



Yeraltı Deformasyonlarının Belirlenmesi Amacıyla K-Ortalamalar Kümeleme Algoritması Kullanılarak Kesit Model Geliştirilmesi

Developing a Cross-Section Model by K-Means Clustering Algorithm for Determining the Underground Deformations

Mehmet Volkan Özdoğan *

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 35390, İzmir, Türkiye
Sorumlu Yazar / Corresponding Author: mehmet.ozdogan@deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 26.06.2019

Kabul Tarihi / Accepted: 12.08.2019

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2019216302

Atıf Şekli/ How to cite: OZDOGAN, M.V. (2019). Yeraltı deformasyonlarının belirlenmesi amacıyla k-ortalamalar kümeleme algoritması kullanılarak kesit model geliştirilmesi. DEUFMD, 21(63), 707-717.

Öz

Yersel lazer tarayıcıların yeraltı yapılarındaki deformasyonların belirlenmesi amacıyla kullanımının son yıllarda hızla artmasıyla bu alandaki bilimsel çalışmalarında buna paralel olarak artmaktadır. Bu çalışmalarlardan biri de lazer tarayıcı ile elde edilen nokta bulutu verileri üzerinden alınan kesitlerden üzerinden yapılan deformasyon çalışmalarıdır. Nokta bulutu üzerinden alınan kesitler üzerindeki binlerce veriden analiz yapmanın zorluğundan dolayı kesiti en iyi temsil eden kesit model oluşturma yöntemi son yıllarda bir çok araştırmanın konusu olmaktadır. Bu çalışmada da yersel lazer tarayıcı ile taramış olan bir yeraltı galerisinde nokta bulutu verileri üzerinden alınan kesitler üzerinden k-ortalamalar makina öğrenme algoritması yeni bir kesit modeli oluşturulmuş ve bu kesit model üzerinden deformasyon analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler mevcut yöntemlerden olanmeshlenmiş yüzeyler üzerinden yapılan analizlerle karşılaştırılmış ve geliştirilen yöntemin üstünlükleri ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yersel Lazer Tarayıcı, Kesit Analizi, Deformasyon Analizi, K-ortalamalar Algoritması

Abstract

The scientific studies on determination of deformations for underground structures by terrestrial laser scanner have been developing with the increasing of the usage of terrestrial laser scanners in underground structures. One of the most known research subject is the determination of deformation from the cross-sections which derived from point clouds acquired by terrestrial laser scanners. Because of the difficulty of processing the thousand of points on cross sections developing a best-fit cross-section model from raw data has been studied by many researchers in recent years. In this study first a new cross-section model has been developed by using k-means clustering machine learning algorithm from a raw point cloud data then deformation analyses have been carried out on these models. Also mesh models have been created from point cloud data and a standard deformation study have been performed on mesh models. The deformation results of k-means algorithm and mesh models have been compared and advantage of k-means algorithm has been revealed

Keywords: Terrestrial Laser Scanner, Cross-section Analyse, Deformation Analyse, K-means Algorithm

1. Giriş

Yeraltı boşluklarının oluşturulması amacıyla yapılan kazılar sırasında açılan boşluk etrafındaki gerilmelerin değişimi sonucunda kaya külesiinde deformasyonlar meydana gelmektedir. Meydana gelen bu deformasyonların doğru bir şekilde belirlenmesi hem kurulan destek sisteminin verimli olarak çalışıp çalışmadığını test etmek hem de yeraltı boşluğunun duraylılığını belirlemek açısından oldukça önemlidir.

Yeraltı boşluklarında meydana gelen deformasyonları ölçmek amacıyla halen şerit ekstansometreler kullanımı sürerken [1] özellikle daha büyük kazılar için total station (elektronik takeometre) adı verilen optik ölçüm aletleri kullanımı da yaygın bir şekilde devam etmektedir [2,3]. Son yıllarda 3 boyutlu yersel lazer tarayıcılar da (YLT) yeraltı deformasyon belirleme çalışmaları konusunda deneyimlenmeye başlamıştır. Bu deneyimler sonucu YLT'lerin deformasyon ölçümleri amacıyla kullanılması konusunda başarılı sonuçlar elde edilmiştir. YLT'lerin yeraltı deformasyonlarını belirleme amacıyla kullanılmasındaki en büyük avantajı, büyük alanlarda ölçüm sırasında milyonlarca nokta konumunu çok hızlı bir şekilde elde etmesi ve milimetre seviyesinde hassas ölçümler yapabilmesidir. YLT'ler, total stationların aksine nokta bazlı analizler yerine noktalardan oluşturulan modeller üzerinden analiz yapabilmeyi olanaklı kılmıştır.

YLT ile yeraltı boşluklarında meydana gelen deformasyonların belirlenmesi amacıyla bir çok araştırmacı gerek 3B nokta bulutundan oluşturulan modeller üzerinden, gerekse bu modellerden oluşturulan kesitler üzerinden değerlendirme yaparak yeni yaklaşımlar geliştirmiştir [1,4-9].

YLT verileri ile yeraltı boşluklarında meydana gelen deformasyon analiz yöntemlerinden biri de 3B modeller üzerinden alınan kesitlerden bu kesiti geometrik şekilde uyumu çalışmalarıdır. Bu geometrik şekil uyum çalışmaları özellikle dairesel kesitli yeraltı kazı açıklıkları için halen üzerinde bir çok araştırmacının çalıştığı bir konudur. YLT verileri ile yapılan analizlerde kimi zaman meydana gelen deformasyon miktarının nokta bulutu çözünürlüğünden daha küçük olması, araştırmacıları bu şekilde kesit modeli oluşturma çabasına itmiştir.

Lindenberg vd. 2009'da yaptığı çalışmada dairesel bir tünel kesitinden alınan YLT verilerinden belirli bir kalınlıkta silindirik modeller oluşturmuş ve bu modeller üzerinden deformasyon analizi yapmıştır [10].

Delaloye 2012, YLT verilerinden oluşturulan yeraltı boşluğu modelleri üzerinden kesit alarak bu kesitleri istatistiksel bir method olan eliptik uyum modeli kullanarak yeniden oluşturmuş ve deformasyon analizlerini yine bu modeller üzerinden gerçekleştirmiştir [11].

Nuttens vd. 2014'te yaptığı çalışmada ise TBM ile açılan beton kaplı tren yolu tünelinde YLT ile yapılan ölçümlerden tünelin 3B nokta bulutu modeli oluşturulmuş ve ardından bu model silindirik bir modele oturtulmuş ve yeni model üzerinden deformasyon analizleri yapılmıştır [12].

Xie ve Lu 2017'de yaptığı çalışmada, dairesel açılan karayolu tünelinde araştırmacılar yeni bir 3B algoritma geliştirerek tünel kesitini dairesel bir modele uyumlasmış ve bu modeller üzerinden deformasyon analizi yapmışlardır[13].

Bu yapılan çalışmaların tamamında TLS ölçümlerinden alınan nokta bulutu verileri farklı yaklaşımlarla yeniden modellenmiş ve modeller üzerinden deformasyon analizleri yapılmıştır. Burada asıl hedef kazı boşluğunu temsil edebilecek en iyi geometrik modeli oluşturmaktır. Ölçüm hassasiyetine bağlı olarak YLT ile alınan veri setlerinden oluşturulan kesitlerde onbinlerce üç boyutlu nokta bulunmaktadır. İki farklı tarihte gerçekleştirilmiş yeraltı açıklılığı YLT ölçümleri ham veri analizlerinde en ufak kaya parçalarının düşmesi gerilmeler dolayısıyla meydana gelen hareketleri karakterize ettiği yanılığına neden olabilmektedir. Bu yüzden özellikle pürüzlülüğün yüksek olduğu maden galerileri gibi yeraltı kazılarında açılan boşluğun duraylılığının takibi için ham veriler kullanılarak kesitler oluşturulması ve bu kesitlerden çeşitli yöntemlerle modellerinin oluşturulması yaklaşımları amaçlanmaktadır. Yapılan model uyumu çalışmaların tümünde amaç kesiti en iyi temsil eden modelin kurulmasıdır. Bu çerçevede yapılan çalışmalar yersel lazer tarayıcıların yeraltı açıklıklarının deformasyonun ve duraylılığın belirlenmesi üzerinde son bilimsel yaklaşımlardır.

Bu çalışmada da örnek bir maden ocağı galerisinden yersel lazer tarayıcı ile elde edilmiş 3 boyutlu ham nokta bulutu verilerinden kesit

analizi yapabilmek için makina öğrenme algoritması kullanılarak tam dairesel olmayan bir kesit için kesit model üretilmesi ve bu model üzerinden deformasyon analizi yapılması amaçlanmıştır. Bu çerçevede YLT verilerinden kesiti temsil edecek daha pürüzsüz bir kesit model oluşturmak amacıyla makina öğrenme algoritması olan K-Oortalamalar kümeleme (K-means Clustering) algoritması kullanılmıştır.

2. K-Oortalamalar Kümeleme Algoritması

Kümeleme bir veri yiğini içerisindeki verilerin belirli yakınlık kriterlerine göre kümelere ayrılması işlemine denmektedir. Kümeleme işleminde her küme içerisindeki verilerin benzerliği yüksek, farklı kümelerin içindeki verilerin birbirleri arasındaki benzerlik düşük olmalıdır [14,15].

K-oortalamalar algoritması ise en basit ve en yaygın kullanılan kümeleme yöntemidir. K-oortalamalar algoritması girdi parametresi olarak k adet eleman alır ve n adet veriden oluşan veri setini k adet kümeye böler [16]. Burada amaç daha önceki belirtildiği gibi, kümelerin, kümeye içi benzerliklerinin en yüksek ve kümeler arası benzerliklerinin düşük olmasını sağlamaktır. Kümeye benzerliği, kümelenin ağırlık merkezi olarak kabul edilen bir nesne ile kümeye içi benzerliklerin ortalamasıdır [17-19].

K-oortalamalar algoritmasının genel mantığı n adet veri nesnesinden oluşan bir veri kümelerini, giriş parametresi olarak verilen k adet kümeye bölmektir.

K-oortalamalar denklem (1)'deki amaç fonksiyonu miminize eden bölümleyici bir kümeleme algoritmasıdır [20] ;

$$J(X; V) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k D_{ij}^2 \quad (1)$$

k : küme sayısı,

n : nesne sayısı

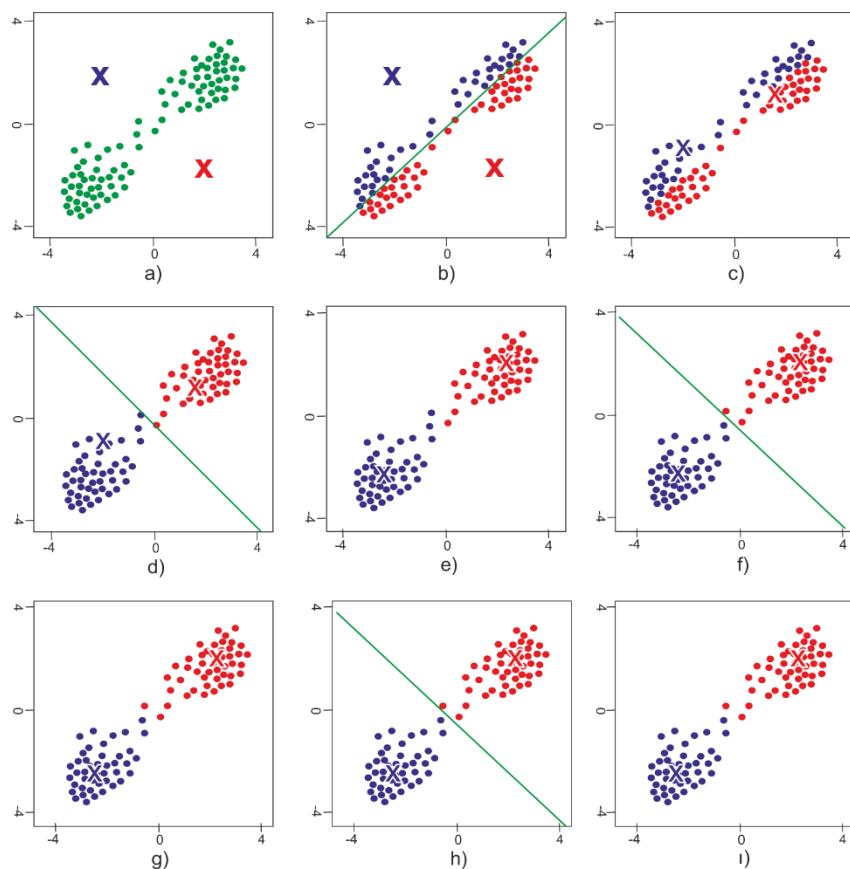
D_{ij}^2 = nesneler ile kümeye merkezi arası uzaklık

Kümeleme analizlerinde uzaklık normu olarak genelde öklid uzaklığını kullanılsa da, Chebychev uzaklığı, Manhattan uzaklık formülü, Sorensen uzaklığı gibi uzaklık hesaplama yöntemleri de kullanılmaktadır [21].

K-oortalamalar algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

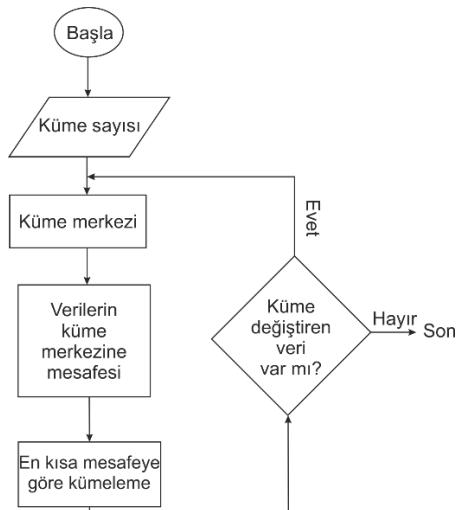
- 1) Rastgele k adet merkez veri serine atanır (Şekil 1a).
- 2) Bu merkez noktaları ile veri noktaları arası uzaklık bir matris oluşturularak hesaplanır.
- 3) k adet merkez noktası ile veri noktaları en kısa olacak şekilde k adet kümeye oluşturulur ve yeni kümeye merkez noktaları bu kümelerin orta noktasına atanır (Şekil 1b-1c).
- 4) Daha sonra aynı işlem tekrar tekrar gerçekleştirilir (Şekil 1d-1g).
- 5) Küme değiştirilen veri noktası yoksa veya belirlenen tekrarlama sayısına ulaşılığında işlem durdurulur (Şekil 1h-1i).

K-oortalamalar algoritmasının hesaplama adımlarına dair akım şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. K-ortalamalar algoritması hesaplama adımları ($k=2$ için) [22]

3. Materyal ve Metot



Şekil 2. k-ortalamalar algoritması akım şeması [23]

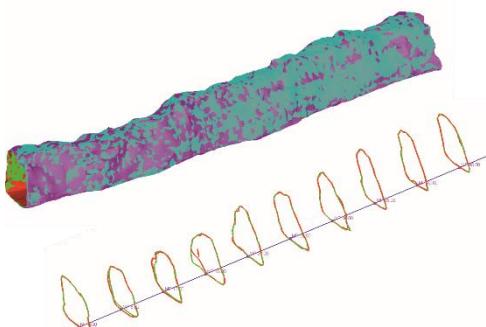
Yeraltı boşluklarında meydana gelen deformasyonların belirlemesinde kesit analizleri için yeni bir model oluşturulması amacıyla yapılan çalışmaya veri elde etmek amacıyla metalik bir madene ait bir yeraltı galerisinde iki farklı tarihte YLT ölçümleri yapılmıştır. 08.11.2017 ve 10.04.2018 tarihlerinde ölçümleri yapılan galeri yaklaşık 3,8 m yükseliğinde ve 4,2 m genişliğe sahiptir. Ölçümler Leica Scanstation 2 model 300 m ölçüm yarıçapına sahip 50.000 m/s ölçüm hızına sahip, yatayda 360° düşeyde ise 270° görüş açısında sahip YLT ile yapılmıştır (Şekil 3). Ölçüm hassasiyetini artırmak amacıyla galeride YLT ölçümü tek seferde yapılmayıp 3 istasyon kurularak 3 ayrı noktadan yapılmıştır. 3 ayrı ölçüm istasyonundan alınan ölçümleri birleştirmek için her ölçümde, ölçüm alanın içerisine yüksek çözünürlükli hedef noktaları konulmuş, bu noktalar ayrıca taramış ve bu hedef noktaların koordinatları yeraltı röper noktalarından taşınan koordinatlar ile

konumlandırılmıştır. Böylelikle 3 ayrı noktadan yapılan ölçümler sonucu oluşturulan 3 ayrı nokta bulutu bu hedefler vasıtasıyla birleştirilerek galerinin nokta bulutundan oluşan 3B modeli oluşturulmuştur. Birleştirme sonucunda ilk ölçümdeki birleştirme hatası 4,2 mm ikinci ölçümden ise birleştirme hatası 3,5 mm olarak belirlenmiştir. YLT ile yapılan veri alma ve ham verilerin işlenmesi çalışmalarının tamamı Leica cyclone 3B nokta bulutu işleme yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Yeraltı YLT ölçümü

Nokta bulutu verilerinden her iki tarihe ait yeraltının 3B modeli oluşturulduktan sonra her iki model koordinatları vasıtası ile üst üste çakıştırılmıştır. Ardından galeri modelini oluşturan nokta bulutu verilerinden üçgen meshler oluşturulmuş ve kesit üzerinde deformasyon belirlemek amacıyla galeride çalışmanın yapıldığı 47 metrelük bölümde üçgen meshler üzerinden her 5 m'de bir olmak üzere galeri eksenine dik 10 adet kesit alınmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Meshlenmiş galeri ve kesit hattı(ölçeksiz)

Meshler üzerinden alınan kesitler üzerinde galeri çeperinin genişlemesi veya daralmasına göre deformasyon analizi yapılmıştır. Ardından

çalışmaya konu olan kesit modelleri yaratmak için nokta bulutu verileri üzerinden kesit kalınlığı 10 cm olacak şekilde aynı hat üzerinde aynı konumlardan tekrar kesitler alınmıştır.

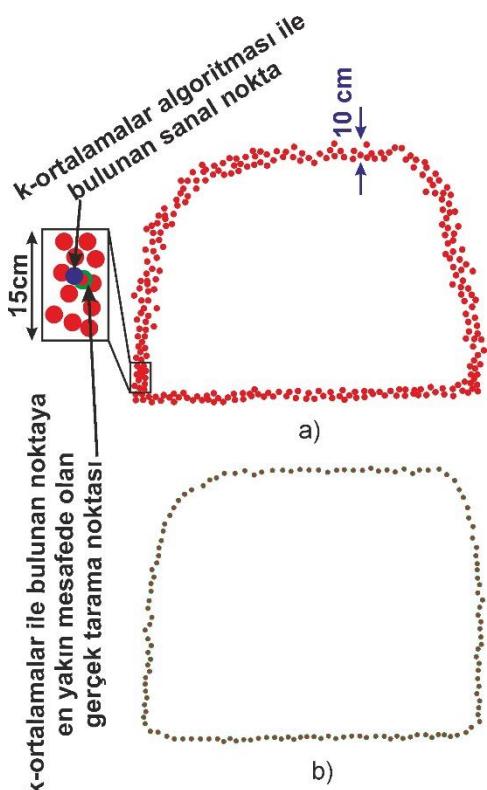
Alınan bu kesit verilerinden k-ortalamalar kümeleme algoritması ile yeni bir kesit modeli oluşturmak ve bu model üzerinde deformasyon analizi yapmak amacıyla Matlab 2018b çok paradigmali hesaplama yazılımı ve programlama dili ile kod yazılmış, kesit modelleri ve ardından deformasyon analizleri bu yazılan kod vasıtasıyla yapılmıştır. K-ortalamalar algoritmasıyla kesit modeli oluşturulurken 15-16m olan galeri kesiti çevresinde k-ortalamalar algoritmasında küme sayısı 100 olarak belirlenerek her 15cm'de bir burdaki nokta verilerini temsil eden bir nokta seçilmesi hedeflenmiştir. Algoritma her 15 cm içerisindeki verileri temsil eden en iyi konumu bulduktan sonra, o konuma gerçek yersel lazer taracıyı verileri içinden en yakın veri seçilmiş ve kesitin 15 cm lik kısmını temsil eden noktası olarak belirlenmiştir (Şekil 5a). 10 cm kalınlığına sahip nokta bulutu kesiti bu şekilde k-ortalamalar algoritması kullanılarak 100 noktalı bir kesit modele dönüştürülmüştür (Şekil 5b).

Farklı iki zamanda aynı noktadan alınan nokta bulutu kesitleri k-ortalamalar algoritması ile 100 noktalı kesit modele dönüştürüldükten sonra bu modeller üzerinde deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Deformasyon analizler yapıılırken öncelikle 1. ölçüm üzerinden oluşturulan kesitte seçilen herhangi bir noktanın kesit merkezinden uzaklığı öklid mesafesi yöntemi ile hesaplanmış (d_1), devamında ikinci ölçümden oluşturulan kesit modelde 1. ölçümde seçilen noktaya en yakın nokta bulunarak bu noktanın merkezden uzaklığı yine öklid mesafesi yöntemi ile hesaplanmıştır ve deformasyon miktarı olarak da birinci hesaplanan nokta ile ikinci hesaplanan noktanın farkı alınmıştır (Şekil 6). Bu işlemler yine Matlab 2018b'de kesit model oluşturmak için kodlara ilaveten yazılan kodlarla gerçekleştirilmiştir.

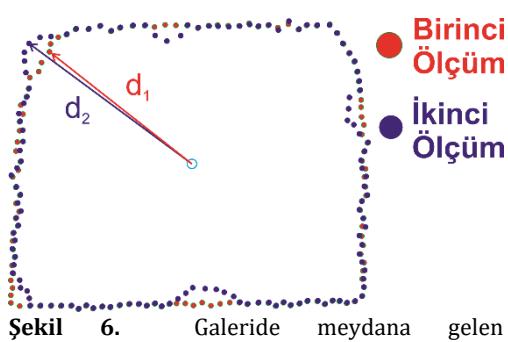
4. Bulgular

Galerilerde meydana gelen deformasyonları geliştirilen daha pürzsüz bir kesit model üzerinden belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada 47 m'lik galeri hattı boyunca her 5 m'de bir alınan 10 adet birinci ölçüm tarihine ait ve 10 adet de aynı noktalardan alınan ikinci ölçüm tarihine ait kesitlerde öncelikle meshleme yoluyla yüzey oluşturulmuş ve aynı noktadan alınan farklı tarihlerde ait mesh kesitlerin yüzeyleri arasındaki en kısa mesafeler defomasyon miktarı olarak belirlenmiştir. Daha sonra aynı konumda nokta bulutu üzzerinden alınan 10cm kalınlığındaki kesitler üzerinde k-ortalamlar algoritması uygulanmış daha pürzsüz bir kesit model oluşturularak bu modeller üzerinde deformasyon analizleri yapılmıştır. Örnek bir kesit üzerinde yapılan işlemler Şekil 7a-7c'de verilmiştir.

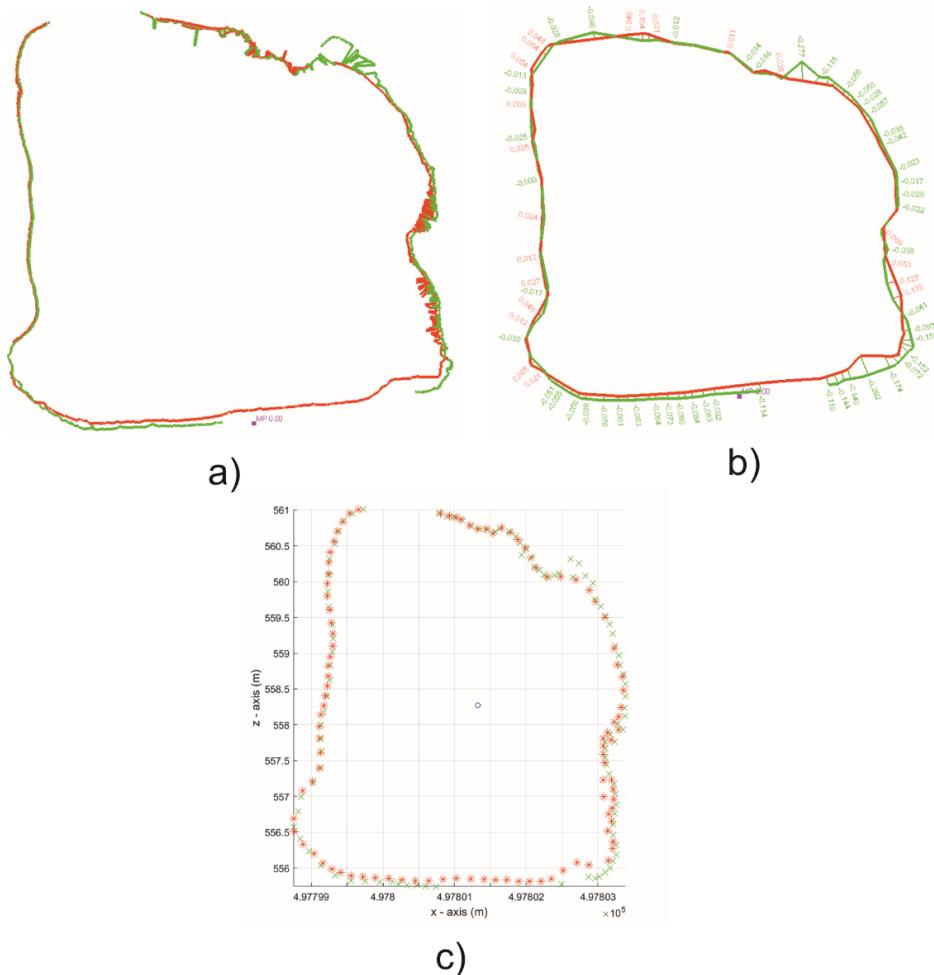
Nokta bulutu üzerinden alınan kesitlerde ölçüm açısı, nokta bulutu yoğunluğu, tarama yüzeyinin yüksek pürüzlüğü gibi sebepler nedeniyle tarama yüzeylerinde karanlıkta kalan bazı bölgelerden dolayı galeri kestinin tamamen kapanmadığı görülmüştür. Ayrıca nokta bulutlarının işlenmesi sırasında galeri tavanında bulunan havalandırma ekipmanı hattı da galeri boyunca temizlenmiş ve bu yüzde Şekil 7a'da görüldüğü gibi galerin hattı boyunca sol üst kısmında bir miktar verinin olmadığı alan mevcut kalmıştır. Meshlenmiş kesitlerde bu boşlukların büyük bir kısmı tahminleme yöntemi ile birleştirilmişken oluşturulan kesit modellerinde bu boşluklar özellikle boş bırakılıp bu kısımlar analiz dışı tutulmuştur.



Şekil 5. a) 10 cm kesit kalınlığına sahip nokta bulutu b) Kesitten k-ortalamlar algoritması ile oluşturulan kesit model modeli



Şekil 6. Galeriye meydana gelen deformasyon hesaplanması



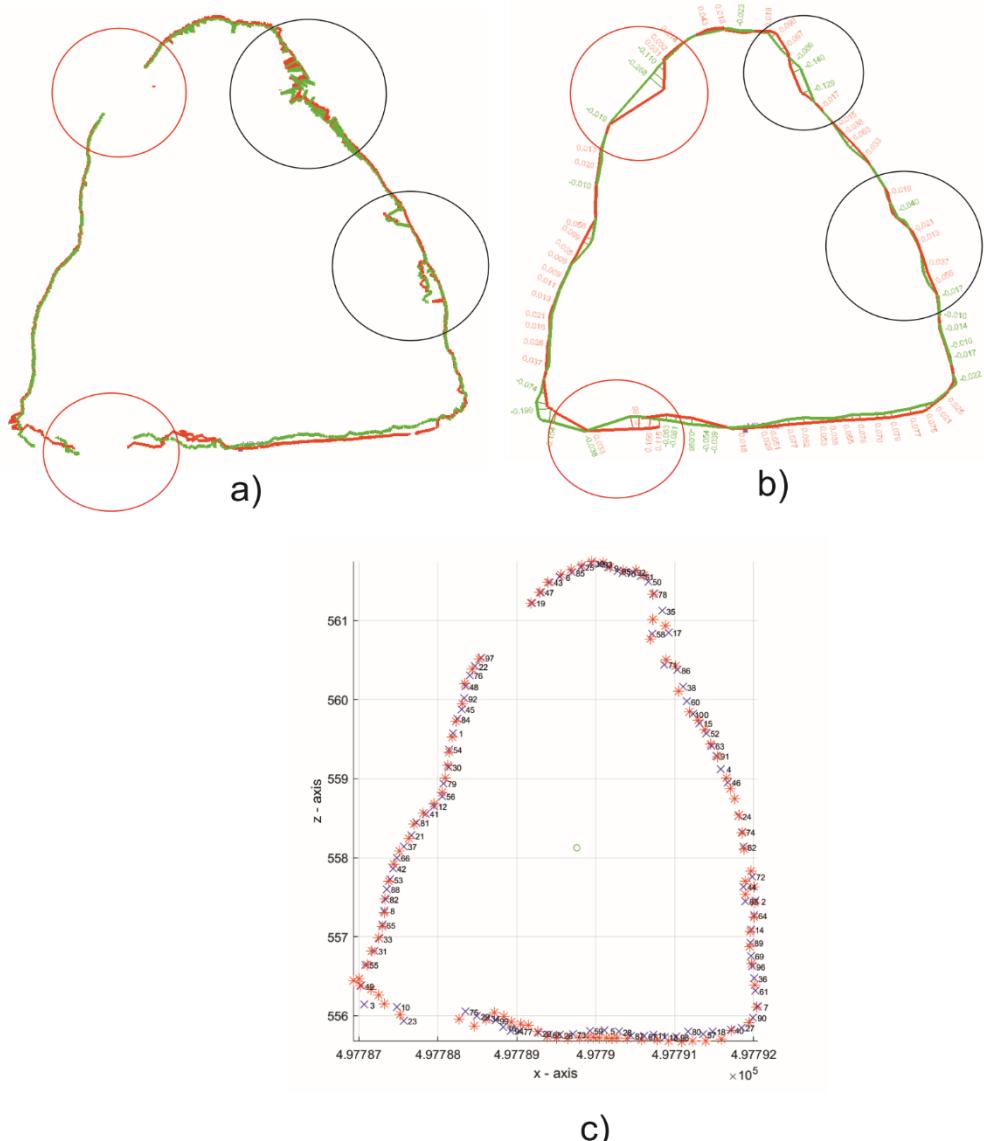
Şekil 7. a) nokta bulutu üzerinden alınan kesit örneği b)meshlenmiş kesit üzerinden alınan kesit örneği c) k-ortalamalar algoritması ile üretilmiş kesit model.

Hem mesh kesitler üzerinde hemde k-ortalamalar yöntemi ile yapılan analiz sonucunda bulunan pozitif (kesitte daralma) ve negatif (kesit genişlemesi) maksimum deformasyon değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablodaki değerler incelendiğinde iki farklı yöntem ile yapılan analiz değerlerinin bir kısmının birbirine çok yakın bir kısmında oldukça farklı olduğu görülmüştür. Bu büyük farkların nedeni incelendiğinde bu farkların bir kısmının kesitte nokta bulutu verisinin yetersiz olduğu yerlerde üçgen meshler ile oluşturulan yüzeylerin varlığından ve bu yüzeylerin karşılaştırılması sonucu elde edilen verilerden oluşan görülmüş olan değerler nokta bulutu verisinin olmadığı yerlerde oluşturulan meshler üzerinde yapılan analizlere ait sonuçlardır. Bir diğer

nedeni ise yine üçgen meshleme ile yüzey oluşturulurken yapılan interpolasyondan kaynaklandığı nokta bulutu verilerinden oluşturulan kesit göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bahsedilen farkların nedeni Şekil 8 üzerinden tartışıldığında Şekil 8a'da ham nokta verileri kesitinde kırmızı daireler içerisinde görülen bölge nokta bulutu verisi bulunmazken, Şekil 8b'de üçgen meshler üzerinden alınan kesitte yüzey oluşturulmuş bu kısımda kesitin birleştirildiği ve deformasyon analizinin yapıldığı görülmektedir.

Tablo 1. Deformasyon analizleri sonucu mesh analizi ve k-ortalamalar algoritması yöntemleri ile bulunan maksimum deformasyon değerleri

Kesit (m)	Kesitte Maksimum Genişleme (m) +								Kesitte Maksimum Daralma (m) -							
	Tavan		Taban		Sağ Duvar		Sol Duvar		Tavan		Taban		Sağ Duvar		Sol Duvar	
	mesh	k-ort.	mesh	k-ort.	mesh	k-ort.	mesh	k-ort.	mesh	k-ort.	mesh	k-ort.	mesh	k-ort.	mesh	k-ort.
0	0.104	0.021	0.000	0.000	0.133	0.000	0.025	0.040	0.277	0.287	0.292	0.120	0.155	0.046	0.025	0.000
5	0.039	0.029	0.368	0.369	0.167	0.043	0.438	0.420	0.146	0.000	0.065	0.061	0.062	0.032	0.000	0.000
10	0.092	0.046	0.187	0.194	0.018	0.048	0.569	0.472	0.162	0.000	0.039	0.085	0.102	0.021	0.000	0.000
15	0.049	0.000	0.032	0.020	0.131	0.027	0.049	0.013	0.129	0.016	1.033	1.062	0.086	0.011	0.023	0.000
20	0.096	0.052	0.186	0.147	0.056	0.025	0.099	0.058	0.268	0.224	0.096	0.093	0.022	0.021	0.074	0.058
25	0.091	0.045	0.114	0.089	0.100	0.053	0.072	0.047	0.024	0.056	0.125	0.133	0.088	0.080	0.053	0.034
30	0.118	0.028	0.084	0.065	0.331	0.052	0.022	0.016	0.016	0.000	0.256	0.078	0.156	0.011	0.046	0.075
35	0.065	0.058	0.011	0.000	0.099	0.006	0.199	0.020	0.115	0.000	0.049	0.088	0.028	0.011	0.028	0.032
40	0.126	0.052	0.000	0.000	0.059	0.040	0.104	0.025	0.026	0.000	0.328	0.351	0.000	0.000	0.032	0.029
45	0.058	0.048	0.043	0.060	0.051	0.065	0.009	0.000	0.055	0.004	0.148	0.156	0.312	0.011	0.059	0.028



Şekil 8. Meshleme ve k-ortalamalar algoritması ile yapılan analizler arasındaki farkların nedeni

Aynı bölgede Şekil 8c'de gösterilen k-ortalamalar modelinde ise bu kısımda yine boş kalmış olup bu bölgede herhangi bir analiz mevcut değildir. Aynı şekilde Şekil 8a'da siyah daire içerisinde gösterilen kısımlarda galeri çeperinin iç kısmında ekipmanlardan dolayı nokta bulutunda mevcut olan yoğun nokta bulutu meshleme işlemi sırasında yapılan interpolasyon sonucu hatalı bir model oluştururken Şekil 8c'de görülen kesit bu

manipulatif verilerden en az şekilde etkilenmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Yeraltı boşluklarında meydana gelen deformasyonların belirlenmesi bu boşlukların durayılığının sağlanması için oldukça önem taşırken gelişen teknoloji ile bu çalışmalar daha hassas yapılır hale gelmiştir. Yersel lazer tarayıcılarının bu alanlarda kullanım ise oldukça yeni olmakla beraber bu yöntemle elde edilen

verilerin değerlendirilmesi konusunda yapılan araştırmalar son yılların önemli çalışmalarından biri olmuştur. Yapılan bu çalışmada sonucunda da görülmüştür ki deformasyon belirleme amacıyla yeraltı verilerinden elde edilen nokta bulutları üzerinden üçgen meshleme yapılarak bu modeller üzerinden analiz yapmak manipatif deformasyon verileri elde edilmesine neden olmuştur. Bu yöntem yerine kesit model oluşturmak amacıyla kullanılan k-ortalamalar yönteminin galeri kesitini daha iyi yansittiği ve deformasyon analizlerine daha uygun olduğu görülmüştür. Galeri kesitinde gerek daralma gerekse genişlemenin görüldüğü bölgelerde mesh modeller üzerinde yapılan kesit analizi sonucu bulunan değerler k-ortalamalar yöntemi ile bulunan değerler göre çoğu zaman daha büyük değerler olmaktadır. Bunun nedeni olarak da yüzeyler oluşturulurken interpolasyon sonucu veri olmayan yerlerde sanal veriler olusmasıdır. K-ortalamalar yöntemi ile yapılan kesitler ham nokta bulutu verileri ile karşılaştırıldığında kesit modelleri uyuşmakla beraber k-ortalamalar ile oluşturulan nokta bulutu verileri ham nokta bulutlarına göre daha pürüzsüz bir kesit olmasını sağlamaktır ve bu sayede kesit üzerinden yapılan deformasyon analizlerinin doğruluğunu artırmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmaya esas olan k-ortalamalar algoritması ile kesit model oluşturularak yeraltı deformasyonlarının analizi TUBİTAK BİDEB-2219 "Yurt Dışı Doktora Sonrası Araştırma Burs Programı" kapsamında gerçekleştirilen "Yeraltı boşluklarında meydana gelen deformasyonların yersel lazer tarayıcı ölçümü ile değerlendirilmesinde yeni algoritmaların geliştirilmesi" konu başlıklı çalışmada geliştirilen algoritma ile üretilmiştir. Yazar desteklerinden dolayı TUBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığına teşekkürlerini sunmaktadır.

Kaynakça

- [1] Ozdogan, M.V., Deliormanli A.H. 2018. Yersel Lazer Tarayıcı ile Yeraltı Galerisinde Meydana Gelen Deformasyonların Belirlenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 20, Sayı 59. DOI: 10.21205/deufmd.2018205952
- [2] Bizjak, K.F., Petkovsek, B. 2004. Displacement analysis of tunnel support in soft rock around a shallow highway tunnel at Golovec, Eng. Geol. Cilt. 75 s. 89-106. DOI: 10.1016/j.enggeo.2004.05.003
- [3] Stiros, S.C., Psimoulis, P.A. 2012. Response of a historical short-span railway bridge to passing trains: 3-D deflections and dominant frequencies derived from Robotic Total Station (RTS) measurements, Eng. Struct., Cilt. 45, s. 362-371. DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.06.029
- [4] Lindenbergh, R., Pfeifer, N., Rabbani, T. 2005. Accuracy analysis of the Leica HDS3000 and feasibility of tunnel deformation monitoring, IAPRS XXXVI (3/W3). Proceedings of Laser scanning, Enschede.
- [5] Van Gosliga, R., Lindenbergh, R., Pfeifer, N., 2006. Deformation analysis of a bored tunnel by means of terrestrial laser scanning. Image Engineering and Vision Metrology. ISPRS Commission, Cilt. 36, s. 167-172.
- [6] Nuttens, T., De Wulf, A., Bral, L., De Wit, B., Carlier, L., De Ryck, M., vd., 2010. High resolution terrestrial laser scanning for tunnel deformation measurements, In:he FIG Congress 2010 Facing the Challenges - Building the Capacity.
- [7] Han, J.Y., Guo, J., Jiang, Y.S. 2013. Monitoring tunnel deformations by means of multi-epoch dispersed 3D LiDAR point clouds: an improved approach. Tunnelling and Underground Space Technology, Cilt. 38 s. 385-389. DOI: 10.1016/j.tust.2013.07.022
- [8] Han, J.Y., Guo, J., Jiang, Y.S. 2013. Monitoring tunnel profile by means of multi-epoch dispersed 3-D LiDAR point clouds. Tunn. Undergr. Space Technol., Cilt 33, s. 186-192. DOI:10.1016/j.tust.2012.08.008
- [9] Yang, Q., Zhang, Z., Liu, X., Ma, S. 2017. Development of Laser Scanner for Full Cross-Sectional Deformation Monitoring of Underground Gateroads, Sensors (Basel), Cilt. 17, s. 1-14. DOI:10.3390/s17061311
- [10] Lindenberg, R., Uchanski, L., Bucksch, A., Van Gosliga, R. 2009. Structural monitoring of tunnels using terrestrial laser scanning. Rep Geod., Cilt. 2(87), s.231-239.
- [11] Delaloye, D. 2012. Development of a new methodology for measuring deformation in tunnels and shafts with terrestrial laser scanning (LiDAR) using elliptical fitting algorithms. Queen's University. Master of Applied Science. 2012s, Ontario, Canada
- [12] Nuttens, T., Stal, C., De Backer, H., Schotte, K., Van Bogaert, P., De Wulf, A. 2014. Methodology for the ovalization monitoring of newly built circular train tunnels based on laser scanning: liefkenshoek Rail Link (Belgium), Autom Constr., Cilt. 43, s. 1-9. DOI: 10.1016/j.autcon.2014.02.017
- [13] Xie, X., Lu, X. 2017. Development of a 3D Modeling Algorithm for Tunnel Deformation Monitoring Based on Terrestrial Laser Scanning, Underground Space, Cilt. 2, sayı 1, s. 16-29. DOI: 10.1016/j.undsp.2017.02.001
- [14] Dinçer, E. 2006. Veri Madenciliğinde K-Means Algoritması ve Tip Alanında Uygulanması, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101s, Kocaeli.
- [15] Sarıman, G. 2011. Veri Madenciliğinde Kümeleme Teknikleri Üzerine Bir Çalışma: K-Means ve K-Medoids Kümeleme Algoritmalarının Karşılaştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt. 15(3), s. 192-202.
- [16] Ali, H.H., Kadhum, L.E. 2017. K- Means Clustering Algorithm Applications in Data Mining and Pattern Recognition, International Journal of Science and Research, Cilt. 6(8), s. 1577-1584. DOI: 10.21275/ART20176024
- [17] Han, J. ve Kamber, M. 2001. Data Mining Concepts and Techniques, Morgan Kauffmann Publishers Inc.

- [18] Berkhin, P. 2002. Survey of Clustering Data Mining Techniques, San Jose, California, USA, Accrue Software Inc.
- [19] Demiralay, M., Çamurcu, A.Y. 2005. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt. 4(8), s. 1-18
- [20] Cebeç, Z., Yıldız, F., Kayaalp T. 2015. K-Ortalamalar Kümelemesinde Optimum K Değeri Seçilmesi, 2. Ulusal Yönetim Bilişim Sistemleri Kongresi, 8-10 Ekim 2015, Erzurum, s. 231-242
- [21] Saraswathi, D., Sheela, L.M.I. 2016. Lung image segmentation using k-means clustering algorithm with novel distance metric, International Journal of Recent Trends in Engineering & Research, Cilt 2 Sayı 12, s. 236-245.
- [22] Osadchy, R. 2011. Lecture Notes: K-MEANS http://www.cs.haifa.ac.il/~rita/uml_course/lectures/kmeans.pdf
- [23] Wei, C. T., Ling, C. Y., Shao, C. Y. 2008. Fast image segmentation based on KMeans clustering with histograms in HSV color space,' IEEE 10th Workshop on Multimedia Signal Processing, Cilt. 4, s. 322-325.