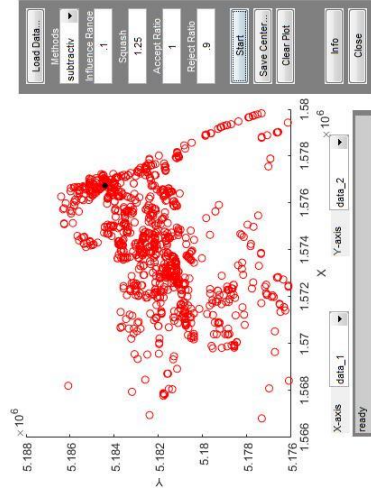
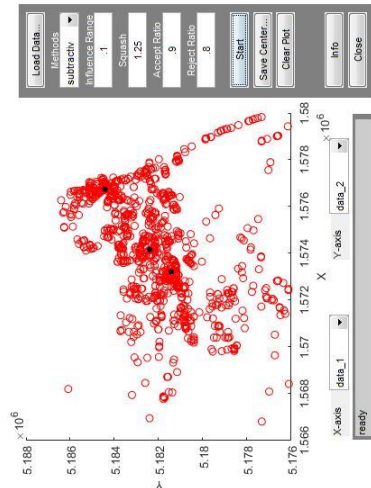


h) AR=0.9 ve RR=0.8 iken küme merkezleri

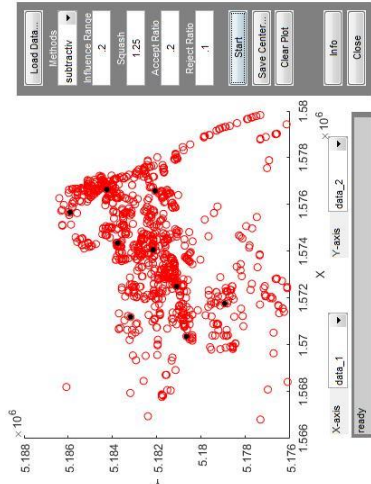


i) AR=1.0 ve RR=0.9 iken küme merkezleri

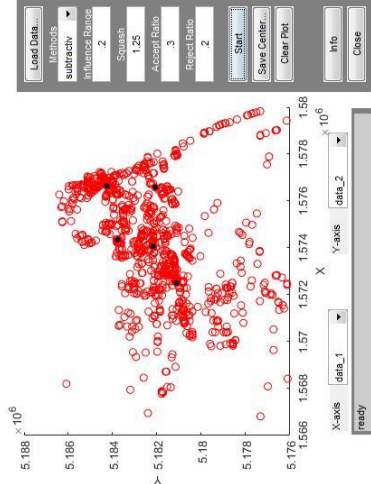
g) AR=0.8 ve RR=0.7 iken küme merkezleri



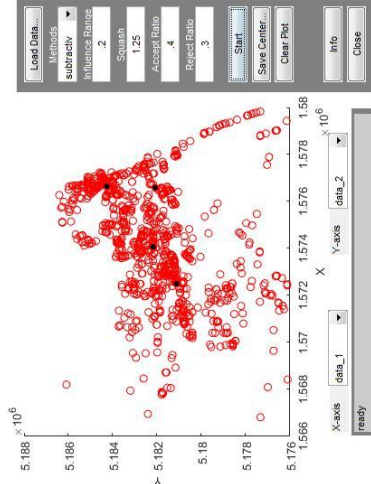
Şekil C. 1 (devam): Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.1, SF=1.25 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



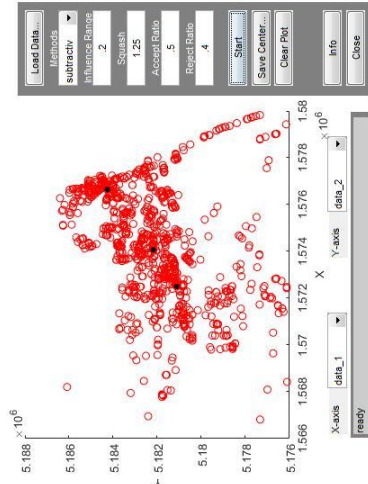
a) AR=0.2 ve RR=0.1 iken küme merkezleri



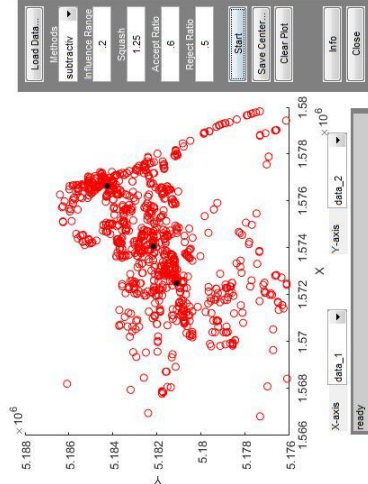
b) AR=0.3 ve RR=0.2 iken küme merkezleri



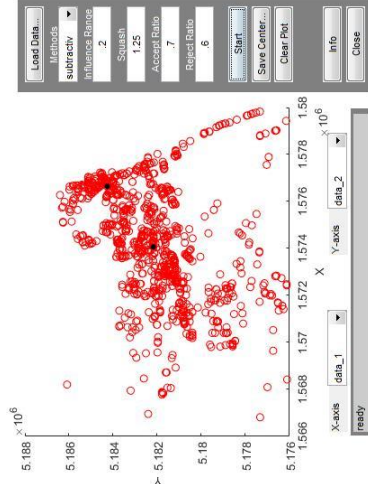
c) AR=0.4 ve RR=0.3 iken küme merkezleri



d) AR=0.5 ve RR=0.4 iken küme merkezleri

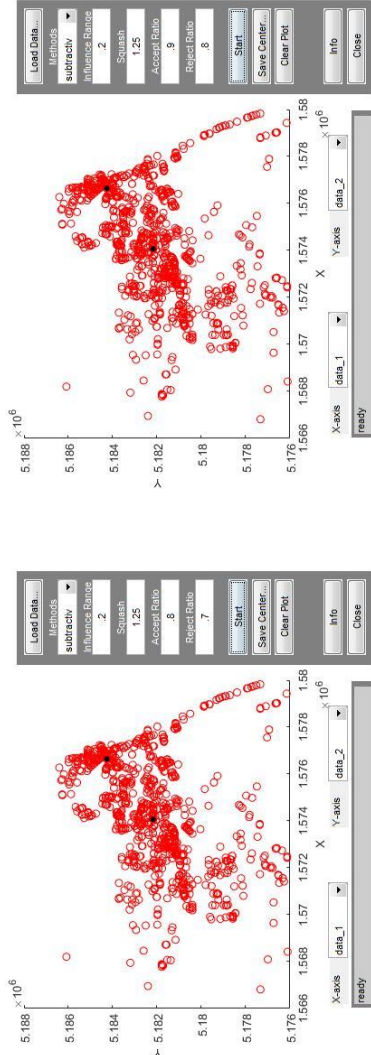


e) AR=0.6 ve RR=0.5 iken küme merkezleri



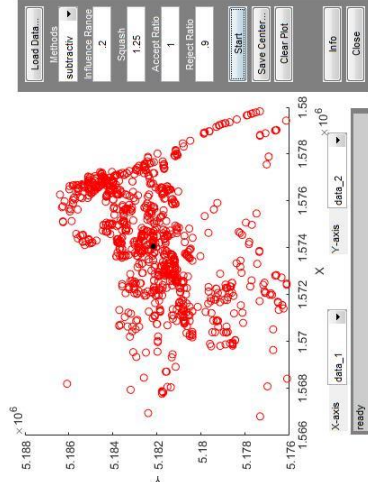
f) AR=0.7 ve RR=0.6 iken küme merkezleri

Şekil C. 2: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.2, SF=1.25 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



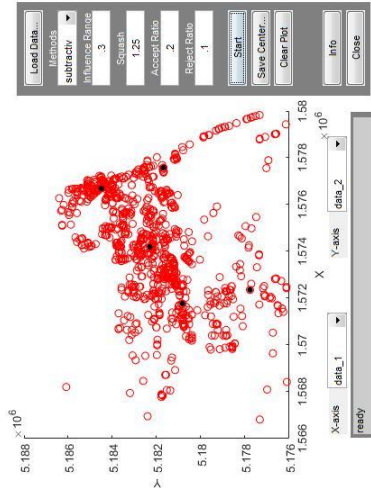
g) AR=0.8 ve RR=0.7 iken küme merkezleri

h) AR=0.9 ve RR=0.8 iken küme merkezleri

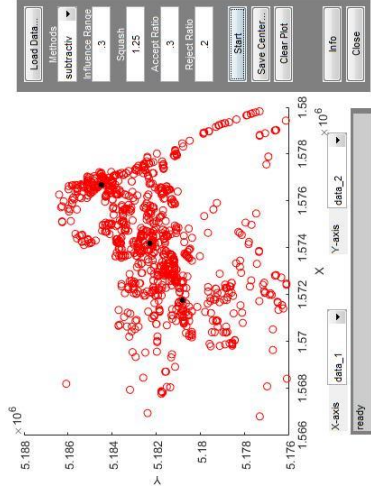


i) AR=1.0 ve RR=0.9 iken küme merkezleri

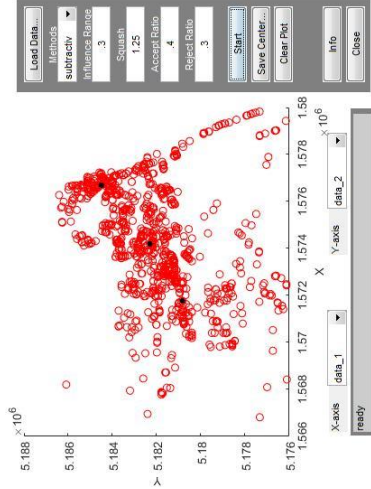
Şekil C. 2 (devam): Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.2, SF=1.25 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



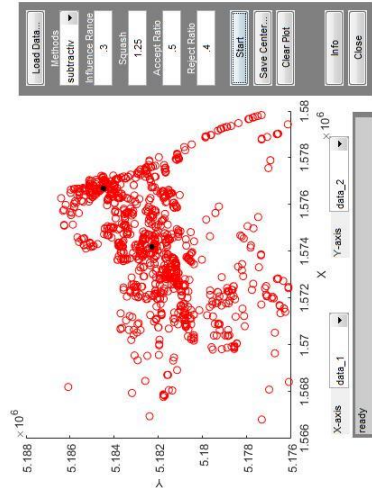
a) AR=0.2 ve RR=0.1 iken küme merkezleri



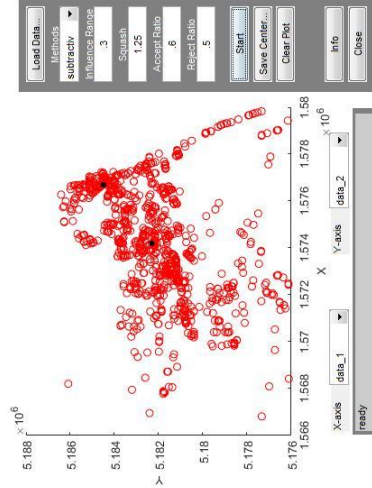
b) AR=0.3 ve RR=0.2 iken küme merkezleri



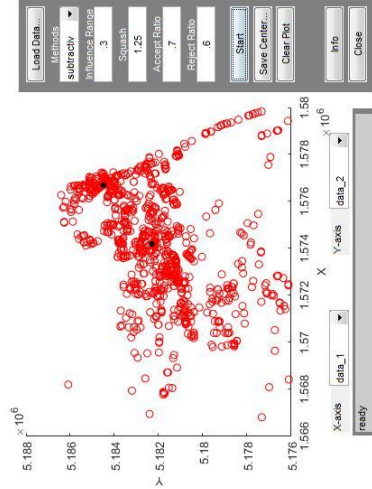
c) AR=0.4 ve RR=0.3 iken küme merkezleri



d) AR=0.5 ve RR=0.4 iken küme merkezleri

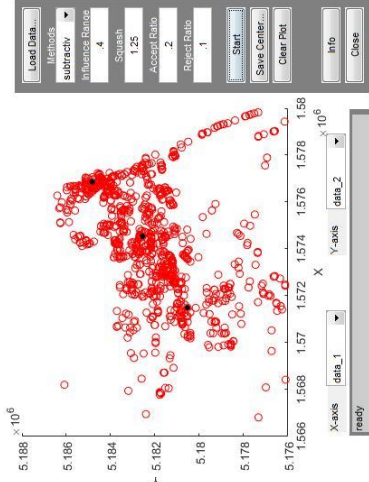


e) AR=0.6 ve RR=0.5 iken küme merkezleri

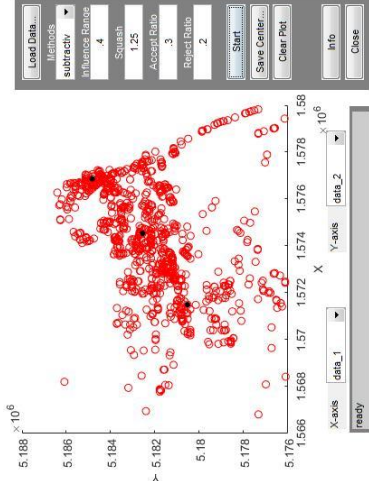


f) AR=0.7 ve RR=0.6 iken küme merkezleri

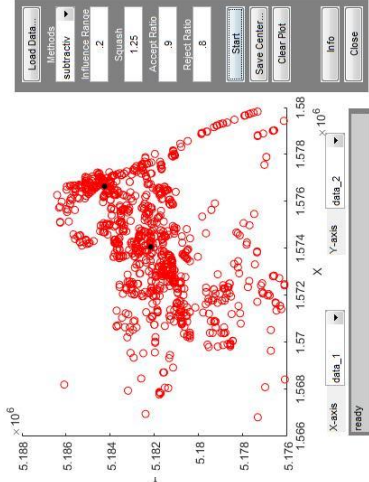
Şekil C. 3: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.3, SF=1.25 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



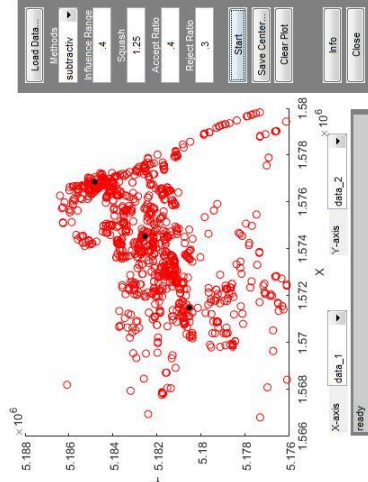
a) AR=0.2 ve RR=0.1 iken küme merkezleri



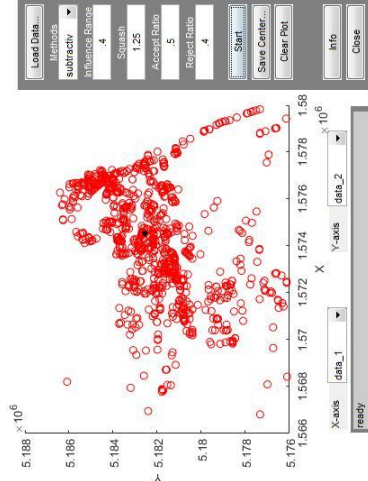
b) AR=0.3 ve RR=0.2 iken küme merkezleri



g) AR=0.8 ve RR=0.7 iken küme merkezleri



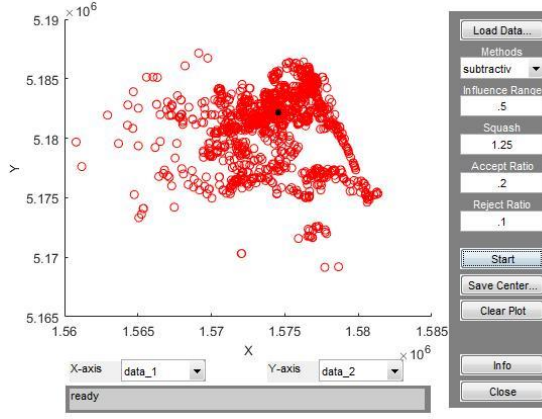
c) AR=0.4 ve RR=0.3 iken küme merkezleri



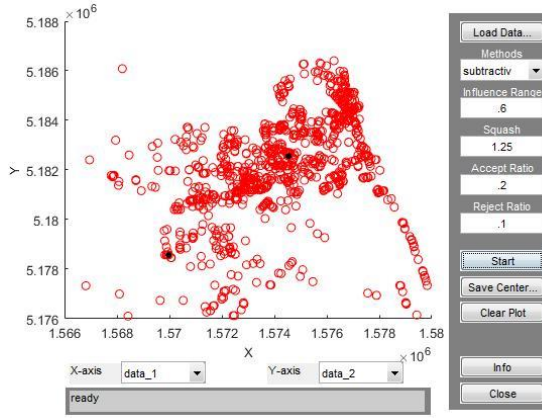
d) AR=0.5 ve RR=0.4 iken küme merkezleri

Şekil C. 3 (devam): Christchurch-LSN
bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.3, SF=1.25 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.

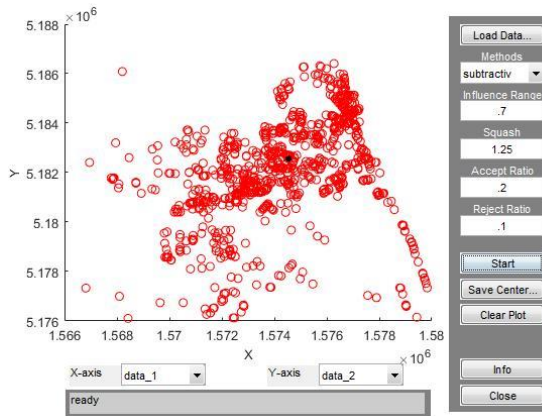
Şekil C. 4: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.2, SF=1.25 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



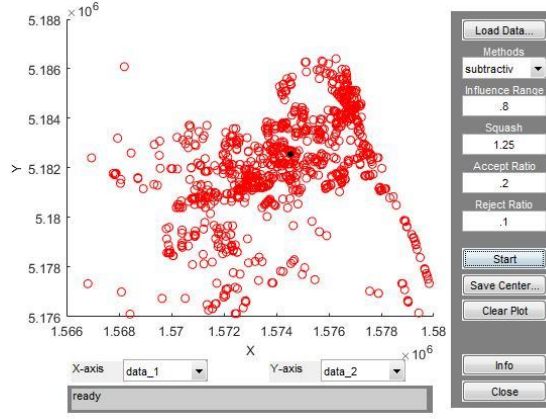
Şekil C. 5: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının $IR=0.5$, $SF=1.25$ olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



Şekil C. 6: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının $IR=0.6$, $SF=1.25$ olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.

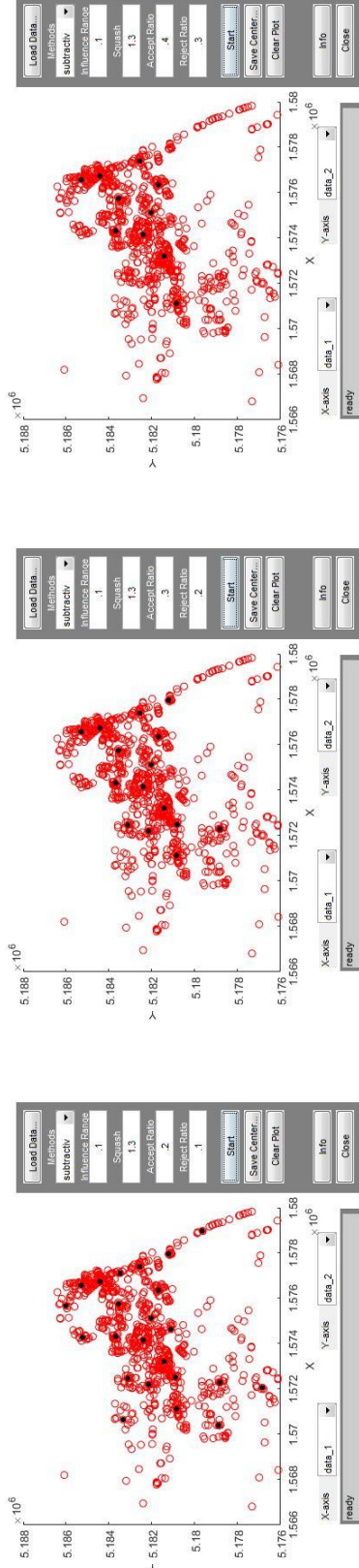


Şekil C. 7: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının $IR=0.7$, $SF=1.25$ olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



Şekil C. 8: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının $IR=0.8$, $SF=1.25$ olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.

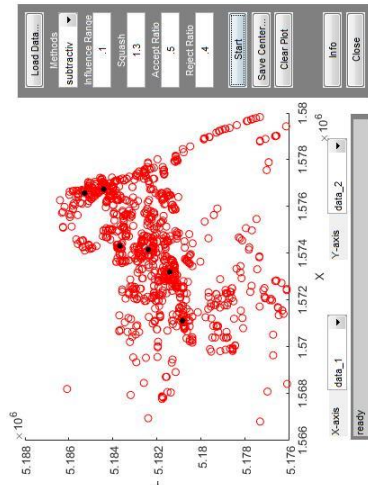
EK C.2



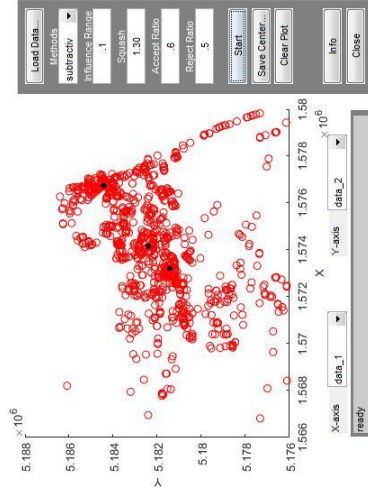
a) AR=0.2 ve RR=0.1 iken küme merkezleri

b) AR=0.3 ve RR=0.2 iken küme merkezleri

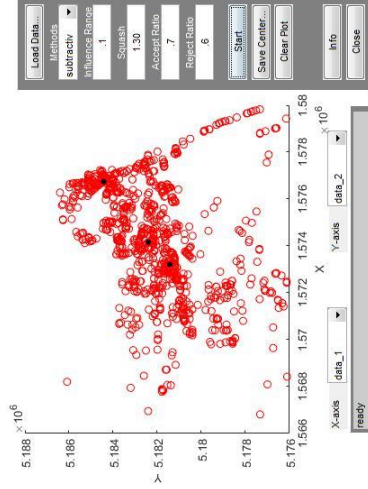
c) AR=0.4 ve RR=0.3 iken küme merkezleri



d) AR=0.5 ve RR=0.4 iken küme merkezleri

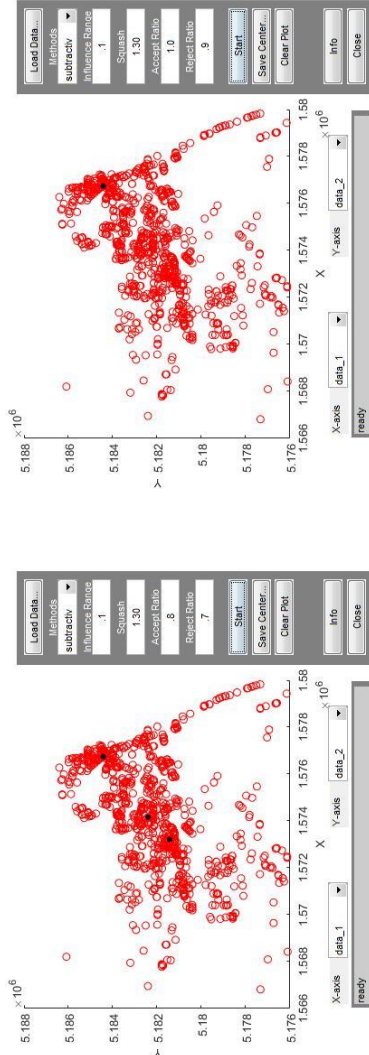


e) AR=0.6 ve RR=0.5 iken küme merkezleri



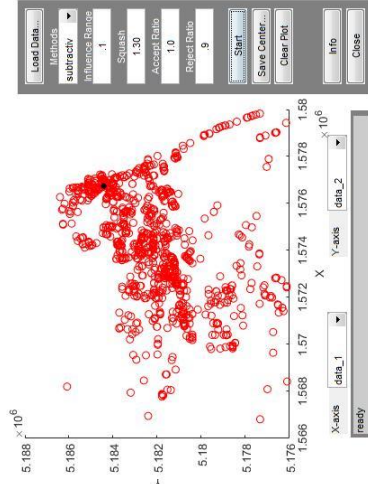
f) AR=0.7 ve RR=0.6 iken küme merkezleri

Şekil C. 9: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.8, SF=1.30 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



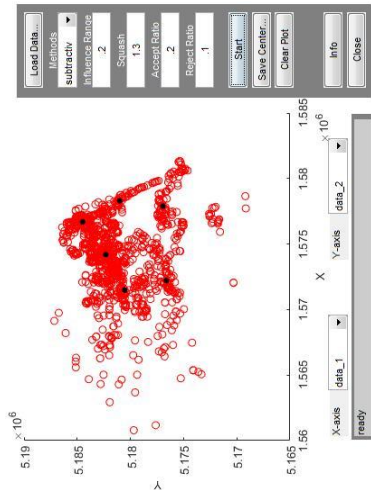
g) AR=0.8 ve RR=0.7 iken küme merkezleri

h) AR=0.9 ve RR=0.8 iken küme merkezleri

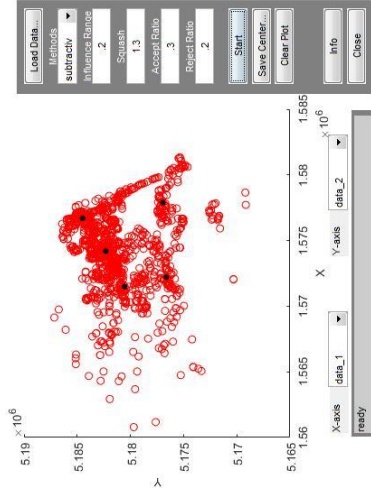


i) AR=1.0 ve RR=0.9 iken küme merkezleri

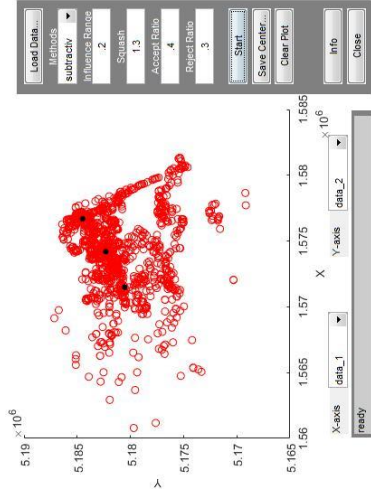
Şekil C. 9 (devam): Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.8, SF=1.30 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



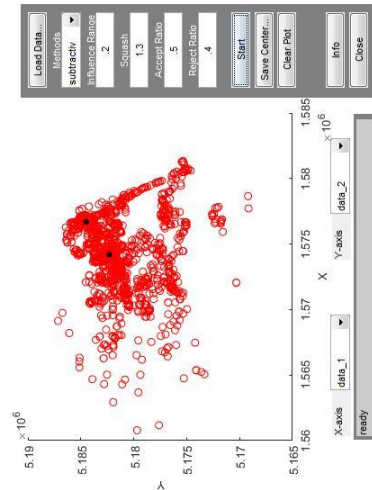
a) AR=0.2 ve RR=0.1 iken küme merkezleri



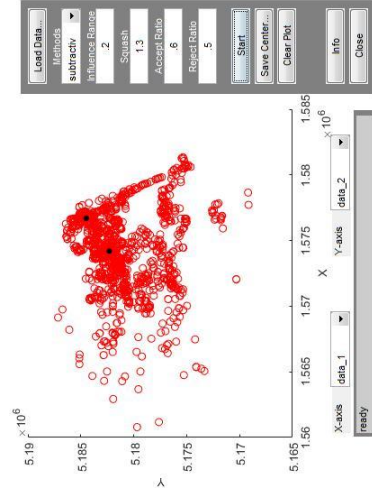
b) AR=0.3 ve RR=0.2 iken küme merkezleri



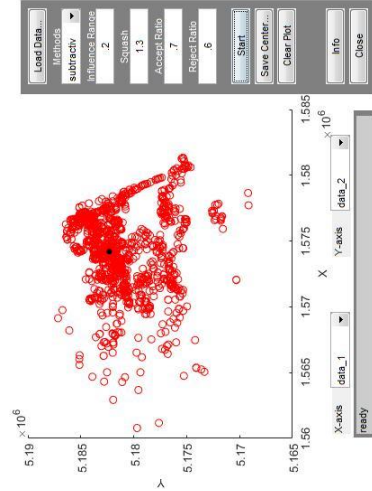
c) AR=0.4 ve RR=0.3 iken küme merkezleri



d) AR=0.5 ve RR=0.4 iken küme merkezleri

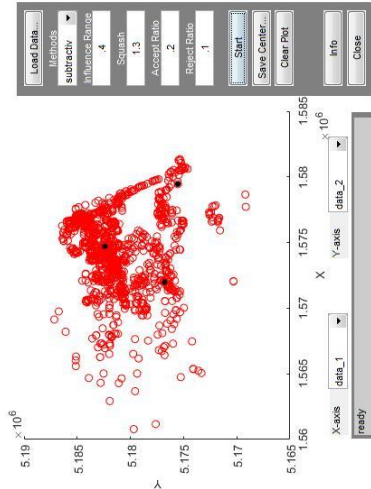


e) AR=0.6 ve RR=0.5 iken küme merkezleri

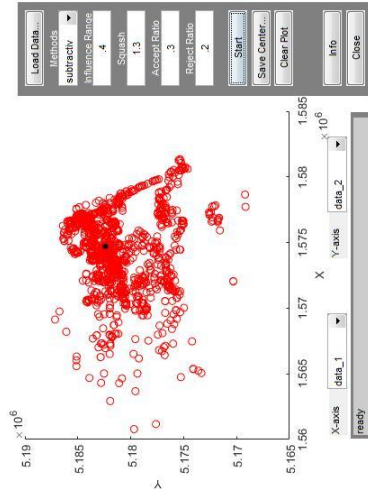


f) AR=0.7 ve RR=0.6 iken küme merkezleri

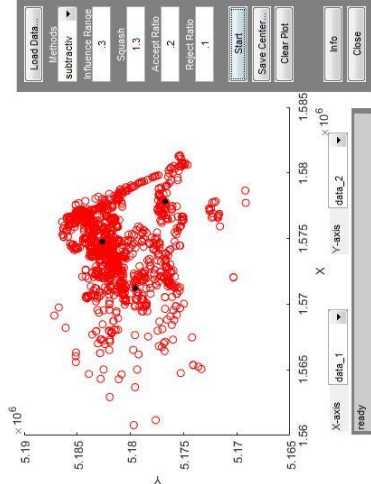
Şekil C. 10: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.2, SF=1.30 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



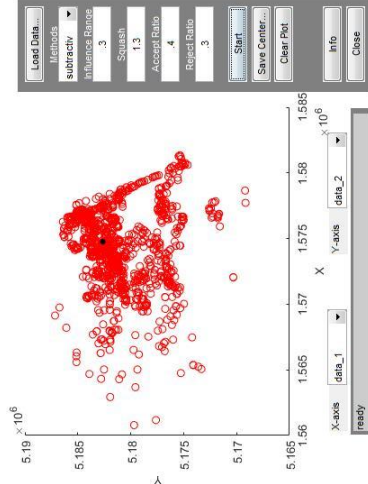
a) AR=0.2 ve RR=0.1 iken küme merkezleri



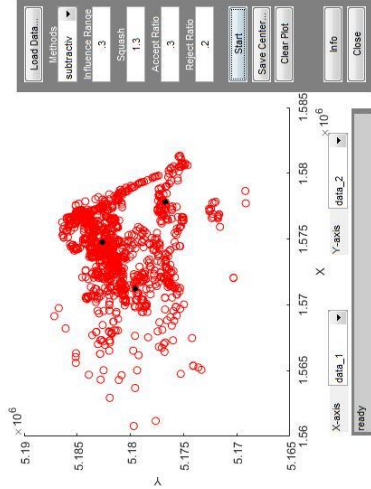
b) AR=0.3 ve RR=0.2 iken küme merkezleri



a) AR=0.2 ve RR=0.1 iken küme merkezleri



c) AR=0.4 ve RR=0.3 iken küme merkezleri



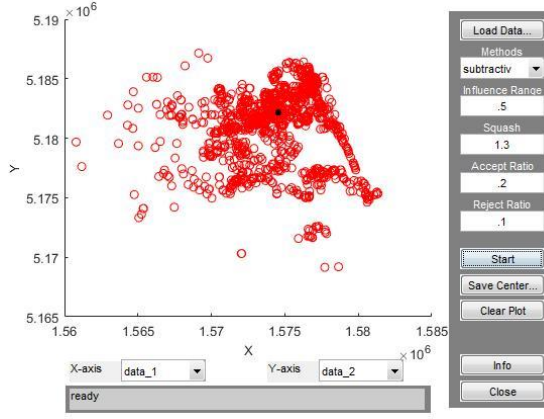
b) AR=0.3 ve RR=0.2 iken küme merkezleri

Şekil C. 12: Christchurch-LSN bölgesi kesişim

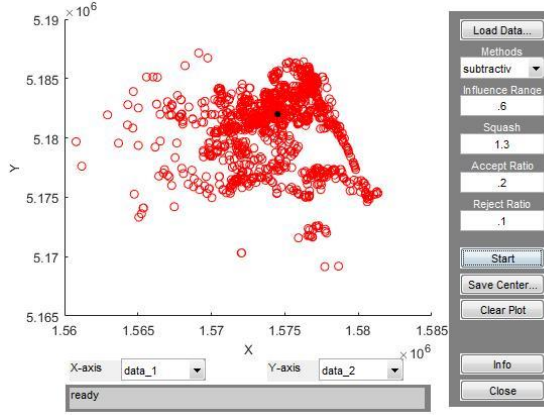
1104 boru hasarının IR=0.4, SF=1.30 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.

Şekil C. 11: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.3, SF=1.30 olduğu durumda

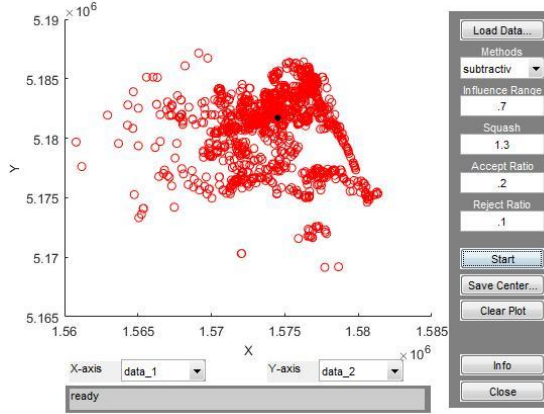
AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



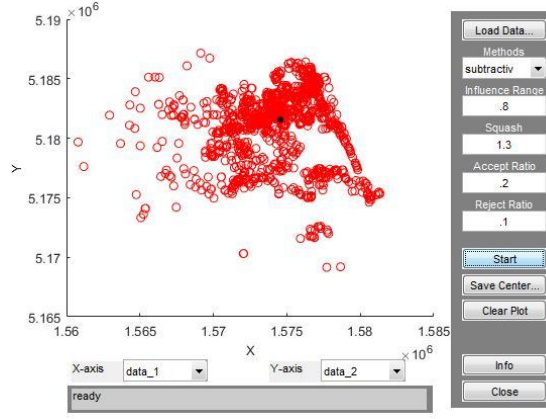
Şekil C. 13: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.5, SF=1.30 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



Şekil C. 15: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.6, SF=1.30 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



Şekil C. 15: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının IR=0.7, SF=1.30 olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.



Şekil C. 16: Christchurch-LSN bölgesi kesişim 1104 boru hasarının $IR=0.8$, $SF=1.30$ olduğu durumda AR ve RR'ye bağlı kümelerin değişimleri.

EK C.3

Tablo C. 1: Çıkarımlı kümeleme ile değişkenlere bağlı değişen küme sayıları.

		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	19									
	0,3	19	11								
	0,4	19	11	5							
	0,5	19	11	5	5						
	0,6	19	11	5	5	3					
	0,7	19	11	5	5	3	3				
	0,8	19	11	5	5	3	3	2			
	0,9	19	11	5	5	3	3	2	2		
	1	19	11	5	5	3	3	2	2	2	

a) IR=0.1 ve SF=1.25 için AR ve RR'ye bağlı küme sayıları

		Etki Aralığı=0.1 Çarpım Faktörü=1.30									
	RR	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
AR	0,2	18									
	0,3	18	9								
	0,4	18	9	5							
	0,5	18	9	5	5						
	0,6	18	9	5	5	3					
	0,7	18	9	5	5	3	3				
	0,8	18	9	5	5	3	3	2			
	0,9	18	9	5	5	3	3	2	2		
	1	18	9	5	5	3	3	2	2	2	

b) IR=0.1 ve SF=1.30 için AR ve RR'ye bağlı 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	6									
	0,3	6	6								
	0,4	6	6	3							
	0,5	6	6	3	2						
	0,6	6	6	3	2	2					
	0,7	6	6	3	2	2	1				
	0,8	6	6	3	2	2	1	1			
	0,9	6	6	3	2	2	1	1	1		
	1	6	6	3	2	2	1	1	1	1	

c) IR=0.2 ve SF=1.25 için AR ve RR'ye bağlı küme sayıları

		Etki Aralığı=0.2 Çarpım Faktörü=1.30									
	RR	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
AR	0,2	6									
	0,3	6	5								
	0,4	6	5	3							
	0,5	6	5	3	2						
	0,6	6	5	3	2	2					
	0,7	6	5	3	2	2	1				
	0,8	6	5	3	2	2	1	1			
	0,9	6	5	3	2	2	1	1	1		
	1	6	5	3	2	2	1	1	1	1	

d) IR=0.2 ve SF=1.30 için AR ve RR'ye bağlı 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	3									
	0,3	3	3								
	0,4	3	3	1							
	0,5	3	3	1	1						
	0,6	3	3	1	1	1					
	0,7	3	3	1	1	1	1				
	0,8	3	3	1	1	1	1	1			
	0,9	3	3	1	1	1	1	1	1		
	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	

e) IR=0.3 ve SF=1.25 için AR ve RR'ye bağlı küme sayıları

		Etki Aralığı=0.3 Çarpım Faktörü=1.30									
	RR	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
AR	0,2	3									
	0,3	3	3								
	0,4	3	3	1							
	0,5	3	3	1	1						
	0,6	3	3	1	1	1					
	0,7	3	3	1	1	1	1				
	0,8	3	3	1	1	1	1	1			
	0,9	3	3	1	1	1	1	1	1		
	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	

f) IR=0.3 ve SF=1.30 için AR ve RR'ye bağlı 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	3									
	0,3	3	1								
	0,4	3	1	1							
	0,5	3	1	1	1						
	0,6	3	1	1	1	1					
	0,7	3	1	1	1	1	1				
	0,8	3	1	1	1	1	1	1			
	0,9	3	1	1	1	1	1	1	1		
	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	

g) IR=0.4 ve SF=1.25 için AR ve RR'ye bağlı küme sayıları

		Etki Aralığı=0.4 Çarpım Faktörü=1.30									
	RR	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
AR	0,2	3									
	0,3	3	1								
	0,4	3	1	1							
	0,5	3	1	1	1						
	0,6	3	1	1	1	1					
	0,7	3	1	1	1	1	1				
	0,8	3	1	1	1	1	1	1			
	0,9	3	1	1	1	1	1	1	1		
	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	

h) IR=0.4 ve SF=1.30 için AR ve RR'ye bağlı 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	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	

i) IR=0.5 ve SF=1.25 için AR ve RR'ye bağlı küme sayıları

		Etki Aralığı=0.5 Çarpım Faktörü=1.30									
	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	

j) IR=0.5 ve SF=1.30 için AR ve RR'ye bağlı 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	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	

k) IR=0.6 ve SF=1.25 için AR ve RR'ye bağlı küme sayıları

		Etki Aralığı=0.6 Çarpım Faktörü=1.30									
	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	

l) IR=0.6 ve SF=1.30 için AR ve RR'ye bağlı 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	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	

m) IR=0.7 ve SF=1.25 için AR ve RR'ye bağlı küme sayıları

		Etki Aralığı=0.7 Çarpım Faktörü=1.30									
	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	

n) IR=0.7 ve SF=1.30 için AR ve RR'ye bağlı 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	

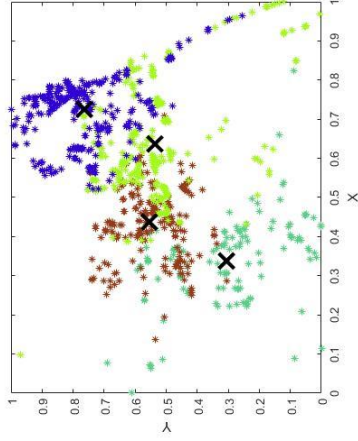
o) IR=0.8 ve SF=1.25 için AR ve RR'ye bağlı küme sayıları

		Etki Aralığı=0.8 Çarpım Faktörü=1.30									
	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	

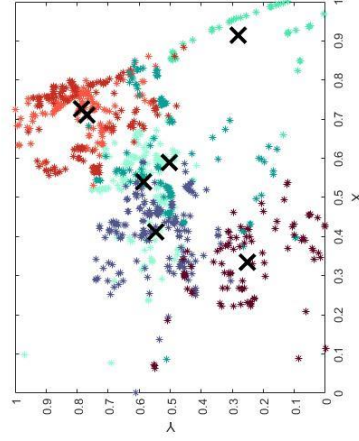
p) IR=0.8 ve SF=1.30 için AR ve RR'ye bağlı küme sayıları

EK D

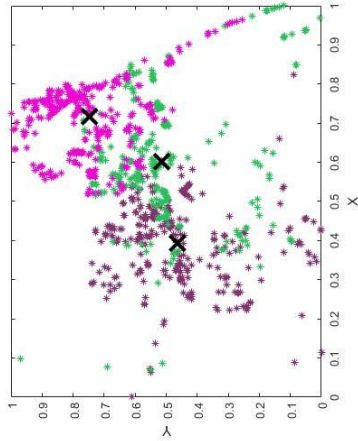
EK D.1



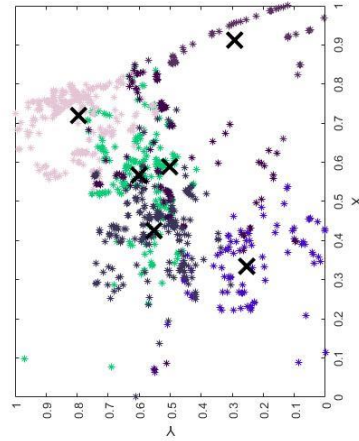
c) 4 küme ve merkezleri



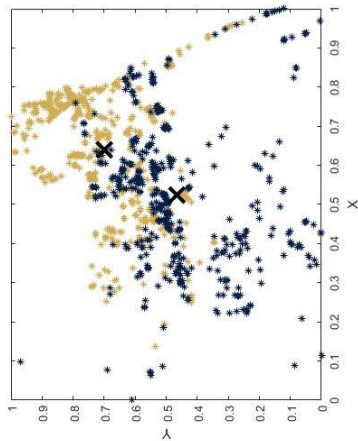
f) 7 küme ve merkezleri



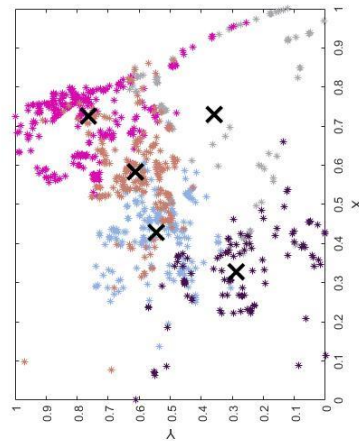
b) 3 küme ve merkezleri



e) 6 küme ve merkezleri

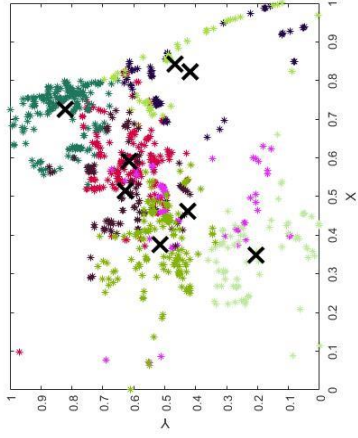


a) 2 küme ve merkezleri

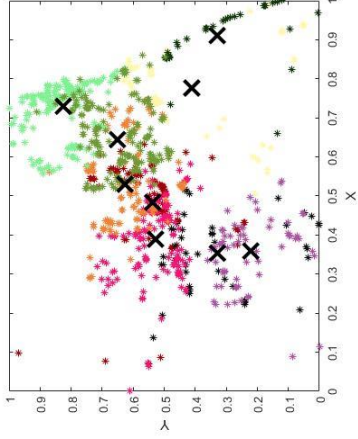


d) 5 küme ve merkezleri

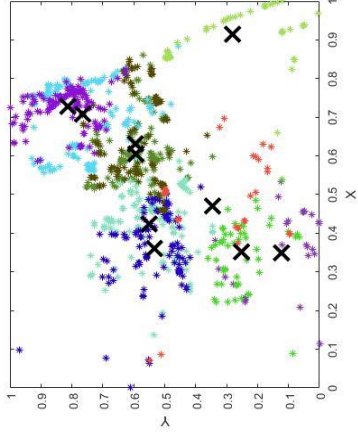
Şekil D. 1: Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamalar kümeleme algoritması ile LPI 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



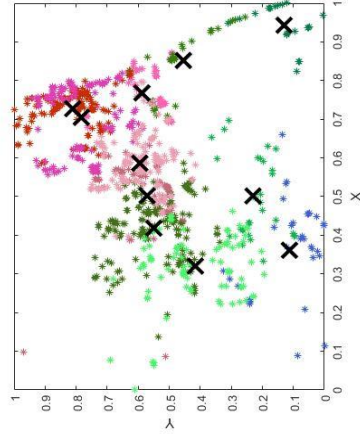
g) 8 küme ve merkezleri



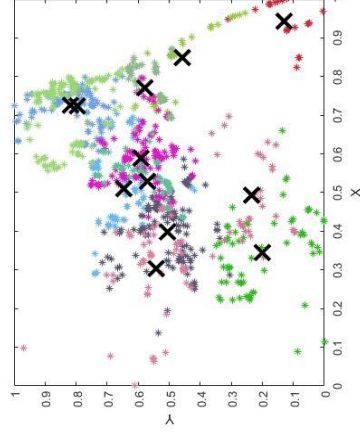
h) 9 küme ve merkezleri



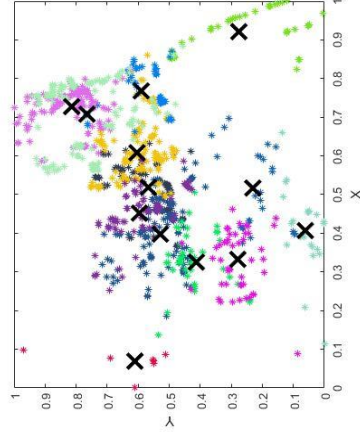
i) 10 küme ve merkezleri



j) 11 küme ve merkezleri

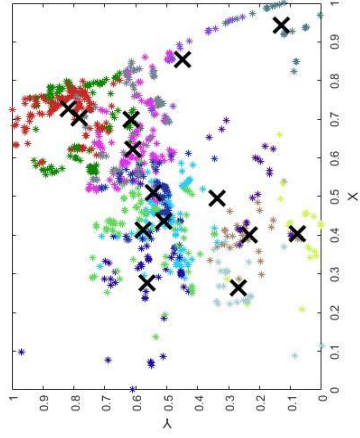


k) 12 küme ve merkezleri

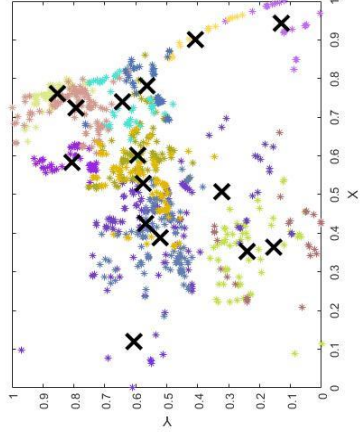


l) 13 küme ve merkezleri

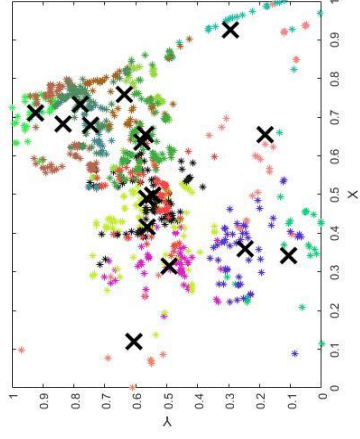
Şekil D. 1 (devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamalar kümeleme algoritması ile LPI 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



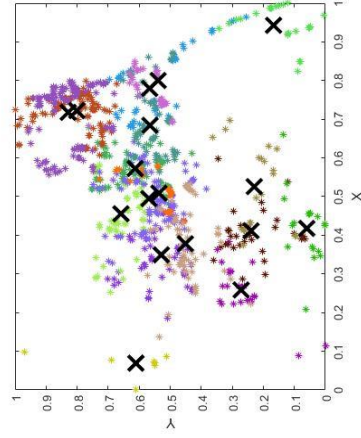
m) 14 küme ve merkezleri



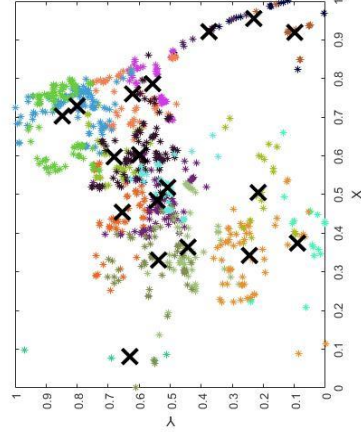
n) 15 küme ve merkezleri



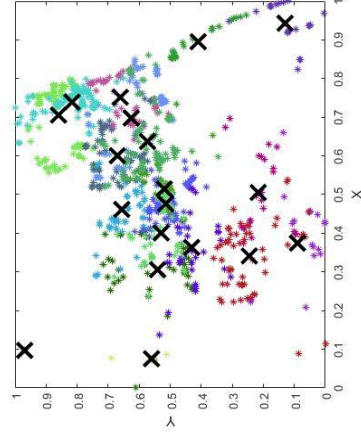
o) 16 küme ve merkezleri



p) 17 küme ve merkezleri

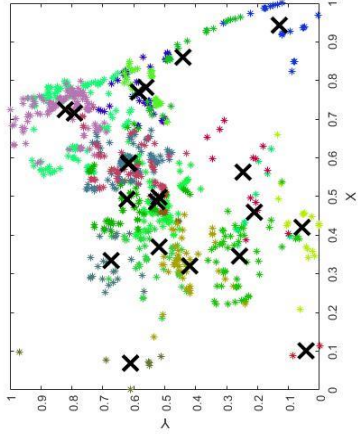


r) 18 küme ve merkezleri



s) 19 küme ve merkezleri

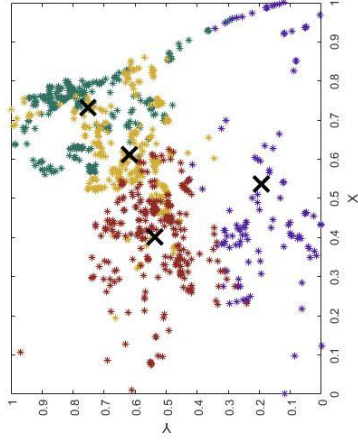
Şekil D. 1 (devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamlar kümeleme algoritması ile LPI 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



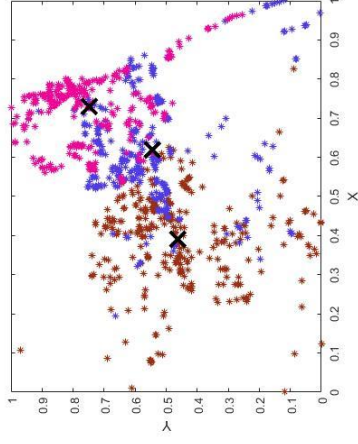
t) 20 küme ve merkezleri

Şekil D. 1 (devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamalar kümeleme algoritması ile LPI 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.

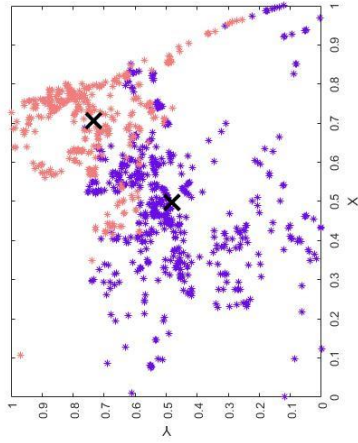
EK D.2



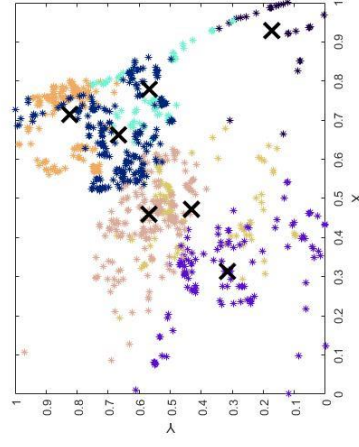
a) 2 küme ve merkezleri



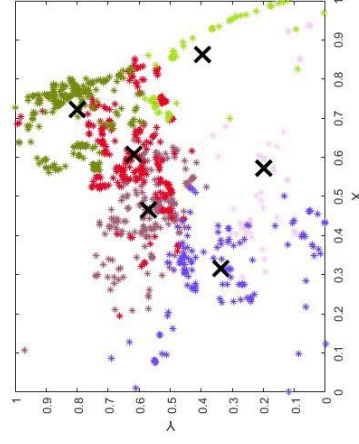
b) 3 küme ve merkezleri



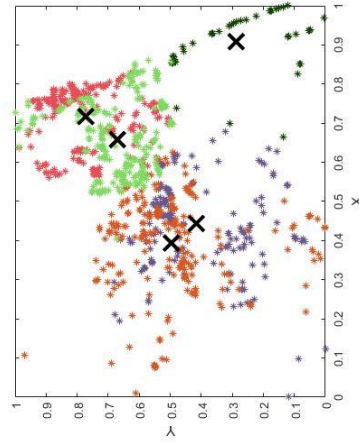
c) 4 küme ve merkezleri



d) 5 küme ve merkezleri

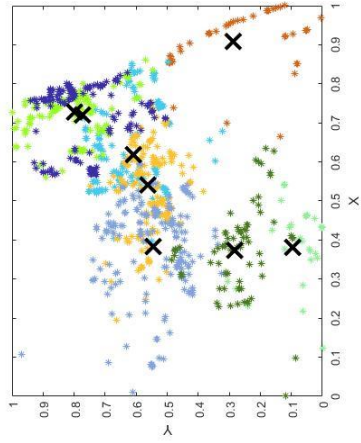


e) 6 küme ve merkezleri

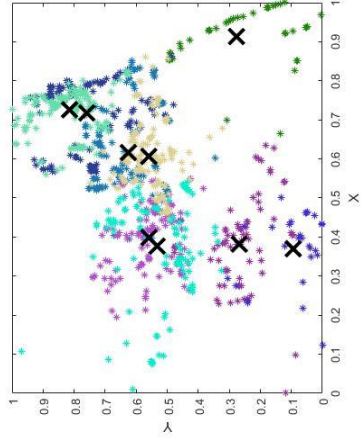


f) 7 küme ve merkezleri

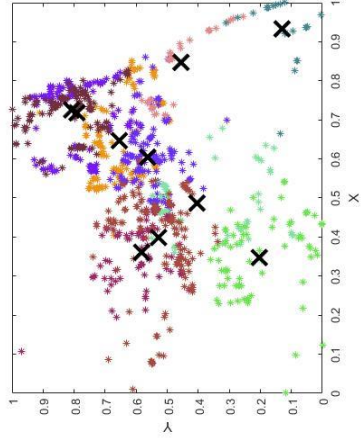
Şekil D. 2: Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamlar kümeleme algoritması ile 3 LSN boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



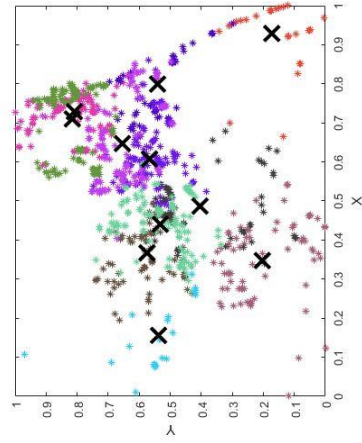
g) 8 küme ve merkezleri



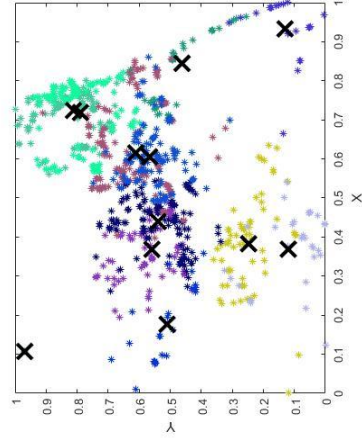
h) 9 küme ve merkezleri



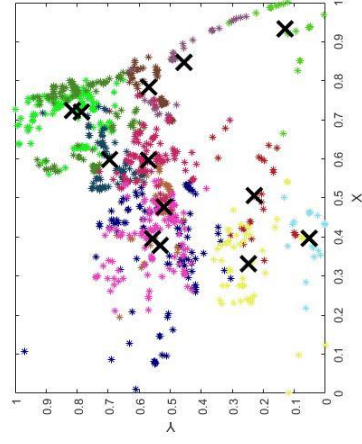
i) 10 küme ve merkezleri



j) 11 küme ve merkezleri

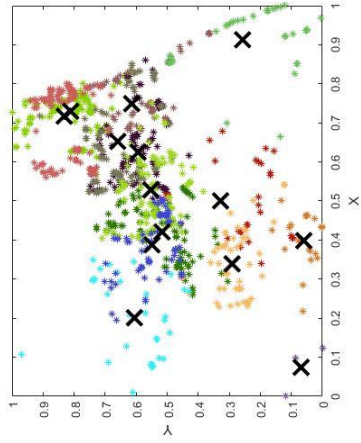


k) 12 küme ve merkezleri

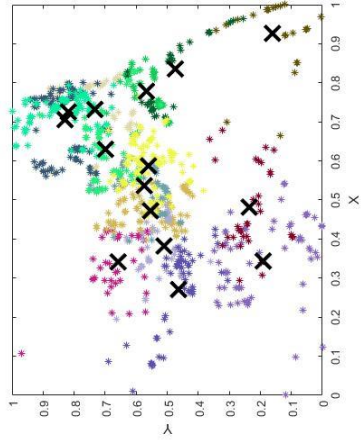


l) 13 küme ve merkezleri

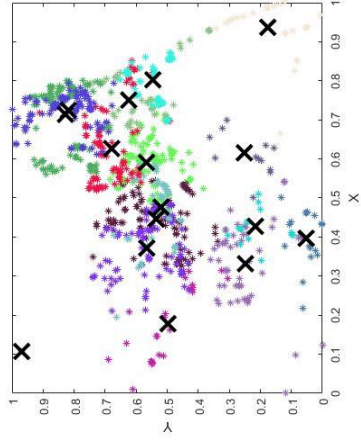
Şekil D. 2(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamalar kümeleme algoritması ile LSN 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



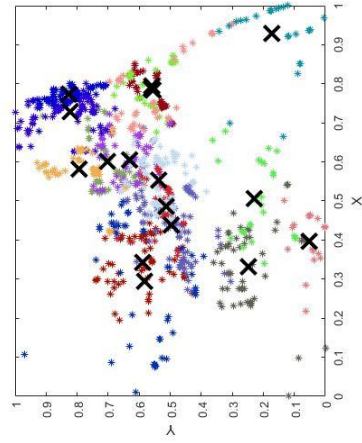
m) 14 küme ve merkezleri



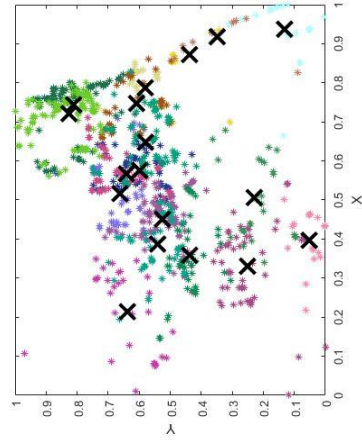
n) 15 küme ve merkezleri



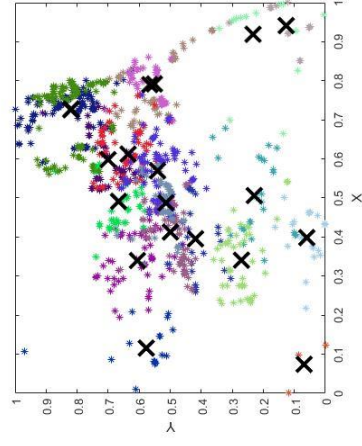
o) 16 küme ve merkezleri



p) 17 küme ve merkezleri

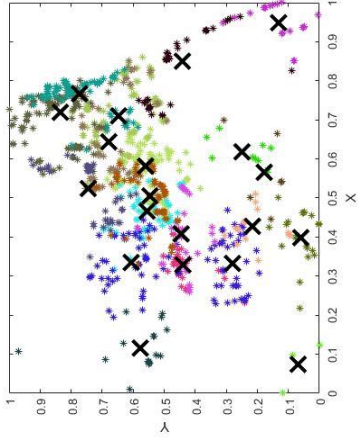


r) 18 küme ve merkezleri



s) 19 küme ve merkezleri

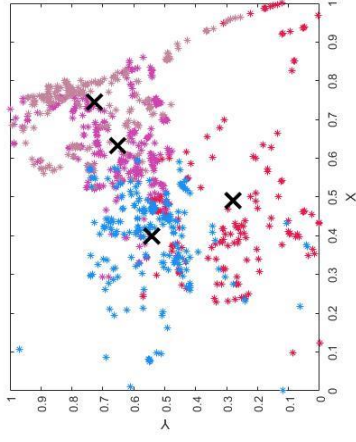
Şekil D. 2(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamalar kümeleme algoritması ile LSN 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



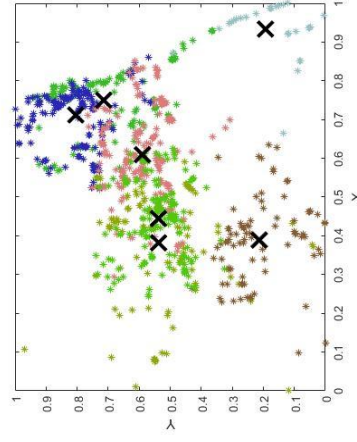
t) 20 küme ve merkezleri

Şekil D. 2 (devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalama kümeleme algoritması ile LSN 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.

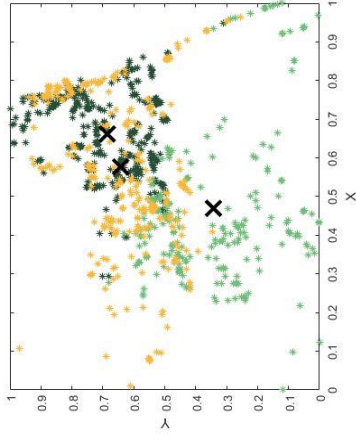
EK D.3



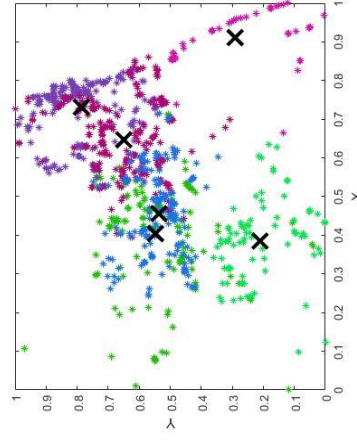
c) 4 küme ve merkezleri



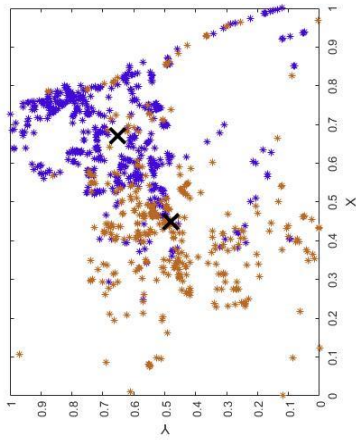
f) 7 küme ve merkezleri



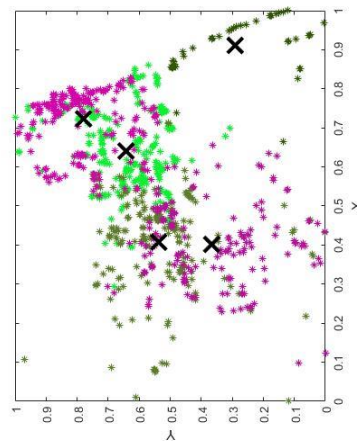
b) 3 küme ve merkezleri



e) 6 küme ve merkezleri

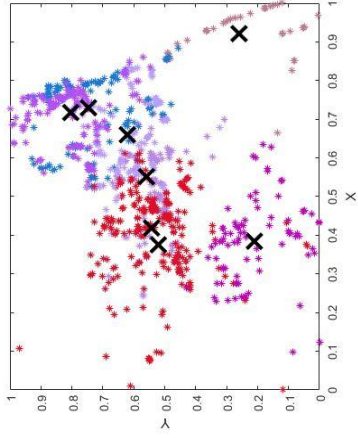


a) 2 küme ve merkezleri

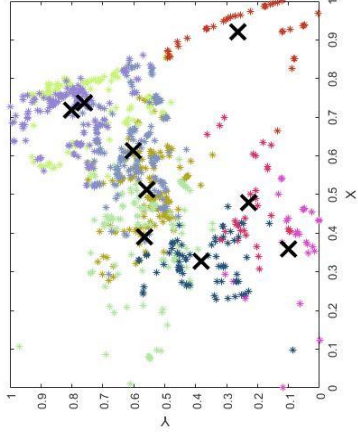


d) 5 küme ve merkezleri

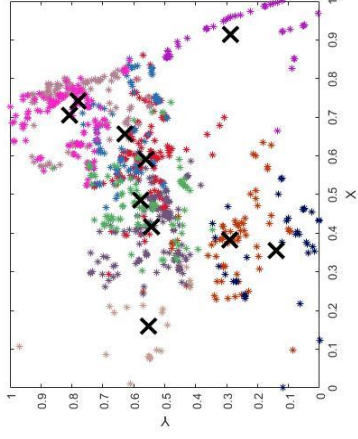
Şekil D. 3: Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamalar kümeleme algoritması ile S_{VID} 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



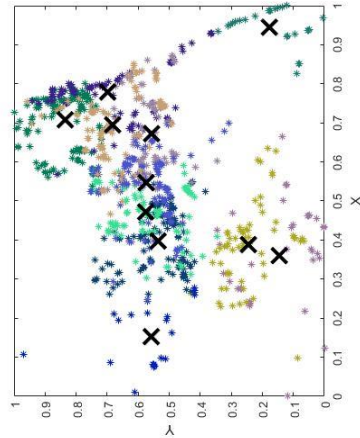
g) 8 küme ve merkezleri



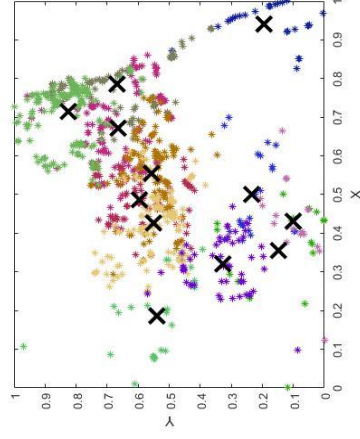
h) 9 küme ve merkezleri



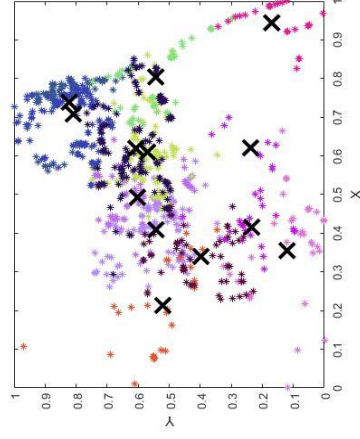
i) 10 küme ve merkezleri



j) 11 küme ve merkezleri

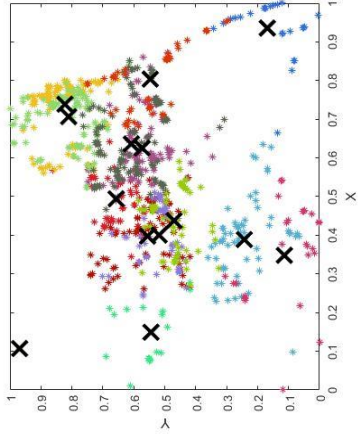


k) 12 küme ve merkezleri

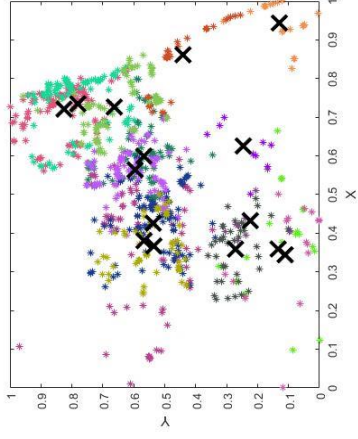


l) 13 küme ve merkezleri

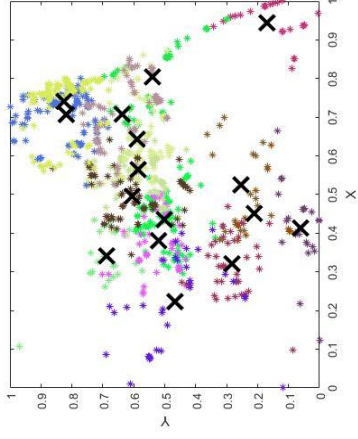
Şekil D. 3(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamalar kümeleme algoritması ile S_{VID} 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



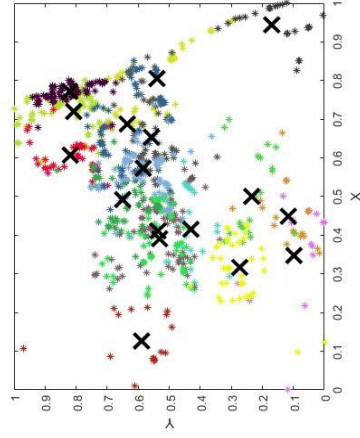
m) 14 küme ve merkezleri



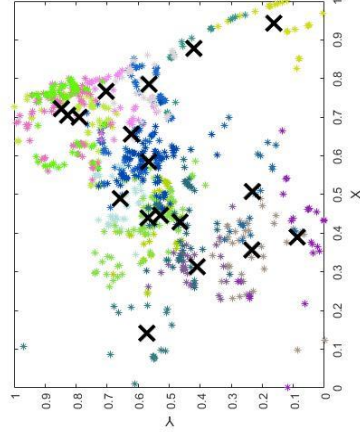
n) 15 küme ve merkezleri



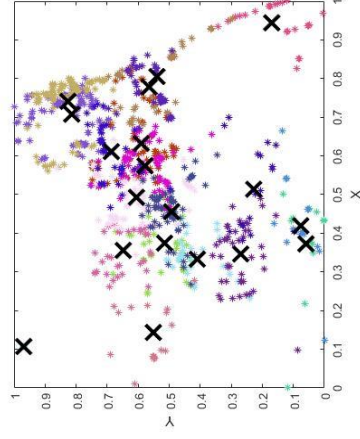
o) 16 küme ve merkezleri



p) 17 küme ve merkezleri

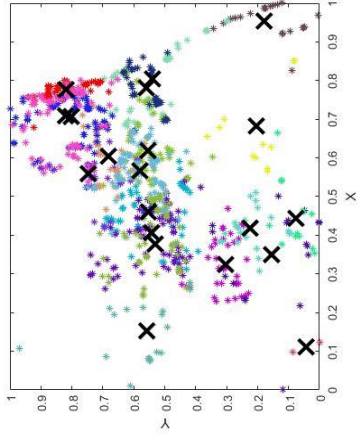


r) 18 küme ve merkezleri



s) 19 küme ve merkezleri

Şekil D. 3(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalamlar kümeleme algoritması ile S_{VID} 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.

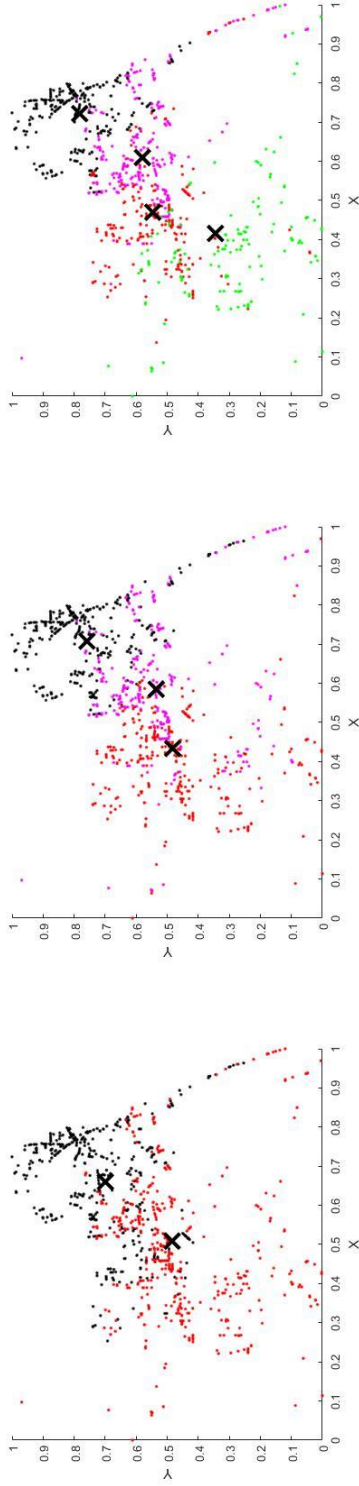


t) 20 küme ve merkezleri

Şekil D. 3 (devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında k-ortalama kümeleme algoritması ile S_{VID} 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.

EK E

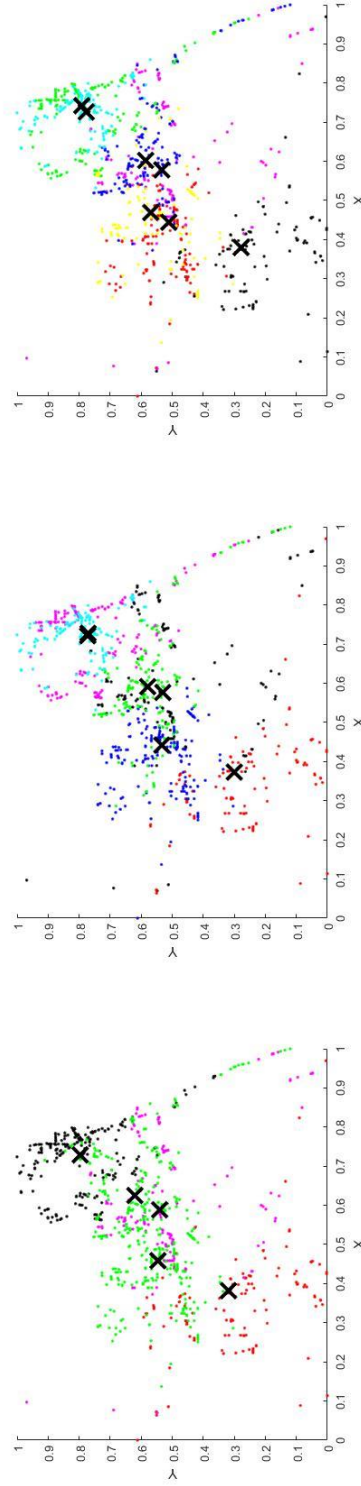
EK E.1



a) 2 küme ve merkezleri

b) 3 küme ve merkezleri

c) 4 küme ve merkezleri

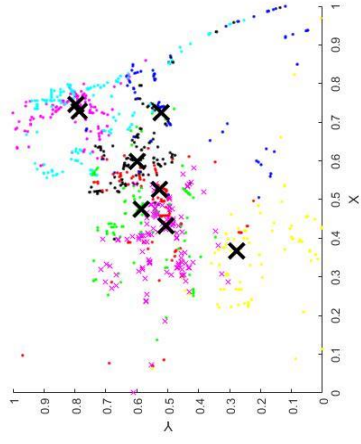


d) 5 küme ve merkezleri

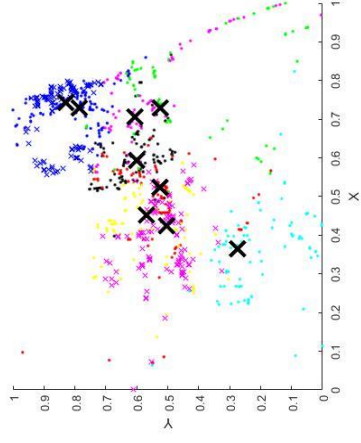
e) 6 küme ve merkezleri

f) 7 küme ve merkezleri

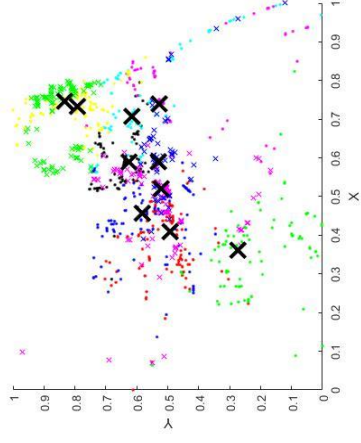
Şekil E. 1: Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasındaki bulamık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile LPI 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



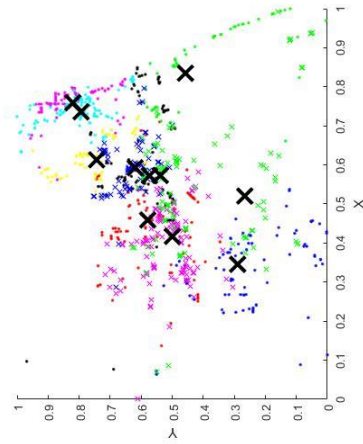
g) 8 küme ve merkezleri



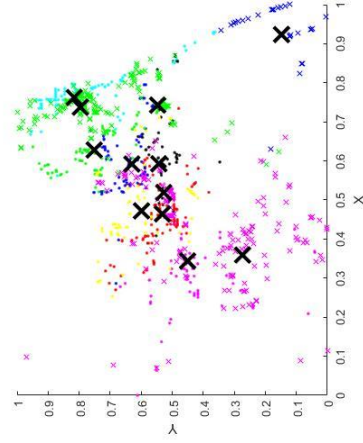
h) 9 küme ve merkezleri



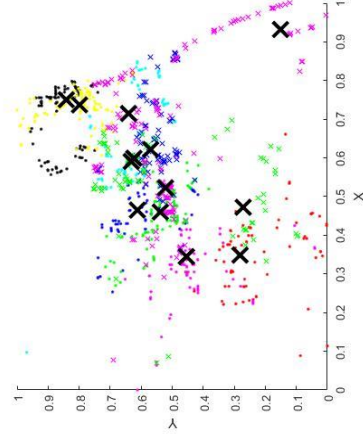
i) 10 küme ve merkezleri



j) 11 küme ve merkezleri

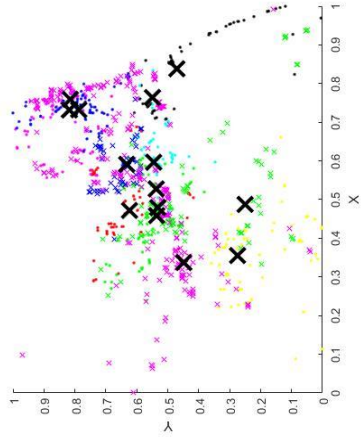


k) 12 küme ve merkezleri

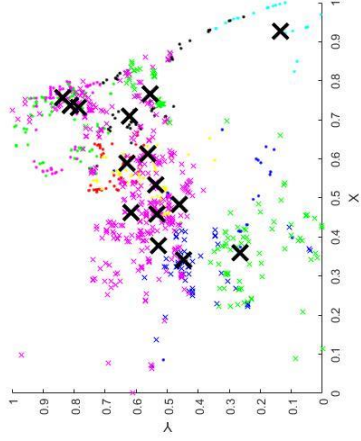


l) 13 küme ve merkezleri

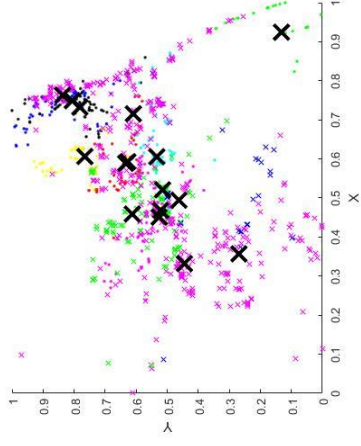
Şekil E. 1 (devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile LPI 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



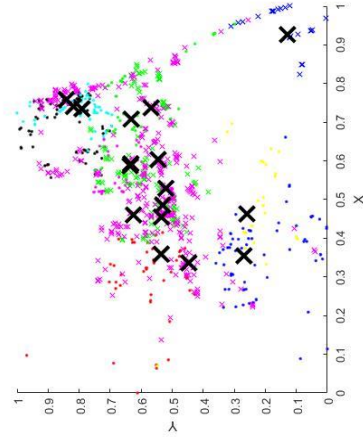
m) 14 küme ve merkezleri



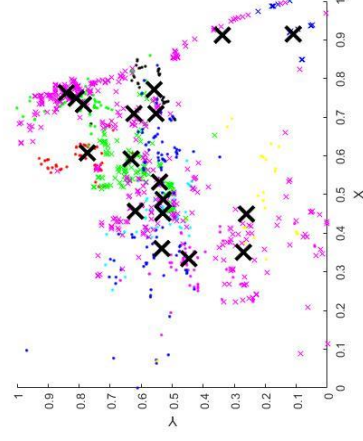
n) 15 küme ve merkezleri



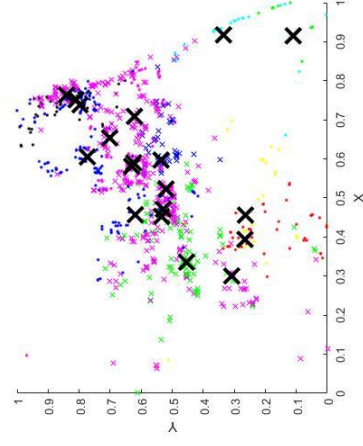
o) 16 küme ve merkezleri



p) 17 küme ve merkezleri

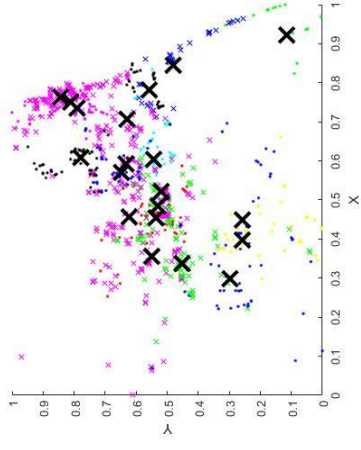


r) 18 küme ve merkezleri



s) 19 küme ve merkezleri

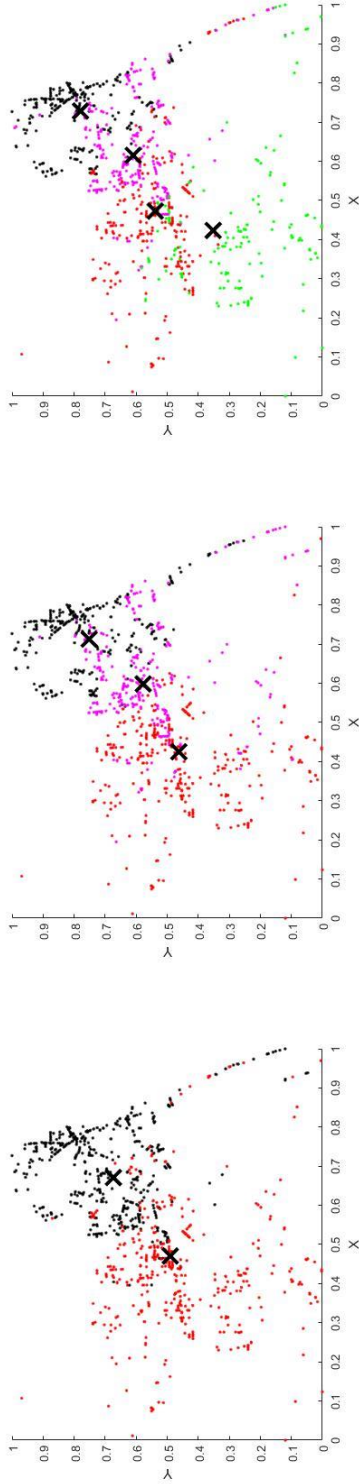
Şekil E. 1devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile LPI 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



t) 20 küme ve merkezleri

Şekil E. 1(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c-ortalamlar kümeleme algoritması ile LPI 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.

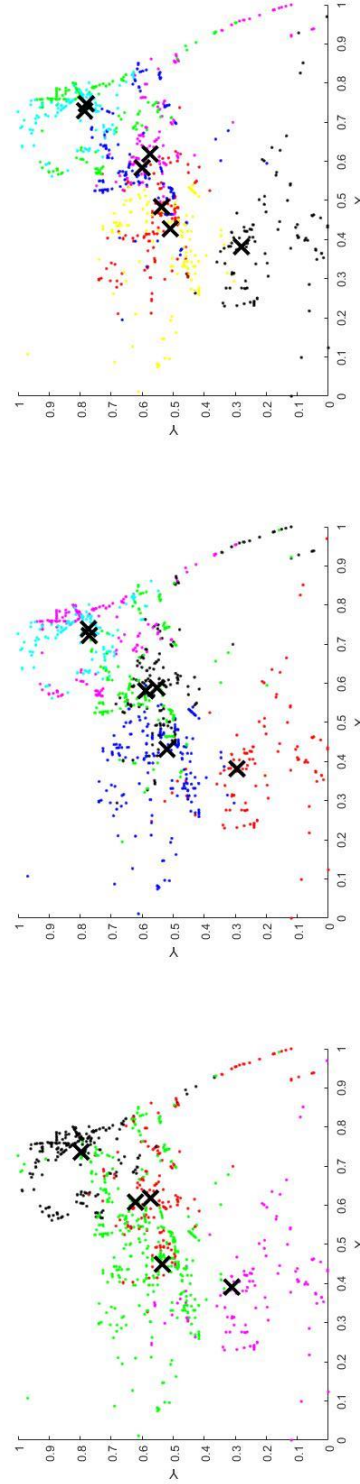
EK E.2



a) 2 küme ve merkezleri

b) 3 küme ve merkezleri

c) 4 küme ve merkezleri

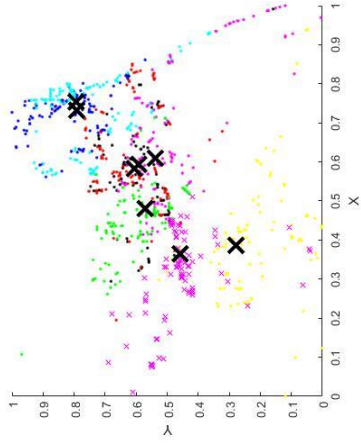


d) 5 küme ve merkezleri

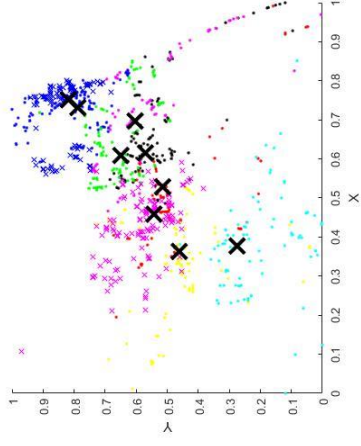
e) 6 küme ve merkezleri

f) 7 küme ve merkezleri

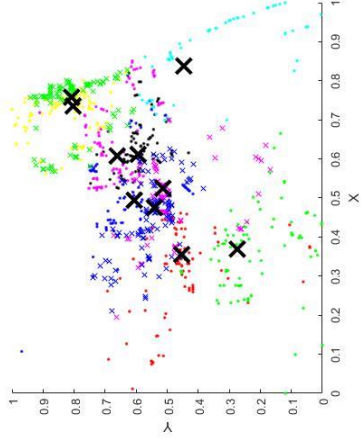
Şekil E. 2: Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulamak c-ortalamalar kümeleme algoritması ile LSN 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



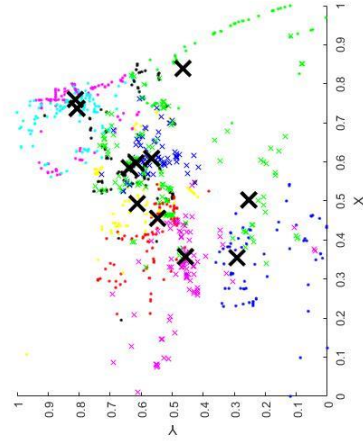
g) 8 küme ve merkezleri



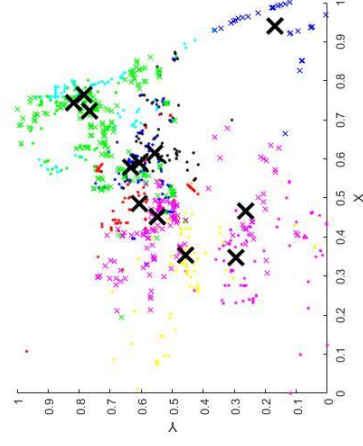
h) 9 küme ve merkezleri



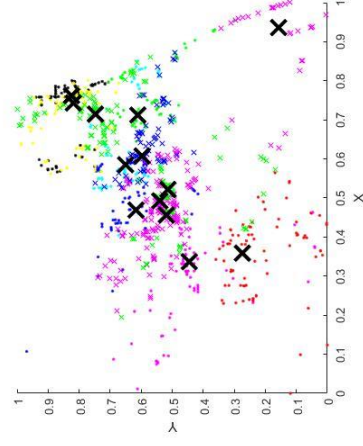
i) 10 küme ve merkezleri



j) 11 küme ve merkezleri

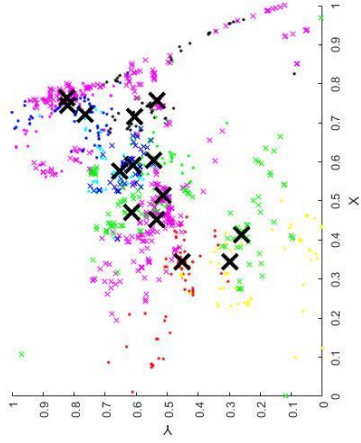


k) 12 küme ve merkezleri

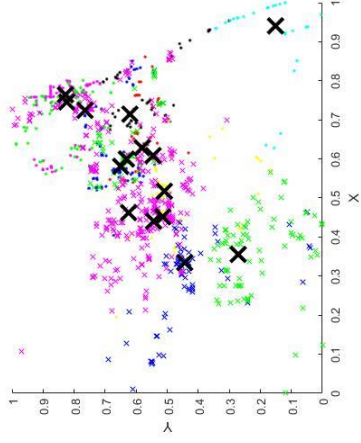


l) 13 küme ve merkezleri

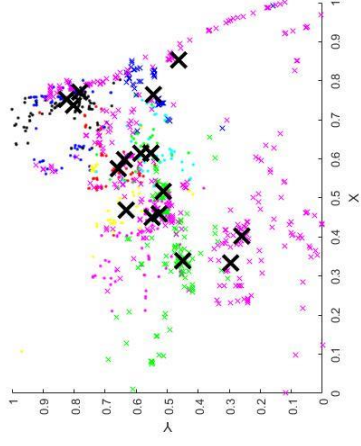
Şekil.E. 2(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile LSN 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



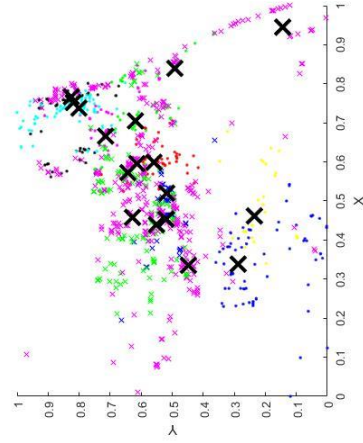
m) 14 küme ve merkezleri



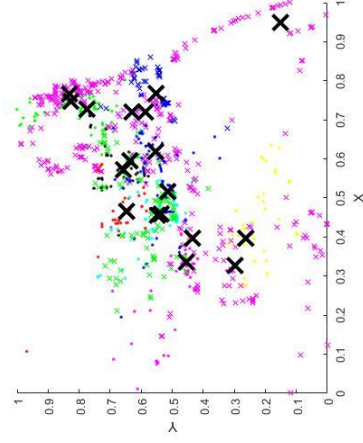
n) 15 küme ve merkezleri



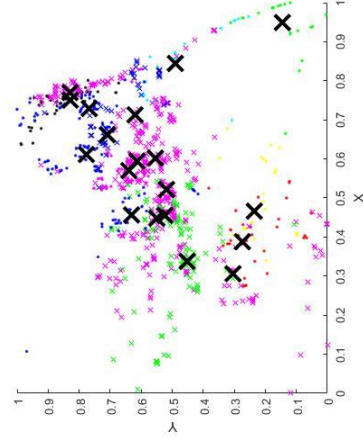
o) 16 küme ve merkezleri



p) 17 küme ve merkezleri

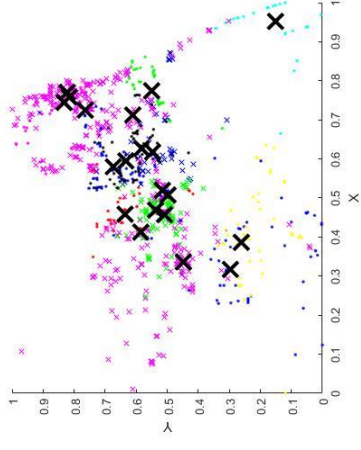


r) 18 küme ve merkezleri



s) 19 küme ve merkezleri

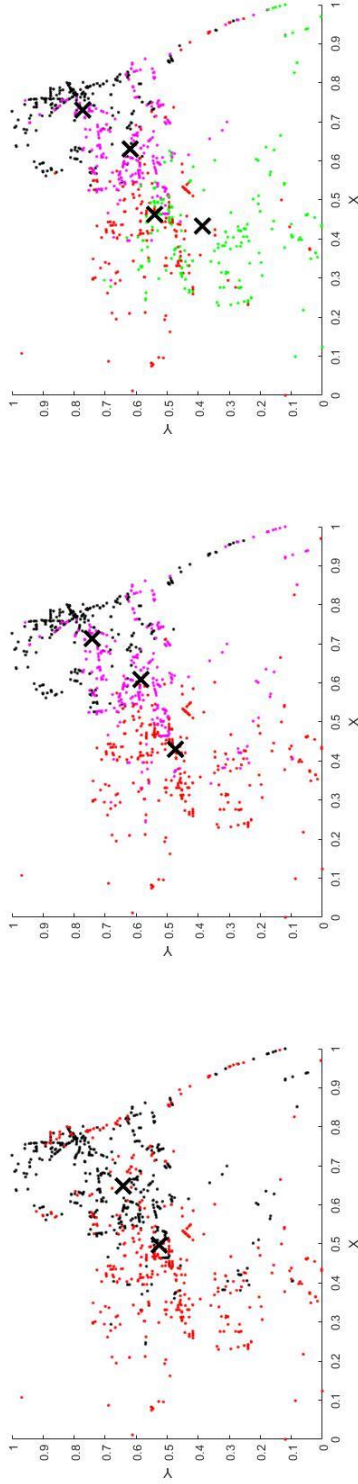
Şekil E. 2(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile LSN 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



t) 20 küme ve merkezleri

Şekil E. 2(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c-ortalamalar kümeleme algoritması ile LSN 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.

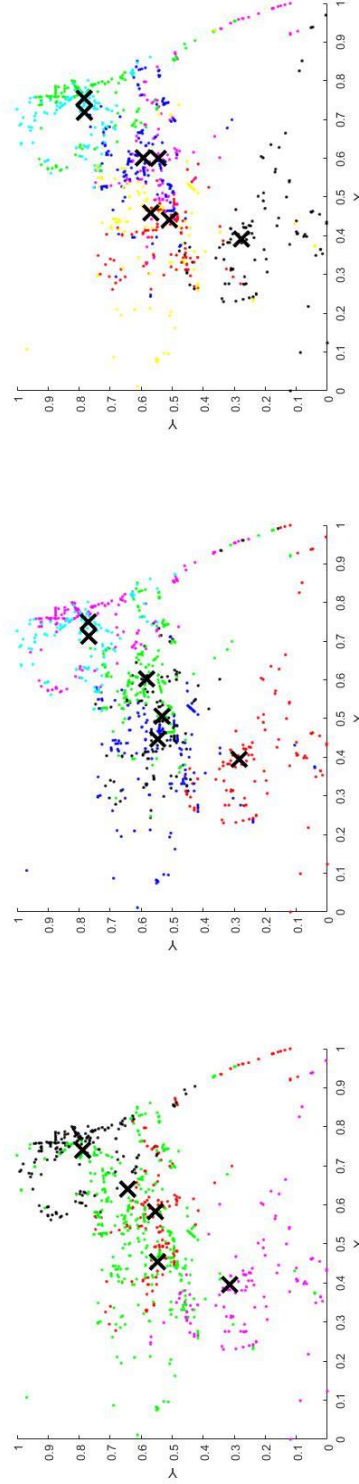
EK E.3



a) 2 küme ve merkezleri

b) 3 küme ve merkezleri

c) 4 küme ve merkezleri

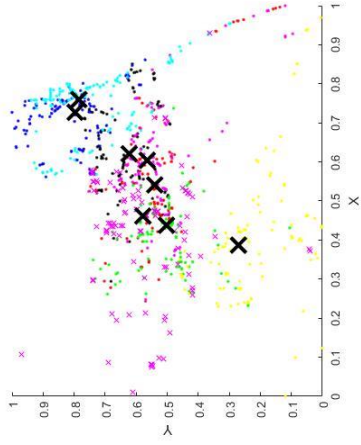


d) 5 küme ve merkezleri

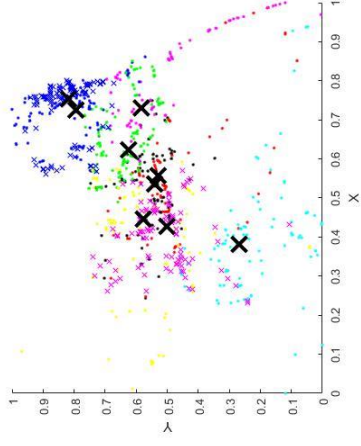
e) 6 küme ve merkezleri

f) 7 küme ve merkezleri

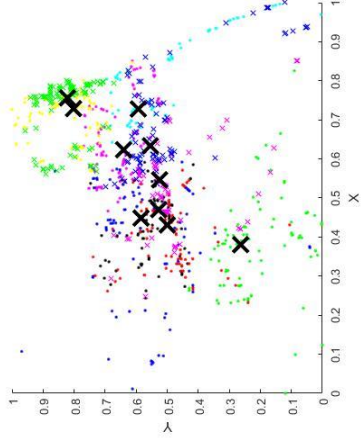
Şekil E. 3: Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c -ortalamalar kümeleme algoritması ile SVD 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



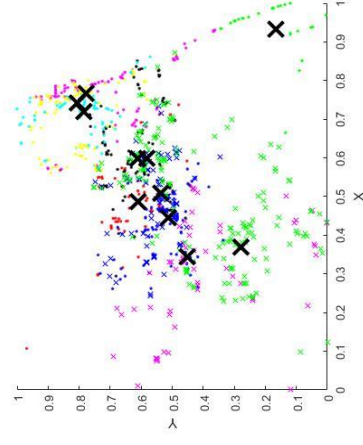
g) 8 küme ve merkezleri



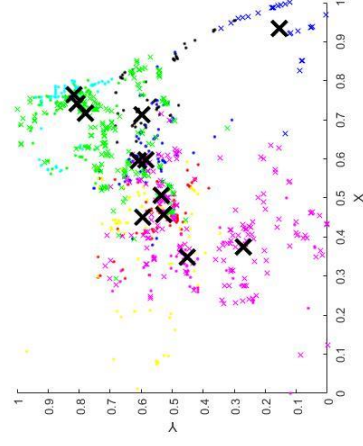
h) 9 küme ve merkezleri



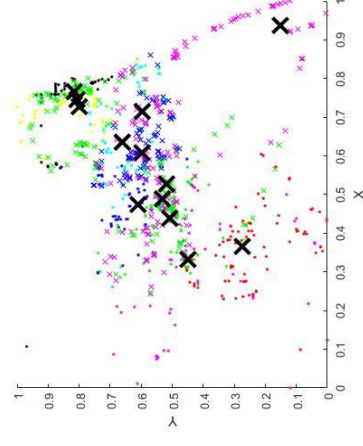
i) 10 küme ve merkezleri



j) 11 küme ve merkezleri

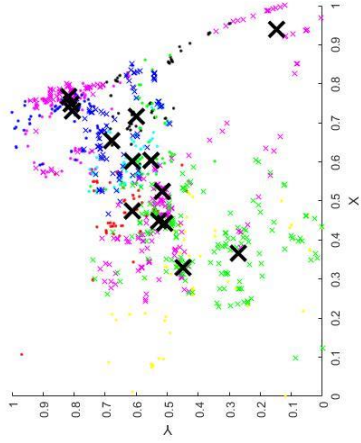


k) 12 küme ve merkezleri

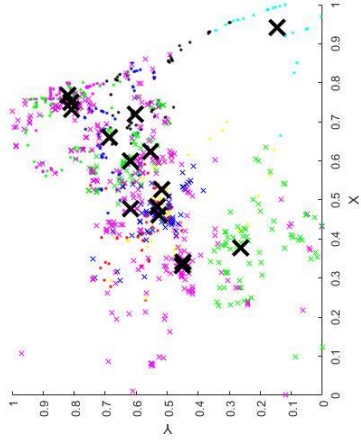


l) 13 küme ve merkezleri

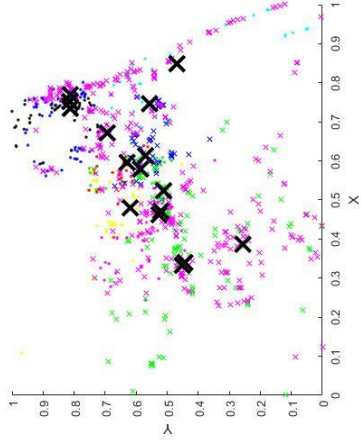
Şekil E. 3(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c -ortalamalar kümeleme algoritması ile S_{VID} 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



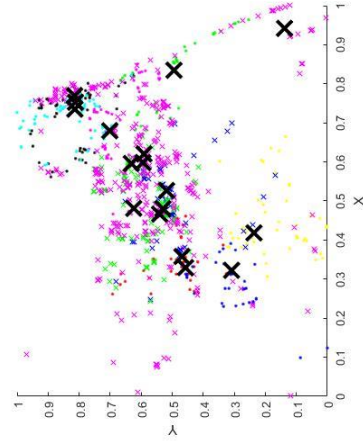
m) 14 küme ve merkezleri



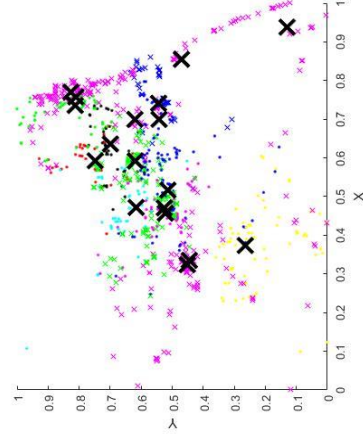
n) 15 küme ve merkezleri



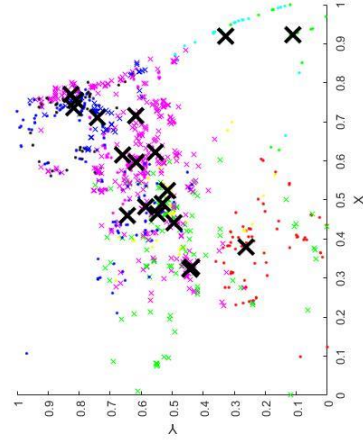
o) 16 küme ve merkezleri



p) 17 küme ve merkezleri

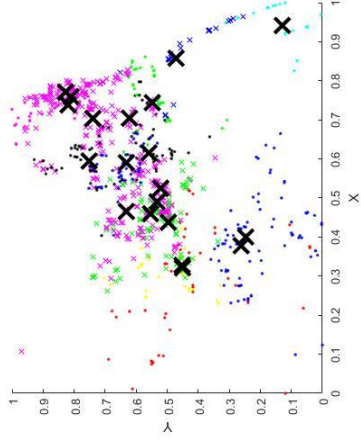


r) 18 küme ve merkezleri



s) 19 küme ve merkezleri

Şekil E. 3(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c -ortalamalar kümeleme algoritması ile S_{VID} 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.



t) 20 küme ve merkezleri

Şekil E. 3(devam): Christchurch boru hasarlarının 2 ile 20 arasında bulanık c - ortalamalar kümeleme algoritması ile S_{VID} 3 boyutlu kümeleme sonucu elde edilen kümeler.

11. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gizem DÜNDAR

Doğum Yeri ve Tarihi : Ödemiş/İZMİR 08.09.1994

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta :gdundar121@gmail.com

İletişim Adresi :Atatürk Mah. Melek Sok. No:1 D:9
Ödemiş/İZMİR

Konferans listesi :

- Selcuk Toprak, Engin Nacaroglu, Gizem Dundar, Sjoerd Van Ballegooy, Thomas D. O'Rourke, "Boru Hatları Hasar-Sebep İlişkilerinin Kümeleme Analizi İle Değerlendirilmesi" Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Konferansı, 2018 (Boğaziçi Üniversitesi)