

YATAĞAN ESKİHİSAR LİNYİT AÇIK OCAĞI BATI ŞEVLERİNDE OLUŞAN DEFORMASYONLARIN JEODEZİK YÖNTEMLE İZLENMESİ VE MATEMATİKSEL MODELENMESİ

¹Hakan ÖZŞEN

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, KONYA

¹hozsen@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 31.01.2017; Kabul/Accepted in Revised Form: 10.03.2017)

ÖZ: Açık ocak basamaklarında şev duraysızlığı oluşması sonucu meydana gelen kaymalar yaşam kaybı yanında ekonomik kayıplara ve ocak geometrisinin bozulması gibi sonuçlara neden olabilmektedir. Bu tür olayların önüne geçilmesi için alınması gereken tedbirlerin başında emniyetli jeoteknik tasarımlar, desteklemeler, kaya düşme önleme sistemleri ve şevlerde oluşan deformasyonların değişiminin izlenmesi gelmektedir. Bu çalışma, günümüzde halen Yatağan Termik AŞ bünyesine olan ancak ölçümlerin yapıldığı yıl olan 2011’de Türkiye Kömür İşletmeleri Güney Ege Linyitleri İşletmesi’ne (TKİ-GELİ) bağlı olan Yatağan-Eskihisar linyit açık ocağında gerçekleştirilmiştir. Ocakta yapılan incelemeler ve ön değerlendirmeler neticesinde ocağın batı tarafındaki şevlerde şev duraysızlığı olasılığı bulunan alanlar tespit edilmiştir. Bu alanlarda karşılaşılan ve tehlike yaratacağından kuşkulanan şevdeki hareketi izlemek amacıyla tespit edilen çekme çatlağındaki deformasyon değişimlerinin izlenmesine karar verilmiştir. Bu kapsamda sahada belirlenen bu sorunlu bölgelerde izleme çalışmaları yapılmasına karar verilmiştir. Ocakta dekapaj ve kömür üretimi sonrası batı şevlerinde oluşan gerilim çatlakları ve buna bağlı gelişen şev duraysızlığı olasılığı nedeniyle ölçüm istasyonları kurularak, jeodezik ölçüm yöntemleriyle 216 günlük bir süreçte belirli aralıklarla şev hareketliliği izlenmiştir. Elde edilen veriler sonucunda şevdeki deformasyon hareketliliği değerlendirilmiş ve hareketin orta hızlı bir eğilimde devam ettiği belirlenmiştir. Bu hareketliliğe bağlı bir matematiksel eşitlik geliştirilmiştir. Geliştirilen model sonuçları ile gerçek veriler arasında yüksek korelasyon mevcuttur. Bu model ile şevde gelecekte oluşabilecek deformasyon miktarları ve hızlarını tahmin etme ihtimali oluşabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Açık işletme, Şev, Duraylılık analizleri, Deformasyon

Monitoring the Deformations in an Open Pit Lignite Mine Slopes by Geodetic Methods and Mathematical Analyses

ABSTRACT: Slope sliding and landslides occurring on the open pit benches can lead to consequences such as the loss of life as well as the economic loss and deterioration of the stove geometry. Safe geotechnical designs, supports, rock fall prevention systems and monitoring the deformations occurring on the slopes are among the most familiar precautions which must be taken to prevent these consequences. This study is performed in Muğla Province Yatağan District Eskihisar lignite open pit mine which was in the management of TKİ-GELİ (Turkish Coal Enterprises-South Aegean Lignite Management) in 2011. As a result of investigations and preliminary assessments at the mine regions which have instability problems were identified at the western side of the mine. Then, it is decided to monitor these regions which could have instability problems. Measurement stations were set up on the tension cracks which are the signs of a probable instability problem at the western slopes and slope movements were monitored periodically for 216 days by geodetic measurement methods. As a result of

the obtained data deformation movements were evaluated and it was determined that the movement was continuing in a moderate velocity trend. A mathematical model was developed related to these movements. It was seen that there is a good correlation between the results of the model and the in-situ data. It will be possible to predict future deformation rates and velocities on the slopes of this location with this model.

Key Words: Open pit mining, Slope, Stability analyses, Deformation

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Açık ocak madenciliğinde oluşturulan şev basamaklarının duraylılığının korunması madencilik faaliyetinin sağlıklı yürütülebilmesi açısından büyük öneme sahiptir. Açık ocak maden işletmelerinde şev kaymalarına sebebiyet vermemek için ocağın kalıcı ve üretim basamaklarındaki şevlerin duraylılığının sağlanması gerekmektedir. Oluşabilecek herhangi bir şev kayması can ve mal kayıplarına yol açabilecektir. Bu anlamda, uygun şev açısının belirlenip bu değere uygun olarak madencilik faaliyetlerinin yürütülmesi esastır. Ancak uygulanan kazı tekniği, jeolojik yapısal özellikler, şevin geometrisi, yeraltı su durumu, malzeme özellikleri gibi faktörler şev duraylılığını etkileyen faktörlerdir (Özgenoğlu, 2005). Bu faktörler göz önünde bulundurularak şevlerin sürekli izlenmesi ve kontrol altında tutulması, şev duraylılığının bozulmasına yönelik belirtilerin önceden fark edilmesi açısından önemlidir. Bu izleme ve kontrol etme işlemleri için farklı teknikler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, jeodezik ölçümler, elektronik mesafe ölçerlerin kullanılması, fotogrametrik yöntem, gerilim çatlağı ve eklemlerde açılma miktarlarının sürekli ölçülmesi, bir sondaj borusu içerisinden yüzeyin altında oluşabilecek deformasyonların izlenmesine olanak sağlayan inklinometrik yöntem ve yüzeye yerleştirilen ekstansometrelerdir (Kulaksız, 2012).

Bu yöntemlerden olan jeodezik yöntemle izlemede, heyelan bölgesinin hareket beklenen, hareket olasılığı olmayan ve hareket edeceğinden kuşku duyulan karakteristik yerlerinde seçilen noktalardan oluşan kontrol ağının uygun zaman aralıklarında tekrarlanan ölçülerinden, elde edilen nokta koordinatlarındaki değişimin matematik ve istatistik test yöntemleriyle kanıtlanması esasına dayanan yöntem, heyelan bölgesinde istinat duvarı, drenaj vb. önlemlerden sonra da uygulanarak alınan bu önlemlerin etkinliğinin kontrol edilmesinde de uygulanabilir (Altan ve diğ., 1991). Son yıllarda bu konuyla ilgilenen birçok araştırmacı araziden elde edilen verinin modellenmesi için farklı çalışmalar ortaya koymuşlardır. Arazideki deformasyon verilerinin toplanması için inklinometre, radar izlemesi, jeodezik izleme gibi birçok farklı metot kullanarak ardından da bu verileri laboratuvar test sonuçları ile birleştirmiş ve elde ettikleri veri tabanını çeşitli yöntemler ile modellemeye ve duraysızlık mekanizmasını çözümlenmeye çalışmışlardır. Örneğin Frastia ve diğ. (2014), jeodezik yöntem kullanarak bir taş ocağında 2013 yılında oluşan şev kaymasının ardından yeni şev kaymalarının gelişiminin belirlenmesi ve önlenmesi amacıyla şev izleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak deformasyon oluşum yönlerini ve büyüklüklerini yüksek hassasiyetle belirlemiş ve ocaktaki madencilik çalışmalarını bu sonuçlara bağlı olarak yönlendirmişlerdir. Kaizong ve diğ. (2016), çalışmalarında Chencko demir madeninde 8 yıl boyunca GPS ile ölçümler olarak yatay ve düşey deformasyonları belirlemeye çalışmışlardır. Zhao ve diğ. (2015), GB-InSAR metodu ile Fushun açık ocak kömür madeninde şev kayması mekanizmaları üzerine çalışmışlardır. Osasan ve Stacey (2014), radar izleme ile bir bakır açık ocağında kayma zamanını tahmin etme çalışmaları yapmışlardır. Dongming ve Da (2016) ve Shengwen ve diğ. (2006) uzun yıllar süren gözlemler ile Çin'in Gongjiafang ve Macoping bölgelerinde meydana gelen heyelanlarının oluşum mekanizmalarını anlamaya yönelik çalışmalar yapmışlardır.

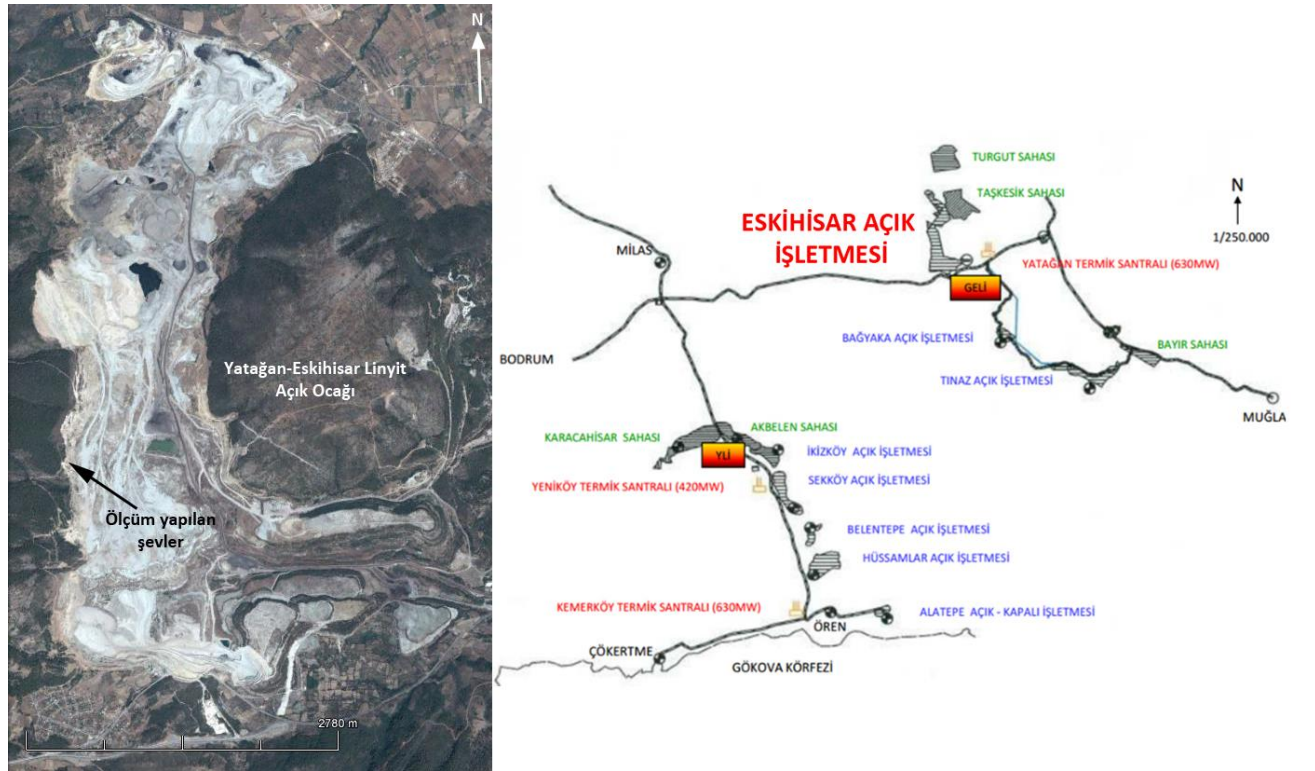
Bu çalışmada TKİ-GELİ Müessesesi Yatağan-Eskihisar linyit sahası batı şevlerinde oluşan olası kayma alanları üzerinde oluşan deformasyonlar jeodezik ölçüm yöntemi ile izlenmiştir. Kaymanın önceden tespiti için, öncelikle kontrol ağları kurulmuş ve belirli aralıklarla ölçmeler yapılarak heyelanlı bölgedeki test noktalarının üç boyutlu koordinatlarının değişip değişmediği araştırılmıştır. Değişme

miktarları izlenerek kaydedilmiş ve elde edilen zamana bağlı deformasyon verilerinden matematiksel bir eşitlik geliştirilmiştir. Ardından bu eşitlikten elde edilen veriler gerçek verilerle karşılaştırılarak gerçek veriler ile tahmini veriler arasında oluşan bağıntılar ve bu bağıntıların istatistiksel doğrulukları belirlenmiştir.

ÇALIŞMA SAHASI (FIELD STUDY)

Eskihisar linyit ocağı, Güneybatı Anadolu'da Muğla iline bağlı Yatağan ilçesinin kuzey batısında yer almaktadır. Ocağın Yatağan ilçesine olan uzaklığı 8 km'dir. Sahanın uydu görüntüsü ile 2011 yılında TKİ-GELİ'ye bağlı işletmeler ve bu işletmelere ait ulaşım haritası Şekil 1'de verilmiştir.

Eskihisar havzasında değişik araştırmacılar tarafından jeolojik çalışmalar yapılmış olup, Ulusay ve Yoleri'ye göre hazırlanan havzadaki formasyonların stratigrafisi alttan üste doğru Paleozoik yaşlı şistler, Mezozoik yaşlı mermerler, Turgut Formasyonu (Kil, kum, silt), Sekköy Formasyonu ve Yatağan Formasyonu şeklinde dizilmiştir (Ulusay ve Yoleri, 1990). Bunlardan yola çıkarak, Yatağan bölgesindeki Eskihisar kömür havzasında temel kayalar, Paleozoik yaşlı şistler ve Mezozoik yaşlı mermerler oluşturmaktadır. Turgut, Sekköy ve Yatağan Formasyonlarının Neojen dönemi çökeller olduğu görülmektedir.



Şekil 1. TKİ-GELİ Yatağan Eskihisar Ocağının uydudan görüntüsü ve ocağa ulaşım haritası

Figure 1. Appearance and site location of TKİ-GELİ Yatağan Eskihisar lignite mine

ŞEV HAREKETLERİNİN ANALİZİ (ANALYSES OF SLOPE MOVEMENTS)

Bu çalışmada, Şekil 2'de görüldüğü gibi bazı kısmi kaymaların ve şev üzeri gerilim çatlaklarının görüldüğü bölgeler tespit edilerek bu bölgelerde olası kayma miktarı ve yönünü tespit etmeye yönelik çalışmalar yapılmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda olası kayma bölgesi üzerinde 11 adet jeodezik ölçüm istasyonu kurulmuş ve periyodik aralıklarla bu istasyonlardan yatay ve düşey deformasyonları tespit etmeye yönelik ölçümler alınmıştır. Çizelge 1'de ölçüm istasyonlarında yapılan ölçümlerin

tarihleri görülmektedir. Çizelge 1'den de görüldüğü üzere ölçümler 7 Eylül 2010 tarihinde başlamış ve son ölçüm 11 Mayıs 2011 tarihinde alınmıştır. Toplamda 11 adet yapılan ölçümler 216 gün sürmüştür.

Çizelge 1. Jeodezik ölçüm tarihleri

Table 1. Geodetic measurement dates

Ölçüm No	Ölçüm Tarihi	Ölçüm No	Ölçüm Tarihi
1	07.09.2010	7	07.01.2011
2	16.09.2010	8	18.02.2011
3	21.09.2010	9	25.03.2011
4	28.09.2010	10	26.04.2011
5	10.11.2010	11	11.05.2011
6	07.12.2010		



Şekil 2. Sahada görülen gerilim çatlakları ile kısmi kaymaların gözlemlendiği ve muhtemel duraysızlıkların oluşması beklenen şevler

Figure 2. Tension cracks seen on the field and probable instable slopes

Sahada yer yer şev kaymaları gözlenmiş ve buna bağlı olarak da yine bazı bölgelerde şev duraysızlığı oluşabileceği ihtimali göz önünde bulundurularak bu bölgelerin izlenmesine karar verilmiştir. Sahada madencilik çalışmaları devam etmektedir. Eskihisar ocağında, 65 yd³ kapasiteli bir adet dragline, 15 yd³'lük altı adet ve 10 yd³'lük iki adet olmak üzere toplam 8 adet ekskavatör ile yapılan örtü tabakası ve kömür kazısı, 85 ve 150 short ton kapasiteli kamyonlar yardımıyla taşınmaktadır. Ocakta çalışma, doğu-batı istikametinde hazırlanan 80 m genişliğindeki dragline panoları ile yapılmakta olup ocağın asıl ana ilerleme yönü güneyden kuzeye doğrudur. İşletme projesine göre ocağın kuzey istikametine doğru artarda dizilmiş 56 dragline panosu mevcuttur. Ocakta projeye göre genel şev açısı 34°, basamak yüksekliği 12 m ve basamak şev açısı ise 70°-75°'dir. Saha özellikle bahar ve kış aylarında yağış alan bir bölgede bulunmaktadır. Bu etkenlerin sahada duraysızlığa yol açabilecek

deformasyonlara neden olması ve oluşan bu deformasyonların ilerlemesi neticesinde bir şev kaymasına dönüşme ihtimali mevcuttur. Bu kapsamda jeodezik yöntem kullanılarak sahada deformasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deformasyon ölçümleri 216 güne yayılan bir süreçte 11 adet istasyondan izlenmiş ve bu süreçte belirli aralıklarla 11 adet jeodezik ölçüm alınmıştır. Ölçümlerde, x, y ve z koordinatları alınarak t1 ve t2 zamanındaki deformasyon farklılıkları tespit edilmiştir. Toplam deformasyon bu üç yöndeki ayrı ayrı deformasyonların bileşkesi şeklinde oluşturulmuş ve bu toplam deformasyon üzerinden hesaplama ve matematiksel eşitlik geliştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen toplam deformasyon miktarlarından öncelikle hareket hızları belirlenerek bu hıza göre bir sınıflama yapılmış ardından tespit edilen deformasyon davranışı matematiksel olarak ifade edilmeye çalışılmıştır. Matematiksel eşitlik geliştirme çalışmasında amaç sınırlı bir zaman diliminde alınan gerçek deformasyon hareketinin daha ileriki bir zaman dilimindeki davranışını belirlemeye yönelik çalışmayı yapmaktır.

Öncelikle sınıflama çalışması kapsamında Cruden ve Varnes'in hareket hızına göre sınıflama esasları dikkate alınmıştır. Cruden ve Varnes'e göre kütle hareketleri yenilme modellerine göre sınıflandırıldığı gibi hareketin hızları dikkate alınarak da sınıflandırılabilir. Duraysızlıklar hızlarına göre Çizelge 2'de verildiği gibi sınıflandırılabilir.

Çizelge 2. Duraysızlık hızlarına bağlı olarak oluşan hareketin sınıflandırılması

Table 2. Classification of the movement related to the velocity of instability

Hareketin hızı	>5,0 m/sn	5,0 m/sn- 3 m/dak	3 m/dak- 1,8 m/saat	1,8 m/saat- 1,3 m/ay	1,3 m/ay- 1,6 m/yıl	1,6 m/yıl- 16 mm/yıl	<1,6 mm/yıl
Sınıfı	Aşırı hızlı	Çok hızlı	Hızlı	Orta hızlı	Yavaş	Çok yavaş	Aşırı yavaş

Bu ölçeğin üst limitini kaya düşmesi ve hareket mesafesi büyük akma-kaymalar, alt sınırını ise ana kayada meydana gelen sünme oluşturmaktadır (Cruden ve Varnes, 1996). Bu değerler ışığında ocaktaki hareket, hızlarına göre Çizelge 3'de verildiği gibi sınıflandırılmıştır.

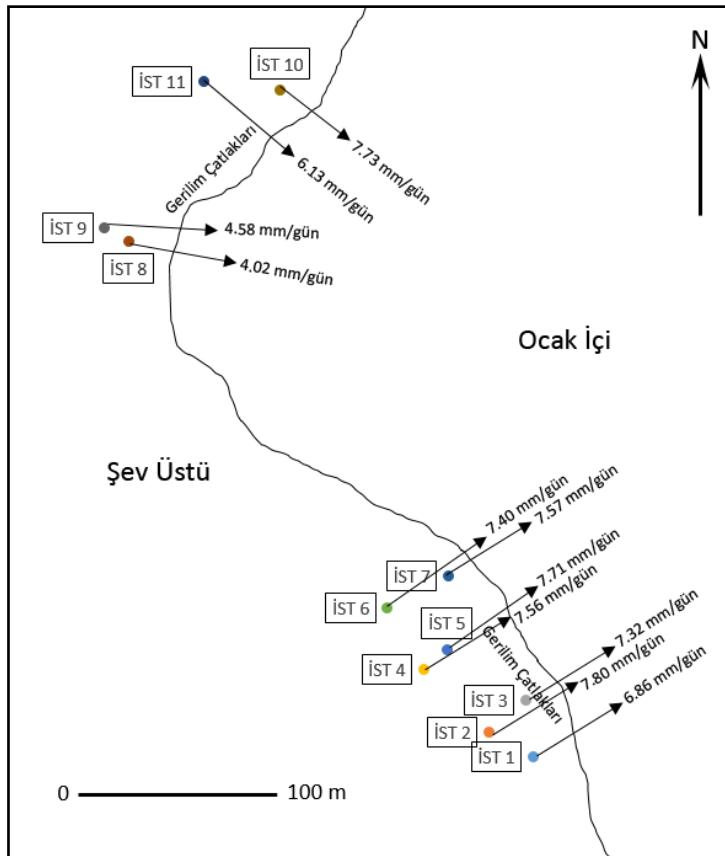
Çizelge 3. İstasyon numaralarına göre ortalama deformasyon hızları ve Cruden ve Varnes (1996)'ya göre sınıflandırmaları

Table 3. Average deformation velocities and classifications according to station numbers

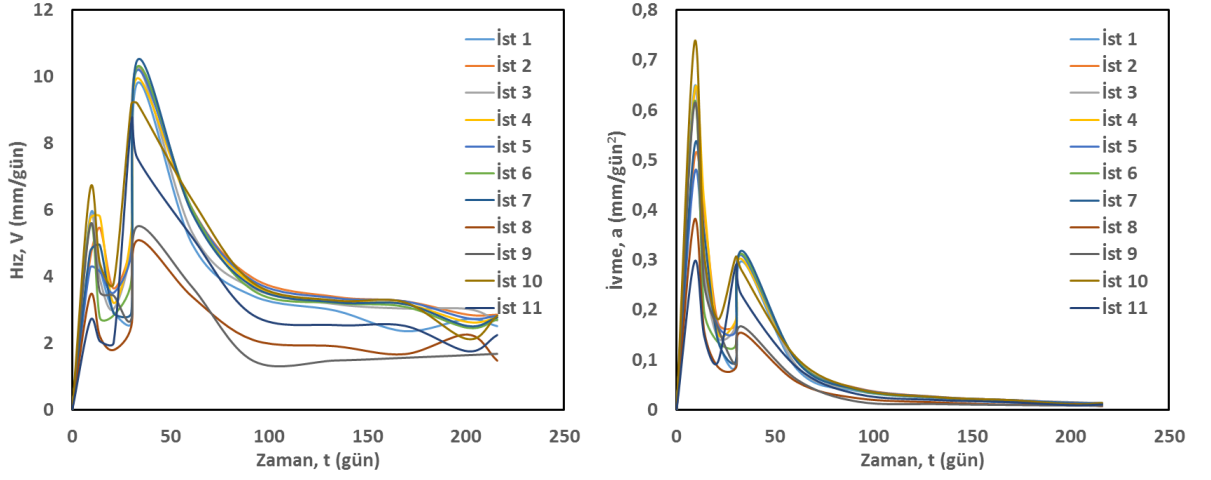
İstasyon Numarası	Ortalama Deformasyon Hızı (m/yıl)	İstasyon Numarası	Ortalama Deformasyon Hızı (m/yıl)
1	2,503 Orta Hızlı	7	2,765 Orta Hızlı
2	2,847 Orta Hızlı	8	1,467 Yavaş
3	2,672 Orta Hızlı	9	1,671 Orta Hızlı
4	2,758 Orta Hızlı	10	2,820 Orta Hızlı
5	2,815 Orta Hızlı	11	2,236 Orta Hızlı
6	2,700 Orta Hızlı		

Çizelge 3'den görüldüğü üzere 8 nolu istasyon haricindeki tüm istasyonlarda deformasyon hızı Cruden ve Varnes sınıflamasına göre "1,8 m/saat-1,3 m/ay" aralığında kalmış olup "orta hızlı" hareket olarak nitelendirilebilir. Sadece 8 no'lu istasyonda deformasyon hızı "1,5 m/ay-1,5 m/yıl" aralığında kalmış olup "yavaş" hareket sınıfındadır (Cruden ve Varnes, 1996). En hızlı hareket eden istasyon 2,847 m/yıl hızıyla İstasyon 2'de görülürken, en yavaş hareket 8 no'lu istasyonda 1,467 m/yıl hızında kaydedilmiştir (Şekil 3). Ayrıca tüm istasyonlara ait hız-zaman ve hız-ivme grafikleri de oluşturulmuştur. Buradan elde edilen bulgulara göre ölçümlerin 33.gününde hız en yüksek seviyeye çıkmış ve bu günün ardından düşme eğiliminde devam ederek 1,467-2-847 m/yıl arasında değişen seviyelerde sabitlenme eğilimine girmiştir. Ancak sabit hızla da olsa hareket devam etmektedir ve bu hareket "orta hızlı" şeklinde nitelendirilen bir hareket tarzındadır. Şekil 4'deki grafikten de görüldüğü

üzere ölçümün 216. gününün sonunda Çizelge 1’de görülen nihai hız değerlerine ulaşılmıştır. Bu noktada hareketin ivmesinin de incelenmesi yararlı olacaktır. Şekil 4’de görülen ivme-zaman grafiği incelendiğinde hareketin ilk başladığı tarihlerde çok yüksek bir ivmenin olduğu ve zaman içerisinde azalma eğilimine girdiği, ancak hız analizlerinde de görülen 33. günde yine artma eğiliminde olduğu ve 33. günden sonra azalma hatta sıfırlanma eğilimine girdiği görülmüştür. İvmenin sıfıra doğru yaklaşması hareketin de sabit bir karakterde devam etme eğiliminde olduğunun kanıtıdır. İvmelenme neredeyse sıfırlanmıştır ancak hareketlilik sabit hızla devam etmektedir. Bu durumda 216 günlük gerçek veriye dayanarak ileride oluşabilecek deformasyon miktarlarını, hızlarını ve ivmelerinin tahmin edilebilir olması büyük önem taşımaktadır.



Şekil 3. İstasyonların yerleri ile hareket hızları ve deformasyon ilerleme yönleri
 Figure 3. Locations and the movement velocities of the stations and deformation dilation directions



Şekil 4. Şevde oluşan deformasyon hareketlerinin hız ve ivme grafikleri
 Figure 4. Velocity and acceleration graphs of deformation movements occurred on the slopes

MATEMATİKSEL EŞİTLİK (MATHEMATICAL EQUATION)

Bölüm 4'deki sınıflama sonucundan da görüleceği üzere ocakta "orta hızlı" şev hareketinin mevcut olduğu anlaşılmaktadır. Ciddi sonuçları olabilecek bu hareketliliğin ne tür bir eğilim içerisinde olduğunun belirlenmesi açısından her bir istasyondaki gerçek deformasyon verisi istatistiksel olarak incelenmiş ve genel eğilim kapsamında her bir istasyon için bir matematiksel eşitlik geliştirilmiştir. Burada amaç elde edilen verilerden yola çıkarak ileriki bir zamanda oluşabilecek deformasyon miktarı ve hızının belirlenmeye çalışılmasıdır.

Daha önce bu konuda yapılmış olan çalışmalarda deformasyon ile zaman arasında üstel bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Kennedy vd., 1970). Aynı üstel ilişki Kuzey Bohemia'da uluslararası bir yol kenarında kumtaşında meydana gelen bir heyelanın zamana bağlı izlenmesi sonucunda da görülmüş ve şev kayması 2 ay önceden tahmin edilmiştir (Zvelebil ve Moser, 2001). Yine bu çalışmaya konu olan TKİ-GELİ Yatağan ocağındakine benzer bir çalışma TKİ-GLİ İlgin linyit açık ocağında gerçekleştirilmiş, oluşan gerilim çatlakları üzerinde deformasyon ölçümleri yapılarak bir matematiksel eşitlik geliştirilmeye çalışılmıştır. Söz konusu çalışmada deformasyon ile zaman arasında bir bağıntı oluşturularak Eşitlik-1'deki ilişki yüksek korelasyon ile belirlenmiş ve gerçek veri ile eşitlikten elde edilen veri karşılaştırılmıştır (Özşen ve Özkan, 2013).

$$U = (a + e^{bt})t \quad (1)$$

Burada,

U: Deformasyon miktarı (mm)

t: Zaman (gün)

a ve b: Uygun istatistiksel parametrelerdir.

Aynı bağıntı bu çalışma kapsamında Yatağan'da elde edilen jeodezik ölçüm verileri ile de denenecek sonuçlar elde edilmiştir ve Çizelge 4'de sunulmuştur. Buna ek olarak Eşitlik 2'de verilen bağıntı ile de yüksek ilişki elde edilmiş ve çalışmaların bu yeni elde edilen eşitlik ile yapılmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda elde edilen matematiksel eşitlikler ve korelasyonları yine Çizelge 4'de sunulmuştur. Çizelge 4'deki eşitlikler dikkate alınarak, örneğin İstasyon 2'deki model deformasyon verilerinin her iki eşitlik için zamana bağlı olarak değerlendirilmesi sonucunda Şekil 5'deki gibi bir eğilim içinde olduğu tespit edilmiştir.

$$U = (C_1 t)^{C_2} \quad (2)$$

Burada,

U : Deformasyon miktarı (mm)

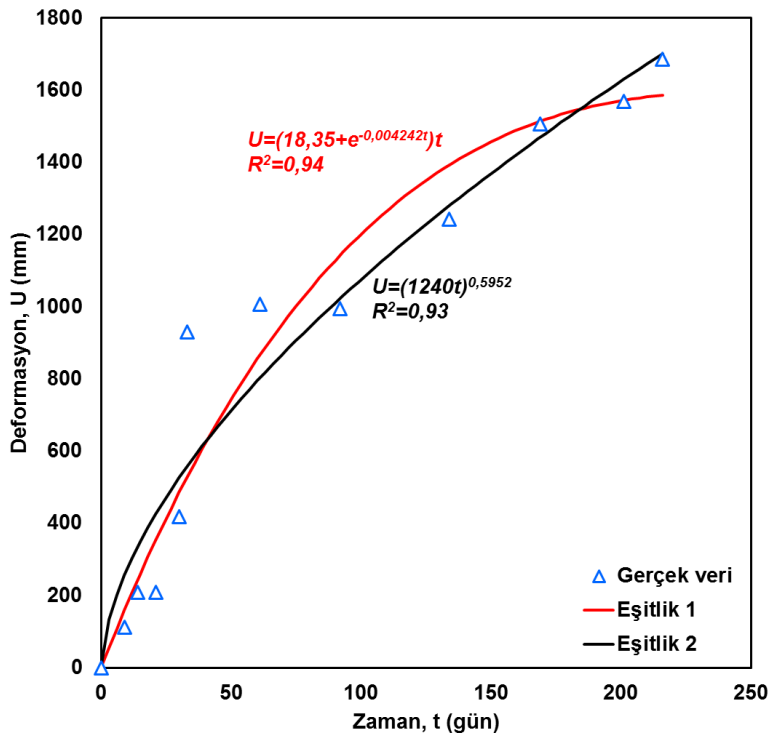
t : Zaman (gün)

C_1 ve C_2 : Uygun istatistiksel parametrelerdir.

Çizelge 4. Tüm istasyonlar için geliştirilen eşitlikler ve korelasyon katsayıları

Table 4. Equations developed for all stations and correlation coefficients

İstasyon No	$U=(a+e^{bt})t$	R^2	$U = (C_1 t)^{C_2}$	R^2
1	$U=(14,56+e^{-0,003763t})t$	0,89	$U=(578,3t)^{0,6217}$	0,89
2	$U=(18,35+e^{-0,004242t})t$	0,94	$U=(1240t)^{0,5952}$	0,93
3	$U=(16,35+e^{-0,003778t})t$	0,92	$U=(698,1t)^{0,6214}$	0,93
4	$U=(18,26+e^{-0,004468t})t$	0,93	$U=(1776t)^{0,5747}$	0,92
5	$U=(17,97+e^{-0,004223t})t$	0,93	$U=(1025t)^{0,6032}$	0,92
6	$U=(17,37+e^{-0,004380t})t$	0,90	$U=(1068t)^{0,5961}$	0,89
7	$U=(17,10+e^{-0,004180t})t$	0,90	$U=(873,2t)^{0,6077}$	0,89
8	$U=(8,76+e^{-0,003005t})t$	0,89	$U=(113,7t)^{0,6862}$	0,89
9	$U=(8,40+e^{-0,003399t})t$	0,82	$U=(568,6t)^{0,5797}$	0,87
10	$U=(21,08+e^{-0,005494t})t$	0,89	$U=(5051t)^{0,5290}$	0,88
11	$U=(16,62+e^{-0,005455t})t$	0,85	$U=(4637t)^{0,5150}$	0,84



Şekil 5. İstasyon 2'nin Zaman-Deformasyon grafiği

Figure 5. Time vs. Deformation graph of Station 2

Çizelge 4'de görülen fonksiyonlarda 216 gün olan nihai ölçüm zamanı yerine konulduğunda Eşitlik 1 ve 2'den Çizelge 5'deki değerler elde edilmiştir. Bu değerlerden de görüleceği üzere her iki eşitlikte de gerçek veriye çok yakın sonuçlara ulaşılmıştır. Bu değerlerin karşılaştırmalı grafikleri oluşturulduğunda

aralarında doğrusal bir bağıntının olduğu belirlenmiş (Şekil 6) ve bu doğrultuda çalışmalar yapılmıştır. Eşitlik 2'deki denklem kullanılarak oluşturulan Eşitlik 2'de bulunan sonuçlar Eşitlik 1'den elde edilen Eşitlik 1'e nazaran daha iyi sonuçlar vermiştir. Arazi deformasyon verileri (adv) ile eşitlik deformasyon verileri (edv) arasındaki bağıntılar Eşitlik 3 ve 4'te verilmiştir. Eşitlik 1 verileri ile gerçek arazi verileri arasındaki doğrusal ilişkiden yola çıkılarak elde edilen regresyon katsayısı 0,88 olurken Eşitlik 2'den elde edilen regresyon katsayısı değeri 0,93 olmuştur. Bu durumda Eşitlik 2'nin gerçeğe daha yakın veriler ürettiği sonucuna varılabilir.

$$adv = 0,8152(edv)_1 + 159,97 \quad (3)$$

$$adv = 0,9324(edv)_2 + 88,467 \quad (4)$$

Burada;

adv : Arazi deformasyon verisi (mm),

$edv1$: Eşitlik 1'den elde edilen deformasyon verisi (mm),

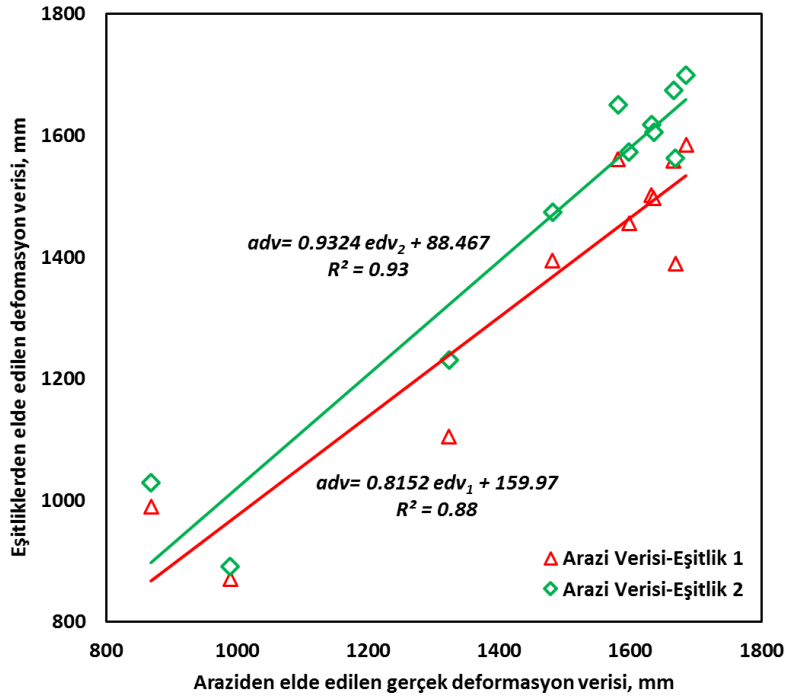
$edv2$: Eşitlik 2'den elde edilen deformasyon verisi (mm)'dir.

Çizelge 5. Arazide elde edilen deformasyon miktarları ile eşitliklerden elde edilen deformasyon miktarlarının karşılaştırılması

Table 5. Comparing the amount of deformations obtained from the field and the equations

İstasyon No	Arazi Verisi adv (mm)*	Eşitlik 1 Verisi edv_1 (mm)	Eşitlik 2 Verisi edv_2 (mm)
1	1481	1395	1474
2	1685	1585	1700
3	1581	1561	1651
4	1632	1502	1618
5	1666	1559	1675
6	1598	1456	1573
7	1636	1497	1606
8	868	989	1029
9	989	870	891
10	1669	1389	1563
11	1323	1105	1231

* 216 gün sonunda



Şekil 6. Arazi deformasyon verileri ile eşitliklerden elde edilen deformasyon verilerinin karşılaştırılması

Figure 6. Comparing the in-situ data and the data obtained from equations

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, TKİ-GELİ Eskişehir linyit açık ocağı batı şevlerinde 07.09.2010 tarihinde başlayıp 11.05.2011 tarihinde sona eren ve 216 gün boyunca süren deformasyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Arazide şev duraylılığı sorunu yaşanabileceği düşünülen noktalara toplam 11 adet ölçüm istasyonu kurulmuş ve deformasyon ölçümleri jeodezik ölçüm metotları kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirilerek x, y ve z yönlerindeki deformasyonlar ayrı ayrı belirlenmiş, ardından tüm yönlerdeki deformasyonların bileşkesi alınarak tek bir toplam deformasyon miktarına ulaşılmıştır. Bu işlem yapılırken önce yataydaki deformasyonların bileşkesi alınmış bu bileşke ile düşey deformasyon miktarının bileşkesi alınarak toplam deformasyon miktarı ve yönüne her bir istasyon için ulaşılmıştır.

Bu kapsamda;

- En büyük deformasyon 1685 mm olarak 2 no'lu istasyonda,
- En düşük deformasyon 868 mm olarak 8 no'lu istasyonda gerçekleşmiştir.
- Tüm istasyonlarda hareket doğu yönüne doğru tespit edilmiştir.

Elde edilen deformasyon verilerinin zamana bağlı hareketinin hız ve ivme değerleri incelenmiş ve sonuç olarak sabit hızla da olsa hareketin devamlılık arz ettiği bu hareketin "orta hızlı" şeklinde nitelendirilebilecek bir hareket hızında olduğu belirlenmiştir. Ocakta bu şekilde bir deformasyon hareketliliğinin olması, bu durumun ileride ne şekilde sonuçlanabileceğinin sorgulanmasına yol açmıştır. Öncelikle Özşen ve Özkan (2013) tarafından geliştirilen eşitlik, eldeki veriler üzerinde uygulanarak yüksek korelasyon elde edilmiştir. Ardından bu çalışma kapsamında sonuç değerlerine yakınsamada çok daha iyi sonuçlar veren yeni bir eşitlik geliştirilerek veriler üzerinde uygulanmıştır. İlk eşitliğe nazaran daha yüksek bir korelasyon sağlandığı görülmüş ve her iki eşitlik için de deformasyon verileri elde edilmiştir. Elde edilen matematiksel eşitlikte amaç, bilinen veriler, yani eldeki deformasyonlar kullanılarak elde olmayan deformasyon miktarlarına ulaşmak, bu sayede ileri bir tarihte oluşabilecek deformasyon miktarını tayin edebilmektir. Deformasyon miktarında oluşacak artışların hız

ve ivmesi gibi bazı parametreler göz önüne alınarak kritik hız ve ivme değerlerine yaklaşıldığında bir takım tedbirlerin alınması gerekebilecektir. Bu tedbirler kapsamında oluşan deformasyon hareketinin hızı ve ivmesi gözlem altında tutulmalı ve bu değerler belirtilen sınırların üstüne çıkarsa mutlaka mevcut bölgedeki çalışmalar durdurulmalı ve önlem alınmalıdır. Bu çalışmada ele alınan bölgedeki hız ve ivme değerleri normal değerler içerisinde seyretmektedir. Ancak zaman içerisinde bölgede yapılan çalışmanın yoğunluğu, yapılacak delme-patlatma çalışmaları, bölgede oluşabilecek depremler veya şiddetli yağış gibi bazı parametrelerin değişmesi neticesinde oluşabilecek deformasyon artışları farklı durumlara neden olabilecektir. Şevlerin izlenmesinin sürekli yapılması ve elde edilen sonuçların hemen değerlendirilmesi oluşabilecek kötü durumların önüne geçilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmadaki denklemlerin kısa vadeli sonuçlar için kullanılması uygun olacaktır. Yukarıdaki etkenlerin değişimi ile denklemler de revize edilmeli ve yeni duruma uygun bir şekilde hareket edilmelidir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Yazar, bu çalışmanın yapılmasında yardımlarını esirgemeyen TKİ-GELİ Yatağan İşletmesi yönetici, mühendis ve çalışanlarına teşekkür eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Altan O., Ayan O.T., Deniz R., Özüer B., Tekin E., "Heyelan Bölgelerinde Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması ve Bir Uygulama", Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, pp. 139-154, 27-29 Kasım 1991.
- Cruden DM., Varnes DJ., 1996, "Landslide Types and Processes", Landslides: Investigation and Mitigation Special Report, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, pp.36-75, Washington.
- Dongming G., Da H., 2016, "A Complex Rock Topple-rock Slide Failure of an Anacinal Rock Slope in The Wu Gorge, Yangtze River, China", Engineering Geology, Vol. 208, pp.165-180.
- Fraštia M., Marčíš M., Kopecký M., Liščák P., Žilka A., 2014, "Complex Geodetic and Photogrammetric Monitoring of the Kraľovany Rock Slide", Journal of Sustainable Mining, Vol.13, no.4, pp.12-16.
- Kaizong X., Congxin C., Hua F., Yucong P., Yangyang D., 2016, "Mining-induced Ground Deformation in Tectonic Stress Metal Mines: A Case Study", Engineering Geology, Vol. 210, pp.212-230.
- Kennedy BA., Niermeyer KE., Fahm BA., "Slope Monitoring Systems Used in The Prediction of a Major Slope Failure at The Chuquicamata Mine, Chile", Planning Open Pit Mines Symposium, Johannesburg, pp.215-225, 1970.
- Kulaksız S., 2012, "Şevlerde Hareket İzleme Teknikleri", Madencilikte Çevre Yönetimi, Afyon, ss. 47-48.
- Osasan K.S., Stacey TR., 2014, "Automatic Prediction of Time to Failure of Open Pit Mine Slopes Based on Radar Monitoring and Inverse Velocity Method", International Journal of Mining Science and Technology, Vol. 24, pp. 275-280.
- Özgenoğlu A., 2005, "Açık İşletmelerde Şev Stabilitesi Analizi", Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı, Ankara, ss.337-387.
- Özşen H., Özkan İ., 2013, "TKİ-GLİ İlgin Linyit Açık Ocağı Batı Şevlerinde Oluşan Gerilim Çatlaklarında Oluşan Deformasyonların İzlenmesi ve Zamana Bağlı Matematiksel Modellenmesi", S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.1, s.3, ss. 37-44.
- Shengwen Q., Fuzhang Y., Sijing W., Ruichun X., 2006, "Characteristics, Mechanism and Development Tendency of Deformation of Maoping Landslide after Commission of Geheyan Reservoir on The Qingjiang River, Hubei Province, China", Engineering Geology, Vol. 86, pp.37-51.
- Ulusay R., Yoleri M., 1990, "TKİ GELİ Yatağan (Muğla) Eskişehir Açık İşletmesi Şev Stabilitesi Etüd raporu", MTA Derleme No.8932, 79s., Ankara.

- Zhao L., Jin'an W., Lin L., Lixiang W., Robert YL., 2015, "A Case Study Integrating Numerical Simulation and GB-InSAR Monitoring to Analyze Flexural Toppling of an Anti-Dip Slope in Fushun Open Pit, Engineering Geology, Vol. 197, pp. 20-32.
- Zvelebil J., Moser M., 2001, "Monitoring Based Time-Prediction of Rock Falls: Three Case-Histories", Physics and Chemistry of the Earth (B), Vol. 26, No. 2, pp. 159-167.