T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇAVUŞCUGÖL LİNYİT AÇIK OCAĞI DOĞU ŞEVLERİNDE OLUŞAN DEFORMASYONLARIN JEODEZİK YÖNTEMLE İZLENMESİ VE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Berk KAYGUSUZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Berk KAYGUSUZ tarafından hazırlanan "ÇAVUŞCUGÖL LİNYİT AÇIK OCAĞI DOĞU ŞEVLERİNDE OLUŞAN DEFORMASYONLARIN JEODEZİK YÖNTEMLE İZLENMESİ VE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ" adlı tez çalışması 21/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Dr.Öğr.Üyesi Ali Ekrem ARITAN	.....
Danışman Dr.Öğr.Üyesi Hakan ÖZŞEN	.....
Üye Prof.Dr. İhsan ÖZKAN	.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

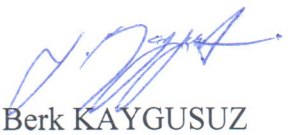
Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Berk KAYGUSUZ
05/09/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ÇAVUŞCUGÖL LİNYİT AÇIK OCAĞI DOĞU ŞEVLERİNDE OLUŞAN DEFORMASYONLARIN JEODEZİK YÖNTEMLE İZLENMESİ VE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Berk KAYGUSUZ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Hakan ÖZŞEN

2019, 62 Sayfa

Jüri
Dr.Öğr.Üyesi Hakan ÖZŞEN
Prof. Dr. İhsan ÖZKAN
Dr.Ögr.Üyesi Ali Ekrem ARITAN

Açık maden ocaklarında, mühendislik çalışmaları ile oluşturulan şevlerde, karayolu ve demiryolu yarmalarında ve doğal şevlerde duraysızlık oluşması durumunda şev kaymaları oluşabilmektedir. Meydana gelen bu kaymalar yaşam kaybına, ekonomik kayıplara, geometrisi bozulan alanlara sebebiyet vermektedir. Bu sonuçların önüne geçebilmek için oluşan duraysızlıkların izlenmesi ve elde edilen sonuçlar neticesinde emniyeti arttırmak için jeoteknik verilerin güncellenmesi, kaya düşmesini önleyici sistemler gibi önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu çalışma, halen TKİ Ilgın Linyitleri İşletmesi'ne bağlı olan Ilgın-Çavuşcugöl linyit açık ocağında gerçekleştirilmiştir. Ocakta yapılan incelemeler ve denetlemeler neticesinde ocağın doğu şevinin 60 m ilerisinde bulunan TCDD Çavuşcugöl İstasyonu'na yönelimli çekme çatlakları tespit edilmiştir. Ölçüm sistemi olarak jeodezik ölçüm yöntemi kullanılarak 112 günlük süreçte belirli aralıklarla şev hareketleri izlenmiştir. Elde edilen veriler sonucunda şevdeki deformasyon hareketleri değerlendirilmiştir. Ardından, bu hareketliliğe bağlı matematiksel eşitlikler geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık ocak madenciliği, deformasyon izleme, jeodezik ölçüm, matematiksel modelleme, ters hız yöntemi

ABSTRACT

MSc THESIS

MONITORING THE DEFORMATIONS IN ILGIN-ÇAVUŞCUGÖL LIGNITE OPEN PIT MINE SLOPES BY GEODETIC METHODS AND MATHEMATICAL MODELLING

Berk KAYGUSUZ

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mining Engineering

Advisor: Asst.Prof.Dr. Hakan ÖZŞEN

2019, 62 Pages

Jury
Asst.Prof.Dr. Hakan ÖZŞEN
Prof. Dr. İhsan ÖZKAN
Asst.Prof.Dr. Ali Ekrem ARITAN

Slope failure may occur in slopes of open pits slopes, engineering design, highway and railway cuts and natural slopes in case of instability. These failures result in loss of life, economic losses and deterioration of the geometry. In order to prevent these undesired results, monitoring the instability on the slopes is essential safety enhancement geotechnical revisions, rock fall prevention systems etc. must be established according to the results of monitoring studies. This study was carried out in TKİ Ilgın-Çavuşcugöl lignite open pit mine. As a result of the inspections carried out in the mine tension cracks were seen on the eastern slopes which is 60 m far from TCDD Çavuşcugöl train station. Slope movements were monitored at certain intervals in a period of 112 days by using geodetic measurement method as a monitoring system. Deformation data of the slope were evaluated and a mathematical equation based on these movements was then developed.

Keywords: Open pit mining, deformation monitoring, geodetic measurement, mathematical modeling, inverse velocity method

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamın her safhasında bana yardım eden, bilgileriyle bana ışık tutan Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÖZŞEN'e teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Yapılan çalışmalarda hiçbir yardımı esirgemeyen ve büyük katkı sağlayan Dursun Kaya'ya ve şirket çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmamda değerli katkılarını esirgemeyen çok değerli jüri üyeleri Prof. Dr. İhsan Özkan ve Dr. Öğr. Üyesi Ali Ekrem Arıtan'a teşekkür ederim.

Bütün bu süreçte her konuda yanımda olan Eşim Sevcan Kaygusuz'a, oğlum Sarp Demir'e ve değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Berk KAYGUSUZ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Problemin Tanımı 1
1.2. Çalışmanın Amacı 1
1.3. Çalışmanın İçeriği 2

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

2.1. Genel 3
2.2. Maden Sahalarında Şev Kayması ve Şev Kayma Türleri 3
2.2.1. Dairesel kayma 3
2.2.2. Düzlemsel kayma 3
2.2.3. Kama tipi kayma 4
2.2.4. Devrilme 4
2.3. Deformasyon İzleme Yöntemleri 5
2.3.1. Jeodezik olmayan yöntemler 6
2.3.2. Jeodezik ölçüm yöntemleri 6
2.3.3. Jeodezik ölçmelerde dikkat edilecek hususlar 6
2.4. Topoğrafik Ölçümler 7
2.4.1. Elektronik mesafe ölçerle şev hareketlerinin izlenmesi yöntemi 9
2.5. Konuyla İlgili Önceki Çalışmalar 10

3. MATERYAL VE YÖNTEM **15**

3.1. Genel 15
3.2. TKİ Ilgın Açık Linyit Ocağı İşletmesi 15
3.2.1. Tarihçe 15
3.2.2. Coğrafi konum ve ulaşım 15
3.2.3. İklim 17
3.2.4. Proje konusu sahanın jeolojisi 17
3.2.5. Rezervler ve rezervin tespit yöntemleri 20
3.2.6. İşletme yöntemi 20
3.3. Sahada Yapılan Çalışmalar 20
3.4. Şev Kaymasının Modellenmesi 27
3.4.1. Şev kayma zamanının tahmin edilmesi 28

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 39

4.1 Veri Tabanı Oluşturulması 39
4.2. Ölçüm Sonuçlarının Modellenmesi 43
4.2.1. Regresyon tabanlı modelleme 43
4.2.2. Ters-hız yöntemi ile t_k tahmini 47

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 54

5.1.Sonuçlar 54
5.2. Öneriler 58

KAYNAKLAR 59

ÖZGEÇMİŞ 62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

U **:** Deformasyon miktarı (mm)

t **:** Zaman (gün)

Adv **:** Arazi deformasyon verisi (mm)

Edv **:** Eşitlikten elde edilen deformasyon verisi (mm)

$\mathbf{t_k}$: Şev kayma zamanı

Kısaltmalar

TKİ **:** Türkiye Kömür İşletmeleri

GLİ **:** Garp Linyitleri İşletmesi

İB **:** İvmelenme başlangıcı

EDN **:** Eğim değişim noktası

DEM **:** Hücre boyutlu sayısal yükseklik modeli

GPS **:** Global konumlandırma sistemi

EDM **:** Elektronik mesafe ölçer

DMİ **:** Devlet Meteoroloji İşletmesi

MTA **:** Maden Tetkik Arama

AID **:** Alt ısıl değer

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Tanımı

Yüzeye yakın maden yataklarının giderek azalması, hammadde fiyatlarındaki artış, gelişen teknoloji ile tasarlanan yeni ekipmanlar, çok büyük kapasite ve güçte taşıma nakliye makineleri, ANFO'nun kullanılmaya başlanması, düşük tenörlü cevherlerin gelişen zenginleştirme yöntemleri ile ekonomik değere ulaşması, madencilikte daha derin ve zorlu sahalarda üretime geçilmesine olanak sağlamıştır.

Daha derin ve zorlu ocaklarda çalışmak ise beraberinde şev kayması gibi problemleri getirmiştir. Ekonomik bütünlüğü bozmadan üretim faaliyetlerini en düşük maliyetle en güvenli hale getirmek mühendisler için daha önemli rol haline gelmiştir.

Açık ocaklarda şev stabilitesini jeolojik yapısal özellikler, şev geometrisi (yüksekliği, genişliği, eğimi), yer altı suyu, malzeme özellikleri ve üretim yöntemi gibi temel unsurlar belirler. Bu faktörler her ocakta farklı olacağından şevin duraylılık analizini yaparken genel kurallar dışında mühendislik tecrübesi ve önsezisine bağlı yaklaşımlarla sonuca ulaşılabilir. Şev stabilite çalışmaları çoğu zaman sayısal hesap ağırlıklı işlemlerdir. Jeolojik veri toplanması, ortamın ve süreksizliklerin dayanım parametreleri tayini, stabilite analizleri, duraysızlık durumunda alınacak önlemlerin belirlenmesi gibi birçok aşamayı içerir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Yukarıda ortaya konan çerçeve içerisinde yer alan TKİ-Ilgın linyit ocağından geçen TCDD'na bağlı demir yolu hattı boyunca ortaya çıkan çekme çatlakları önemli bir duraysızlığa neden olmaktadır.

Bu çalışma kapsamında; Konya ili Ilgın ilçesinde bulunan açık ocak kömür sahası batı şevinde oluşan çatlaklar referans alınarak gerekli ölçüm ve hesaplamalar ile şevin stabilite analizlerini yapılmıştır.

Temel amacımız oluşturulan şevlerin stabilizasyonuna ışık tutabilecek veriler ve parametreler elde ederek, şev kaymalarından dolayı oluşan maddi ve manevi kazalar yaşanmadan daha güvenli çalışma ortamı yaratarak hem çalışana hem sektöre hem de devlete kazanç sağlamaktır. Açık maden ocaklarında mühendislik çalışmaları ile

oluşturulan şevlerde, karayolu ve demiryolu yarmalarında oluşan şevlerde ve ayrıca doğal şevlerde (yamaçlarda) denge sorunu oluşması durumunda heyelan olarak adlandırılan şev kaymaları oluşabilmektedir. Bu durumun yaşanmasında ciddi can ve mal kayıpları olabilmektedir. Şev duraysızlığı olarak tanımlanan bu tür problemlerin oluştuğu şevlerde bilinen analiz yaklaşımları görgül ve kinematik öngörülerdir. Bunların haricinde son zamanlarda sayısal yaklaşımlar mevcuttur. Sözü edilen bu yaklaşımlar sahada karşılaşılan kaya-zemin ve toprak-zemin malzemelerin laboratuvar deneyleri ile belirlenen mekanik özelliklerini ve sahanın jeolojik yapısını kullanmaktadırlar. Bu yaklaşım sonuçları şevde kaymanın olup olmayacağını belirtmekte ancak bunun zamana ve diğer parametrelere bağlı olarak nasıl gelişeceği konusunda hiçbir öngörüde bulunamamaktadırlar. Şev duraylılığı yaşanan sahalarda yaygın olarak jeodezik ölçümler yapılabilmektedir. Bu ölçümler zamana bağlı olarak yapılmaktadır.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Çalışmamız, giriş, kaynak araştırması, materyal ve yöntem, araştırma, sonuç ve öneri olarak 5 bölümden oluşmaktadır.

Giriş bölümünde, problemin tanımı, çalışma amacı ve tez içeriği olarak 3 alt bölüm bulunmaktadır.

Kaynak araştırması bölümünde, şev kayma türleri, deformasyon izleme yöntemleri, sayısal analiz yöntemi ile deformasyon izleme yöntemi ve daha önce bu konuda yapılan çalışmalar bulunmaktadır.

Materyal ve yöntem bölümünde, TKİ Ilgın Kömür Açık Ocağı hakkında bilgiler ve sahada yapılan ölçüm sistemlerinin kullanımı hakkında bilgi bulunmaktadır.

Araştırma ve sonuç bölümünde, sahada yapılan sayısal analizin matematiksel yöntemle elde edilen sonuçları bulunmaktadır.

Sonuç ve öneri bölümünde, bu tez çalışması sonucu elde edilen sonuçlar ve öneriler bulunmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Genel

Bu bölümde, doğal oluşmuş ve mühendislik tasarımı şevlerin kayma türleri, geliştirilen deformasyon izleme yöntemleri, çalışmamızın temelini oluşturan sayısal analiz yöntemi ve bu konuda daha önce yapılmış çalışmalar anlatılmıştır.

2.2. Maden Sahalarında Şev Kayması ve Şev Kayma Türleri

2.2.1. Dairesel kayma

Zemin türü malzemelerin olduğu alanlarda açılan şevlerde olası kayma, şevde kaymaya karşı direncin en az olduğu yüzey boyunca oluşur ve bu yüzey genellikle daireseldir. Benzer davranış parçalanmış, kırılmış irili ufaklı kaya parçalarının oluşturduğu büyük toprak harmanlarında da gözlenir. Cevher hazırlama ve lavvar tesislerinin çok ince öğütülmüş artıklarından meydana gelen birkaç metre yükseklikteki şevlerinde bile dairesel kayma yüzeyleri oluşur. Son derece altere olmuş ve ayrışmış kaya kütlesi ile sık eklemli kaya kütlelerinde bu tip kaymalar beklenir (Şekil 2.1a) (Eskikaya ve ark., 2005).

2.2.2. Düzlemsel kayma

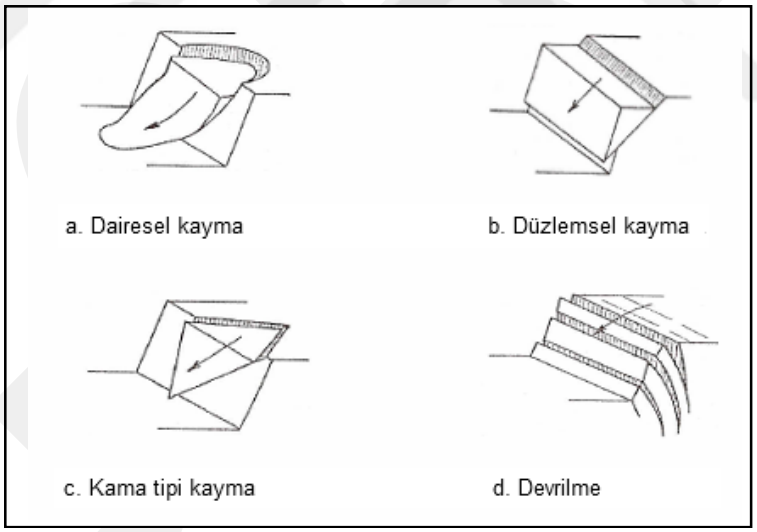
Düzlemsel kayma, birçok koşulun bir arada olması gerektiğinden en az rastlanan kayma türüdür. Düzlemsel kayma meydana gelmesi için kayma düzleminin doğrultusu şev aynasının doğrultusuna paralel veya paralele yakın olması gerekir. Kayma düzleminin eğimi, şev eğiminden küçük, malzemenin içsel sürtünme açısından büyük olmalıdır. Kaymaya meyilli kütlenin iki tarafında kaymaya karşı çok az direnç gösteren yan yüzeyler bulunmalıdır (Şekil 2.1b) (Paşamehmetoğlu ve ark., 1991).

2.2.3. Kama tipi kayma

Süreksizliklerin şev aynasını diyagonal olarak kestikleri ve kaymanın bu süreksizliklerden herhangi ikisinin kesişme doğrusu boyunca meydana geldiği kayma tipidir. Gerçekte bu tip kaymanın mekaniğinin çok basit olmasına karşı, birçok değişken varlığının olması bu kayma tipinin matematiksel ifadesini karmaşık hale getirmektedir (Şekil 2.1c) (Paşamehmetoğlu ve ark., 1991).

2.2.4. Devrilme

Yatımı şev içine doğru olan, dike yakın eğimli ve şeve nerdeyse paralel doğrultudaki süreksizliklerin sütunsal bir yapı oluşturduğu durumlarda kaya şevlerinde görülen bir duraysızlık türüdür. Bu duraysızlık, şevi oluşturan kaya sütunlarının veya bloklarının tabandaki sabit bir nokta etrafında rotasyonu biçiminde gelişir (Şekil 2.1d) (Eskikaya ve ark., 2005).



Şekil 2.1. Kayma türleri (Kulaksız, 2012)

2.3. Deformasyon İzleme Yöntemleri

Maden açık ocaklarında oluşturulan mühendislik yapısı olan şevlerde malzeme, iklim, çalışma şartları gibi parametrelere bağlı olarak duraylı yapının bozulmasıyla kütlenin hareket etmeye başladığı gözlenir. Mühendislik yapısı olan şevlerdeki hareket izleme çalışmalarının amaçları aşağıda sunulmuştur.

1) Kayma yüzeyinin derinliğinin, konumunun ve şeklinin belirlenmesi ile kayan kütle içinde yatay veya düşey yönlerde gelişen hareketlerin saptanması,
2) Duraysızlığın saptanması,
3) Kayma hızının belirlenerek, olası can ve mal kayıplarının önlenmesi amacıyla erken uyarı sistemlerinin kurulması,
4) Şev duraylılığı arttırmaya yönelik değişik iyileştirme yöntemlerinin uygulanması sırasında ve sonrasında bunların performansının izlenerek denetlenmesi.

Şevlerde zamana bağlı deformasyon oluşmalarını izleme yöntemleri jeodezik ve jeodezik olmayan yöntemler olarak ikiye ayrılır. Jeodezik yöntemlerde, hareket eden kaya kütlesinin yüzeydeki hareketi üç yönde izlenirken, jeodezik olmayan yöntemlerde sondaj kuyuları içerisinden veya oluşan çatlak üzerinden oluşan deformasyon değerleri ölçülür.

Çizelge 2.1. Şevlerde deformasyon izleme yöntemleri (Mesutoğlu, 2013)

Jeodezik Yöntemler	Kullanılan Alet ve Donanımlar
Aliyman ölçmeleri	Teodolit, laser optik, invar tel vs.
Klasik konum ölçümü	Total station, teodolit ve uzaklıkölçer
Uydu bazlı konum ölçümü	GPS, Glonas ve Galilo alıcıları
Presiz trigonometrik nivelman ölçümü	Hassas total station, teodolit ve uzaklıkölçer
Presiz geometrik nivelman ölçümü	Presizyonlu Nivelman donanımı
Laser scanner tekniği	Laser scanner
İnterferometrik SAR görüntü tekniği	SAR uydu görüntülerinin değerlendirilmesi
Jeodezik Olmayan Yöntemler	Ölçme Donanımları
Eğim ölçmeleri	İnklinometreler
Deplasman ölçmeleri	Settlement tube (Manyetik oturma kolonu)
Uzunluk değişim ölçmeleri	Ekstensometreler
Boşluk suyu basıncı ölçmeleri	Reserved pendulum
Düşeyden ayrılma ölçmeleri	Piezometreler
Derz ölçmeleri	Jointmetreler
Çatlak Ölçmeleri	Crackmetreler

2.3.1. Jeodezik olmayan yöntemler

Jeodezik olmayan yöntemler, kütle içerisine açılan düşey bir kuyu içerisinden yapılabilmektedir. Açılan sondaj kuyusu içerisinden yapılan ölçümlerden deformasyonların veya yeraltı su basınçlarının en büyük olduğu derinlikler somut bir şekilde belirlenebilmektedir. Uygulama, mühendislerinin almaları gereken önlemlerin boyutlarını daha iyi görmelerini ve algılamalarını sağlayacaktır. Bu ölçüm yönteminde kayma düzleminin yeri ve hareket yönü belirlenebilmektedir. Böylece hareket eden kütlenin üç boyutlu geometrisi ve hacmi ortaya konabilmektedir.

2.3.2. Jeodezik ölçüm yöntemleri

Jeodezik yöntemlerde yer değişim izleme işlemi, hareketin oluşacağı bölgenin yüzeyindeki noktalara yerleştirilen izleme noktalarıyla yapılmaktadır. Bu yöntemde topografik yüzeyin yer değişimleri izlenebilmektedir. Ancak kayma düzleminin yeri belirlenememektedir.

2.3.3. Jeodezik ölçmelerde dikkat edilecek hususlar

Yatay kontrol ağındaki ölçmeler yatay doğrultu ve kenar ölçüleridir. Düşey kontrol ağında ise ağ noktaları arasında nivelman ölçmeleri yapılarak yükseklik farkları elde edilir.

Kenar ölçmelerinde, bir kenar ölçüsü için ± 1-5 mm doğruluk amaçlanarak ölçme donanımı ona göre seçilmelidir. Atmosferik indirgenmelerin yapılabilmesi için geçerli bir atmosfer modeli oluşturmak üzere hem durak noktasında hem de gözlenen noktada ±0,5°C doğrulukla kuru ve nemli sıcaklıkları ölçmeye yarayan psikrometreler kullanılmalıdır. Ayrıca yine kenarın iki ucunda olmak üzere ±0,5 m bar doğrulukla hava basıncı barometre yardımıyla belirlenmelidir. Kenar uzunlukları 1 km'den küçükse ve noktalar arasındaki yükseklik farkı büyük değilse, yalnız durak noktasında atmosferik verilerin elde edilmesi de amacı karşılayabilir. Eğer 1 cm'den küçük hareketlerin belirlenmesi amaçlanıyorsa, daha hassas sonuçlar veren elektronik uzaklık ölçer kullanılması gerekebilir. Kenarlar oluşunca iki bağımsız ölçünün ortalaması ile elde edilmelidir. Doğrultu açılarının ölçülmesinde genellikle saniye teodolitleri kullanılır

(Şekil 2.3). Özellikle kısa kenarlı kontrol ağlarında, teodolitin sağlayacağı hassasiyetten çok, kullanılan gözleme işaretleri önemli rol oynamaktadır.

Şekil 2.3. Duraylı noktada pilye üzerine monte edilmiş teodolit (Pektaş, 2005)

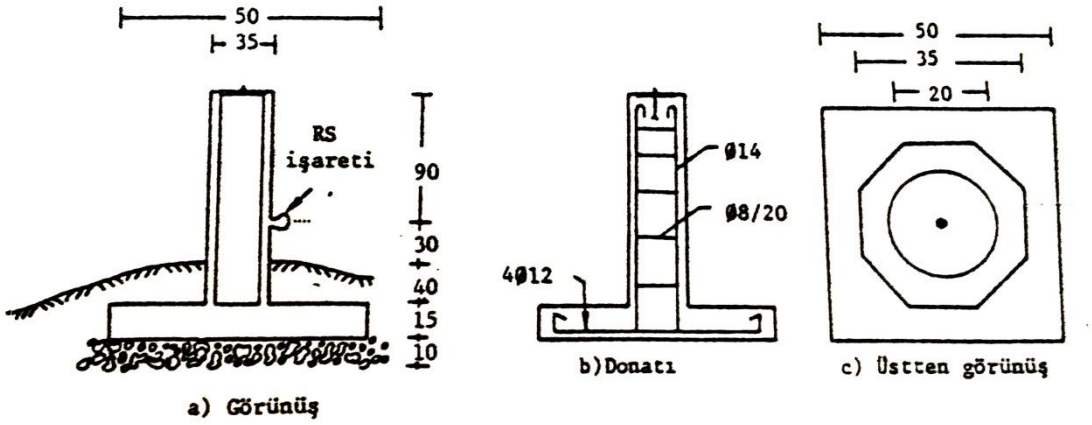
Nivelman ölçmelerinde ya hassas Nivelman teknikleri kullanılmalı ya da mira bölümleri arasında okuma hassasiyetini artıracak paralel yüzlü plak donanımları kullanılmalı, iyi mira çiftleri seçilmeli ve düzeçli miraların altlarında, her mira tutulan yere taşınabilen demir altlıklar kullanılmalıdır. Deformasyon ölçmelerinde, her tür ölçü hatası sonuca deformasyon biçiminde yansıyacağından ölçü hatalarının en alt düzeye indirmek için ölçüler tekrarlanmalıdır.

2.4. Topoğrafik Ölçümler

Şev kaymasının gözlendiği bölgedeki zemin, en çok hareket beklenen ve hiç hareket beklenmeyen yerlerde seçilen kontrol noktalarıyla temsil edilerek, bu noktalara Şekil 2.4'de görüldüğü gibi üzerinde hassas ölçme olanakları sağlayan pilyeler (ölçme kolonları) hazırlanır. Bu noktaların seçiminde arazinin jeolojik yapısı ve ön zemin etütleri önemli bir rol oynamaktadır. Hareket beklenmeyen yerlerde seçilen noktalar şev kayması bölgesi dışında sağlam zeminde seçilmeli ve sonuçta bu noktaların çoğunluğunun gerçekten hareket etmeyen noktalar olması sağlamalıdır.

Deformasyon noktası adı verilen, hareket beklenen yerlerde seçilen noktaların da heyelan karakterini özetleyebilecek jeolojik yapının hareket parametrelerini temsil etme özelliğine sahip olması gerekmektedir. Sonuçta bu noktalar da saptanacak hareket vektörleri ile arazideki zemin hareketlerinin genelleştirilerek yorumlanması mümkün olmalıdır. Bu noktalarda da sabit noktalar gibi arazide pilyelerle donatılır.

Arazide pilyelerle işaretlenmiş noktaların tümüne birden, sabit nokta, deformasyon noktası ayırımı yapmaksızın kontrol noktaları adı verilir. Kontrol noktalarına yapılacak beton pilyelere ilişkin imalat detayı Şekil 2.4'de görülmektedir.



Şekil 2.4 Pilye şematik gösterimi (Altan ve ark., 1991)

Pilyelerin yapımında beton kalıpların düşey olmasına ve pilye üst yüzeyinin de yatay olmasına özen gösterilmeli düşey kontrolü sağlamak için de altıgen prizmanın bir yüzüne nivelman röperi ankre edilmelidir.

Pilyeler birbirlerine açı, kenar gibi jeodezik ölçmelerle bağlanacağından, kontrol noktalarının yerlerinin seçiminde, jeolojik ön etütlerden başka arazinin topografyası da önemli bir rol oynar. Her kontrol noktası en az üç noktaya ölçme yapma olanağı sağlamalıdır.

Pilyeler açı, kenar ölçmeleriyle birbirine bağlanarak bir jeodezik ağ oluşturulur. Bu ağ yatay kontrol ağı adını alır. Ayrıca pilyeler ve diğer yapılar üzerindeki nivelman röperleri de nivelman ölçmeleriyle birbirine bağlanarak bir nivelman ağı oluşturulur. Bu ağ da düşey kontrol ağı adını alır.

2.4.1. Elektronik mesafe ölçerle şev hareketlerinin izlenmesi yöntemi

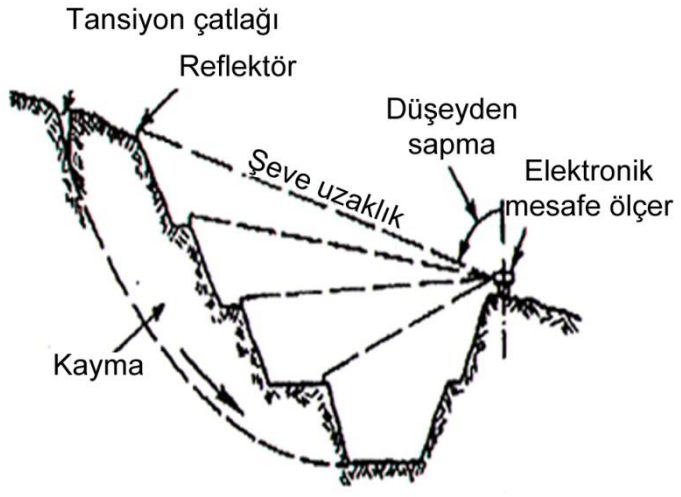
Işık veya lazer ışınının, şev yüzeyine takılmış reflektörlerden (istasyondan) hareketsiz bir noktaya kurulmuş ölçüm cihazına yansıtılarak istasyon noktasının koordinatlarındaki değişimin periyodik ölçümlerle saptanması ile şevdeki hareket miktarı belirlenir (Şekil 2.5).

Günümüzde kullanılan elektronik mesafe ölçerlerin duyarlılıkları aletin modeline göre 1-10 mm arasında değişmektedir. Ölçüm yönteminin faydaları ve eksiklikleri aşağıda sunulmuştur.

Faydaları;

i. Çok sayıda ölçüm kısa zamanda alınabilir,
ii. Her zaman girilmesi riskli olan lokasyonlarda izleme yapılabilir,
iii. Aydınlatılmış hedeflere gece de ölçüm yapılabilir,
iv. Geniş sahalarda ölçüm alınabilir,
v. Ölçümler kayıt cihazından bilgisayar ortamına aktarılarak kısa sürede değerlendirme yapılabilir.

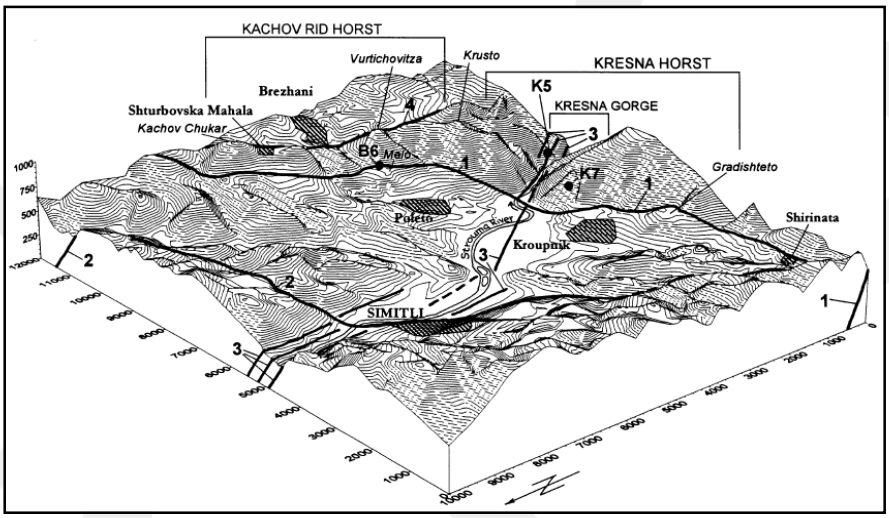
Eksiklikleri ise; bulutlu, çok yağışlı ve karlı günlerde hedeflerin izlenmesi zordur, ayrıca hava sıcaklığında ve barometrik basınçta ortaya çıkabilecek değişimlerden etkilenebilir.



Şekil 2.5 Elektronik mesafe ölçerle şevde hareket izlenmesi (Kulaksız, 2012)

2.5. Konuyla İlgili Önceki Çalışmalar

Bulgaristan Simitli Havzasındaki Deformasyonların İzlenmesi: Avrupa'da güçlü deprem bölgesi olan Güney-Batı Bulgaristan'da Simitli Havzasındaki tektonik hareketler uzun süre izlenmiştir. Burada çekme çatlağı bulunan yerlerde yüzey hareketlerini izlemek için ekstansometre kurulmuştur (Şekil 2.6). Çalışma sonucu alandaki hareketin 1,9 mm/yıl itme yönünde 2,7 mm/yıl oranında ise sol yanal doğrultulu olduğu belirlenmiştir (Dobrev ve Košt'ák, 2000).



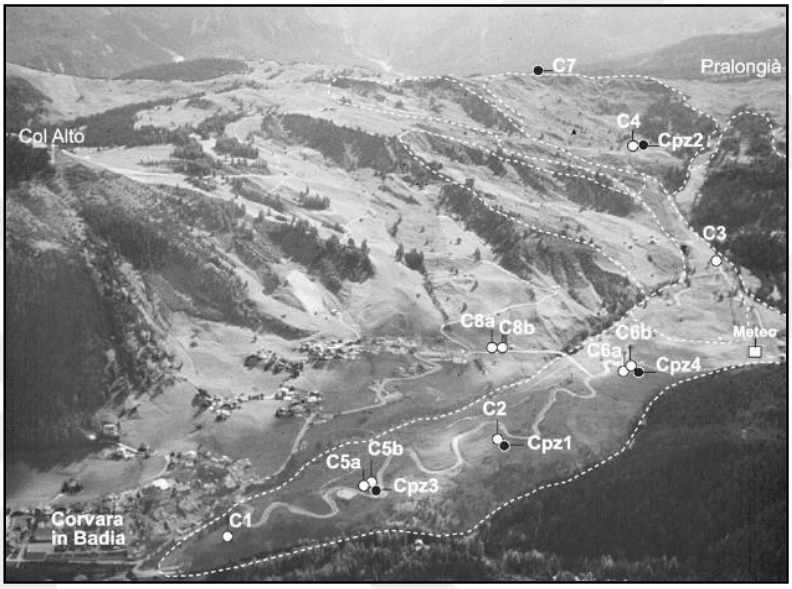
Şekil 2.6. Simitli bölgesinde önemli fayların konumu; 1-Kroupnik, 2-Gradevo, 3-Strouma ve 4-Brezhani fayı (Dobrev ve Košt'ák, 2000)

Doğu Alp dağlarında hareketlerinin GPS ile izlenmesi: Global konumlandırma sistemi (GPS) ile doğu Alpler üzerindeki hareketlerin izlenmesi için bir GPS ağı kurulmuştur. 1991, 1992 ve 1994 tarihlerinde Almanya ve İtalya'da 43 inceleme noktası kurulmuştur. Bu çalışmada GPS gözlemlerinin sonuçları ve analizlerin ilk sonuçları değerlendirilmiştir (Van Mierlo ve ark., 1997).

TKİ-Ilgın Çavuşcugöl açık linyit ocağında inklinometre ölçümleri: Çalışmada Ilgın Çavuşcugöl ocağının doğu şevinde söz konusu olan şev duraysızlığı anlatılmıştır. Doğu şevinde iki adet inklinometre kuyusu açılmıştır. Ölçümler 7 ay sürmüştür. Araştırmacı kaya mekaniği çalışmaları sonucunda sayısal bir çözümleme üretmiş ve bu sonuçlar ile inklinometre sonuçlarını karşılamıştır (Mıh, 2011).

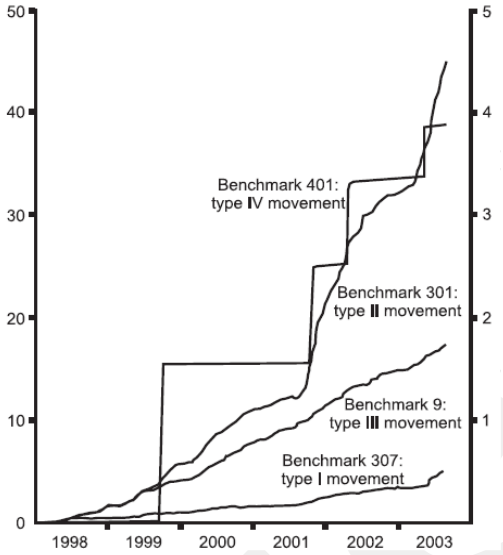
Corvara Heyelan Alanının İzlenmesi: Corvara heyelanı, yol ve diğer alt yapılarda her yıl zarara sebep olmaktadır. Hareketler aynı zamanda heyelanın hareket yönünde yer alan yapılar için büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Bu nedenlerden dolayı

Corvara heyelanı 1997'den beri çeşitli izleme cihazlarıyla araştırma altına alınmıştır (Şekil 2.7). 47 izleme noktasının bir ağ üzerinde farklı GPS ölçümleri heyelanın yüzeyindeki yatay hareketlerin bir yıl içinde birkaç cm'den 1 m ye kadar farklı oranlarda değiştiğini göstermiştir. Aynı dönemde, düşey hareketler birkaç cm'den 10 cm ye kadar değişmiştir. İnklinometre ve TDR kablolar gibi sistemleri ile de aynı hareket oranları kaydedilmiştir. Bu veriler sonucunda heyelanın hareketli kısmının yaklaşık 50 milyon m^3 hacme sahip olduğu tahmin edilmiştir (Corsini ve ark., 2005).



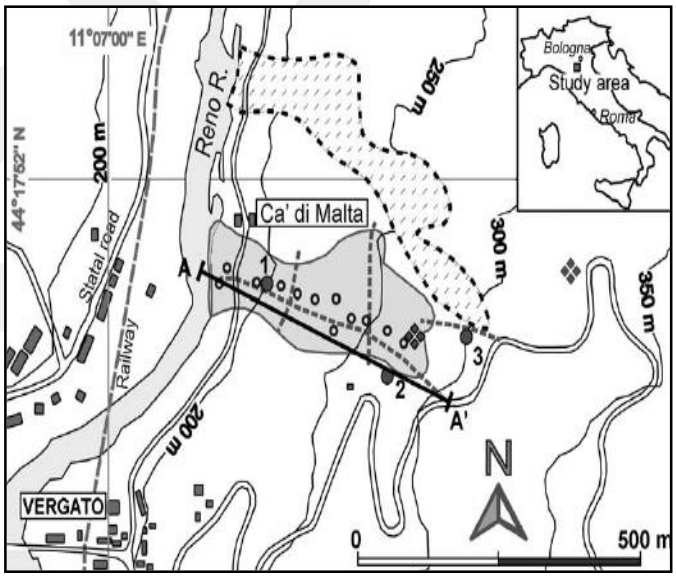
Şekil 2.7. Corvara heyelanının izleme noktaları (Corsini ve ark., 2005)

Kuzeybatı İtalya'da Teverone Dağındaki Tessina Heyelanı: Teverone dağının güneyinde geniş yamaç kırılmasıdır (Şekil 2.8.). Heyelan ilk 1960 yılında harekete geçmiş ve iki köy için tehlike oluşturduğu için sahaya piezometre, inklinometre, ekstensometre ve otomatik elektronik mesafe ölçerler yerleştirilmiş olup sahada 6 saatte bir ölçüm yapılmıştır. Bu makalede, yüzey deformasyonlarının önemli kayıtlarını sağlayan elektronik mesafe ölçer (EDM) veri kümesi üzerinde odaklanılmış, heyelan hareketini gösteren bir analiz sunulmuştur. Analiz, dört farklı hareket davranışının olduğunu göstermiştir Yeraltı suyu koşulları ile öncelikle kontrol edilen heyelan aşağı doğru ilerlerken dört hareket evresi görülmektedir. Bu modelleme sonucunda yeraltı suyu değişiminin bir sonucu olarak farklı heyelan kısımları için gözlemlenmiş farklı heyelan davranışları ortaya konulmuştur (Petley ve ark., 2005).



Şekil 2.8. Dört izleme noktası için zamana karşı deplasman grafiği (Petley ve ark., 2005)

Ca'di Malta heyelanının izlenmesi için GPS ve dijital fotogrametre uygulaması: Bu çalışmada İtalya'nın kuzeyinde Emilia-Romagna bölgesinde heyelan hareketini incelemek için sayısal fotogrametri ve üç GPS tekniğinin birleşimi kullanılmıştır (Şekil 2.9.). 0,1 m düşey hassasiyete sahip 0,5 m hücre boyutlu sayısal yükseklik modeli (DEM) sayısal fotogrametrik teknikler kullanılarak oluşturulmuştur. 7 ay boyunca süren gözlemler, heyelanın alanı içinde diğeri heyelan dışında sabit bir yere yerleştirilmiş iki GPS alıcısıyla yapılmıştır. Sırasıyla, statik ve kinematik gözlemler için birkaç mm den birkaç cm arasında değişen ölçüm oranları GPS ile yapılmıştır. Heyelanın geometrisi, kapladığı alan ve evrimi hakkında bilgi alınmıştır (Mora ve ark., 2003).



Şekil 2.9. Ca'di Malta heyelanının konumu; ○ GPS, ● İnklinometre ve Piezometre konumları (Mora ve ark., 2003)

Maratea Vadisindeki kütle hareketlerinin GPS ile izlenmesi ve yeni veriler: Bu çalışma İtalya, Basilicata bölgesinde bulunan Maratea vadisinde uygulanmıştır. 1983 ve 1996 yılları arasında kütle hareketleri kızılötesi mesafe ölçüm aletiyle (EDM) mesafelerdeki değişim gözlenmiştir. 1997 ve 2000 yılları arasında yaklaşık 50 değerlendirme noktası üzerinde izleme sonuçları makalede sunulmuştur. Vadinin alt kısmında mostra veren kil formasyonu üzerine kurulmuş olan istasyonlarda sürekli olarak hareketin varlığı gözlenmiştir. (Rizzo ve Leggeri, 2004).

Pilbora Demir Madeni Şevlerinde Deformasyon İzleme ve Ters Hız Yöntemi: 2009 ve 2010 da Rio Tinto'nun Pilbora demir madeninde meydana gelen şev kaymalarının zamanını, izleme verilerini kullanarak tahmin etmesini içerir. Test edilen yöntemler; CUSUM, ters hız, hız-zaman eğimi ile çapraz hız (SLO) kullanılmıştır. Bu makale, yöntemlerin her birinin analizlerini değerlendirerek yaklaşmakta olan duraysızlığın erken bir habercisi olmuş ve kaymanın başlama zamanını tahmin etmiştir. Bu iki analizde de personel ve makinalar zarar görmeden kayma gerçekleşmiştir (Venter ve ark., 2013).

Avusturya Alp'lerinde kaya düşmelerinin zamana bağlı tahmini: Şev eğimindeki dengesizliği değerlendirmek ve kaya düşmesinin zamana bağlı tahminlerini yapmak için kaya çatlaklarındaki dilotometrik ölçüm sonuçlarının nasıl kullanılacağını göstermeyi amaçlamışlardır. Kuzey Bohemya'da çevre yolu üzerindeki kumtaşından oluşan bir şevde kayma tehlikesi gözlemlenmiş ve 7 günlük hassas ölçüm ile 1 gün farkla kaya düşmesi zamanı tahmin edilmiştir. Aynı coğrafi bölgede bir uçurumda kaya düşmesi tehlikesi algılanmış ve 5 ay öncesinden tahmini yapılmıştır. İzleme yöntemi kullanılarak kayanın düşeceği ispatlanmıştır. 1990 yılında Avusturya Alp'lerinde 2 yıl süren izlemenin ardından kaya düşmesi tahmini sağlanmıştır (Zvelebill ve Moser, 2001).

Bjerrum ve Jørstad (1968) kaya yamaçlarının stabilize değerlendirmesinde gözlemsel yöntem önermiştir. Sayısal-Statik analizlerin uygulama zorlukları ile ilgili olarak kaya şev stabilitesi süreksizlik gelişimi sırasında şev hareketlerindeki değişikliklerde karakteristik özellikleri kullanmayı önermiştir. Sundukları yöntem, günler ile haftalar arasında değişen bir şev kaymasının tarih tahminini başarıyla kanıtlamıştır. Söz edilen 3 vakada tahmini işlem dışında ayrıca Obervational Metodu'nu orta ve uzun süreli tahminler için kullanmışlardır.

Kayma zamanı ve karakteristik özelliğini tanımlamak için ters hız yönteminin kullanılması: Bozzano ve ark. (2018) heyelanların ve yapı çökmelerinin tahmin edilmesi için araç olarak ters hız yöntemini kullanmışlardır. Dört farklı heyelanın davranışını

inceleyen yazarlar ters hız metodunun uygulanması için standart prosedürler dışında spesifik olarak, hız verilerinin filtrelenmesi için kılavuz çizgileri ve ters hız yöntemini birlikte kullanarak 1. ve 2. Alarm eşiği belirlemişlerdir.

Çek Cumhuriyeti'nde bulunan bir linyit ocağında yapılan çatlak analizi: Kuzey Bohemya'da (Çek Cumhuriyeti) bulunan bir açık ocak linyit işletmesindeki şevlerde oluşan çatlaklarda, iki boyutlu limit dengesi ve sonlu elemanlar metodu stabilite analizlerini geliştirmek için jeolojik, jeomorfik, jeoteknik, jeolojik veriler dahil olmak üzere farklı coğrafi bulgular kullanmışlardır. Limit dengesi duraylılık analizleri ile sonlu elemanlar olasılık analizleri ayrıntılı çalışılıp sonuçlarını karşılaştırmışlardır (Vanneschi ve ark., 2018).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Genel

Bu bölümde, TKİ Ilgın Çavuşcugöl açık kömür ocağının tarihçesi, coğrafi konumu, rezervi, kömür özellikleri ve madencilik faaliyetleri ile ilgili bilgiler aşağıda sunulmuştur.

3.2. TKİ Ilgın Açık Linyit Ocağı İşletmesi

3.2.1. Tarihçe

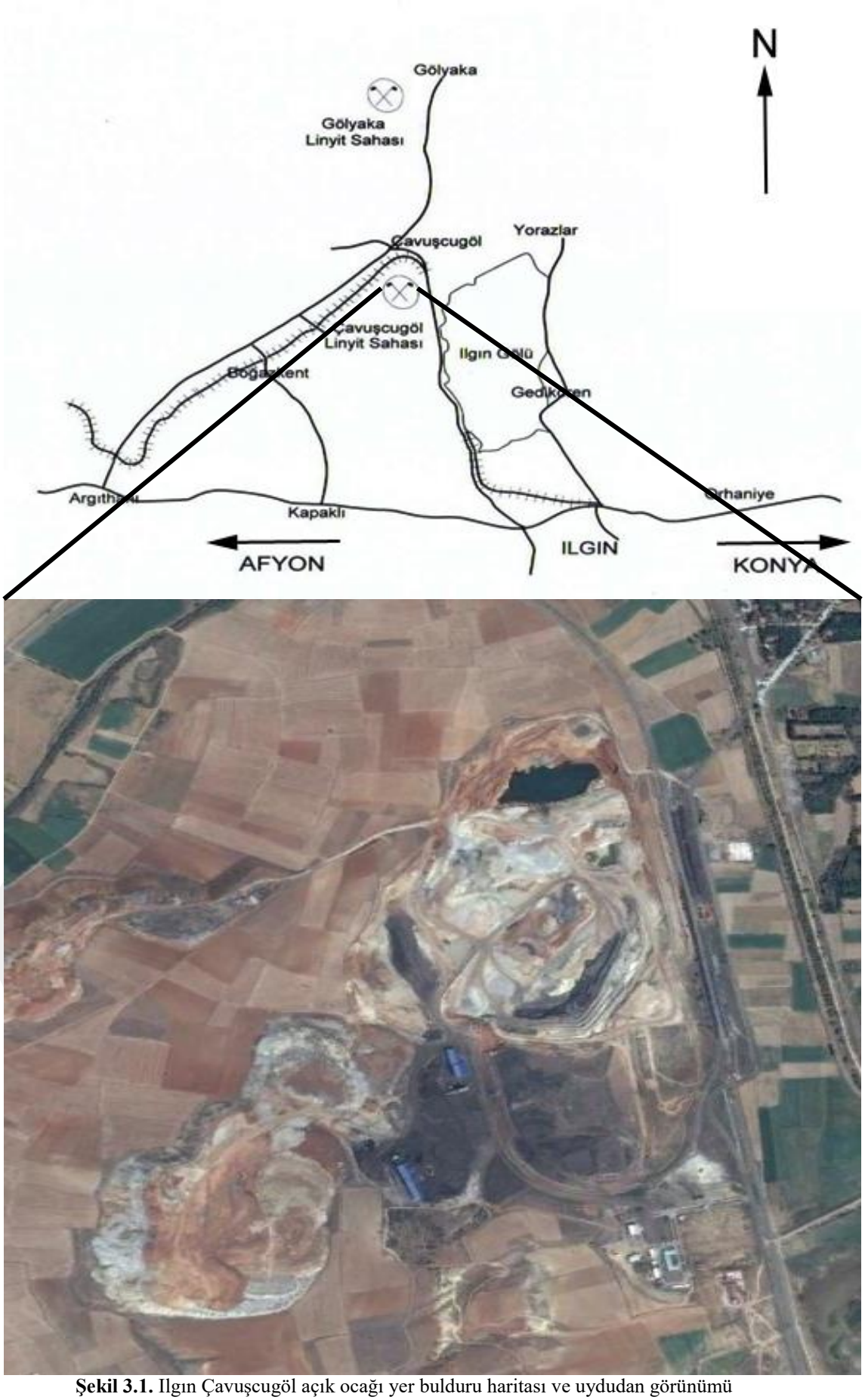
TKİ Yönetim Kurulunun 28.11.1978 tarih ve 1976 sayılı kararı ile Beyşehir Linyitleri İşletmesi adı altında kurulan işletme, Yönetim Kurulunun 11.10.1983 tarih ve 2892/1335 sayılı kararı ile "S.S. Konya Linyitleri İşletmesi Müessesesi Müdürlüğü" ne dönüştürülmüştür.

31.12.1989 tarihi itibariyle Müessesenin tüzel kişiliği sona erdirilerek, doğrudan Genel Müdürlüğe bağlı İşletme Müdürlüğü; 01.04.2004 tarihinden itibaren de Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi'ne (GLİ) bağlı "Ilgın Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü" olarak faaliyetlerini sürdürmüştür.

Konya ili Ilgın ilçesi sınırları dâhilindeki Çavuşcugöl açık ocak kömür sahası, TKİ Yönetim Kurulunun 08.11.2012 tarih ve 35/462 no'lu kararı ile rödovans karşılığı işletilmek üzere Yeni Çeltek Kömür ve Madencilik A.Ş'ye devredilmiştir. Firma sahanın işletilmesi işi için Düzgün İş Makineleri İnş. Madencilik San. Ve Tic. A. Ş. ile sözleşme kapsamında anlaşma sağlamış olup; firma üretim faaliyetlerine 18.04.2013 tarihinde başlamıştır.

3.2.2. Coğrafi konum ve ulaşım

Çavuşcugöl linyit ocağı, İç Anadolu'da Konya iline bağlı Ilgın ilçesinin kuzeyinde yer almaktadır. Sahanın uydu görüntüsü ve yer bulduru haritası Şekil 3.1'de verilmiştir. Çalışma sahası Ilgın'ın kuzeyinde, ilçe merkezine 15 km. mesafede olup, Ilgın ilçesi; Konya-Afyon karayolu üzerinde, Konya'nın kuzeybatısında ve Konya'ya 87 km. mesafededir. Ilgın-ocak yolu asfalt olup yaz-kış ulaşıma açık niteliktedir. Çavuşcugöl linyit ocağı Konya-Afyon demiryolu güzergâhı üzerinde bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Ilgın Çavuşcugöl açık ocağı yer bulduru haritası ve uydudan görünümü

3.2.3. İklim

İşletme sahası, Orta Anadolu Bölgesi'nin tipik karasal iklimi etkisindedir. Ancak Göller Bölgesi'ne komşu olması nedeniyle, Göller Bölgesi ve İç Ege iklimi ile geçiş durumu gösterir. Genelde yazları sıcak ve kurak, kışlar yağışlı ve soğuk geçer.

Devlet Meteoroloji İşletmesi (DMİ) tarafından kurulan ve 1970 Ocak ayından itibaren verileri olan meteoroloji istasyonu, 2012 yılının Ocak ayından sonra veri almamıştır. En fazla yağışın Nisan (52,08 mm) ve Aralık (49,19 mm) aylarında olduğu görülmüştür. Toplam yağış ortalaması 423,63 mm olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Ilgın Meteoroloji İstasyonu verileri (1971-2012)

METEOROLOJİK ELEMANLAR	AYLAR												YILLIK MİKTAR
	OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK	
ORT. SICAKLIK (°C)	-0,2	1,2	5,3	10,5	14,9	19,2	22,5	21,7	17,2	11,7	6	1,8	10,98
ORT. NEM (%)	74,2	70,6	65	61,6	61,3	57,1	52,5	53,2	57	64,7	69,6	74,2	63,42
ORT. YAĞIŞ (mm)	38,49	38,74	42,38	52,08	48,29	35,35	12,68	10,24	15,18	40,3	40,67	49,19	423,63
ORT, KAR YAĞIŞLI GÜN	6,3	6,2	4,6	1	0,1	-	-	-	-	0,1	2	4,5	11,5

3.2.4. Proje konusu sahanın jeolojisi

3.2.4.1. Stratigrafi

Neojen öncesi kayaçlar: Plaeozoyik yaşlı şist ve kuarsitler ile Mesozoyik yaşlı (muhtemel jura-Kretase) kireçtaşları kömür oluşumu baseninin temelini oluşturan kayaçlardır. Bu kayaçlar, ruhsat sahası batı kısmında yüzeylenmekle beraber, ayrıca temel paleotopografyasını tespite yönelik Ç-3, Ç-10, Ç-11 nolu sondajlarda kristalize kireçtaşına kadar, Ç-4, Ç-5, Ç-9 nolu sondajlarda ise temele yakın birim olan taban konglemerasına kadar ilerleme yapılmıştır.

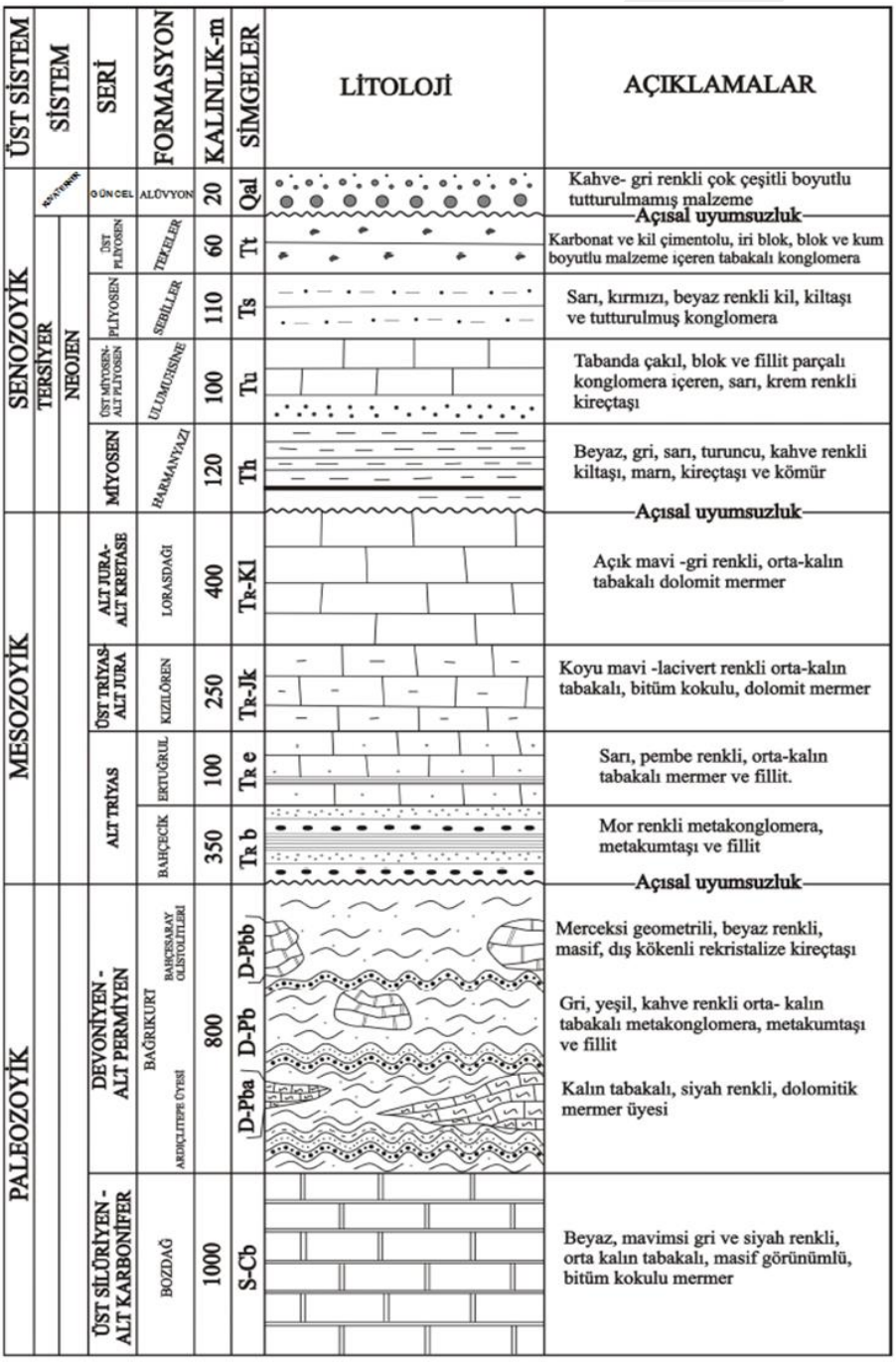
Neojen kayaçları: Neojen kayaçları pliyosen yaşlı çökellerle temsil edilir.

Taban çakıltaşları ve kil ardalanması (plçt): Taban Çakıltaşları; temeldeki şist,kuvarsit ve kalsit damarlı kristalize kireçtaşı çakıllarının çimentolanmasıyla oluşur. Yer yer silisleşme görülür. Genellikle sıkı çimentoludurlar. Serinin üst sevileri daha ufak çakıllı olup,kumtaşlarına ve killi kumtaşlarına geçiş gösterirler.

Kömür Horizonu: Linyit horizonu linyitli kil-killilinyit-kil-linyit ardalanması şeklindedir.

Killi kireçtaşı-kil ardalanması (Plk): Linyit horizonu üzerine kalınlığı 14-24 metre arasında değişen Ç-5, Ç-6, Ç-8 no'lu sondajlarda görülen killi kireçtaşı ve kil ardalanması gelmektedir.

Kırmızı renkli çakıllı kumlu siltli kil (PL): Pliyosen birimlerinin üst bölümünü çakıllı, kumlu, siltli kil karmaşığı oluşturur. Bu birim yanal ve düşey yönde birbirine geçiş gösterir. Sondajlarda belirlenen kalınlığı 3-175 m arasında değişmektedir.



Şekil 3.2. Çavuşcugöl ve Kurugöl genelleştirilmiş dikme kesiti (Hüseyinca ve Eren, 2007)

3.2.4.2. Yapısal jeoloji

Kömür tabaka eğimleri; görünür rezerv alanının güney kesiminde 13° doğu eğim yönlü, kuzey kesiminde ise 3° kuzeydoğu-güneydoğu eğim yönlüdür. Kömürleşme baseninde önemli bir faylanma bulunmamaktadır. Ancak Ç-17, Ç-12, Ç-7, Ç-21, Ç-26 sondajlar istikametinde doğrultusu bulunan ve sondaj kömür giriş kot değerlendirmesiyle tespit edilen ve kömür oluşumu sırasında meydana gelmiş pliyosen yaşlı genç gömülü fay aynı zamanda kömür oluşumunun yayılımını sınırlamakta aynı zamanda görünür-muhtemel rezerv sınırını oluşturmaktadır.

Kömürlü Zonun Özellikleri: Rezerv alanı içinde işletilebilir tüvenan kömür kalınlığı = 0,60-21,55 m arasında değişmektedir.

Kömür oluşumu esnasında havzaya materyal gelişi dolayısıyla ortamın hareketliliğine bağlı olarak zonda ve kömür içindeki ara kesmelerde kalınlaşmalar meydana gelmiştir.

Nitekim rezerv alanının kuzeybatı ve kuzeydoğu kesimlerinde çökelme ortamının hareketliliğine bağlı olarak kömür zonundaki ara kesmelerde kalınlaşma ve ardalanmalar meydana gelmiştir.

Diğer taraftan sondaj çalışmalarında kömür karot numunelerinin gözlemsel incelenmesi ve laboratuvar analiz (kalori, kül, kükürt) neticelerinin değerlendirilmesi sonucunda kömür zonunda renk ve kükürt değerleri bakımından iki farklı kısım tespit edilmiştir.

Kömür zonunun üst kısmında; görünür rezerv alanında işletilebilir net kömür kalınlığı:1,58-11,88 m kalorisi: 220-3500 alt ısıl değer (AID), yanıcı kükürt: 4-7,5 arasında değişen ve kül ergime derecesi 1322 olan gri-açık yeşil renkli linyit mevcuttur.

Kömür zonunun gri-açık yeşil renkli linyitten sonraki kısmında ise, görünür rezerv alanında işletilebilir net kömür kalınlığı: 1,30-11,77 m, kalori: 200-3500 alt ısıl değer (AID), yanıcı kükürt: 2,5-3,5 arasında değişen ve kül ergime derecesi 1256 olan siyah renkli bitki izli linyit mevcuttur.

Gri-açık yeşil linyit Maden Tetkik Arama (MTA) laboratuvarında yapılan petrografik incelenmesinde linyitli kalkerli kil taşı tanımlanması yapılmıştır. Görünür rezerv alanı içindeki kömür zonu içerisindeki linyit ve ara kesme kalınlıkları yanal ve düşey yönde değişken olup, sondajlardaki linyit ve ara kesme seviyelerini kalınlık ve kalite yönünden tolere etmek mümkün olmamaktadır.

3.2.5. Rezervler ve rezervin tespit yöntemleri

Sahayı da içine alan Çavuşcugöl/Ilgın kömür zuhuratında yapılan toplam 26 adet sondaj verileri kullanılarak, yoğunluk 1,5 ton/m^3 alınmak suretiyle ve poligon yöntemine göre T.K.İ. tarafından yapılan rezerv hesabında toplam işletmeye yönelik üretilebilir rezerv 11.373.121'dir. Ancak projeye konu S.71666 no'lu sahamızda poligon metoduna ve yoğunluk 1,2 ton/m^3 alınmak suretiyle yapılan hesaba göre işletilebilir rezerv 10.236.000 ton'dur.

3.2.6. İşletme yöntemi

Sahada, basamak metodunun uygulanacağı açık işletme sistemi ile üretim yapılacaktır.

Basamak şev açısı : Doğu Kısmı 33^0, Batı Kısmı 45^0
Basamak genişliği : 10 m-8 m.
Basamak yüksekliği : 7 m-8 m.
Genel şev açısı : 33^0 olarak alınacaktır.

Dekapaj yüklenici marifetiyle yapılacak olup, kömür üstü temizlik, ara dekapaj ve kömür yükleme emanet usulü yapılacaktır.

Formasyonların orta sert olması dolayısıyla işletme sırasında patlayıcı madde kullanılmayacaktır. Kömür üstündeki örtü ekskavatörler ile kazılıp yüklenmektedir.

Yüklenici firma marifetiyle dekapajı yapılıp üzeri açılan kömür de yüklenici marifeti ile stok sahasına nakledilip serilerek stok yapılmakta ve rutubetini yeteri kadar yitirince iri parçalar ufaltılmaktadır. Buradan müşteri araçlarına yüklenmektedir. Ayrıca ocaktan müşteri araçlarına doğrudan yükleme de yapılabilmektedir.

3.3. Sahada Yapılan Çalışmalar

TOPCON GR5 ve GPS ile sahaya 2 adet poligon tesis edilmiştir. Bu poligonlardan faydalanılarak deformasyon ölçümlerinin yapılacağı bölgeye (Şekil 3.4-3.7) Leica TS09 Plus (Şekil 3.8-3.9) marka total station ile geriden kestirme yöntemi uygulanarak 2 adet poligon tesis edilip taşınmıştır. Bu poligonları kontrol etmek için ise, çalışma alanı yakınlarında sabit nokta belirlenmiştir.

Heyelan riski olan şev üstünde 5 adet nokta tesis edilip 3 tanesinde hareket gözlenmiştir. Total station ile deformasyon olan alanda poligonlara geriden kestirme

yöntemi ile, poligonların kontrolleri sabit noktadan sağlanarak, total station ölçüme hazır hale getirilmiştir. 2 gün ara ile 2,5 aylık jeodezik ölçüm alınmıştır.

Bu ölçümler sonunda aynı noktaların X, Y, Z değerleri belirlenmiştir. Her noktanın 2 günlük periyotları ile X, Y, Z değerleri karşılaştırılarak hareketin yönü ve miktarı belirlenmiştir.

Bu ölçümler NetCAD yazılımı yardımı ile hareketin yönü ve miktarı tekrar kontrol edilmiştir.

GPS ile ITRF96 projeksiyonunda poligon ölçümleri yapılmış olup, bu poligon koordinatları Z kot değerlerinden, elipsoit kot farkı olan Ilgın değeri, 36,85 fark okunan değerden düşürülerek, ED50 3 derece projeksiyonuna dönüştürülmüştür.

Şekil 3.4. Maden sahasında oluşan bir gerilim çatlağı

Şekil 3.5. Ölçüm alanındaki gerilim çatlağı

Şekil 3.6. Maden sahasından bir görünüm

Şekil 3.7. Ölçü sahası

Şekil 3.8. Ölçümlerde kullanılan Leica TS09 Plus (Şekil 3.9) marka total station

Şekil 3.9. Ölçüm için kullanılan Leica TS09 Plus total station cihaz kurulumu

Ölçüm sisteminin esasını jeodezik ağ oluşturmak yolu ile ocakta jeodezik ölçümler alınması oluşturmaktadır. Bir jeodezik ağ şevdeki hareketli bölgenin etrafında, üstünde ve hareketin olmadığı bölgelerde kontrol amaçlı oluşturulan prizmalardan meydana gelir. Şevdeki ölçüm istasyonundan prizmalara olan açılar ve mesafeler hareketin izlenmesi amacıyla düzenli olarak ölçülür. Sabit kontrol noktalarının stabil bir yüzey üzerinde olması çok önemlidir. Zemin hareketlerinin jeodezik ölçülerle saptanması için uygulanan yöntem, incelemeye konu olan bölgenin, hareket beklenen, hareket beklenmeyen ve hareketinden kuşku duyulan kesimlerinin jeodezik kontrol ağı oluşturmak ve bu ağın belli zaman tekrarlama ölçüsü sonucunda elde edilecek nokta

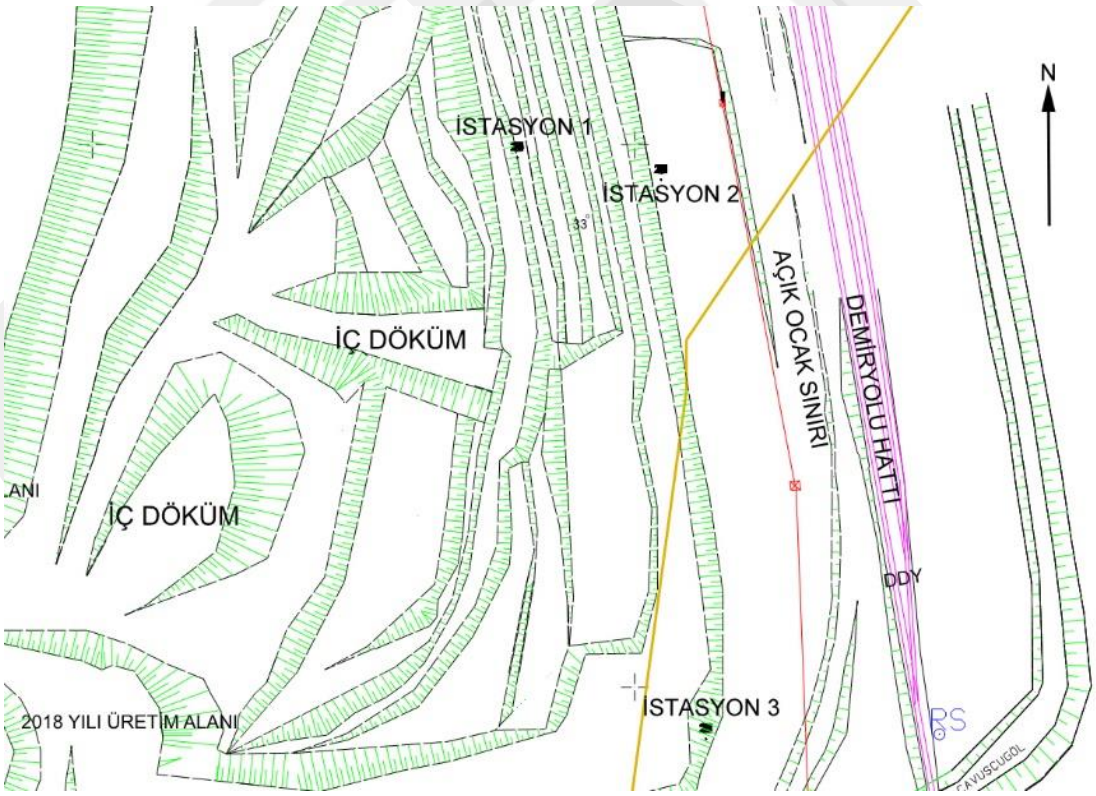
koordinatlarının zamanla değişiminin matematik istatistik test yöntemleriyle analizi esasına dayanır. İstasyonların bulunduğu hareketli bölgelerde üç adet sabit poligon noktası tesis edilmiş ve hareketin olduğu bu üç noktada teodolit yardımı ile belirli zaman aralıklarıyla X, Y ve Z koordinatları okunmuş ve kaydedilmiştir.

Bu çalışmada, Şekil 3.10'da görüldüğü gibi bazı kısmi kaymaların ve şev üzeri çekme çatlaklarının görüldüğü bölgeler tespit edilerek bu bölgelerde olası kayma miktarı ve yönünü tespit etmeye yönelik çalışmalar yapılmasına karar verilmiştir. Bu kapsamda olası kayma bölgesi (Şekil 3.11) üzerinde 3 adet jeodezik ölçüm istasyonu kurulmuş ve periyodik aralıklarla bu istasyonlardan yatay ve düşey deformasyonları tespit etmeye yönelik ölçümler alınmıştır. Çizelge 3.2'de ölçüm istasyonlarında yapılan ölçümlerin tarihleri görülmektedir. Çizelge 3.2'den de görüldüğü üzere ölçümler 5 Kasım 2018 tarihinde başlamış ve son ölçüm 25 Şubat 2019 tarihinde alınmıştır. Toplamda 23 adet yapılan ölçümler 112 gün sürmüştür. Yapılan ölçümler neticesinde 1 nolu istasyonda 235 mm, 2 nolu istasyonda 346 mm ve 3 nolu istasyonda da 182 mm toplam deformasyon (üç yönlü deformasyonun bileşkesi) tespit edilmiştir (Şekil 3.11).

Çizelge 3.2. Jeodezik ölçüm tarihleri

Ölçüm No	Ölçüm Tarihi	Ölçüm No	Ölçüm Tarihi	Ölçüm No	Ölçüm Tarihi
1	5.11.2018	9	15.12.2018	17	25.01.2019
2	10.11.2018	10	21.12.2018	18	31.01.2019
3	15.11.2018	11	25.12.2018	19	5.02.2019
4	20.11.2018	12	31.12.2018	20	9.02.2019
5	25.11.2018	13	5.01.2019	21	15.02.2019
6	30.11.2018	14	10.01.2019	22	20.02.2019
7	5.12.2018	15	16.01.2019	23	25.02.2019
8	10.12.2018	16	20.01.2019		

Şekil 3.10. Sahada görülen çekme çatlakları ile kısmi kaymaların gözlendiği ve muhtemel duraysızlıkların oluşması beklenen şevler



Şekil 3.11. Jeodezik ölçüm istasyonların kurulduğu yerleri gösteren plan

3.4. Şev Kaymasının Modellenmesi

Tez çalışmasının gerçekleştirildiği ocakta şev hareketinin mevcut olduğu gözlemlenmiştir. Ciddi sonuçları olabilecek bu hareketliliğin ne tür bir eğilim içerisinde olduğunun belirlenmesi açısından her bir istasyondaki gerçek deformasyon verisi istatistiki olarak incelenmiş ve genel eğilim kapsamında her bir istasyon için bir matematiksel eşitlik geliştirilmiştir. Burada amaç eldeki 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 ve Niermeyer, 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 (Zvelebill ve Moser, 2001). Yine bu çalışmaya benzer çalışmalar TKİ-GLİ Ilgın ve Yatağan linyit açık ocaklarında gerçekleştirilmiş, oluşan çekme çatlakları üzerinde deformasyon ölçümleri yapılarak bir matematiksel eşitlik geliştirilmeye çalışılmıştır. Söz konusu çalışmalarda deformasyon ile zaman arasında yüksek korelasyon içeren bağıntılar belirlenmiş ve gerçek veri ile eşitlikten elde edilen veri karşılaştırılmıştır (Özşen ve Özkan, 2013; Özşen ve Kurt, 2015; Özşen, 2017). Bu çalışmada ise Özşen ve ark. (2019)'nın geliştirmiş olduğu bağıntı uygulanmış ve Eşitlik 3.1 revize edilerek Eşitlik 3.2 oluşturulmuştur.

$$U = C_1(1 - e^{-t}) + C_2 t + (C_3 t)^{C_4} \tag{3.1}$$

$$U = C_1 \log(t) + C_2 t + (C_3 t)^{C_4} \tag{3.2}$$

Burada,

U : Deformasyon miktarı (mm)

t : Zaman (gün)

C_1, C_2, C_3 ve C_4: Uygun istatistiksel parametrelerdir.

3.4.1. Şev kayma zamanının tahmin edilmesi

Şev kayma zamanının (t_k) tahmin edilmesi oldukça kritik bir araştırma konusudur ve zamana göre yer değiştiren jeo-materyallerin reolojisinin bilinmesini gerekli kılar (Varnes, 1983). Fakat altta yatan fiziksel fenomenler tam olarak aydınlatılamadığı için bu bilgilerin kullanımı hala araştırmacılar arasında tartışma konusu olmuştur. Özellikle toprak/kaya kütlesinin heterojenliği dikkate alındığında, böylesi ilişkilerin daha geniş problemler için genişletilmesinin uygunluğu da hala sorgulanmaktadır. Çünkü çoğu durumda mekanik parametreler ve sınır şartlarını tam olarak belirlemek mümkün değildir. Ayrıca yağmur, sel gibi dış etkenleri de tahmin etmek zor olacağından bu tetikleyici faktörleri dikkate alarak bir öngörüde bulunmak oldukça zorlu bir süreç olacaktır.

Bahsedilen bu nedenlerden ötürü genellikle t_k tahmini için deneysel yaklaşım tercih edilir. Bu yaklaşımda kabaca zamana göre kütledeki kaymaların deneysel olarak gözlemlenmesi sonucunda elde edilen bir matematiksel fonksiyon kullanılarak t_k tahmini yapılır. Bahsi geçen bu fonksiyon genellikle laboratuvar ortamında gerçekleştirilen sünme deneyleri sonuçları kullanılarak elde edilir ve çökme öncesi izlenen yüzey kaymaları ile ilişkilendirilir. Bu yaklaşıma "fenomonolojik" yöntem adı verilir ve t_k tahmini için ortaya atılmış pek çok yöntem geliştirilmiştir.

Genel olarak sünmeye maruz kalan çoğu malzemede zaman-gerilme davranışı benzerdir ve şu şekilde gözlemlenir:

- Gerilme oranının logaritmik olarak azaldığı birincil sünme,
- Gerilme oranının sabit kaldığı ikincil sünme ve
- Çökme gerçekleşene kadar gözlemlenen ve hızlı bir şekilde artan gerilme oranının görüldüğü üçüncül ya da ivmelenmiş sünme

t_k tahmini için geliştirilen "fenomonolojik" yöntemler genel olarak iki kategoriye ayrılabilir:

1. Fiziksel olarak uygun yöntemler: regresyon eğrisi genellikle kütlenin reolojik davranışı ile uyumludur.
2. Sadece-regresyon bazlı yöntemler: regresyon eğrisi kütlenin reolojik özelliklerinden ziyade kütlenin gözlemlenen deneysel davranışı ile uyumludur.

Bunun yanı sıra ilk kategorideki yöntemler de (i) sadece kritik tahminin (t_k tahmininin) yapıldığı yöntemler ve (ii) orta- ve uzun-vadeli kayma davranışı tahminlerinin yapıldığı yöntemler olmak üzere iki ayrı alt kategoride incelenebilir.

3.4.1.1. Fiziksel olarak uyumlu yöntemler

Kritik tahmin yöntemleri:

Şev kayma zamanı (t_k) tahmini için geliştirilen ilk fenomonolojik yöntem Saito ve Uezawa (1961) ve Saito (1965) tarafından ortaya atılmıştır. Laboratuvar ortamında kontrollü yükün kullanıldığı üç eksenli testler kullanılarak ikincil sünme sırasında gerilim ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra Saito (1969) elde ettikleri ilişkiyi üçüncül sünmeye uyarlamış ve

$$(t_f - t)\dot{\varepsilon} = a \tag{3.3}$$

şeklinde bir ifade elde etmişlerdir. Burada t_f kayma zamanını (t_k), $\dot{\varepsilon}$ gerilme'nin birinci dereceden türevini, a sabit bir değeri sembolize etmektedir. Buna göre gerilme oranı ile t_k arasında bir ters orantı bulunmaktadır. Başlangıçta $\varepsilon_0=0$ ve $t=t_0$ olarak kabul edilir ve Eşitlik 3.3'ün integrali alınırsa:

$$\varepsilon = a.In\frac{t_f - t_o}{t_f - t} \tag{3.4}$$

elde edilir. Buradaki birim deformasyon oranı,

$$\varepsilon = \frac{\Delta\eta}{l_0} \tag{3.5}$$

$\Delta\eta$: seçilen iki nokta arasındaki relatif yer değiştirme, l_0: seçilen iki nokta arasındaki ilk uzaklık

Saito (1979) bu yöntemle 1970'te gerçekleşen Takayabama toprak kaymasını tespit edebilmiştir. Suwa (1991) ise yine bu yöntem ile Japonya'daki Saigo köyünde bulunan karayolunda gerçekleşen kaya düşmesini başarılı bir şekilde tahmin edebilmiş ve bu sayede kaza ve ölümlerin önüne geçilebilmiştir.

Bazı şev kaymalarının Eşitlik 3.3 ile tahmin edilemediğini gören Yamaguchi (1978), aşağıdaki daha genel denklemi ortaya koymuştur:

$$(t_f - t)\dot{\varepsilon}^{\alpha} = a \tag{3.6}$$

buradaki α katsayısı herhangi bir değer alabilir. Azimi ve ark. (1988) ise Eşitlik 3.3'ün çözümü ve t_f'in tahmini için Asaoka (1978) tarafından ortaya atılan yönteme dayalı olarak bir grafiksel prosedür geliştirmişlerdir. Bu prosedürün altında yatan temel fikir, yer değiştirme oranının sonsuza gittiği anın kayma anı olacağıdır.

Hayashi ve ark. (1988) (a,b) ise üçüncül sünmeyi iki aşamaya ayırmışlardır: ilk kısımda deformasyon oranı ve deformasyon arasındaki ilişki lineerdir, ikinci kısımda deformasyon oranının logaritması deformasyon ile orantılı olarak artar. İkinci aşama için elde ettikleri eşitlik:

$$(t_f - t)\dot{\varepsilon}^{\alpha} = a\varepsilon^{\alpha} \tag{3.7}$$

şeklindedir.

Fukuzono (1985) yaptığı deneysel çalışmada monoton bir şekilde artırdığı yük altında çökme davranışını izlemek için küçük-ölçekli şev modelleri kullanmıştır. Buna göre hızlı çökmelerde yer değiştirmenin ikinci dereceden türevinin ($\ddot{\eta}: ivme$) yer değiştirmenin birinci dereceden türevi ($\dot{\eta}: hız$) ile şu şekilde ilişkili olduğunu bulmuştur:

$$\ddot{\eta} = a\dot{\eta}^{\alpha} \tag{3.8}$$

α>0 ve α>1 için Eşitlik 3.7'nin integrali (t'ye göre) alınırsa,

$$\dot{\eta} = [a(\alpha - 1)(t_f - t)]^{-[1/(\alpha-1)]} \tag{3.9}$$

elde edilir. Buradaki denklemde α=2 olursa Eşitlik 3.9'daki ifade Eşitlik 3.3'deki ifade haline dönüşür. Buradaki denklem;

$$\frac{1}{\dot{\eta}} = [a(\alpha - 1)(t_f - t)]^{[1/(\alpha-1)]} \tag{3.10}$$

şeklinde de ifade edilebilir. Ters hız yöntemi olarak bilinen bu yöntem pek çok başarılı uygulamada kullanılmıştır. Fakat yöntemin başarısı gözlem verilerinin frekansı ve düzenliliğinden oldukça yoğun bir şekilde etkilenmektedir.

Orta/Uzun dönemli tahmin yöntemleri:

Kawamura (1985), çökme zamanının tahmininden öte daha uzun vadede kayma hızını modellemek için "indüktif" bir model geliştirmiştir:

$$\frac{1}{\dot{\eta}} = a(b - t)t \tag{3.11}$$

Bu model sünme teorisine dayalı olarak yapılan sayısal analizlerin ve pek çok gözlem verisinin derlemesi ile oluşturulmuştur. Bu ilişki tüm sünme süreci boyunca uygulanabilir. η=0 ve t=t_0 başlangıç şartları altında Eşitlik 3.11'in çözümü elde edildiğinde;

$$\eta = \frac{1}{ab} In\left\{\frac{t}{b-t}\,\frac{b-t_0}{b_0}\right\} \tag{3.12}$$

olur. Kawamura (1985) aynı zamanda Eşitlik 3.11'in aşağıdaki lineer formu ile, ölçüm sonuçlarına en iyi uyan doğruyu kullanarak a ve b katsayılarını bulan bir yöntem önermiştir:

$$\frac{(t_{i+1}-t_i)}{t_i} = f(t_{i+1}) = \alpha - \beta t_{i+1} \quad (3.13)$$

burada t_{i+1} ve t_i, belirli bir zaman aralığının sınır değerleri, α ve β sırasıyla exp(Δηab) ve α/b'ye eşittir (Δη: sabit yer değişimi artışı).

Tüm sünme süresi boyunca gerçekleşen davranışı modelleyen bir diğer sünme-deformasyon ilişkisi Fukuzono (1996) tarafından gerçekleştirilmiştir:

$$\ddot{\eta} = a(t-b)\dot{\eta}^2 \quad (3.14)$$

3.4.1.2. Sadece regresyon tabanlı yöntemler

Regresyon analizi, farklı değişkenler arasındaki ilişkinin eğilimini öngörmede kullanılan istatistiksel bir araçtır. Ayrıca, regresyon, ikili veya kategorik bir yanıt olasılığını tahmin etmek için bir veya daha fazla bağımsız değişken içeren istatistiksel bir tekniktir. Bağımsız değişkenler ile bağımlı bir değişkenler arasındaki ilişkiyi gösteren matematiksel bir modelleme yaklaşımıdır. Regresyon, bağımlı değişkenin 1 olduğu belirli bir olayın meydana gelme ihtimalini tahmin etmek için gereken formülün katsayılarını oluşturur, Değişkenin doğrudan olduğu bir duyarlılığı tanımlamaz ancak olasılık kullanılarak bir çıkarım yapabilir.

Regresyon analizinde, değişkenler arasındaki ilişkiyi fonksiyonel olarak açıklamak ve bu ilişkiyi bir modelle tanımlayabilmek amaçlanmaktadır. Bir kitlede gözlenen X ve Y değişkenleri arasındaki doğrusal ilişki aşağıdaki "Doğrusal Regresyon Modeli" ile verilebilir;

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (3.15)$$

Burada;

X: Bağımsız (Açıklayıcı) Değişken

Y: Bağımlı (Açıklanan, Etkilenen, Cevap) Değişken

β_0: X=0 olduğunda bağımlı değişkenin alacağı değer (kesim noktası)

β_1: Regresyon Katsayısı

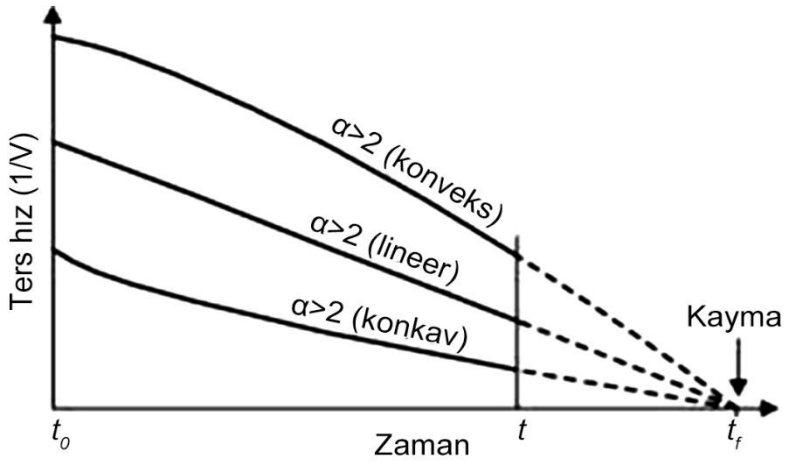
ε: Hata terimi (Ortalaması=0 ve Varyansı=σ^2'dir)

3.4.2. Ters hız yöntemi

Yukarıda bahsedilen yöntemler arasında kritik tahmin yöntemleri grubunda yer alan yöntemlerden biri olan ters hız yöntemi Fukuzono (1985) tarafından gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri sonucunda geliştirilmiştir. Toprak kütlesinde yağmur ile tetiklenen toprak kayması potansiyelini taklit eden deneylerde yüzey ivmelenmesinin logaritmasının yüzey hızı ile orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan yararlanarak aşağıdaki denklemi ortaya koymuştur (Eşitlik 3.16).

$$\frac{1}{V} = [A(\alpha - 1)]^{\frac{1}{\alpha-1}} . (t_f - t)^{\frac{1}{\alpha-1}} \quad (3.16)$$

Buradaki A ve α katsayıları birer sabit katsayıdır. Yapılan laboratuvar deneylerinde t'ye göre 1/V çizildiğinde, α=2 iken lineer, α<2 iken konkav, α=2 iken ise konveks bir eğrinin oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Eşitlik 3.15'e göre t-1/V eğrileri (α=2, α<2 ve α>2 iken)

α=2 kabulü yapılırsa (lineer fit), t_0 başlangıçtaki zaman, V_0 ise başlangıçtaki hız olmak üzere;

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_0} - A(t - t_0) \quad (3.17)$$

şeklinde basitleştirilebilir. t_f zamanında 1/V=0 olacağı için (V sonsuz olacaktır) yukarıdaki ifade sıfıra eşitlenir ve;

$$t_f = \frac{1}{AV_0} + t_0 \quad (3.18)$$

şeklinde t_k tahmini yapılır. Herhangi bir t anındaki hız (V_{tahmin}) ise;

$$V_{tahmin} = [\frac{1}{V_0} - A(t - t_0)]^{-1} \quad (3.19)$$

ifadesi ile bulunabilir. Yukarıdaki denklemin zamana göre integrali alındığında ise relatif yer değiştirme tahmini şu şekilde yapılabilir:

$$x_{tahmin} = \frac{1}{A}\left\{In\left(\frac{1}{V_0}\right) - In[\frac{1}{V_0} - A(t - t_0)]\right\} \quad (3.20)$$

Yöntemin uygulanmasında iki önemli kritik noktanın belirlenmesi oldukça önem taşımaktadır: ivmelenme başlangıcı-İB (OoA: Onset of Accerelation) ve eğim değişim noktası-EDN (TU: trend Update). İvmelenme başlangıç noktası hızın giderek artmaya başladığı (1/V'nin neredeyse lineer olarak azalmaya başladığı) zaman anı olarak değerlendirilebilir ki uygun bir eğim çizgisinin bulunması için bu başlangıç noktasının doğru seçimi oldukça önemlidir. Eğim değişim noktası ise hızlanmadaki eğilimin değişmeye başladığı nokta olarak ifade edilebilir (örneğin yer değişiminin hızlanmaya başladığı bir şevde gerekli önlemlerin alınarak hızlanmanın yavaşlatılması ya da sıfırlanması vb).

Ters hız yönteminin tercih edilmesinin en büyük nedeni basitliğidir. Oldukça uzun zaman alan ve uzmanlaşmış bilgi gerektiren laboratuvar analizlerini ve bu analizlere uygun eğri bulma sürecini gerçekleştirmeye gerek kalmadan hemen hemen tüm saha mühendislerinin kolaylıkla uygulayarak t_k tahmini gerçekleştirmelerine olanak tanır. Yapılması gereken sadece yukarıda da bahsedildiği gibi İB ve EDN (varsa) noktalarının uygun bir şekilde tespit edilmesi ve ivmelenmenin başladığı andan itibaren elde edilen yer değiştirme verilerini kullanarak uygun bir lineer eğim çizgisi tespit etmektir. Yapılacak işlemler aşağıdaki örnek üzerinde anlatılmıştır.

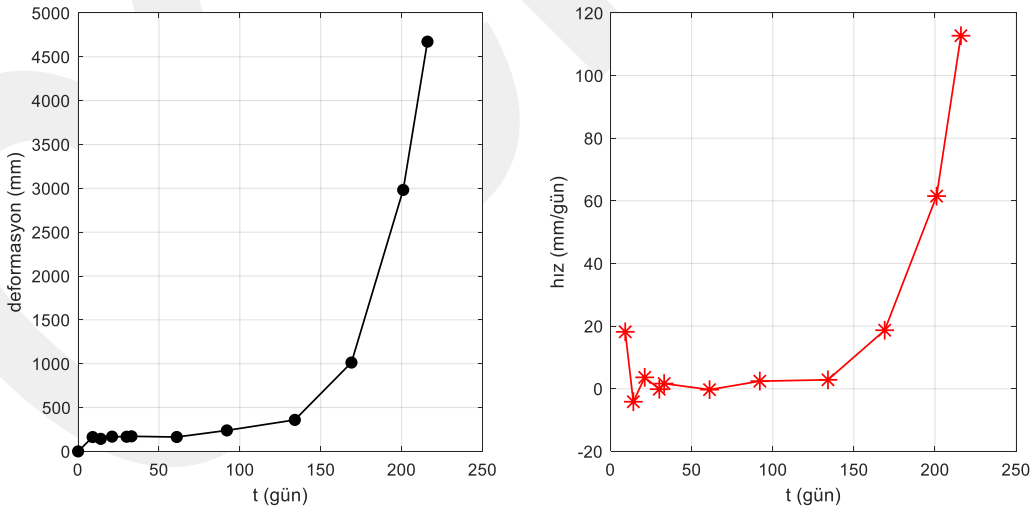
Örnek:

Çizelge 3.3'de herhangi bir şeve ait tipik yer değiştirme ölçümleri verilmektedir. Buna göre Şekil 3.13'te deformasyon ve deformasyon hızının zamana göre çizimi verilmektedir.

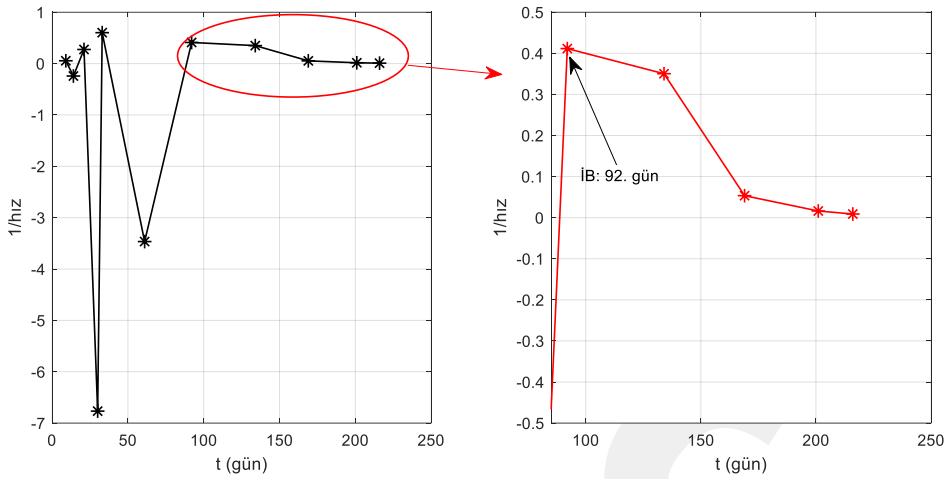
Çizelge 3.3. Örnek deformasyon verileri

t (gün)	Deformasyon (mm)
0	0
9	163,59
14	142,90
21	168,36
30	167,03
33	172,01
61	163,93
92	239,26
134	359,13
169	1013,22
201	2981,69
216	4672,54

Şekil 3.13'te görüldüğü gibi deformasyon belli bir noktadan sonra hızlı bir şekilde ivmelenmektedir. Aynı şekilde hız-zaman grafiği incelendiğinde de belli bir zamana kadar (92. gün) deformasyon hızı artıp-azalmakta, o noktadan sonra ise deformasyon hızı da artmaktadır (ivmelenme). Şekil 3.14'de bu örnek verilere ait 1/V-t grafiği görülmektedir. Buradan da anlaşılabileceği gibi oluşturulacak olan doğrusal eğim çizgisi için ivmelenmenin başlangıcı olan 92. günden itibaren elde edilen 1/hız değerleri kullanılacaktır.



Şekil 3.13. Zamana göre deformasyon ve hız grafikleri



Şekil 3.14. Ters hız grafiği (1/hız)

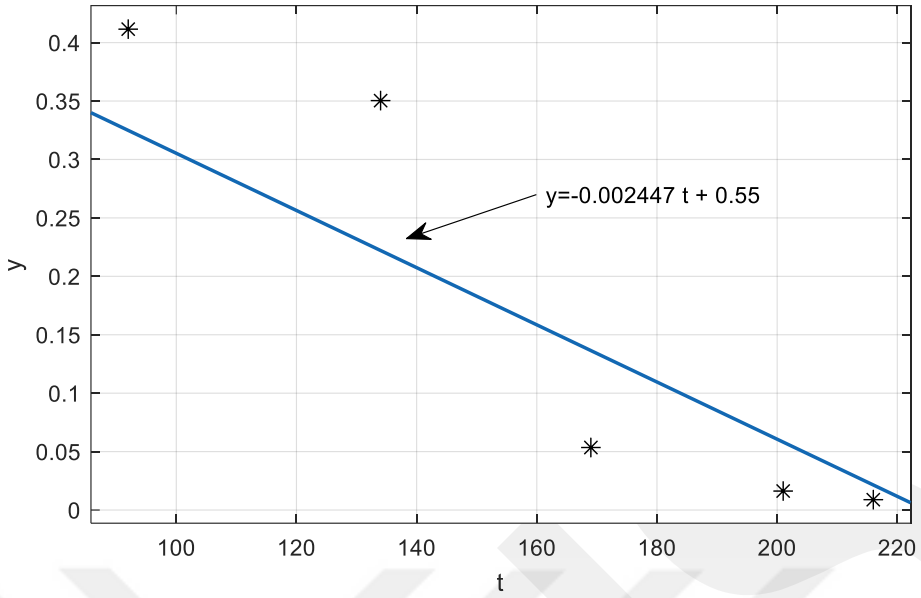
Buna göre regresyon ile elde edilen en uygun eğim çizgisi Şekil 3.15'te görülmektedir. Bu eğim çizgisi için elde edilen matematiksel ifade:

$$y = -0{,}002447t + 0{,}55 \qquad (3.21)$$

şeklinde elde edilmiştir (R^2=0.79). Buradaki y, 1/hız'ı temsil etmektedir. Daha önce de ifade edildiği gibi t_k tahmini için bu matematiksel ifadede y'nin 0'a eşitlenmesi gerekmektedir. Bu durumda;

t_k =t=0,55/0,002447=224 gün

olarak bulunabilir. Başka bir ifade ile 224. günde bir şev kaymasının olacağı tahmin edilmektedir. Bu tahmin işlemi, gelen her yeni veri ile güncellenir. Başka bir ifade ile Çizelge 3.3'te verilen 216.gün deformasyon verisine 220. günde yeni bir deformasyon verisi eklenirse ve güncel veriler Çizelge 3.4'te verildiği gibi olursa, yukarıda gerçekleştirilen tahmin işlemi tekrar edilir.



Şekil 3.15. Ters hız verileri ile elde edilen regresyon doğrusu

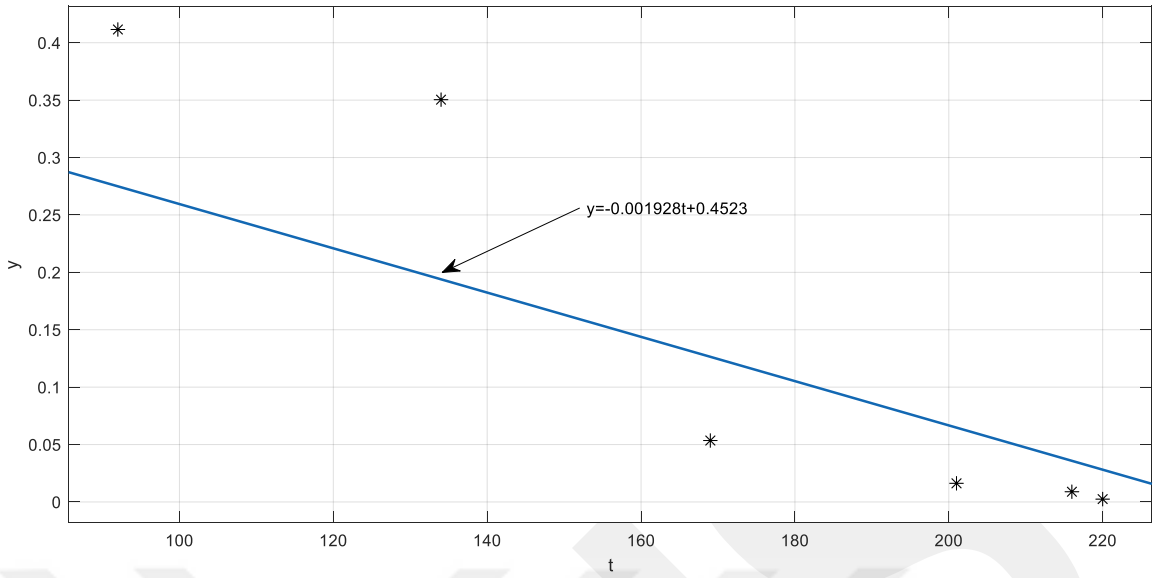
Çizelge 3.4. Yeni verinin eklendiği deformasyon verileri

t (gün)	Deformasyon (mm)
0	0
9	163,59
14	142,90
21	168,36
30	167,03
33	172,01
61	163,93
92	239,26
134	359,13
169	1013,22
201	2981,69
216	4672,54
220	6279,62

Yeni deformasyon verisinin tahmin sistemine eklenmesi ile elde edilen yeni regresyon çizgisi Şekil 3.16'da görüldüğü gibi olmaktadır. Buna göre t_k zamanı tahmini;

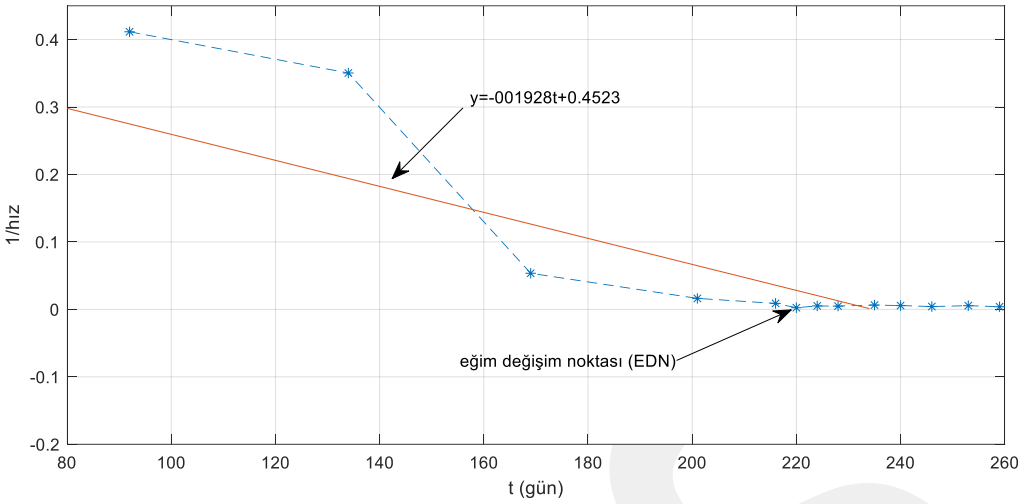
t_k =t=0,4523/0,001928=234 gün

olarak gerçekleştirilir. Dolayısıyla gelen her veri ile t_k tahmini işlemi güncellenmektedir ki bu şekilde gerekli önlemler yerinde ve zamanında alınabilir.



Şekil 3.16. Yeni verinin eklenmesi ile elde edilen eğim çizgisi

Yapılan ölçümler sonucunda olası bir şev kaymasının tespit edilmesi neticesinde gerekli önlemler alınırsa ya da başka fiziksel etkenler devreye girerse ivmelenmenin yavaşlaması ya da durması da söz konusu olabilir. Örneğin yukarıdaki örnekte şev kaymasının yakın zamanda gerçekleşeceği tahmini üzerine söz konusu şevde bir önlem alınması halinde deformasyon verileri alınmaya devam edilir ve 1/hız grafiği Şekil 3.17'deki gibi gözlemlenirse söz konusu tehlikenin bertaraf edildiği anlaşılır ve tekrar ivmelenme gerçekleşene kadar şev izlenir. Şekilde de görüldüğü gibi 224. günden sonra 1/hız eğrisi hemen hemen düz bir şekilde devam etmektedir. Bu da deformasyon hızının sabit olduğu, başka bir ifade ile herhangi bir ivmelenmenin yaşanmadığı anlamına gelir. Bu aşamada sadece izleme işlemi gerçekleştirilir ve yeniden bir ivmelenme (İB noktası oluşması) oluşana kadar t_k tahmini için herhangi bir işlem yapılmaz.



Şekil 3.17. Önlem alınması sonucu 1/hız grafiğinde eğimin değişmesi

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1 Veri Tabanı Oluşturulması

5 Kasım 2018 ile 25 Şubat 2019 tarihleri arasında her üç istasyonda yapılan jeodezik ölçümlere ait X, Y ve Z koordinat ölçüm değerleri Çizelge 4.1-4.3'te verilmiş ve bu istasyonlara ait deformasyon zaman grafikleri Şekil 4.1-4.3'te sunulmuştur. Deformasyon-zaman grafikleri oluşturulurken X, Y ve Z yönlü deformasyonların bileşkesi alınarak toplam deformasyon değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1. 1 no'lu istasyona ait X, Y, Z koordinat ölçüm değerleri

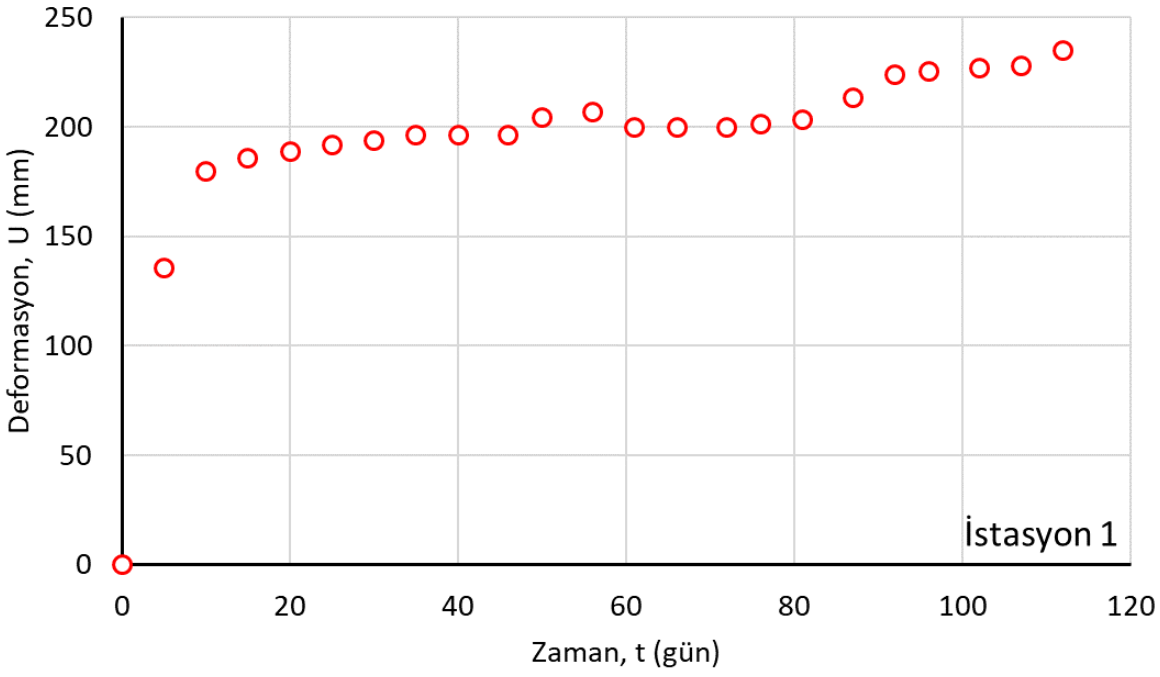
Ölçüm	TARİH	Y	X	Z
H1/1	5.11.2018	399226.297	4249980.805	1029.003
H1/2	10.11.2018	399226.227	4249981	1029.005
H1/3	15.11.2018	399226.208	4249980.961	1029.005
H1/4	20.11.2018	399226.206	4249980.967	1029.007
H1/5	25.11.2018	399226.204	4249980.969	1029.008
H1/6	30.11.2018	399226.203	4249980.972	1029.009
H1/7	5.12.2018	399226.202	4249980.974	1029.009
H1/8	10.12.2018	399226.201	4249980.976	1029.011
H1/9	15.12.2018	399226.201	4249980.976	1029.011
H1/10	21.12.2018	399226.201	4249980.976	1029.014
H1/11	25.12.2018	399226.201	4249980.976	1029.06
H1/12	31.12.2018	399226.201	4249980.976	1029.068
H1/13	5.01.2019	399226.201	4249980.976	1029.041
H1/14	10.01.2019	399226.201	4249980.976	1029.041
H1/15	16.01.2019	399226.201	4249980.976	1029.041
H1/16	20.01.2019	399226.200	4249980.977	1029.042
H1/17	25.01.2019	399226.200	4249980.977	1029.052
H1/18	31.01.2019	399226.199	4249980.978	1029.081
H1/19	5.02.2019	399226.198	4249980.979	1029.103
H1/20	9.02.2019	399226.197	4249980.980	1029.104
H1/21	15.02.2019	399226.196	4249980.981	1029.105
H1/22	20.02.2019	399226.196	4249980.981	1029.107
H1/23	25.02.2019	399226.195	4249980.983	1029.117

Çizelge 4.2. 2 no'lu istasyona ait x, y, z koordinat ölçüm değerleri

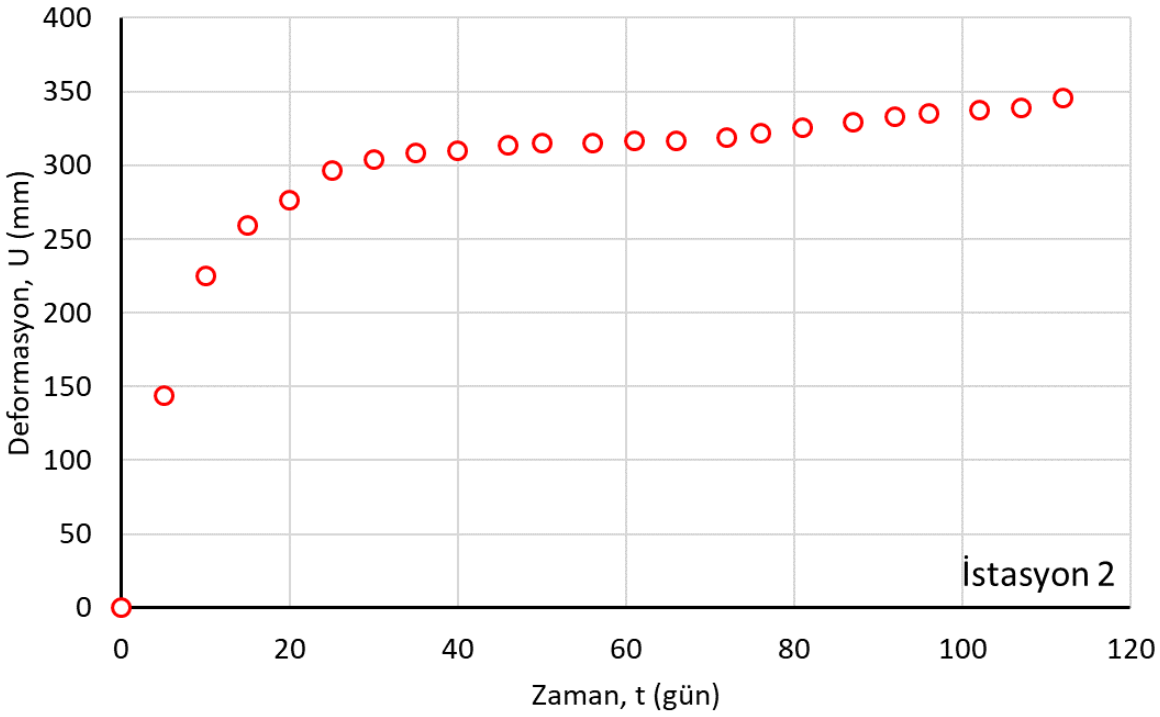
Nokta No	TARİH	Y	X	Z
H2/1	5.11.2018	399209.723	4250186.863	1029.310
H2/2	10.11.2018	399209.692	4250187.003	1029.317
H2/3	15.11.2018	399209.669	4250187.081	1029.323
H2/4	20.11.2018	399209.659	4250187.114	1029.325
H2/5	25.11.2018	399209.642	4250187.127	1029.326
H2/6	30.11.2018	399209.627	4250187.143	1029.328
H2/7	5.12.2018	399209.623	4250187.149	1029.328
H2/8	10.12.2018	399209.620	4250187.153	1029.330
H2/9	15.12.2018	399209.619	4250187.154	1029.331
H2/10	21.12.2018	399209.617	4250187.157	1029.335
H2/11	25.12.2018	399209.617	4250187.158	1029.345
H2/12	31.12.2018	399209.617	4250187.158	1029.345
H2/13	5.01.2019	399209.617	4250187.158	1029.352
H2/14	10.01.2019	399209.617	4250187.158	1029.354
H2/15	16.01.2019	399209.616	4250187.159	1029.360
H2/16	20.01.2019	399209.615	4250187.159	1029.376
H2/17	25.01.2019	399209.613	4250187.161	1029.381
H2/18	31.01.2019	399209.612	4250187.162	1029.390
H2/19	5.02.2019	399209.610	4250187.165	1029.392
H2/20	9.02.2019	399209.609	4250187.166	1029.396
H2/21	15.02.2019	399209.608	4250187.168	1029.396
H2/22	20.02.2019	399209.607	4250187.169	1029.398
H2/23	25.02.2019	399209.604	4250187.171	1029.412

Çizelge 4.3. 3 no'lu istasyona ait x, y, z koordinat ölçüm değerleri

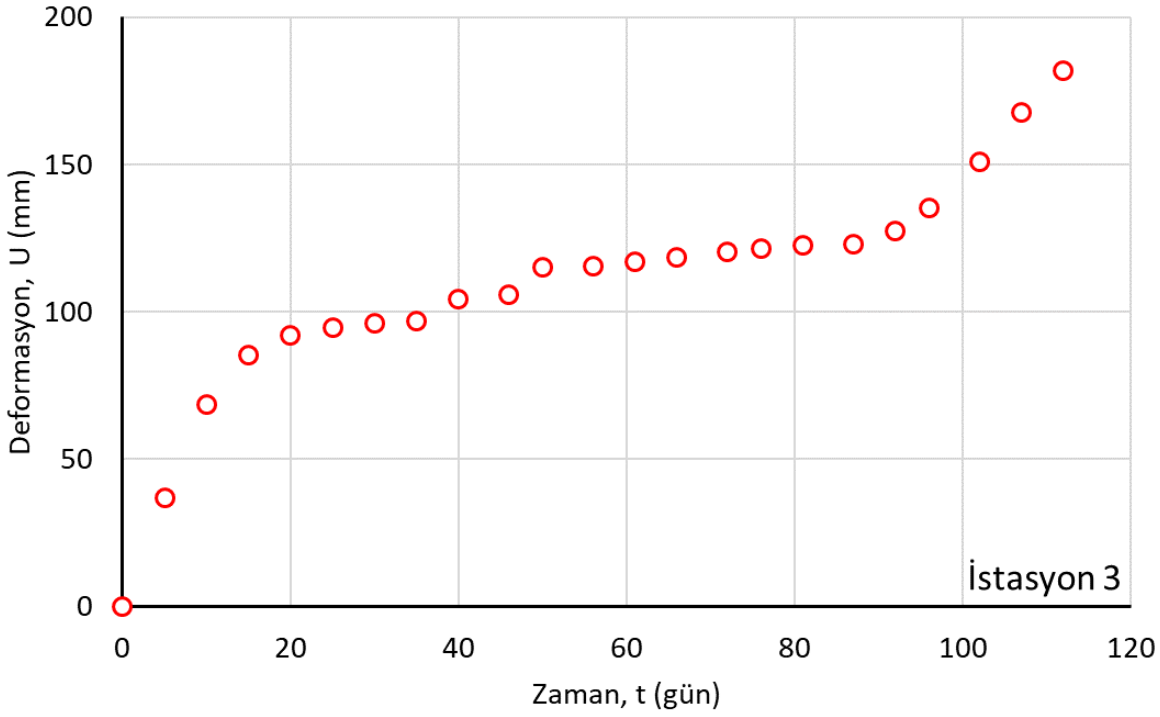
Nokta No	TARİH	Y	X	Z
H3/1	5.11.2018	399156.693	4250195.269	1006.724
H3/2	10.11.2018	399156.665	4250195.290	1006.736
H3/3	15.11.2018	399156.642	4250195.313	1006.738
H3/4	20.11.2018	399156.632	4250195.327	1006.738
H3/5	25.11.2018	399156.627	4250195.331	1006.740
H3/6	30.11.2018	399156.626	4250195.334	1006.740
H3/7	5.12.2018	399156.625	4250195.335	1006.741
H3/8	10.12.2018	399156.624	4250195.335	1006.741
H3/9	15.12.2018	399156.624	4250195.337	1006.763
H3/10	21.12.2018	399156.623	4250195.337	1006.765
H3/11	25.12.2018	399156.623	4250195.338	1006.784
H3/12	31.12.2018	399156.623	4250195.338	1006.785
H3/13	5.01.2019	399156.622	4250195.339	1006.785
H3/14	10.01.2019	399156.622	4250195.340	1006.787
H3/15	16.01.2019	399156.621	4250195.340	1006.789
H3/16	20.01.2019	399156.621	4250195.341	1006.790
H3/17	25.01.2019	399156.620	4250195.341	1006.791
H3/18	31.01.2019	399156.620	4250195.342	1006.791
H3/19	5.02.2019	399156.619	4250195.344	1006.796
H3/20	9.02.2019	399156.615	4250195.350	1006.799
H3/21	15.02.2019	399156.610	4250195.359	1006.812
H3/22	20.02.2019	399156.601	4250195.372	1006.819
H3/23	25.02.2019	399156.593	4250195.384	1006.823



Şekil 4.1. 1 no'lu istasyona ait deformasyon-zaman grafiği



Şekil 4.2. 2 no'lu istasyona ait deformasyon-zaman grafiği



Şekil 4.3. 3 no'lu istasyona ait deformasyon-zaman grafiği

4.2. Ölçüm Sonuçlarının Modellenmesi

4.2.1. Regresyon tabanlı modelleme

Bölüm 3'de bahsedildiği gibi bu çalışmada Özşen ve ark.'nın (2019) geliştirmiş olduğu bağıntı uygulanmış ve geliştirilerek Eşitlik 4.1'deki değişiklik ile revize edilerek kullanılmıştır.

$$U = C_1 \log(t) + C_2 t + (C_3 t)^{C_4} \quad (4.1)$$

Burada,

U: Deformasyon miktarı (mm)

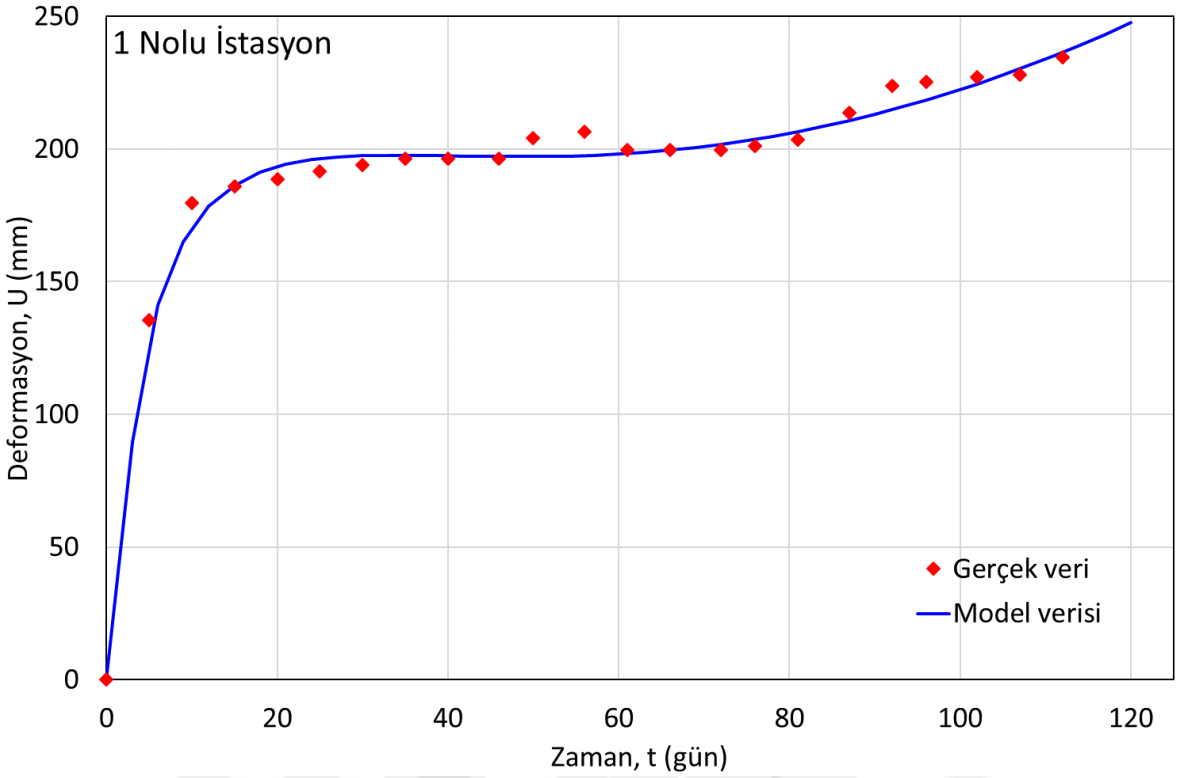
t: Zaman (gün)

C_1, C_2, C_3 ve C_4: Uygun istatistiksel parametrelerdir. Bu parametreler istatistiksel analiz neticesinde en yüksek regresyon katsayısının elde edildiği değerler dikkate alınarak Matlab R2018a program yardımı ile oluşturulmuştur.

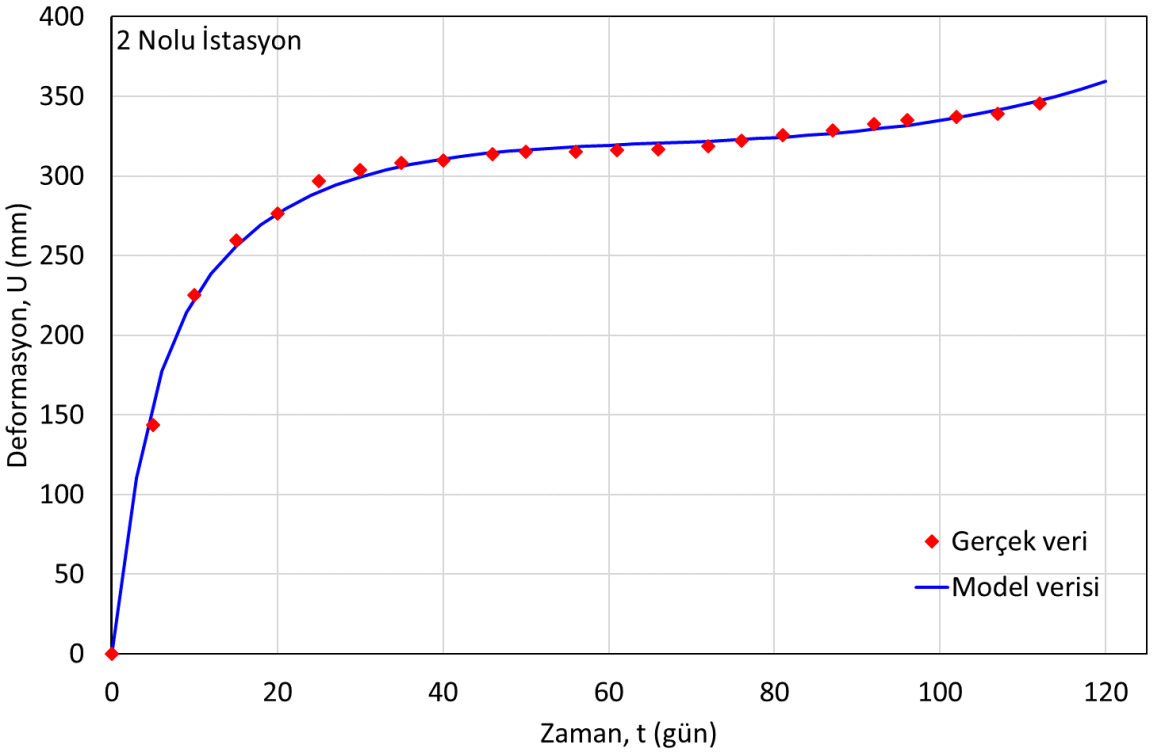
Yapılan istatistiksel analizler neticesinde elde edilen bağıntılar ve bu bağıntılar ile oluşturulan grafikler sırasıyla Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4'de sunulmuştur.

Çizelge 4.4. Geliştirilen eşitlikler ve regresyon katsayıları (R^2)

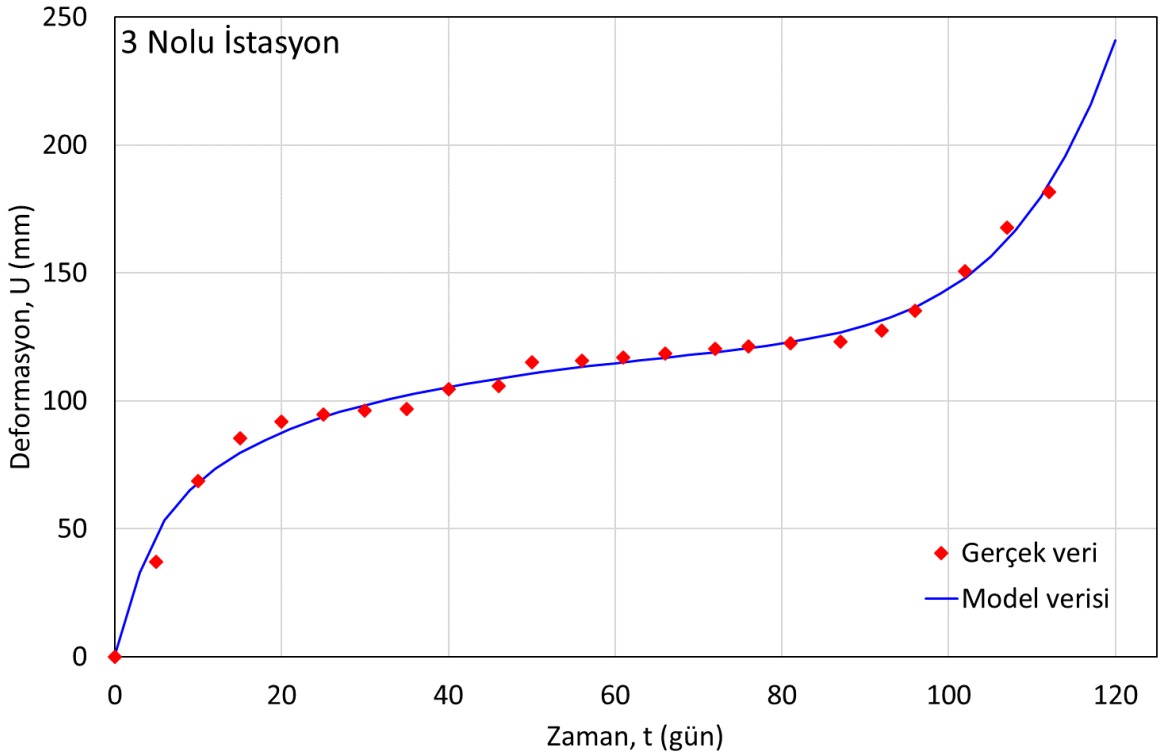
İstasyon No	Eşitlik	Regresyon Katsayısı
1	$U = 106{,}3\log(t) - 14{,}46t + (3{,}216t)^{1{,}225}$	0,95
2	$U = 105{,}9\log(t) - 2{,}053t + (0{,}03132t)^{3{,}469}$	0,99
3	$U = 30\,,31\log(t) - 0{,}1581t + (0{,}0366t)^{9{,}598}$	0,98



(a) 1 nolu istasyon



(b) 2 nolu istasyon



(c) 3 nolu istasyon

Şekil 4.4. Sahadan elde edilen gerçek deformasyon verileri ile matematiksel modelden edilen veriler

Şekil 4.4'deki deformasyonlar incelendiğinde 1 no'lu istasyonda 235 mm, 2 no'lu istasyonda 345 mm ve 3 no'lu istasyonda da 181 mm deformasyona ulaşıldığı görülmektedir. 1 ve 2 no'lu istasyonlarda 3 no'lu istasyona göre daha fazla deformasyon olduğu görülmektedir. Hız değerleri Cruden ve Varnes (1996) sınıflandırmasına göre "yavaş" sınıfında olup, 1 no'lu istasyonda 0,762 m/yıl, 2 no'lu istasyonda 1,124 m/yıl ve 3 no'lu istasyonda ise 0,589 m/yıl deformasyon hızı gözlenmiştir. Her üç istasyonda da 87. günden itibaren deformasyon artışı hızlanmış özellikle de 3 no'lu istasyonda diğer istasyonlara göre daha yüksek bir hız tespit edilmiştir. Bu deformasyon miktarlarının matematiksel olarak ifade edilebilmesi için elde edilen bağıntı bu çalışma kapsamında Çavuşcugöl açık ocak doğu şevlerinde elde edilen jeodezik ölçüm verileri ile denenerek sonuçlar elde edilmiş ve Çizelge 4.5'de sunulmuştur. Eşitlik 4.1'de verilen bağıntının zamana bağlı değerlendirmesi yapıldığında yüksek korelasyon elde edilmiştir. Çizelge 4.4'deki eşitlikler dikkate alınarak, örneğin İstasyon 2'deki model deformasyon verilerinin her iki eşitlik için zamana bağlı olarak değerlendirilmesi sonucunda Şekil 4.4'deki gibi bir eğilim içinde olduğu tespit edilmiştir. İstasyon 1 için

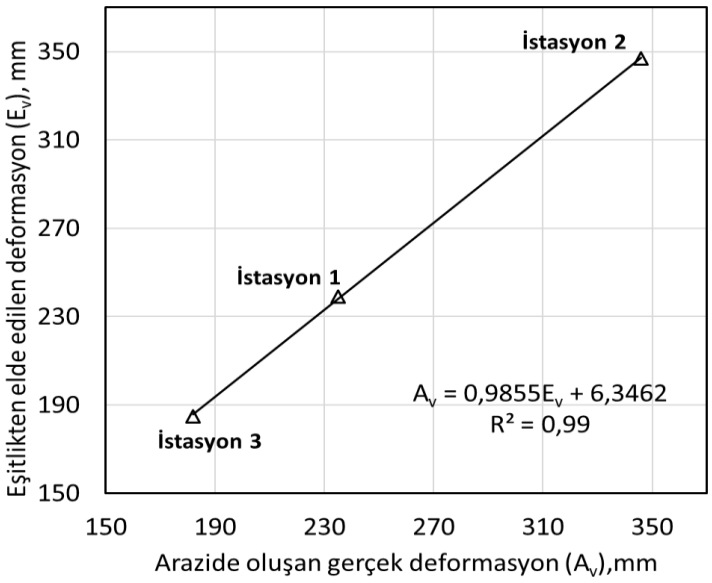
regresyon katsayısı 0,95, istasyon 2 için 0,99 ve istasyon 3 için 0,98 olarak belirlenmiştir.(Çizelge 4.4)

Çizelge 4.4'de görülen fonksiyonlarda 112 gün olan nihai ölçüm zamanı yerine konulduğunda Eşitlik 4.1'den Çizelge 4.5'deki değerler elde edilmiştir. Bu değerlerden de görüleceği üzere eşitlikten gerçek veriye çok yakın sonuçlara ulaşılmıştır. Bu değerlerin karşılaştırmalı grafikleri oluşturulduğunda aralarında doğrusal bir bağıntının olduğu belirlenmiş (Şekil 4.5) ve bu doğrultuda çalışmalar yapılmıştır. Arazi deformasyon verileri (A_v) ile eşitlik deformasyon verileri (E) arasındaki bağıntılar Eşitlik 4.2'de verilmiştir. Eşitlik 4.1 verileri ile gerçek arazi verileri arasındaki doğrusal ilişkiden yola çıkılarak elde edilen regresyon katsayısı 0,99 olmuştur. Bu durumda Eşitlik 4.1'den elde edilen değerlerin gerçek arazi verisine neredeyse tam olarak ulaştığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 4.5. Araziden elde edilen deformasyon miktarları ile eşitliklerden elde edilen deformasyon miktarlarının karşılaştırılması

İstasyon No	Arazi verisi* (mm)	Eşitlik verisi* (mm)
1	235	239
2	346	347
3	182	185

***112 gün sonunda**



Şekil 4.5. Arazi deformasyon verileri ile eşitliklerden elde edilen deformasyon verilerinin karşılaştırılması

$$A_v = 0{,}9855E_v + 6{,}3462 \quad (4.2)$$

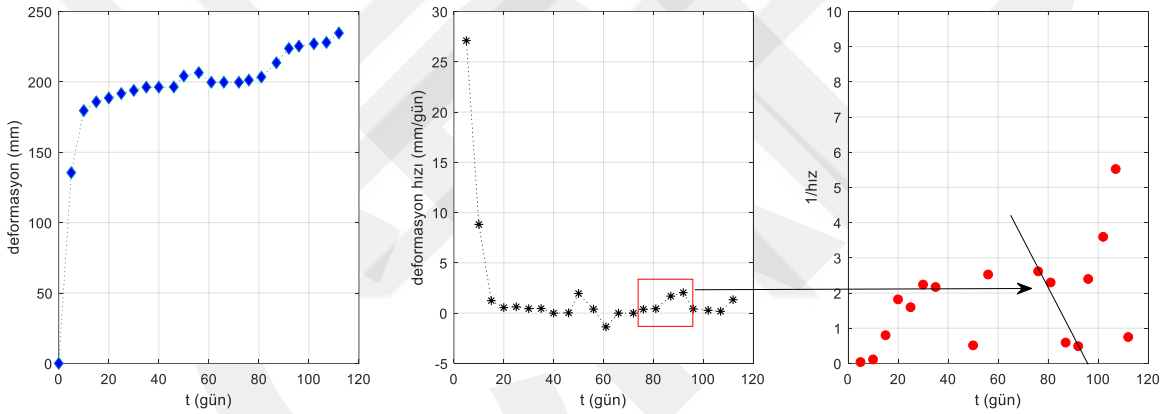
Burada;

A_v: Arazi deformasyon verisi (mm),

E_v: Eşitlik 4.1'den elde edilen deformasyon verisi (mm)

4.2.2. Ters-hız yöntemi ile t_k tahmini

Gerçekleştirilen tez çalışmasındaki 1. Gözlem noktasında izlenen deformasyon ve bu deformasyona ait hız ve ters hız grafikleri Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Birinci gözlem noktasına ait deformasyon, deformasyon hızı ve ters hız grafikleri (İstasyon No:1)

Saha mühendisi deformasyon ölçümlerini aldıkça hızlanma olup olmadığını kontrol eder ve eğer herhangi bir hızlanma tespit ederse ters hız yöntemi ile t_k'nın tahminini gerçekleştirir. Söz konusu tahmin sonucu yakın bir zamanda şev kaymasının olabileceğini gösterirse gerekli önlemler alınır. Tehlike arz eden bir durum söz konusu değilse hızlanma takip edilir. Başka bir ifade ile alınan her ölçüm ile t_k tahmini güncellenir. Eğer alınan önlemler sonucu veya şev yapısındaki dinamikler sonucu hızlanma sonlanırsa yeni bir hızlanma tespit edilene kadar ters hız yöntemi ile t_k tahmini işlemleri sonlandırılır.

Şekilden de görülebileceği gibi 76.gün'den başlayarak deformasyon hızında bir artış (ivmelenme) tespit edilmiştir ve bu artış 4 ölçüm boyunca (76., 81., 87. ve 92. gün ölçümleri) devam etmiştir. Devam eden 5. ölçümde (96. gün ölçümü) söz konusu

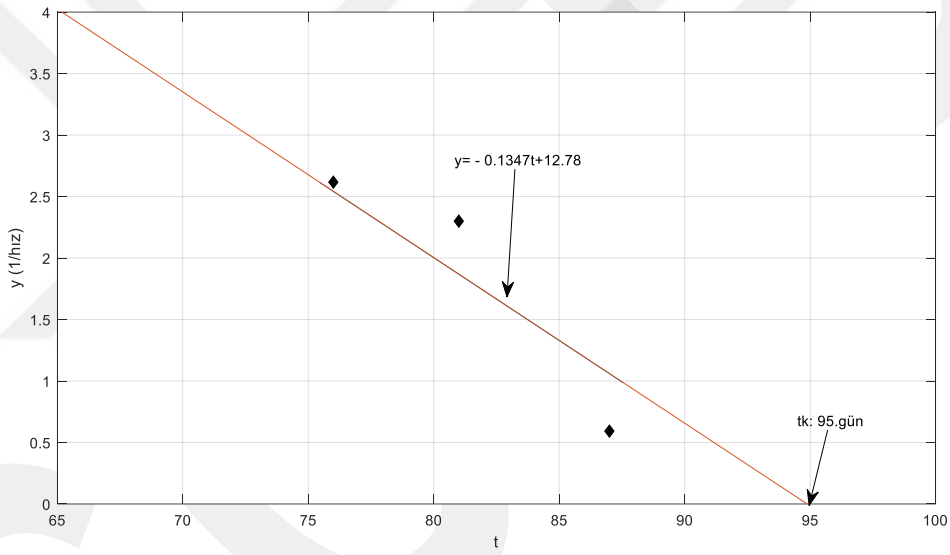
hızlanmanın sona erdiği göze çarpmaktadır. Burada saha mühendisi 3 ölçümde hızlanmayı tespit edebilir (76, 81 ve 87.gün) ve bu ölçümleri kullanarak Şekil 4.7'de de görülen eğim çizgisini ifade eden matematiksel ifade:

$$y = -0{,}1347t + 12{,}78 \quad (4.3)$$

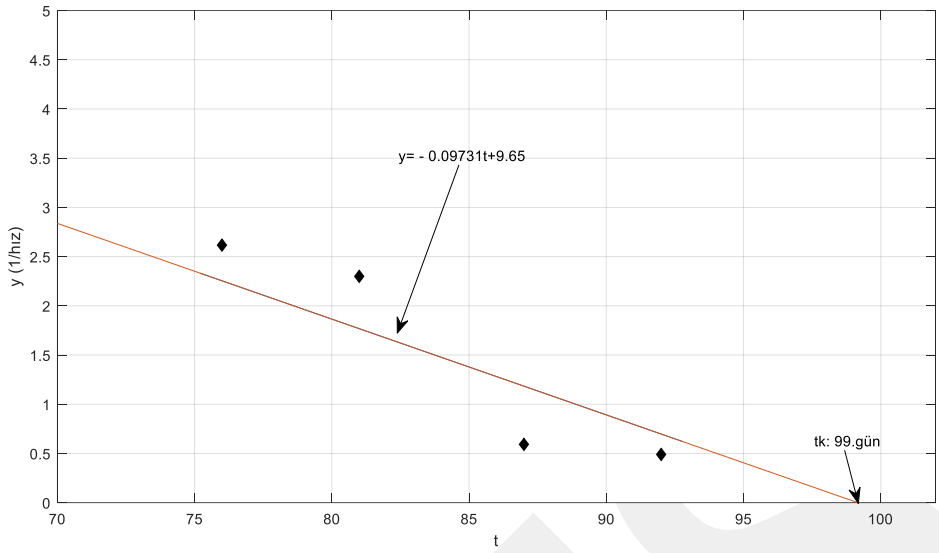
şeklinde elde edilmiştir (R^2=0,83). Buna göre t_k şu şekilde tahmin edilir:

t_k =12,78/0,1347≈95. gün

İzleme işlemine devam edildiğinde ve 92. gün verisi mevcuttaki üç ölçüme eklendiğinde Şekil 4.8'de görüldüğü gibi bir eğim çizgisi elde edilir.



Şekil 4.7. Birinci istasyonda 76, 81 ve 87. gün verileri ile elde edilen eğim çizgisi

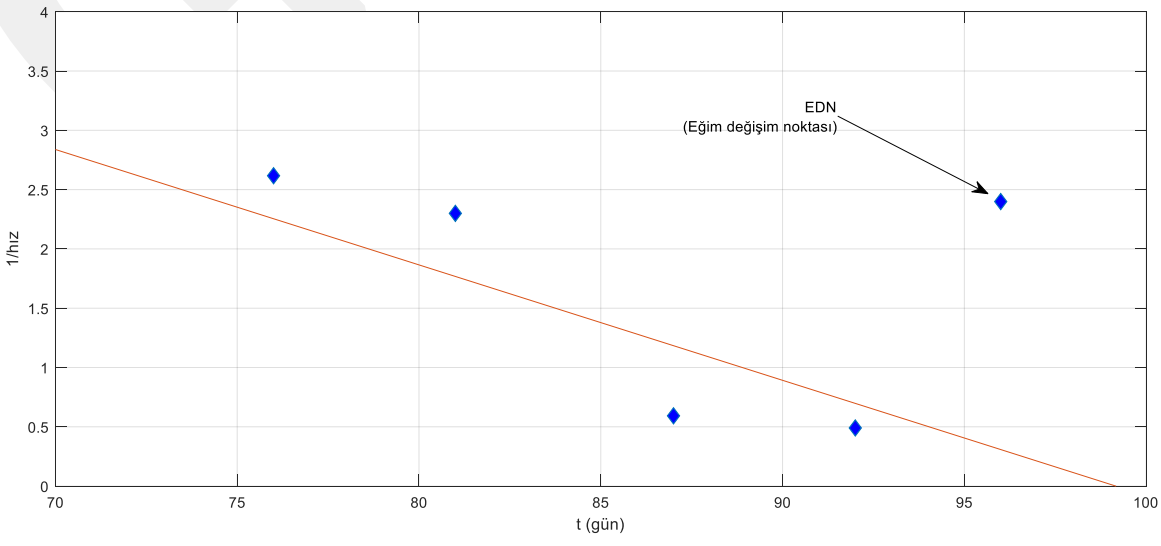


Şekil 4.8. 76, 81, 87 ve 92. gün verileri ile elde edilen eğim çizgisi

Bu dört verinin kullanıldığı eğim çizgisini veren matematiksel ifade (R^2=0,81 ile) ise;

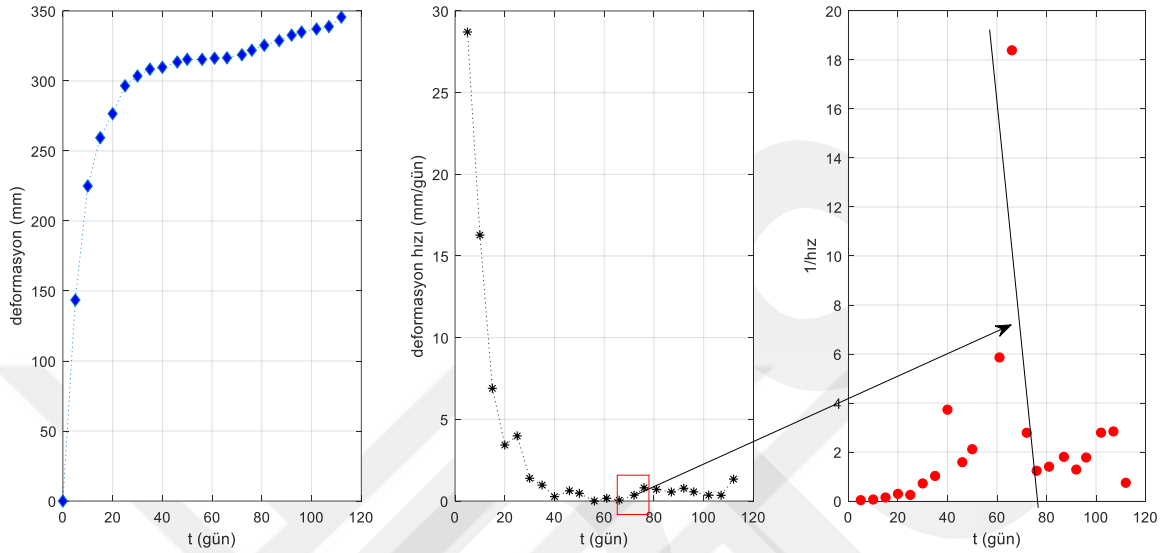
$$y = -0{,}09731t + 9{,}65 \tag{4.4}$$

olarak elde edilmiştir. Buna göre t_k ise 99.gün olarak tahmin edilir (9,65/0,09731). Hızlanmanın tespit edildiği andan itibaren 5. ölçüm verisi alındığında Şekil 4.9'da da görüldüğü gibi artık ivmelenmenin devam etmediği gözlenir (ters hız yöntemi ile t_k tahmini artık gerçekleştirilmez) ve yeniden bir ivmelenme (deformasyon hızındaki artış) noktası ile karşılaşılana kadar ölçümler izlenir.



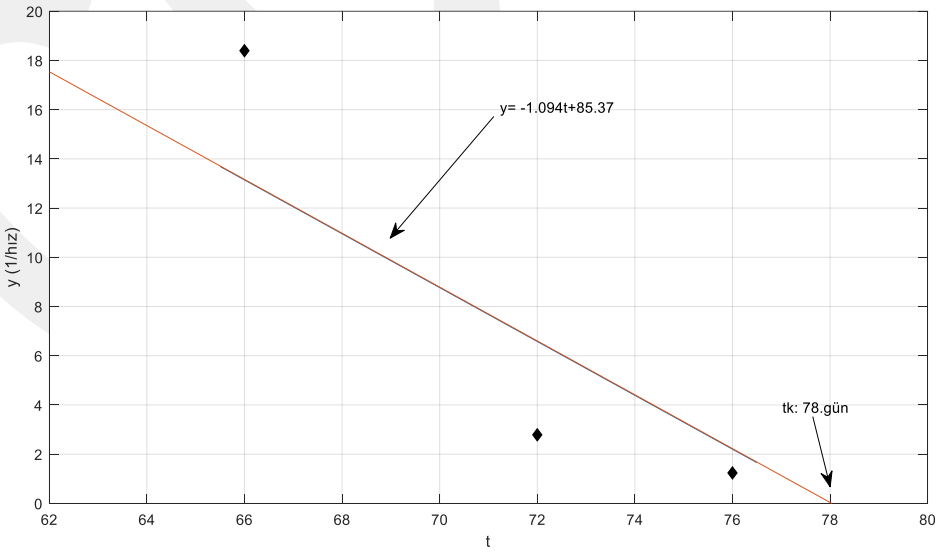
Şekil 4.9. Birinci gözlem noktası için ivmelenmenin sona ermesi

Şekil 4.10'da ise 2. Gözlem noktasına ait deformasyon, deformasyon hızı ve ters hız grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.10. İkinci gözlem noktasına ait deformasyon, deformasyon hızı ve ters hız grafikleri

Şekil 4.10'dan da görülebileceği gibi yine 66. gün ölçümünden itibaren deformasyon hızında kısa süreli bir hızlanma göze çarpmaktadır (66, 72 ve 76. gün ölçümleri). Bu veriler kullanılarak elde edilen eğim çizgisi Şekil 4.11'de görülmektedir.

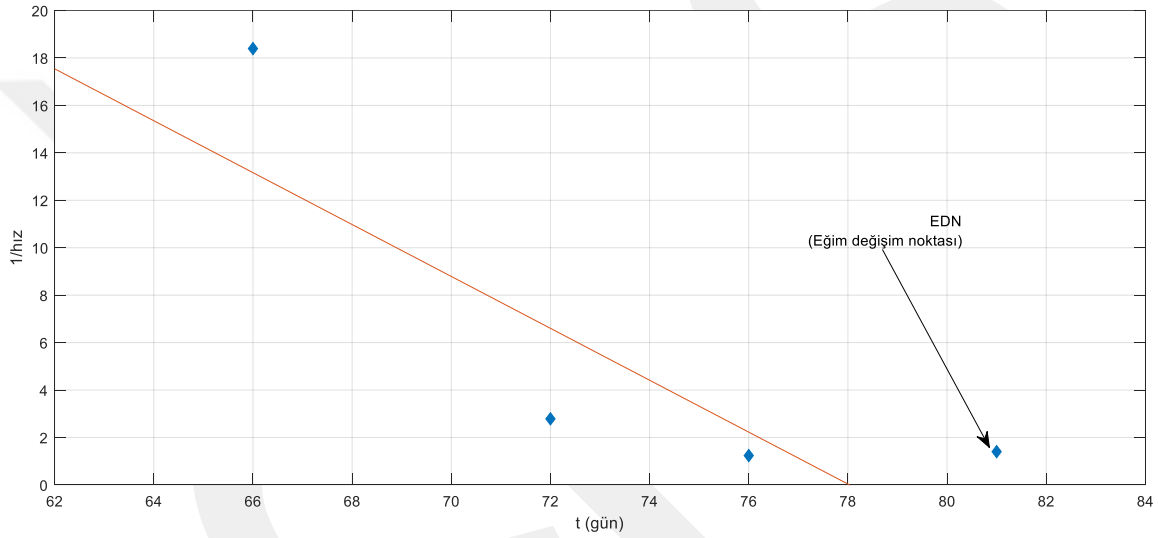


Şekil 4.11. 66, 72 ve 76. gün verileri ile elde edilen eğim çizgisi

Matematiksel ifadesi R^2=0,76 ile,

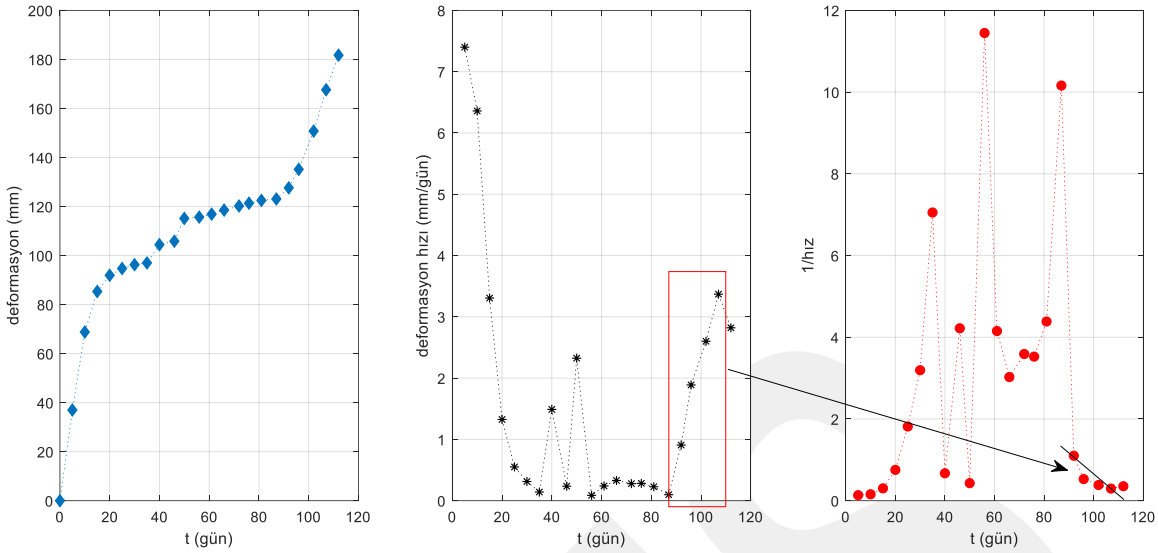
$$y = -1{,}094t + 85{,}37 \quad (4.5)$$

şeklinde elde edilen bu eğim çizgisinde t_k 78.gün olarak tahmin edilmiştir fakat yine daha önce de bahsedildiği gibi R^2'nin çok düşük olması ve eldeki veri sayısının azlığı nedeniyle izleme işlemine devam edilir. Hızlanmanın başladığı andan (66.gün) itibaren 4. ölçüm verisi (81.gün) alındığında Şekil 4.12'de de verildiği gibi ivmelenmenin durduğu tespit edilmektedir. Bu durumda yine kritik izleme işlemi ve t_k tahmini yerine ölçüm verilerinin normal seyrinde yeniden bir ivmelenme olana kadar izlenmesi işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 4.12. İkinci gözlem noktası için ivmelenmenin sona ermesi

Tez çalışmasında gerçekleştirilen şev takibi ölçümlerindeki 3. gözlem noktasına ait ölçümler de Şekil 4.13'te görülmektedir.

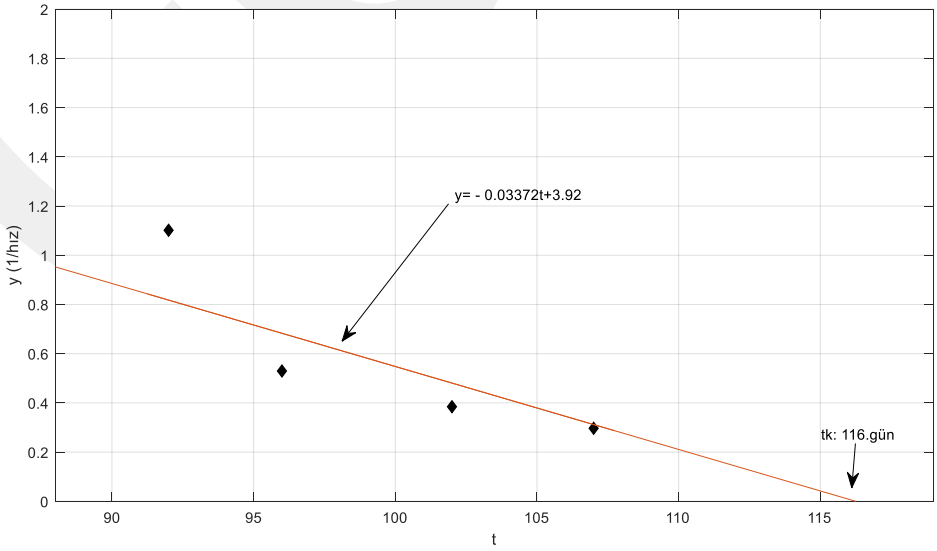


Şekil 4.13. Üçüncü gözlem noktasına ait deformasyon, deformasyon hızı ve ters hız grafikleri

Şekil 4.13'ten de görülebileceği gibi 92.gün ölçüm verisinden itibaren deformasyon hızında bir ivmelenme olduğu gözlenmektedir. Bu ivmelenme 4 ölçüm boyunca devam etmektedir (92, 96, 102 ve 107.gün ölçümleri). Buna göre bu 4 ölçüm değeri kullanılarak elde edilen eğim çizgisi Şekil 4.14'te verilmekte olup bu eğim çizgisine ait matematiksel ifade;

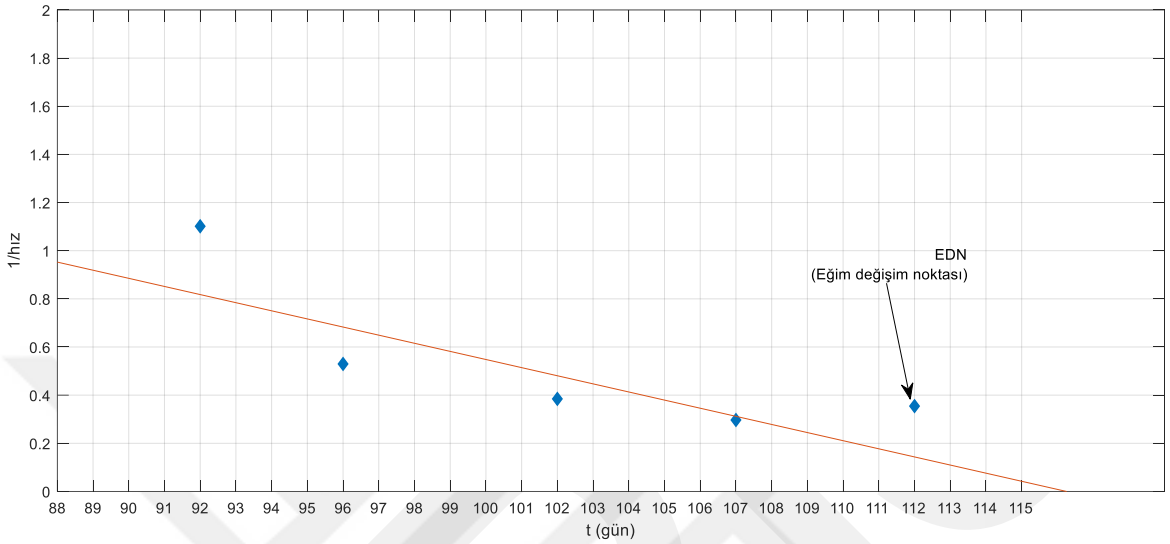
$$y = -0{,}03372t + 3{,}92 \qquad (4.6)$$

şeklinde elde edilmiştir (R^2=0,71).



Şekil 4.14. 92, 96, 102 ve 107. gün verileri ile elde edilen eğim çizgisi

Şekil 4.14'te görülen matematiksel ifadeye ait R^2=0,71 olarak tespit edilmiş olup olası t_k tahmini 116. gün olarak belirlenmiştir. Yine R^2'nin düşük olması ve eldeki veri sayısının az olması nedeniyle izleme işlemine devam edilmiş ve 112. günde gerçekleştirilen ölçüm verisi ile ivmelenmenin durduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.15)



Şekil 4.15. Üçüncü gözlem noktası için ivmelenmenin sona ermesi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1.Sonuçlar

Şev kaymasının modellenmesi ve şev kayma zamanının tahmini madencilik çalışmalarının sağlıklı ve güvenli yürütülmesi bakımından oldukça büyük bir önem arz etmektedir. Gerçekleştirilecek madencilik faaliyetlerinin de planlaması, mevcut şevlerdeki olası kayma tehlikeleri incelendikten sonra gerçekleştirilmelidir. Bu bağlamda, gerçekleştirilen bu tez çalışmasında Çavuşgöl Linyit ocağında şev takibi yapılmıştır. Bunun için belirlenen 3 istasyonda 5 Kasım 2018 ile 25 Şubat 2019 tarihleri arasında 112 gün süren X, Y ve Z yönlerindeki deformasyon ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen bileşke deformasyon değerleri kullanılarak öncelikle regresyon analizi ile ölçüm verilerinin matematiksel olarak modellenmesi çalışması yürütülmüş, sonrasında ise ters hız yöntemi ile şev kayması zamanının tahmini için takip işleminin nasıl yürütüleceği analiz edilmiştir.

Elde edilen 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 346 mm olarak 2 no'lu istasyonda, en düşük deformasyon 182 mm olarak 3 no'lu istasyonda gerçekleşmiştir. Tüm istasyonlarda hareketliliğin batı yönüne doğru olduğu tespit edilmiştir.

Ocakta bu şekilde bir deformasyon hareketliliğinin olması, bu durumun ileride ne şekilde sonuçlanabileceğinin sorgulanmasına yol açmıştır. Öncelikle Özşen vd. (2018) tarafından geliştirilen eşitlik, eldeki veriler üzerinde uygulandığında yüksek regresyon katsayısı 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 regresyon katsayısı 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 birtakım 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 değerlerinin normal değerler içerisinde seyretmekte olduğu ancak son dönemde hızlanma eğilimine girdiği tespit edilmiştir. Bu hızlanma eğiliminin takibinin yapılarak gerekirse deformasyon hızlanmasını azaltacak tedbirler alınmalıdır. Zaman içerisinde bölgede yapılan çalışmanın yoğunluğu, yapılacak delme-patlatma çalışmaları, bölgede oluşabilecek depremler veya şiddetli yağış gibi bazı parametrelerin değişmesi de deformasyon hızında farklılıklara neden olabilir. Şevlerin izlenmesinin sürekli yapılması ve elde edilen sonuçların hemen değerlendirilmesi istenmeyen 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.

Kurulan 3 istasyondan alınan deformasyon verilerinin ters hız yöntemi ile izlenmesi ve olası bir şev kayması ihtimaline karşılık t_k şev kayması zamanının tahmini, saha mühendisleri için çok kritiktir. Bu tez çalışmasında t_k tahmini için basitliği ve yorumlama kolaylığı nedeniyle ters hız yöntemi tercih edilmiş ve bu yöntem kullanılarak ölçüm değerleri güncel olarak analiz edilmiştir.

Ters hız yöntemi ile yapılan analiz işlemleri sırasında yapılması gerekenler kısaca şu şekilde özetlenebilir:

1. Deformasyon hızında artışın yaşanmaya başladığı noktanın (ivmelenme başlangıcı-İB) tespit edilmesi (Bunun için en az 3 ölçüme gereksinim duyulur),

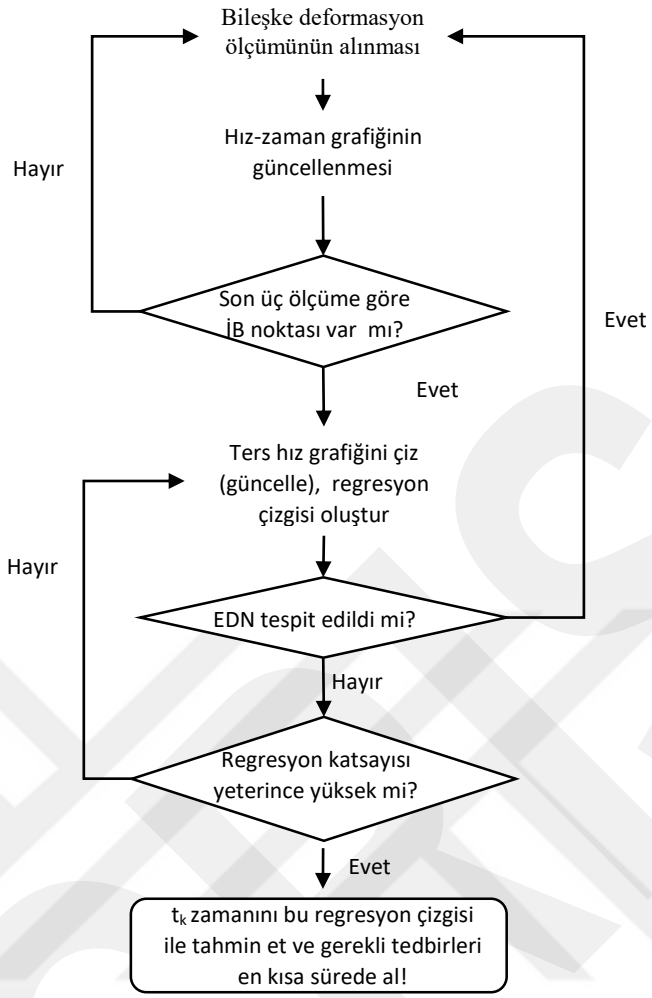
2. İB'den sonra elde edilen her güncel veri ile 1/hız grafiğinin takibi ve t_k tahmini,

3. İvmelenmenin bittiği noktanın (Eğim Değişim Noktası-EDN) tespiti ve yeni bir İB noktası oluşana kadar deformasyon hızı verilerinin izlenmesi.

İlk olarak saha mühendisi elde edilen her güncel deformasyon verisini kullanarak elde ettiği hız-zaman grafiğini kullanarak, son üç ölçüm verisini göz önüne alarak herhangi bir ivmelenme başlangıcı (İB noktası) olup olmadığını kontrol eder. Eğer herhangi bir İB noktası tespitini gerçekleştirirse son üç veriyi kullanarak 1/hız-

zaman grafiğini kullanarak en yüksek regresyon katsayısını veren regresyon çizgisine ulaşır. R^2 değeri yeterince yüksek ise (örneğin R^2>0,95 gibi) t_k tahminini gerçekleştirir ve bu tahmin değerine göre herhangi bir şev kaymasının yaşanmaması ya da gerekli önlemlerin alınması için çalışmalarını yürütür. Öte yandan eğer R^2 değeri yeterince yüksek değilse ölçüm almaya devam edilir ve alınan her yeni ölçüm değeri ile 1/hız – zaman grafiği güncellenir, güncellenmiş grafik üzerinde yine R^2 değeri en yüksek regresyon çizgisi araştırılır ve yeterince yüksek bir R^2 değerine ulaşılırsa t_k tahmini yapılarak gerekli önlemler alınır. Bu süreç, 1/hız grafiğinde bir EDN tespit edilene kadar bu şekilde sürdürülür. EDN tespit edildiğinde şev kaymasındaki hızlanma (deformasyonun ivmelenmesi) durmuş demektir ve bu noktadan sonra 1. Adımda olduğu gibi alınan her güncel ölçüm verisi ile sadece hız-zaman grafiğinin takibi yapılır. Ters hız yönteminde saha mühendisinin gerçekleştirmesi gereken işlem basamakları Şekil 5.1'de blok şema şeklinde sunulmuştur.

Ters hız yönteminin 1.istasyona ait ölçüm verileri üzerinde uygulanması sonucunda 76. günde başlayan bir ivmelenme tespit edilmiştir. Bu ivmelenmeyi son üç ölçüm verisine (76, 81 ve 87. gün ölçüm verileri) ait hız-zaman grafiği incelendiğinde tespit edilebilir. Bu durumda 76, 81 ve 87. gün verileri kullanılarak hazırlanan 1/V-zaman grafiği yardımıyla eğim çizgisi oluşturulmuş ve t_k tahmini yapılmıştır fakat oluşturulan eğim çizgisine ait regresyon katsayısı yeterince yüksek olmadığı için (R^2=0.82) herhangi bir tedbir almadan önce hız-zaman ölçümlerinin izlenmeye devam edilmesine karar verilmiştir. Bir sonraki ölçüm verisi (92. gün verisi) alındığında İB'den itibaren alınan 4 ölçüm değeri kullanılarak yine 1/V-zaman grafiği hazırlanmış ve regresyon ile eğim çizgisi elde edilmiştir. Elde edilen regresyon katsayısı yine yeteri kadar yüksek bulunmadığı için (R^2=0,80) izleme işlemine devam edilmesi yönünde karar alınmıştır. Bir sonraki ölçüm değeri (İB'den itibaren 5. Ölçüm değeri) elde edildiğinde hazırlanan ters hız grafiğinde ise ivmelenmenin sona erdiği gözlenmiştir (EDN). Bu nedenle t_k tahmini için yapılan ters-hız grafiği işlemleri sonlandırılmış ve yeni bir İB noktası tespit edilene kadar hız-zaman grafiğinin izlenmesine devam edilmiştir fakat ikinci bir ivmelenme tespit edilmemiştir.



Ters hız yönteminde t_k tahmini için gerçekleştirilen işlemler

Söz konusu tüm bu süreç 2. İstasyon ölçüm değerleri için işletildiğinde ise 66. gün ölçüm verisinden itibaren bir ivmelenmenin olduğu gözlenmiş, ve 66., 72. ve 81. gün ölçümleri kullanılarak ters hız grafiğindeki eğim çizgisi ile t_k tahmini gerçekleştirilmiştir. R^2 değerinin yine düşük çıkması nedeniyle (R^2=0,76) herhangi bir önlem alınmadan izleme işleminin devam ettirilmesi kararı alınmış, keza bir sonraki ölçüm verisinde (81.gün) ivmelenmenin sona erdiği tespit edilmiştir.

Ters hız yönteminin uygulandığı son istasyon olan 3. ölçüm istasyonunda ise 92. günden itibaren bir ivmelenme tespit edilmiştir. Bu noktadan itibaren elde edilen 4 ölçüm verisi kullanılarak çizilen ters hız grafiğinde regresyon yardımıyla eğim çizgisi elde edildiğinde, söz konusu eğim çizgisine ait regresyon katsayısı 0,71 olarak bulunmuştur. Bu nedenle elde edilen t_k tahmini için işlem yapılmadan önce izleme

işleminin devamı yönünde karar alınmış ve bir sonraki veri olan 112. gün verisi işlendiğinde ivmelenmenin sona erdiği tespit edilmiştir.

Özetle, her üç istasyonda da ivmelenmenin olduğu ara ölçümler tespit edilmekle birlikte eğim çizgilerinin yüksek regresyon katsayıları ile oluşturulamamış olması nedeniyle tahmin edilen t_k değerlerinin çok güvenilir olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle şevlerde herhangi bir tedbir işlemi yürütülmemiştir.

5.2. Öneriler

Ters hız yöntemi ile tahmin edilen t_k değerlerinin dikkate alınarak gerekli önlemlerin alınması için, ters hız grafiği yardımı ile oluşturulan eğim çizgisinin yüksek regresyon katsayıları ile elde edilmiş olması gereklidir. Bunun yanında t_k tahminin yüksek doğrulukta yapılabilmesi için ölçüm değerlerinin mümkün olduğunca sık aralıklarla (en azından günde 1 kez) ve yüksek hassasiyette yapılması gerekmektedir. Böylelikle daha güvenilir eğim çizgileri yüksek regresyon katsayıları ile bulunabilir.

Sahada çalışan mühendisin bu tez çalışmasında belirtilen ve aşamaları ile gösterilen işlemleri, kendi ocağından elde edeceği veriler ile uygulaması halinde, ocaktaki olası şev kayma zamanını yaklaşık olarak tespit edebilmesi mümkün olacaktır. Özellikle ocakta takip edilen deformasyonların zamana bağlı davranışı izlenip ters hız yöntemi bu verilere uygulanırsa şev duraylılığını tehdit eden durumların önüne geçilmesi muhtemel oluşabilecek kayma durumlarının önüne geçebilecektir.

KAYNAKLAR

Altan, O., Ayan, O., Deniz, R., Özüer, B. ve Tekin, E., 1991, Heyelan Bölgelerinde Zemin Hareketlerinin Jeodezik Yöntemlerle Saptanması ve Bir Uygulama, *Türkiye*, 1, 139-154.

Asaoka, A., 1978, Observational procedure of settlement prediction, *Soils and foundations*, 18 (4), 87-101.

Azimi, C., Biarez, J., Desvarreux, P. ve Keime, F., 1988, Forecasting time of failure for a rockslide in gypsum, *Proceedings of the 5th international symposium on landslides, Lausanne, Switherland*, 10-15.

Bjerrum, I. ve Jørstad, F., 1968, Stability of natural rock slopes in Norway, In: Tech. Rep. 79, Eds: Norwegian Geotechnical Institute (NGI), p.

Bozzano, F., Mazzanti, P. ve Moretto, S., 2018, Discussion to:'Guidelines on the use of inverse velocity method as a tool for setting alarm thresholds and forecasting landslides and structure collapses' by T. Carlà, E. Intrieri, F. Di Traglia, T. Nolesini, G. Gigli and N. Casagli, *Landslides*, 15 (7), 1437-1441.

Corsini, A., Pasuto, A., Soldati, M. ve Zannoni, A., 2005, Field monitoring of the Corvara landslide (Dolomites, Italy) and its relevance for hazard assessment, *Geomorphology*, 66 (1-4), 149-165.

Cruden, D. M. ve Varnes, D. J., 1996, Landslides: investigation and mitigation.

Dobrev, N. ve Košt'ák, B., 2000, Monitoring tectonic movements in the Simitli Graben, SW Bulgaria, *Engineering geology*, 57 (3-4), 179-192.

Eskikaya, Ş., Karpuz, C., Hindistan, M. ve Tamzok, N., 2005, Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı, *Basım, TMMOB-Maden Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara*, 4-5.

Fukuzono, T., 1985, A new method for predicting the failure time of a slope, *Proceedings of 4 th International Conference and Field Workshop on Landslide., 1985*, 145-150.

Fukuzono, T., 1996, Creep model of Kanto loam and its application to time prediction of landslide, *Landslides.(Eds: Chacon, J., Irigaray, C. and Fernandez, T.)*, 221-233.

Hayashi, S., Park, B.-W., Komamura, F. ve Yamamori, T., 1988, On the Forecast of Time to Failure of Slope (II), *Landslides*, 25 (3), 11-16_11.

Hüseyinca, M. Y. ve Eren, Y., 2007, Ilgın (Konya) Kuzeyinin Stratigrafisi Ve Tektonik Evrimi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22 (1), 83-96.

Kavvadas, M. J., 2005, Monitoring ground deformation in tunnelling: current practice in transportation tunnels, *Engineering geology*, 79 (1-2), 93-113.

Kawamura, K., 1985, Methodology for landslide prediction, *11th international conference on soil mechanics and foundation engineering*, San Francisco, 1155–1158.

Kennedy, B. A. ve Niermeyer, K., 1970, Slope monitoring systems used in the prediction of a major slope failure at the Chuquicamata mine, *Chili. Proc. Symposium on Planning Open Pit Mines*.

Kulaksız, S., 2012, Madencilikte Çevre Yönetimi, *Maden Mühendisleri Odası, Afyon*.

Mıh, M., 2011, TKİ-GLİ-Ilgın Linyit İşletmesi ÇG-1 panosunda inklinometre ve manyetik oturma kolon ölçer cihazları ile şev duraysızlığının izlenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*

Mora, P., Baldi, P., Casula, G., Fabris, M., Ghirotti, M., Mazzini, E. ve Pesci, A., 2003, Global Positioning Systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca'di Malta landslide (northern Apennines, Italy), *Engineering geology*, 68 (1-2), 103-121.

Özşen, H. ve Özkan, İ., 2013, TKİ-GLİ Ilgın Linyit Açık Ocağı batı şevlerinde oluşan gerilim çatlaklarında oluşan deformasyonların izlenmesi ve zamana bağlı matematiksel modellenmesi.

Özşen, H. ve Kurt, A. C., 2015, Soma Linyit Açık Ocağında Oluşan Deformasyonların İnklinometrik Yöntemle İzlenmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 (3), 59-65.

Özşen, H., 2017, Yatağan Eskihisar linyit açık ocağı batı şevlerinde oluşan deformasyonların jeodezik yöntemle izlenmesi ve matematiksel modellenmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (3), 329-340.

Özşen, H., Özkan, İ. ve Mesutoğlu, M., 2019, An approach on modelling of in-situ deformations for unstable coal mine slopes, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78 (5), 3191-3203.

Paşamehmetoğlu, A., Özgenoğlu, A. ve Karpuz, C., 1991, Kaya Şev Stabilitesi, 2, *Baskı, TMMOB Maden Müh. Odası Yayınları, Ankara, Mayıs*.

Petley, D. N., Higuchi, T., Petley, D. J., Bulmer, M. H. ve Carey, J., 2005, Development of progressive landslide failure in cohesive materials, *Geology*, 33 (3), 201-204.

Rizzo, V. ve Leggeri, M., 2004, Slope instability and sagging reactivation at Maratea (Potenza, Basilicata, Italy), *Engineering geology*, 71 (3-4), 181-198.

Saito, M. ve Uezawa, H., 1961, Failure of soil due to creep, paper presented at 5th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, *Int. Soc. of Soil Mech. and Found. Eng., Montreal, Que., Canada*.

Saito, M., 1965, Forecasting the time of occurrence of a slope failure, *Proc. 6 th Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Eng.*, 537-541.

Saito, M., 1969, Forecasting time of slope failure by tertiary creep, *Proc. 7th Int. Conf on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City*, 677-683.

Saito, M., 1979, Evidential study on forecasting occurrence of slope Failure. OYO Technical Report, Tokyo, 1.

Suwa, H., 1991, Visually Observed Failure of Rock Slope in Japan, International Newsletter, *Landslide News*, 5, 8-10.

Van Mierlo, J., Oppen, S. ve Vogel, M., 1997, Monitoring of recent crustal movements in the Eastern Alps with the Global Positioning System (GPS), *Tectonophysics*, 275 (1-3), 273-283.

Vanneschi, C., Eyre, M., Burda J., Žižka, L., Francioni, M., Coggan, J.S., 2018, Investigation of landslide failure mechanisms adjacent to lignite mining operations in North Bohemia (Czech Republic) through a limit equilibrium/finite element modelling approach

Varnes, D., 1983, Time-deformation relations in creep to failure of earth materials, *Proceedings, 7 th Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, 1983*, 107-130.

Venter, J., Kuzmanovic, A. ve Wessels, S., 2013, An evaluation of the CUSUM and inverse velocity methods of failure prediction based on two open pit instabilities in the Pilbara, *Proceedings of the 2013 International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering*, 1061-1076.

Yamaguchi, S., 1978, Some notices of countermeasure for landslide and slope failure, *Landslides Prevention and Slope Stability*, 14-24.

Zvelebill, J. ve Moser, M., 2001, Monitoring based time-prediction of rock falls: Three case-histories, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 26 (2), 159-167.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Berk KAYGUSUZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Yenimahalle-23.02.1989
Telefon : 549 6490969
Faks : -
E-Posta : berkkaygusuz@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Ankara Anadolu Lisesi		Ankara	2007
Üniversite	:	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi		Eskişehir	2014
Yüksek Lisans	:				
Doktora	:				

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-	Ciner Grup	Maden Mühendisi