Araştırma Makalesi / *Research Article*

Alipaşa Açık Ocak Albit Madeninde Meydana Gelen Heyelanın GPS Kullanılarak İzlenmesi ve Oluşum Nedenleri

Monitoring of the Landslide Occurred in the Alipaşa Open-Pit Albite Mine by Using GPS and the Recognition of Causes of This Phenomenon

Saffet Deniz KARAGÖZ[1], M. Yalçın KOCA[2]

[1] *Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İZMİR*

[2] *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İZMİR*

Geliş (received)	:	12 Ocak (January) 2016
Düzeltme (revised)	:	14 Nisan (April) 2016
Kabul (accepted)	:	19 Nisan (April) 2016

ÖZ

Açık ocak madenlerinde en yaygın kütle hareketi heyelanlardır. Ciddi bir şev duraysızlığına genellikle şev üstünde veya gerisinde bir veya daha fazla sayıda gerilme çatlağı eşlik eder. Zamana bağlı yer değiştirmelerin izlenmesine bu çatlaklar imkân verir. GPS veya diğer cihazlarla şev hareket hızlarının doğru bir şekilde analiz edilmesi, yüzey-yer değiştirme hareketlerini ve dolayısıyla şev davranışını tahmin etmede genellikle uygundur. Bu çalışma, Aydın/Karpuzlu/Alipaşa açık ocak albit madeninin güneydoğusunda yer alan heyelan sahasındaki şev hareketlerinin izlenmesi ve bu olayın nedenlerinin araştırılmasıyla ilgilidir. Bu kapsamda, hem kütle hareketlerinin yenilme tipi hem de heyelanı oluşturan nedenlerin ortaya çıkarılması için iki ilişki araştırılmıştır. Birincisi; her bir istasyondaki kümülatif yer değiştirme hareketinin yönlem ve dalımıyla, gnayslar içinde mevcut foliasyon düzlemlerinin eğim yönü-eğim açısı değerleri arasında, ikincisi ise, önceki topoğrafyada mevcut dere yataklarının akış yönleriyle bu yatakların yakınında yer alan foliasyonların eğim yönleri arasındadır. Heyelandan etkilenmiş alan günümüzde de madencilik faaliyetlerini tehdit etmektedir. Heyelan sahasındaki kayan kütlenin içindeki yatay ve düşey yöndeki hareketler GPS ile belirlenmektedir. Bu çalışmalar yapılırken yağış miktarları da günlük olarak ölçülüp kaydedilmiştir. Bu ölçümler şev hareket verileriyle birlikte değerlendirilmiştir. Kaymayı önlemek ve kontrol etmek için heyelan sahasında şev inceltme kazıları yapılmış ve yüzey suları bölgenin dışına çıkarılmıştır. Böylece, şev hareketlerinin yavaşlaması ve iyileştirme çalışmalarının olumlu etkisi şev izlemeleriyle takip edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık Ocak Madeni, Heyelan İzleme, İki Düzlemli Kayma, Yağış.

Y. Koca
E-Posta: yalcin.koca@deu.edu.tr

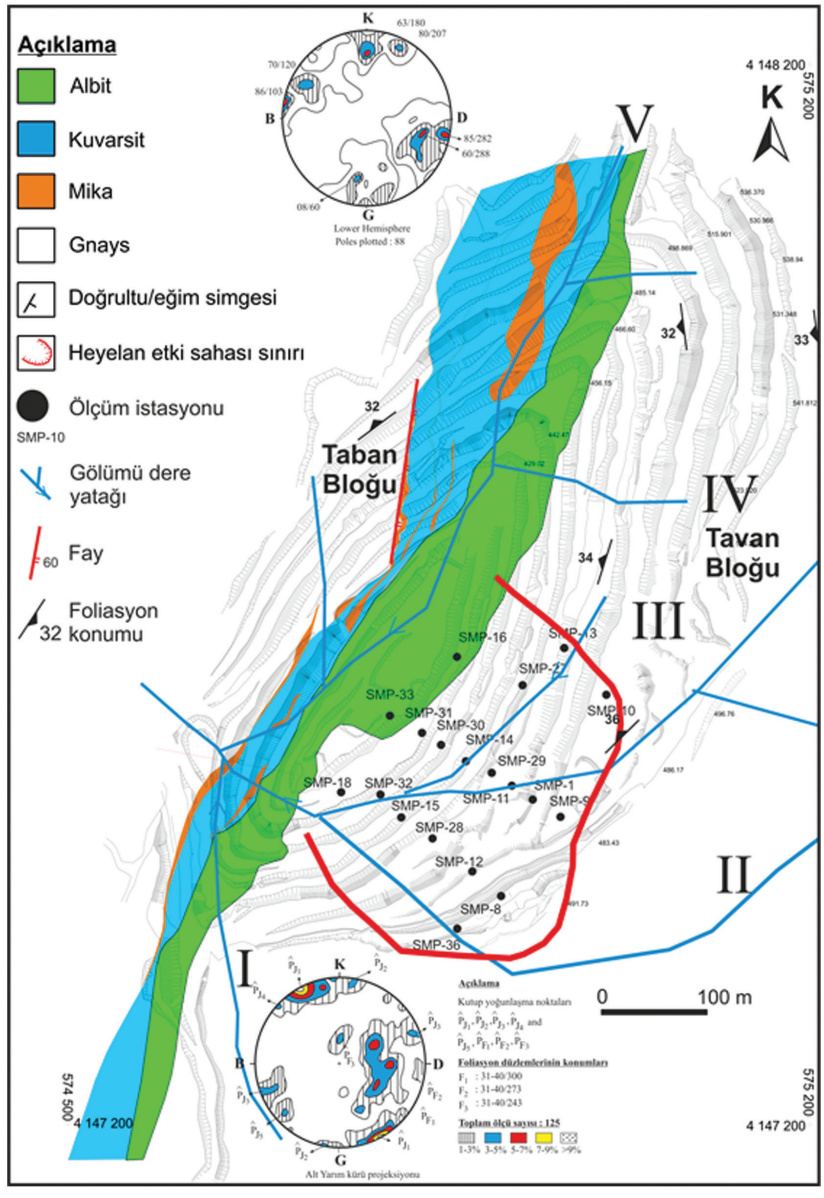
ABSTRACT

Landslide is the most common mass movement in open-pit mines. A serious slope-instability condition is usually accompanied by gradual development of one or more tension cracks behind or near the crest of the slope, allowing for time-displacement monitoring. Surface-displacement movements employing GPS and other instruments with attendant prompt analysis of slope-movement velocities are usually adequate for predicting slope behavior. This study relates to investigate the causes of this phenomena and monitoring of the slope movements in the landslide area in southeastern side of the Alipaşa open-pit albite mine in Karpuzlu/Aydın. In this context, two relations were investigated in order to determine both the mode of failure of mass movement and the recognition of landslide causes. The first one is between the trend and plunge of cumulative surface-displacement movement at each observation point and dip angle-dip direction values of the foliation planes in gneiss unit. The second is, on the other hand, between the flowing directions of the stream beds in the former topography of the landslide area and dip directions of the foliation planes located in and nearby of these beds. The affected area from the slide still threatens the mining operations. Absolute lateral and vertical movements within the sliding mass in the landslide area were measured by using GPS. During the monitoring studies, rainfall amounts were also measured and recorded. They have been evaluated in conjunction with the slope movement data. In order to prevent and control the sliding-movement, the excavations were implemented in the landslide area with the purpose of decreasing the slope height and the surface water was drained out of the landslide area. Thus, decelerating slope movements and the positive effects of the mitigation measures were attained and monitored in this study.

Key Words: *Open Pit Mine, Landslide Monitoring, Two Planes Slide, Rainfall.*

GİRİŞ

Alipaşa açık ocağının güneydoğusunda Ekim 2011 tarihinde yüzeyde ve şev gerisinde gerilme çatlaklarının oluşmasıyla bir heyelan tehdidi oluşmuştur. Bu tehdit bugün de devam etmektedir. Heyelan, ocağın GD şevinde, +415 - +485 m. kotları arasında meydana gelmiştir. +415 - +475 metreler arası ocak şevini, 10 metrelik en üst bölüm ise doğal topoğrafyayı kapsamaktadır (Şekil 1). Heyelan etki sahasının KD-GB yönündeki genişliği 255-286 m, KB-GD yönündeki (heyelan hareket yönü) boyu ise 232-236 m. arasındadır.



Şekil 1. Alipaşa açık ocağının mühendislik jeolojisi haritası ve süreksizlik ölçülerine ait kontur diagramları (I, II, III, IV ve V: Gömülü dere yatakları).

Figure 1. Engineering geological map of the Alipaşa open-pit mine and the contour diagrams of the discontinuity measurements (I, II, III, IV and V: Burried stream beds).

Geometrik koşulları tanımlanan heyelan sahasındaki şev hareketi izlenen ve harekete neden olan şartların belirlenmeye çalışıldığı bu çalışmada, iki ilişki araştırılmıştır. Birincisi, katlanmış (kümülatif) hareket yer değiştirme vektörlerinin yönlem ve dalımlarıyla gnayslardaki foliasyon düzlemlerinin konumları, ikincisi ise, önceki topoğrafyada mevcut dere yataklarının

akış yönleriyle foliasyon düzlemlerinin eğim yönlerinin karşılaştırılmasıdır.

2012-2014 yılları arasında 700 günlük dönemde şev hareketleri izleme sonuçları mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilip yorumlanmıştır. Ekim 2011′de şev üst yüzeyinde gözlenen gerilme çatlaklarıyla heyelan oluşum süreci başlamış ve farklı dönemlerde iki kez önemli artışlar göstererek günümüze kadar hareketler sürmüştür. Açık ocaktaki ölçümler hâlâ devam etmektedir.

Açık ocakta çalışan mühendisler, ocaktaki olağan dışı görsel değişimleri kolaylıkla algılayabilirler. Bu değişimler; şev kademelerinde veya şev gerisinde meydana gelen gerilme çatlaklarını, şev tabanında veya basamaklarda taban kabarmaları (heave) şeklindeki küçük kubbemsi yükselmeleri ve kaya ortamda süreksizliklerde meydana gelen açılmaları kapsar. Hareketin izlenmesiyle şevin duraylığı doğrudan denetlenmiş olur (Bell ve Glade, 2004). Şevler uygun bir şekilde izleniyorsa ve şev yenilme mekanizmaları tam olarak anlaşılmışsa, deneyimler göstermiştir ki açık ocak işletmelerinde üretime çok kısa aralıklarla güvenli bir şekilde devam edilebilmektedir (Wilson, 1970; Wylie ve Munn, 1978; Savely, 1993; Martin, 1993; Sjöberg, 1996; Allasia vd., 2009; Wang vd., 2010).

Genelde kaya şevlerinde zamana bağlı deformasyonlar, Başlangıç tepkisi aşaması, Regresif aşama ve Progresif aşama olmak üzere üç belirgin aşamadan geçer. Başlangıç tepki aşaması, kazı nedeniyle kütlede meydana gelen gerilme değişimlerini kapsar ve kaya kütlesinin dilatasyonu veya gevşemesi ile sonuçlanır. Hareket hızları V = 0.1 – 4.0 mm/gün aralığındadır. Başlangıç tepkisi olarak hareket hızlarının V > 35 mm/yıl olması beklenir. Şev hareketi dış bir etkiyle tetiklenir, hareket başlar ve zamanla sönümlenir (Şekil 2). Tekrar bir dış etkiyle bu hareket tetiklenebilir ve daha sonra yine sönümlenebilir. Regresif aşamada, zamana bağlı olarak şev üzerindeki herhangi bir noktadaki hareketin hızı negatif eksponansiyel olarak azalır (Martin, 1993). Geriye ve ileriye dönük yenilme aşamaları (regresif ve progresif aşamalar) açık ocak şevlerinde gözlenen başlangıç tepkisi sonrasında, şev üst yüzeyinde ve şev yüzeyi boyunca meydana gelen yenilmeleri kapsar. Yenilme genelde şev üst yüzeyinde ve şev yüzeyi boyunca bir veya daha fazla gerilme çatlağının oluşması sonrasında meydana gelir. Uygun izleme ve zamana bağlı yer değiştirme kayıtları, tansiyon çatlaklarının analizleri, genellikle şev davranışını tahmin etmede ve yenilen bir şevin madencilik açısından işletilme güvenliğini değerlendirmede çok önemlidir (Read ve Stacey, 2009). Regresif bir yenilmede zamana bağlı olarak toplam yer değiştirme eğrisi (Eğri-A) Şekil 2′de görülmektedir. Şev hareketlerinin sürekli izlenmesi durumunda, A-eğrisi üzerinde yer alan 1, 2 ve 3 numaralı noktalar dış uyarıcıların sisteme dâhil olduğunu göstermektedir. Çünkü hareket tetiklenmiştir. Bu noktalar arasında yer alan her bir aşamada yer değiştirme eğilimi giderek azalır. Sonunda şevde stabilite tekrar sağlanır (Şekil 2).

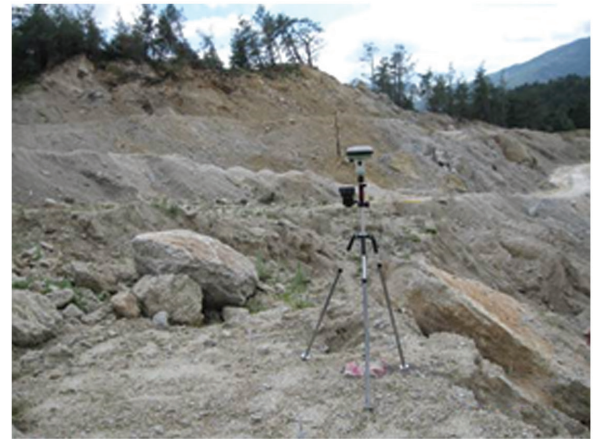
Şekil 2. Regresif ve progresif şev hareketi yer değiştirme eğrileri (Zavodni, 2000).

Figure 2. Displacement curves for regressive and progressive slope movements (Zavodni, 2000).

Progresif sistemde ise yer değiştirme hareketi devamlıdır. Yer değiştirme ve hız, kesintiye uğramaksızın artar (Şekil 2). Bu duruma bağlı olarak ivme de artma eğilimi gösterir ve sonunda şev yenilir (Zavodni, 2000). Regresif durum dış etmenler en aza indirilerek veya bertaraf edilerek düzeltilebilir. Regresif aşamada meydana gelen yenilmelerle ilgili olarak: i) Tutucu kuvvetlerin kaydırıcı kuvvetlere oranı yer değiştirmeyle azalır. ii) Şev zamanla daha duraylı hale gelme eğilimi gösterir ve her aşamada (1, 2 ve 3 nolu dış etkiler arasında kalan aşamalar) ivme de giderek azalma eğilimi gösterir. Herhangi bir açık ocakta yer alan bir şevdeki koşullar başlangıçta regresif durumu yansıtırken daha sonra progresif aşamaya geçebilir (Şekil 2). Doğal olarak, progresif duruma geçmek için sabit hızda sürekli durum devam ederken, kayda değer bir yer değiştirme hareketinin gerçekleşmesi gerekmektedir. Sürekli durumda kesme direnci doruk değerlere değil, kalıntı değerlere yakındır. Topuk kabarmalarını gösteren yenilmeler regresiftir. Ancak, yataya yakın veya topuğa doğru ilerleyen yenilmelerde kayma yüzeyi topukta açığa çıkmaz. Değişik dış nedenlerle (örneğin boşluk suyu basıncının aniden artması gibi) hareketin progresif aşamaya geçmesiyle kayma yüzeyi bir makaslama zonu şeklinde şevde açığa çıkar.

YÖNTEMLER

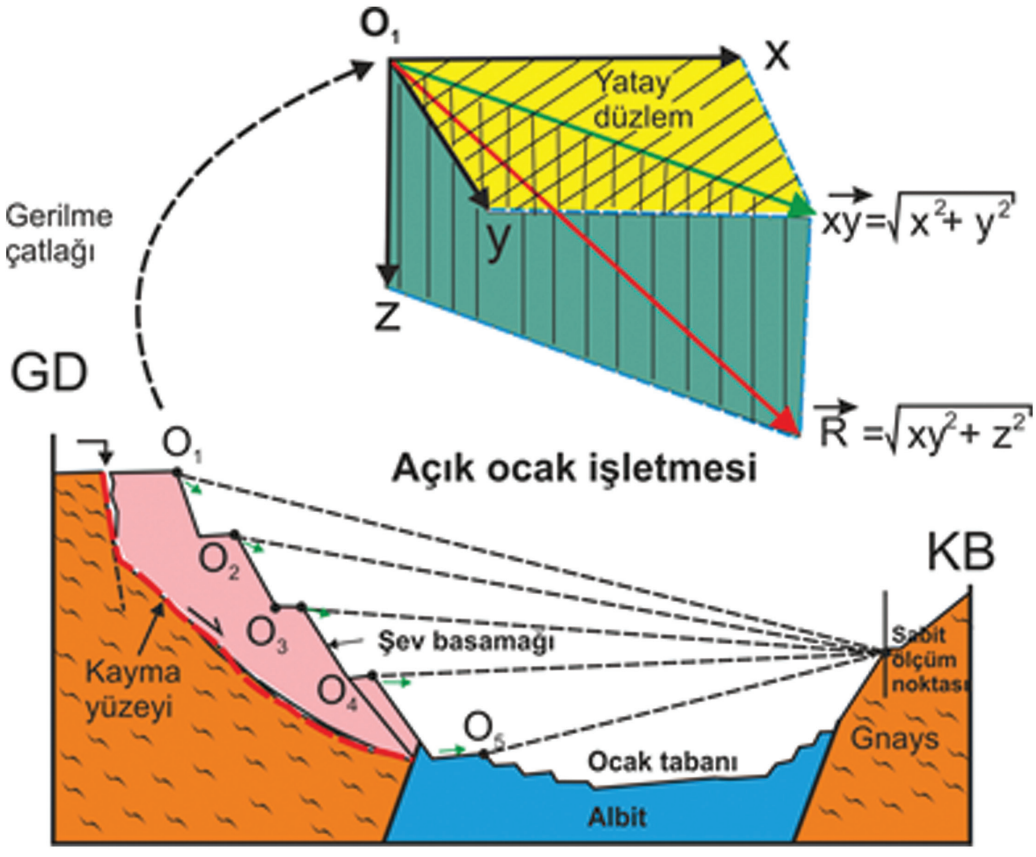
Bir heyelanda meydana gelen değişimleri, yer hareketi ölçüm aletleriyle ölçmek mümkündür. Bu çalışmadaki şev hareketleri, Leica Viva GS 15 GPS cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Cihaz bir adet gezici ve bir adet sabit istasyondan oluşmaktadır (Şekil 3). GPS cihazı yatayda 5 düşeyde 10 mm hassasiyete sahiptir. Sistem uydu bağlantılı çalıştığı için mesafe sınırlaması yoktur. GPS ölçümleri açık ocakta 2011 yılından itibaren kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 3. Ocağın KB köşesine konumlandırılmış sabit ve gezici GPS üniteleri.
Figure 3. Stable and mobile GPS-units located at NW corner of the pit.

Şev kesitleri üzerinde yer alan çok sayıdaki "Hareket İzleme Noktası (SMP - Slope Monitoring Point)" duraysızlığın modeli hakkında bilgi sağlar. Öncelikle, her ölçüm noktasında saptanan hareketin bileşke vektörünün (yönüne gereksinim vardır (Şekil 4). GPS aracılığıyla ölçülen koordinatların üç boyutlu düzlemde incelenmesi ve hatalı ölçümlerin ayıklanarak üç boyutlu hareket vektörlerinin çizilmesi işlemlerinde GEOVIA Surpac 6.6.1 (2013) yazılımı kullanılmıştır (Geovia Surpac, Dassault Systems, SSI-23486). GPS aracılığıyla ölçülen koordinatların iki boyutlu düzlemde incelenmesi, hatalı ölçümlerin ayıklanarak üç boyutlu vektörlerin çizilmesinde NetCad GIS 7 (2015) yazılımı kullanılmıştır.

Açık ocağın güneydoğusunda 2011 ve 2014 yılları arasında 38 adet şev hareketi izleme noktası (SMP) kurulmuş ancak bu istasyonların bir kısmı üretim faaliyetleri bir kısmı da heyelan hareketi nedeniyle kaybolmuştur. Bunlardan sadece 19 tanesi günümüze kadar korunmuştur. Gerilme çatlakları ortaya çıktıkça yeni istasyonlar kurulmuştur. SMP noktalarına ait deformasyon verileri kullanılarak tematik harita oluşturulmuştur. Bunun için MapInfo Professional yazılımı kullanılmıştır (MapInfo Professional 8.0, 2000). Tematik haritada eski dere yatakları, güncel topoğrafya, eklemeli hareket vektörlerinin miktarları ve yönleri birlikte gösterilmiştir.



Şekil 4. O_1, O_2…..O_n kayma noktalarındaki hareket vektörlerinin konumlarına göre kayma yüzeyinin yeri (ölçeksiz).

Figure 4. Location of the slip surface based on the orientations of movement vectors on sliding points O_1, O_2.....O_n (not to scale).

Şev hareketi izleme istasyonlarının her birinde yapılan ölçümler ve bu ölçümlerden hesaplanan değerler; ölçüm tarihleri, her ölçümün X, Y ve Z koordinatları, önceki ve bir sonraki ölçüm arasındaki fark ve bu farkın eklemeli/katlanmış değeri, hareketin yatay ve düşey hızları (mm/gün), bileşke hareket vektörünün yönlem ve dalımıdır. Bu ölçümlerin takip edilebilmesi için SMP-14 istasyonunda yapılan 700 günlük ölçümlere (21 Aralık 2012 ile 25 Aralık 2014 tarihleri arası) ait ayrıntılar Çizelge 1′de verilmiştir. 21.12.2012 ile 19.11.2013 tarihleri arasında yatay ve düşeyde ölçülen hareket miktarları sırasıyla 2342.1 ve 583.59 mm, bileşke katlamalı hareket ise 2420.8 mm'dir. Hareketin yönlem ve dalımının 313.65/14 (K 44 B / 14 KB) olduğu, yatay şev hareket hızının 21 Aralık 2012 ile 28 Şubat 2013 tarihleri arasında en yüksek olduğu ve bazı günlerde hareket hızının 0.5 cm/gün′den büyük olduğu Çizelge 1′den anlaşılmaktadır. Hız verileri için:

$$[(Z_2-Z_1/Gün_2-Gün_1)*1000] \quad (1)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Burada;

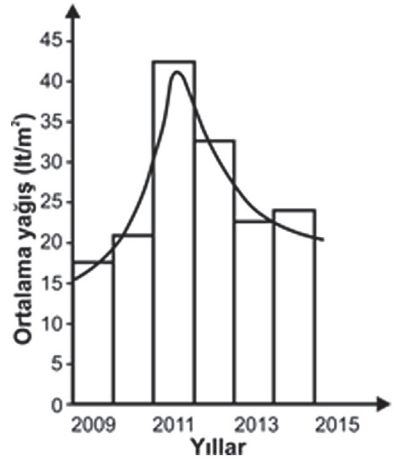
Z: Düşey kotu (m)

$Gün_2$-$Gün_1$: Ölçüm tarihleri arasındaki gün farkını göstermektedir.

Aynı zaman aralığında, en yüksek düşey hareket hızı da 1.35 cm/gün değerine erişmiştir.

Çalışmada, ayakları gerilme çatlağının her iki tarafına konumlanacak şekilde ve çatlak uzanımına dik yönde, çatlak açıklığı izleme istasyonları da kurulmuştur (OMP). Şev hareketiyle birlikte oluşan yer değiştirmeler nedeniyle çelik barların uçlarının paralellikleri bozulmaktadır. Bu yöntemle elde edilen hareket verilerinde yatay hareket kolaylıkla tespit edilirken, düşey hareketleri tespit etmek daha zor olmaktadır. Bu nedenle alınan ölçüler GPS verileriyle birlikte değerlendirilmiştir.

Açık ocakta üç adet plüvyogram yardımıyla yağış verileri kaydedilmektedir. Hareket izleme istasyonlarından elde edilen şev hareket verileri yağış verileriyle birlikte değerlendirilmiştir. Halihazırda, Alipaşa açık ocağının güneydoğusunda üç ana kesit ekseni üzerinde 19 adet şev izleme noktası ve 3 adet yağış ölçüm istasyonu vardır. Aydın yöresi için aylara göre yıllık yağış ortalaması 1.8 kg/m^2 ile 107 kg/m^2 arasında değişmektedir (DMİ, 2014). En yüksek yağış miktarının Ocak, en düşük yağış miktarının ise Ağustos ayında gerçekleştiği belirlenmiştir. Alipaşa açık ocak madeninin farklı bölgelerine yerleştirilmiş 3 plüvyogram yardımıyla 14.10.2009 ile 30.10.2014 tarihleri arasında düzenli olarak yağış ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yıllara göre ortalama yağış miktarları Şekil 5′te verilmiştir.



Şekil 5. Yıllara göre (2009-2014) ortalama yağış miktarları.
Figure 5. Mean amount of precipitation by the years 2009 to 2014.

İnceleme alanında yüksek eğimli ve eğim yönleri ocak tabanına doğru olan çatlaklar foliasyon düzlemlerini kesmektedir. Foliasyon düzlemleriyle kesişen çatlaklar geniş açı yaparak iki düzlemli ve kayma potansiyeline sahip kaya bloklarını oluşturmaktadır. Süreksizliklerin oluşturduğu kaya blokları yoğun yağışlı dönemlerde, ocak tabanına doğru, birkaç

şev kademesini etkileyecek şekilde, göreceli daha düşük eğim değerine sahip (26° - 40°) foliasyon düzlemleri boyunca zaman zaman hareket etmektedir. Bu hareketler 2011′den günümüze kadar cevher (feldispat-albit) üretimini de aksatacak şekilde kaymalara neden olmaktadır. Bu çalışmada, iki düzlemli blok kayması (düzlemsel kayma), kinematik olarak Kıncal (2014) tarafından önerilen stereografik projeksiyon tekniği kullanılarak incelenmiştir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı yazılım kullanılarak eklemeli hareket vektörlerinin yönlemleri, bileşke yer değiştirme miktarları, eski dere yatakları ve güncel topoğrafya gibi veri katmanları çakıştırılarak (overlay process) tematik harita elde edilmiştir. Haritada bileşke yer değiştirme miktarları zonlanarak deformasyonların maksimum, minimum olduğu bölgeler ortaya çıkarılmıştır.

JEOLOJİ

Açık ocak madeni Menderes Masifi′nin Çine Asmasifi içerisinde, çekirdek serisi olarak adlandırılan gözlü gnayslar içerisinde yer almaktadır. Açık ocağı boydan boya kesen Karadere makaslama zonu boyunca albit cevherleşmesi gerçekleşmiştir. Ayrıca zon boyunca mika ve kuvarsit zenginleşmeleri de gözlenmiştir (Şekil 1). Gözlü gnayslar foliasyonlu ve çatlaklı bir yapı gösterirler (Koca, vd. 2010; Koca vd., 2012; Tanyaş ve Ulusay, 2013; Kadakçı, 2014). Heyelanlı saha içerisinde foliasyonların konumları Şekil 1′deki kontur diyagramlarında gösterilmiştir. Buna göre; foliasyonların eğim açıları 26°- 40° arasında değişirken doğrultuları genelde K-G veya KB-GD′dur. Foliasyonların eğim yönleri ise 210°-347° arasındadır. Foliasyon düzlemlerinin eğim yönleri ocağın güneydoğusunda yamaç dışına eğimliyken, kuzeybatısındada yamaç içine eğimlidir (Şekil 1). Çatlak setlerinin konumları ise; Set-1: 80-90/325-340, 80-90/290-320, Set-2: 70-85/190-210, 80-90/40-70′dur.

MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ

Şev Duraysızlığına İlişkin Gözlemler

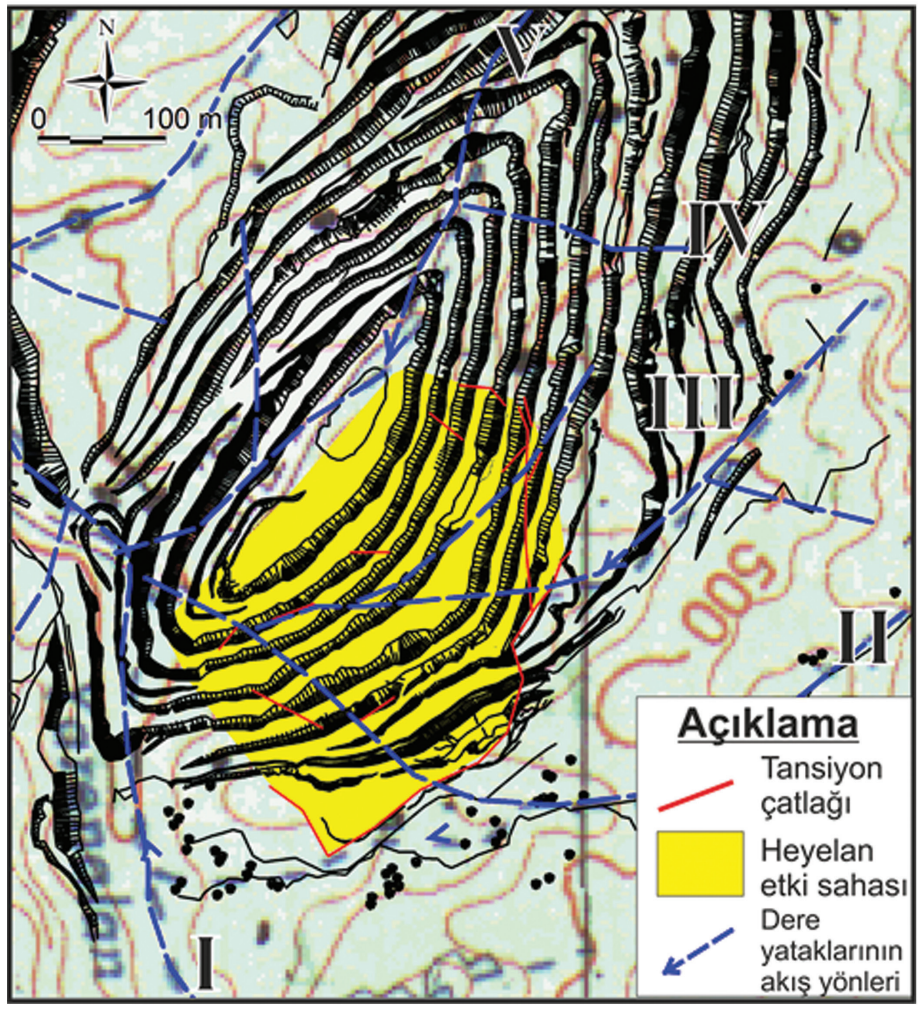
Açık ocağın güneydoğusunda yer alan ana nakliye yolunda ve 475 m kotlu şev kademesinin kuzeydoğu kesiminde 17.10.2011 tarihinde tansiyon çatlakları meydana gelmiştir. Tansiyon çatlaklarının tespitinden sonra haritalama çalışmaları başlatılarak heyelan etki sahası belirlenmiştir (Şekil 1). Ocak faaliyete geçmeden önce topoğrafya ve mevcut dere yataklarının konumları Şekil 6′da gösterilmiştir. Alipaşa açık ocağının güneydoğusunda meydana gelen heyelanın ana nedeni, Yarenalan Deresi′nin II ve III nolu kolları boyunca dere sularının ocağı beslemesidir. III nolu kolun üzeri şev planlaması sırasında örtülmüştür. Bu nedenle yüzeyden akışı gözlenememektedir. Ocak planlaması sonrasında şev basamakları teşkil edilmiş ve dere yatağının yönü değiştirilmiştir. Ancak gömülü eski yatak, faaliyetini sürdürmüştür. Eski dere yatağı boyunca gelen sular gnaysları yumuşatmış ve dayanım parametrelerini azaltmıştır. Buna ek olarak, mevcut süreksizlikler boyunca kohezyonun kaybolmasına da neden olmuştur. Bu durum açık ocak şevlerinde kayma koşullarını hazırlamıştır.

Çizelge 1. SMP-14 İstasyonuna ait ölçümler ve elde edilen veriler.

Table 1. Data of the displacement movements obtained from the measurement station of SMP-14.

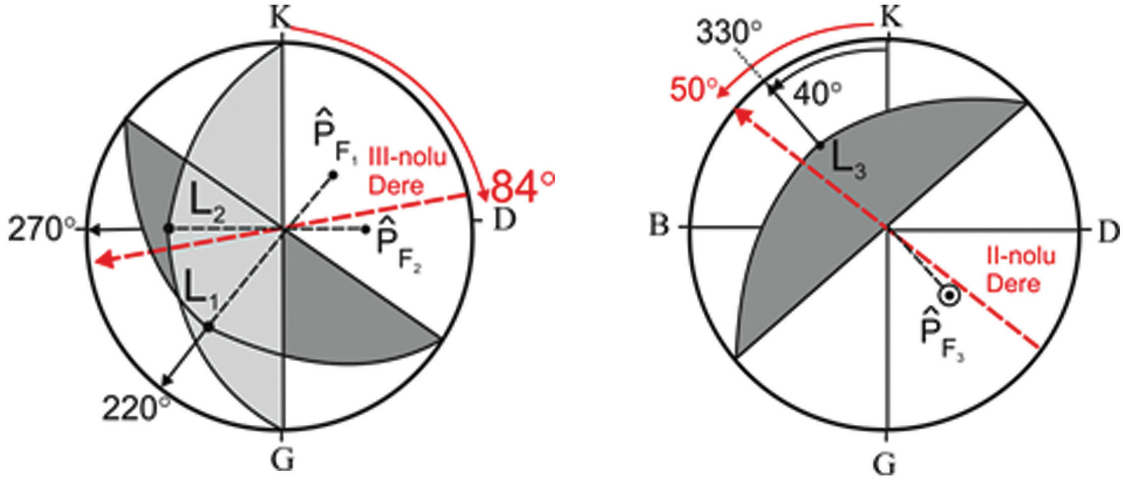
				X		Y		Z		Düşey hız	Yatay hız	Mesafe (mm)		Hareket Vektörü			
									Yönlem		Dalım						
Tarih	X	Y	Z	Fark (mm)	Küm. (mm)	Fark (mm)	Küm.. (mm)	Fark (mm)	Küm.. (mm)	(mm/ day)	(mm/ day)	Fark (mm)	Küm. (mm)	Fark (mm)	Küm. (mm)	Fark (mm)	Küm. (mm)
21.12.12	574877.38	4147545.78	429.22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	188.7	0.0				
26.12.12	574877.25	4147545.91	429.17	-129.9	-129.9	126.3	126.3	-52.8	-52.80	-10.6	36.2	287.0	188.7	314.19	314.19	-16	-16
02.01.13	574877.04	4147546.09	429.09	-206.8	-336.7	183.9	310.2	-75.9	-128.69	-10.8	39.5	388.5	475.7	311.65	312.65	-15	-16
17.01.13	574876.78	4147546.36	428.98	-262.4	-599.1	265.3	575.5	-108.3	-237.00	-7.2	24.9	469.2	864.2	315.31	313.85	-16	-16
25.01.13	574876.44	4147546.67	428.89	-337.3	-936.4	312.1	887.6	-94.5	-331.51	-11.8	57.4	274.7	1333.4	312.78	313.47	-12	-14
31.01.13	574876.26	4147546.86	428.81	-181.1	-1117.5	190.0	1077.6	-80.9	-412.38	-13.5	43.7	172.0	1608.0	316.37	313.96	-17	-15
11.02.13	574876.13	4147546.97	428.79	-129.9	-1247.4	110.8	1188.4	-20.9	-433.29	-1.9	15.5	287.7	1780.0	310.46	313.61	-7	-14
28.02.13	574875.93	4147547.16	428.71	-200.9	-1448.3	190.9	1379.3	-77.1	-510.40	-4.5	16.3	21.7	2067.7	313.54	313.60	-16	-14
11.03.13	574875.92	4147547.18	428.70	-6.3	-1454.6	20.2	1399.5	-5.0	-515.41	-0.5	1.9	24.5	2089.5	342.68	313.89	-13	-14
22.03.13	574875.90	4147547.19	428.70	-20.9	-1475.5	9.2	1408.7	-8.8	-524.20	-0.8	2.1	125.7	2113.9	293.76	313.67	-21	-14
16.04.13	574875.81	4147547.28	428.67	-86.4	-1561.9	86.8	1495.5	-28.1	-552.31	-1.1	4.9	7.8	2239.6	315.13	313.76	-13	-14
29.04.13	574875.81	4147547.28	428.67	-5.4	-1567.3	5.4	1500.9	-1.5	-553.80	-0.1	0.6	18.4	2247.4	315.00	313.76	-11	-14
17.05.13	574875.80	4147547.29	428.66	-10.6	-1577.9	9.7	1510.6	-11.5	-565.31	-0.6	0.8	22.0	2265.8	312.46	313.75	-39	-14
27.06.13	574875.78	4147547.30	428.65	-16.8	-1594.7	10.8	1521.4	-9.3	-574.58	-0.2	0.5	34.5	2287.8	302.74	313.65	-25	-15
30.09.13	574875.76	4147547.33	428.64	-22.7	-1617.4	25.9	1547.3	-2.3	-576.90	0.0	0.4	40.0	2322.3	318.77	313.73	-4	-14
22.10.13	574875.73	4147547.36	428.64	-26.4	-1643.8	29.9	1577.2	-3.3	-580.20	-0.1	1.8	58.4	2362.3	318.56	313.82	-5	-14
19.11.13	574875.69	4147547.40	428.64	-46.6	-1690.4	35.1	1612.3	-3.4	-583.59	-0.1	2.1	107.8	2420.8	306.99	313.65	-3	-14
03.12.13	574875.61	4147547.46	428.60	-77.7	-1768.1	65.0	1677.3	-36.8	-620.39	-2.6	7.2	54.2	2528.6	309.91	313.49	-20	-14
17.12.13	574875.59	4147547.51	428.59	-20.0	-1788.1	48.5	1725.8	-13.7	-634.09	-1.0	3.7	45.2	2582.8	337.59	313.98	-15	-14
09.01.14	574875.55	4147547.54	428.58	-33.4	-1821.5	30.0	1755.8	-5.5	-639.60	-0.2	2.0	160.7	2628.0	311.93	313.95	-7	-14
06.02.14	574875.44	4147547.63	428.52	-114.7	-1936.2	95.7	1851.5	-59.3	-698.88	-2.1	5.3	58.8	2788.7	309.84	313.72	-22	-15
27.02.14	574875.41	4147547.68	428.52	-33.6	-1969.8	48.3	1899.8	0.2	-698.70	0.0	2.8	168.3	2847.6	325.18	313.96	0	-14
12.03.14	574875.28	4147547.79	428.49	-122.1	-2091.9	110.1	2009.9	-36.0	-734.70	-2.8	12.6	61.9	3015.9	312.04	313.85	-12	-14
17.04.14	574875.24	4147547.83	428.46	-40.4	-2132.3	40.4	2050.3	-23.7	-758.39	-0.7	1.6	42.3	3077.7	315.00	313.88	-23	-14
06.05.14	574875.21	4147547.86	428.45	-30.8	-2163.1	27.0	2077.3	-10.6	-769.01	-0.6	2.2	41.7	3108.0	311.24	313.84	-15	-14
14.08.14	574875.19	4147547.89	428.44	-27.2	-2190.3	29.8	2107.1	-10.7	-779.70	-0.1	0.4	104.9	3161.8	317.61	313.89	-15	-14
25.12.14	574875.11	4147547.96	428.42	-76.4	-2266.7	68.5	2175.6	-21.9	-801.60	-0.2	0.8	0.0	3266.7	311.88	313.83	-12	-14

Şekil 7′de verilen kontur diyagramında foliasyon düzlemlerinin ve 2 - nolu çatlak setinin oluşturduğu kutup yoğunlaşma noktaları , , ve simgeleriyle gösterilmiştir. ve kutup noktalarını oluşturan foliasyonların eğim yönleri sırasıyla 220°, 270° ve 320°'dir (Şekil 7). Yarenalan Deresi′nin III nolu kolunun ocak içindeki uzanımı K 84 D - G 84 B ve akış yönü G 84 B, II nolu kolun ocak içine yönelen bölümünün uzanımı ise K50B–G50D, akış yönü K 50 B′dir (Şekil 7). Ocak içine yönelen dere kolunun akış yönüyle ′ü oluşturan foliasyonların eğim yönleri yaklaşık örtüşmektedir. Foliasyon düzlemleri boyunca eski dere yatağı gelişmiştir (Şekil 7). Bu örtüşme, süreksizlik düzlemleri boyunca heyelan sahasına su getiriminin olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 6. Hem yüzeysel akışa sahip hem de gömülü durumda olan dere yatakları (Önceki topoğrafya üzerine açık ocak şevleri işlenmiştir).

Figure 6. Stream beds both in surface flow and burried position (open pit slopes were marked on the previous topography).

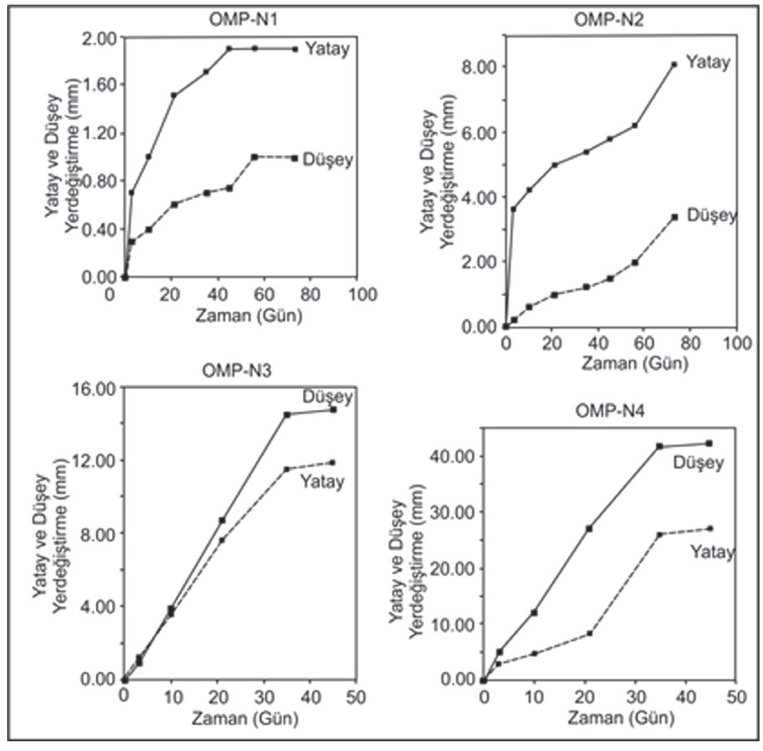


Şekil 7. Foliasyon düzlemlerinin eğim yönleriyle gömülü dere yataklarının akış yönü ilişkisi ($\overline{P}_{F1}$, $\overline{P}_{F2}$ ve $\overline{P}_{F3}$: Foliasyon kutup noktaları, L_1 ve L_2: Eğim yönü çizgisi. Eğim yönü çizgileri stereo-net üzerinde süreksizlik düzlemlerini temsil etmektedir).

Figure 7. The relationship between dip directions of foliations and flow directions of burried stream beds ($\overline{P}_{F1}$, $\overline{P}_{F2}$ ve $\overline{P}_{F3}$: Pole points of foliations, L_1 ve L_2: Dip direction lines. Dip direction lines represent the discontinuity planes on the stereographic net).

Gerilme Çatlağı Açıklık Ölçümleri

Açık ocağın GD kesiminde gerilme çatlaklarında meydana gelen yatay ve düşey hareketlerin izlendiği hareket izleme istasyonları (OMP) heyelanın taç bölgesinde yer alır. Hareket izleme noktaları hareketin başladığı ilk günlerde kurulmuştur. Süreksizlik açıklığı ölçümleri, çatlak üzerine kurulan çelik barlarla yapılmaktadır. Ölçümler dört noktada gerçekleştirilmiştir (OMP-N_1, OMP-N_2, OMP-N_3 ve OMP-N_4). OMP-N_1 ve OMP-N_2'de sekiz kez, OMP-N_3 ve OMP-N_4 noktalarında altı kez ölçüm yapılmıştır. Zamana bağlı olarak, yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarının grafiği çizilmiştir (Şekil 8). OMP-N_1 ve OMP- N_2 noktalarında yer değiştirme miktarları 80, OMP-N_3 ve OMP-N_4 noktalarında ise 48 günlük bir zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Bu durum, hareket hızlarının OMP-N_3 ve OMP-N_4 noktalarında çok daha yüksek olduğuna işaret etmektedir. Bu noktalar I nolu dere yatağına daha yakın konumdadır (Şekil 1). Gerilme çatlağı açıklığı en fazla OMP-N_4 noktasında, en düşük ise OMP-N_1 noktasında ölçülmüştür (Şekil 8). OMP-N_4 noktasında istasyonun kaybına kadar geçen sürede yatayda 42 cm düşeyde 27.2 cm hareket meydana gelmiştir. Bileşke yer değiştirme miktarı 50.0 cm'dir. Gerilme çatlağında günlük ortalama yer değiştirme hızı 0.5 cm/gün'dür. OMP-N_1 noktasında yatayda 1.90 cm düşeyde 1.0 cm hareket meydana gelmiştir.

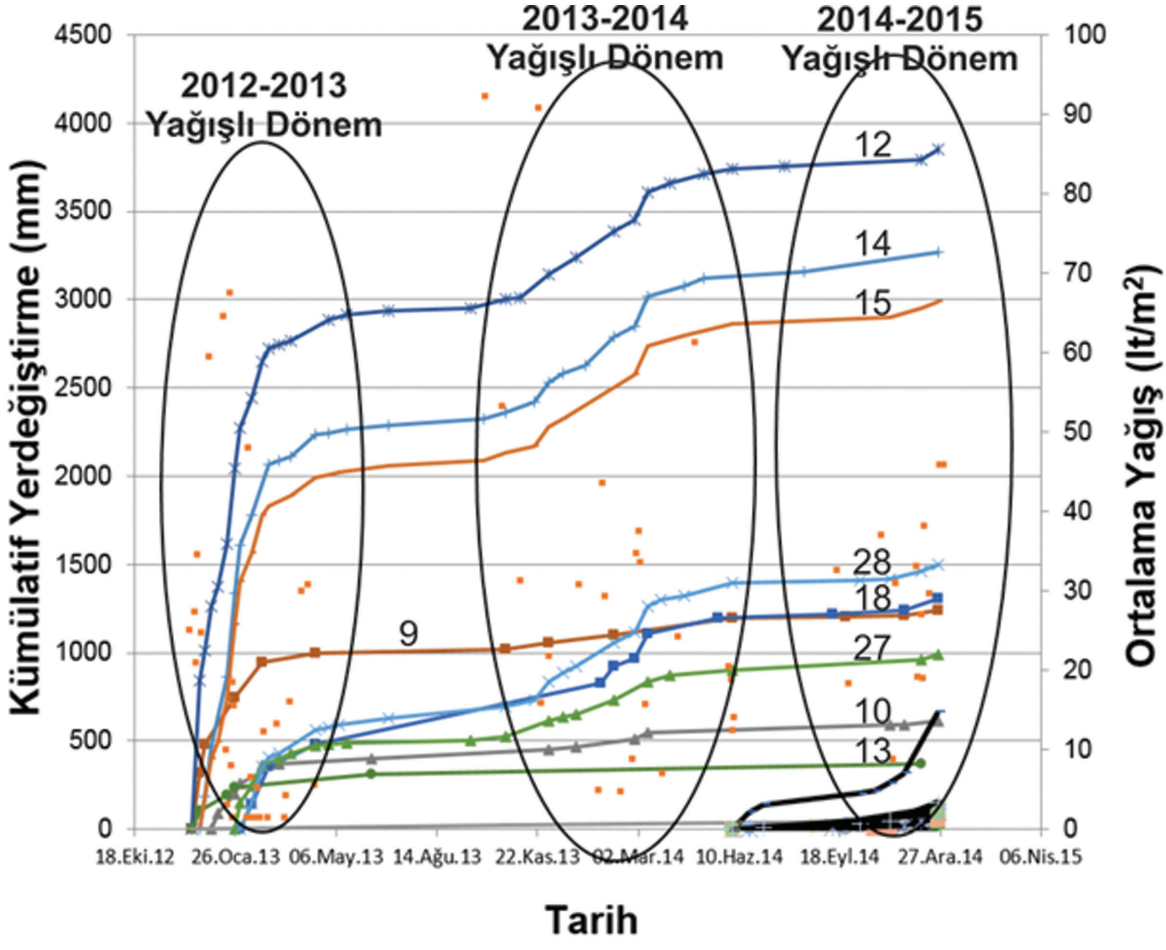


Şekil 8. Gerilme çatlaklarında yatay ve düşey yer değiştirme miktarlarının zamana bağlı değişimleri (Başlangıç ve bitiş ölçüm tarihleri: N_1 ve N_2 için: 21.10. 2011 – 12.01. 2012, N_3 ve N_4 için: 21.10. 2011 – 05.12. 2011′dir).

Figure 8. Variations of horizontal and vertical displacement amounts on the tension cracks with time (Date of start and finish of the measurements; for N_1 and N_2 measurement points: 21. 10. 2011 – 12. 01. 2012, for N_3 and N_4 measurement points: 21. 10. 2011 – 05. 12. 2011).

Şev Hareketleri İzleme Ölçümleri

Heyelanın etki sınırları içerisinde, hareket yönüne koşut üç eksen üzerine konumlanmış 19 istasyonun yerleri (SMP-noktaları) Şekil 1′de gösterilmiştir. Bu istasyonlarda yağışlı mevsimlerde haftada bir ölçüm, yaz aylarında ise 15 günde bir ölçüm alınmıştır. Her noktadaki katlanmış bileşke yer değiştirme miktarları Çizelge 2′de sunulmuştur. 2012-2014 yılları arasında şev hareketi ölçüm noktalarındaki katlanmış değerlere bakıldığında; I-nolu eksende katlanmış değerlerin ortalamasının diğer eksenlere göre çok yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 2). Bu durum, heyelana ait kayma dairesinin I-nolu eksene paralel ve yakınından geçtiğine işaret etmektedir. İstasyonlarda yapılan ölçümlerden elde edilen katlanmış yer değiştirme miktarlarının zamana bağlı grafikleri toplu olarak Şekil 9′da sunulmuştur. Aralık 2012 – Mart 2013 ile Aralık 2013 – Mart 2014 dönemlerinde şev hareketlerinde artışlar olduğu, zaman-yer değiştirme eğrilerinden anlaşılmaktadır. Belirlenen bu iki aralıkta eğrilerin eğiminin arttığı açık olarak gözlenmektedir. Özellikle Aralık 2013 – Mart 2014 zaman aralığında eğrilerin eğimi 80°'ye varmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. 19 adet SMP noktasına ait 2012-2014 yılları arasında alınan ölçümlerle ilgili zaman-katlanmış yer değiştirme ilişkileri.

Figure 9. The relationships between time and cummulative surface displacement movement related to the measurements recorded between 2012 and 2014 years at 19 SMP points.

Tüm SMP noktalarında katlamalı bileşke hareket vektörlerinin yönlem ve dalımları toplu olarak Çizelge 3′te verilmiştir. Bileşke hareket vektörünün yönlem ve dalım değerleriyle, ölçümün yapıldığı lokasyondaki foliasyon düzlemlerinin konumları karşılaştırılmıştır. Burada amaç, 26°-40° şev dışına eğimli foliasyonların ve/veya GB yönüne eğimli - kutup yoğunlaşma noktasını oluşturan 82-90/40-70 konumlu süreksizliklerin, şev hareketine neden olup/olmadığına karar vermektir. Ayrıca, basamaklarda süreksizliklerin kesişmesinden oluşan ve yönlemleri genelde şev tabanına doğru olan kamalara ait ara kesitlerin de su aktarımında sınırlı etkileri olabilir.

Çizelge 2. Heyelan hareket izleme noktaları, toplam yer değiştirme miktarı, ölçümlerin başlangıç ve son tarihleri, ölçüm sayıları.

Table 2. Monitoring points of the landslide movement, amount of total displacements, date of start and finish of the measurements, number of measurements.

Sıra no	İstasyon adı	Zaman aralığı	Ölçüm sayısı	2012-2014 arası toplam yer değiştirme (mm)		2013-2014 arası toplam yer değiştirme (mm)
1	SMP-1	21. 5. 2014 - 7.12. 2014	04	-		5
2	SMP-8.2	31. 1. 2013 - 1. 1. 2015	33	1307.27		292.74
3	SMP-8.3	21. 5. 2014 - 7. 12. 2014	07	-		22 ?
4	SMP-9	14. 12. 2012 - 22. 2. 2015	29	1347.41*		65.0
5	SMP-10	2. 1. 2013 - 13. 3. 2015	26	1522.01		846.83
6	SMP-11	21. 5. 2014 - 7.12. 2014	09	-	Yüzey sularının drenajı sonrası yapılan ölçümler	98.2
7	SMP-12	14. 12. 2012 - 22. 2. 2015	44	3968.85*		628.04
8	SMP-13	14. 12. 2012 - 22. 2. 2015	21	373.44*		40
9	SMP-14	21. 12. 2012 – 1. 3. 2015	43	3266.7*		534.62
10	SMP-15	21. 12. 2012 – 1. 3. 2015	41	2987.46*		554.78
11	SMP-16	18.10.2012 – 27. 12. 2014	10	532.5		10
12	SMP-27	25. 1. 2013 – 26. 12. 2014	30	989.43		211.18
13	SMP-28	31. 1. 2013 – 1. 1. 2015	37	1498.81		495.44
14	SMP-29	21. 5. 2014-7.12. 2014	08	-		122.8
15	SMP-30	21. 5. 2014-7.12. 2014	04	-		121.2
16	SMP-31	21. 5. 2014-7.12. 2014	05	-		55.7
17	SMP-32	21. 5. 2014-7.12. 2014	07	-		112.4
18	SMP-33	21. 5. 2014-7.12. 2014	03	-		16.7
19	SMP-36	21. 5. 2014-7.12. 2014	06	-		123.7

*: Şev yüzeyi üzerinde ilk gerilme çatlaklarının gözlendiği ölçüm noktaları.

Çizelge 3. Bileşke hareket vektörünün yönlem ve dalımının foliasyon düzlemlerinin eğim ve doğrultularıyla karşılaştırılması.

Table 3. Comparison of the trend and plunge angle of the resultant movement vector with the strike and dip angle of the foliation planes.

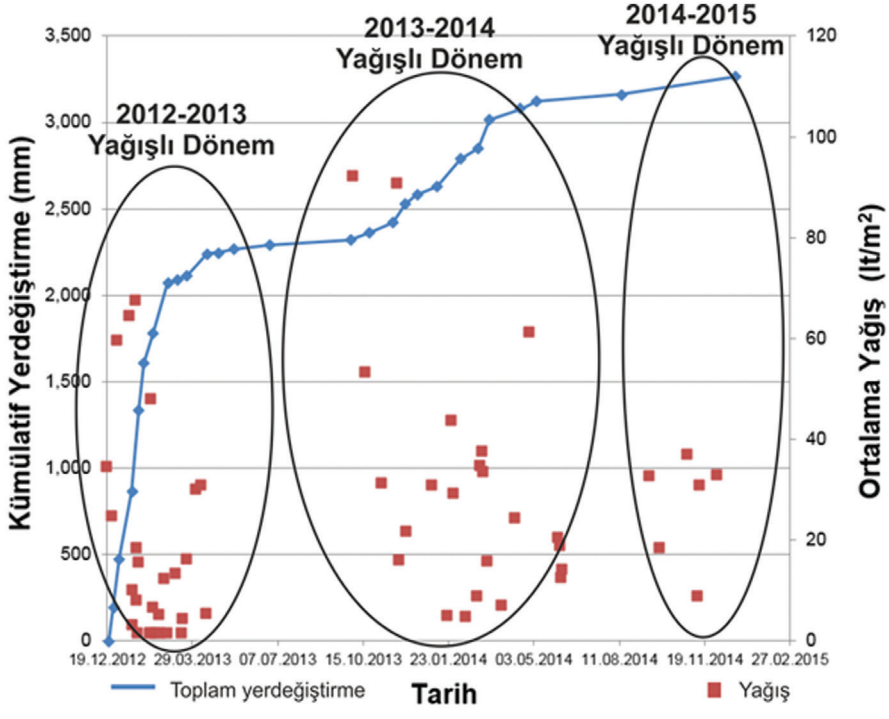
Sıra no	İstasyon adı	İzleme süresi (Gün)	Ölçüm sayısı	Katlanmış hareket vektörü yönlemi (°)	Katlanmış hareket vektörü dalım açısı (°)	Foliasyon açısının eğimi (°)	Veri uyumu kontrolü ve uyumlu kutup
1	SMP-1	171	04	286.40	-33	30	-
2	SMP-18	659	33	313.34	-23	41	-
3	SMP-8	171	07	323.85	-32	36	+
4	SMP-9	707	29	286.43	-18.92	27	+
5	SMP-10	688	26	252.39	-30.5	36	+
6	SMP-11	171	09	300.07	-29	24	+
7	SMP-12	707	44	337.31	-25.17	28	+
8	SMP-13	707	21	312.52	-3.96	-	-
9	SMP-14	700	43	313.83	-14.26	-	-
10	SMP-15	700	41	324.45	-14	24	+
11	SMP-16	707	10	294.07	-22.65	41	-
12	SMP-27	665	30	297.70	-20	26	+
13	SMP-28	659	37	328.26	-20.1	27	+
14	SMP-29	171	08	310.33	-16	24	+
15	SMP-30	171	04	311.53	-12	-	-
16	SMP-31	171	05	295.92	-2	-	-
17	SMP-32	171	07	309.16	-14	26	+
18	SMP-33	171	03	287.24	-1	-	-
19	SMP-36	171	06	312.44	-34	38	+

Açıklama: Hareketin yönü ocak tabanına doğruysa " – ", yukarıya doğruysa "+" olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 3′ün son sütununda ölçüm değerleri eşleştirilerek veri uyumu kontrol edilmiştir. SMP-8, SMP-10, SMP-11, SMP-12, SMP-14, SMP-27, SMP-28, SMP-29, SMP-32 ve SMP-36 şev hareketi izleme noktalarında bileşke hareket vektörünün dalım açılarıyla, istasyonun yer aldığı alanda ölçülen foliasyonların eğim açısı değerleri uyum göstermiştir. Ayrıca bu vektörlerin yönlemleri dikkate alındığında; SMP-10′da (), SMP-9′da () ve SMP - 27′de (+) ölçülen hareket vektörlerinin yönlemleri ve kutup noktalarına ait foliasyonlarla eğim yönleri uyumludur. SMP - 8, SMP - 11, SMP - 12, SMP - 28, SMP - 29, SMP - 32 ve SMP - 36′da ölçülen hareket vektörleri de kutup noktasını oluşturan foliasyonlarla uyumludur (Çizelge 3).

SMP - 14 Lokasyonu Şev Hareketi Yer Değiştirme ve Hız Verilerinin Yağış Verileriyle Deneştirilmesi

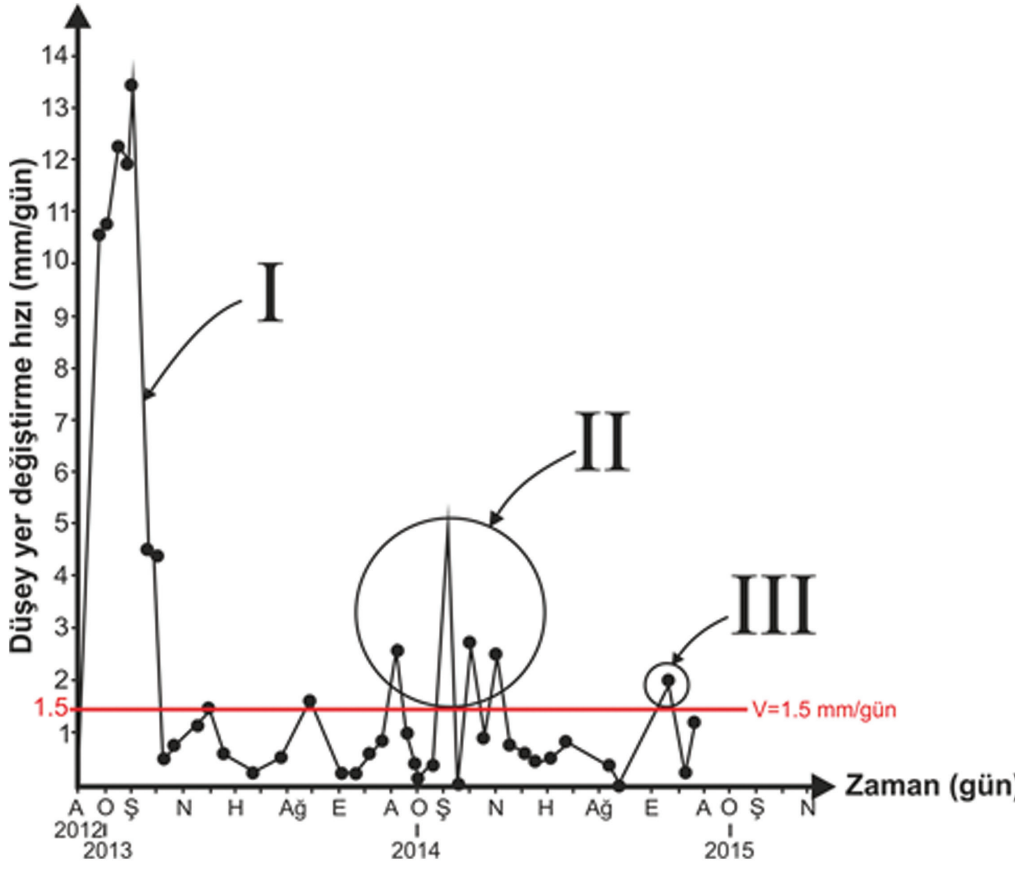
SMP-14 lokasyonu, şev hareketlerinin başlangıcından sonuna kadar geçen sürede takip edilen bir kontrol noktasıdır. 21 Aralık 2012 ve 21 Kasım 2014 tarihleri arasındaki 700 günlük sürede katlamalı yer değiştirme sonuçlarının grafiği ortalama yağış verileriyle birlikte verilmiştir (Şekil 10). Grafikte kırmızı noktalar günlük ortalama yağış miktarlarını (lt/m^2) göstermektedir. Kırmızı noktaların yoğunlaştığı alanlar yağışlı dönemleri işaret etmektedir.



Şekil 10. SMP-14′te katlamalı yer değiştirme hareket vektörünün zamana bağlı değişimi ve bu ilişkinin ortalama yağış verileriyle deneştirilmesi.

Figure 10. Changing the cumulative surface-displacement movement's vector with time at the SMP-14 and itscomparison with the mean rainfall-data.

Şev hareketi izleme çalışmaları yağış ölçümleriyle birlikte analiz edildiğinde, şev hareketlerinin yağışlı mevsimlerde en üst seviyelere ulaştığını, kurak geçen yaz aylarında da en yavaş seviyelerde kaldığını göstermektedir (Şekil 10). Şev hareketlerinin en hızlı olduğu istasyon SMP-14′tür. 21 Aralık 2012 ile 19 Kasım 2013 tarihleri arasında yatay ve düşeyde ölçülen hareket miktarları sırasıyla 2342.1 ve 583.59 mm′dir (Çizelge 1). Bileşke kümülatif hareket ise 2420.8 mm'dir. Hareketin yönlem ve dalımı 14/313.83 (K45B/14 KB)'tür. 16 Nisan 2013 ile 19 Kasım 2013 tarihleri arasındaki yağışsız dönemde kümülatif bileşke hareket miktarı 181.2 mm olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 1). 19 Kasım 2013 ile 06 Mayıs 2014 tarihleri arasındaki yağışlı dönemde katlamalı bileşke hareket 3108.039 mm olarak gerçekleşmiştir (Çizelge 1). Hareketin yönü 13/313.93 (K46B/13KB)′tür (Şekil 11).



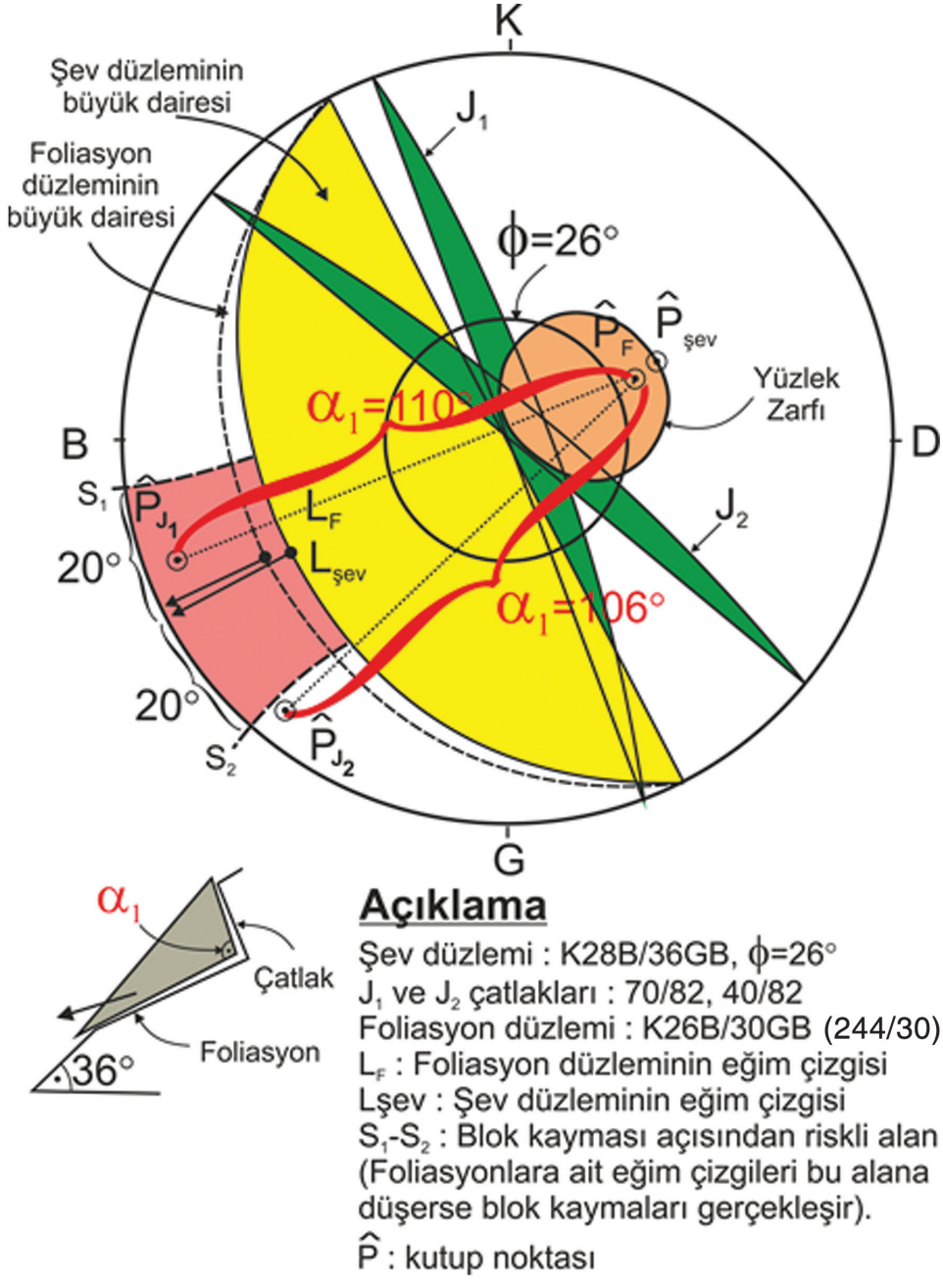
Şekil 11. SMP-14 istasyonunda birbirini takip eden ölçümler arasındaki düşey hız farklarının (mm/gün) zamana bağlı değişimi (veriler için Çizelge 2'ye bakınız).

Figure 11. Time-dependent variation of the vertical displacement velocity differences (mm/day) (differences (mm/day) among successive measurements at SMP – 14 station (see Table 2 for the data).

SMP-14 istasyonunda düşeyde meydana gelen hareket hızının zamana bağlı değişimi grafik olarak Şekil 11′de sunulmuştur. Grafik üzerinde V > 1.5 mm/gün (Franklin, 1977 tarafından önerilen deformasyonlar için limit hız değeri) değerinin üzerinde üç farklı bölgenin oluştuğu (I, II ve III nolu bölgeler) görülmektedir. Sırasıyla bu bölgeler; 21 Aralık 2012 - Mart 2013, 19 Kasım 2013 – 17 Nisan 2014 ve 23 Ekim 2014 – 21 Kasım 2014 tarihleri arasındaki yağışlı dönemlere denk gelmektedir. Kurak dönemlerde hareket hızları V ≤ 1.0 mm/gün civarındadır. I-nolu bölgede en yüksek hız değeri 13.5 mm/gün, II-nolu bölgede 5.0 mm/gün ve III-nolu bölgede ise 2.0 mm/gün mertebesindedir (Şekil 11). II ve III-nolu bölgelerde düşey hareket hızlarının I - nolu bölgeye göre çok daha yavaş olmasının nedeni; ikinci bölge yağışları başlamadan önce drenaj çalışmalarının tamamlanmış olmasıdır.

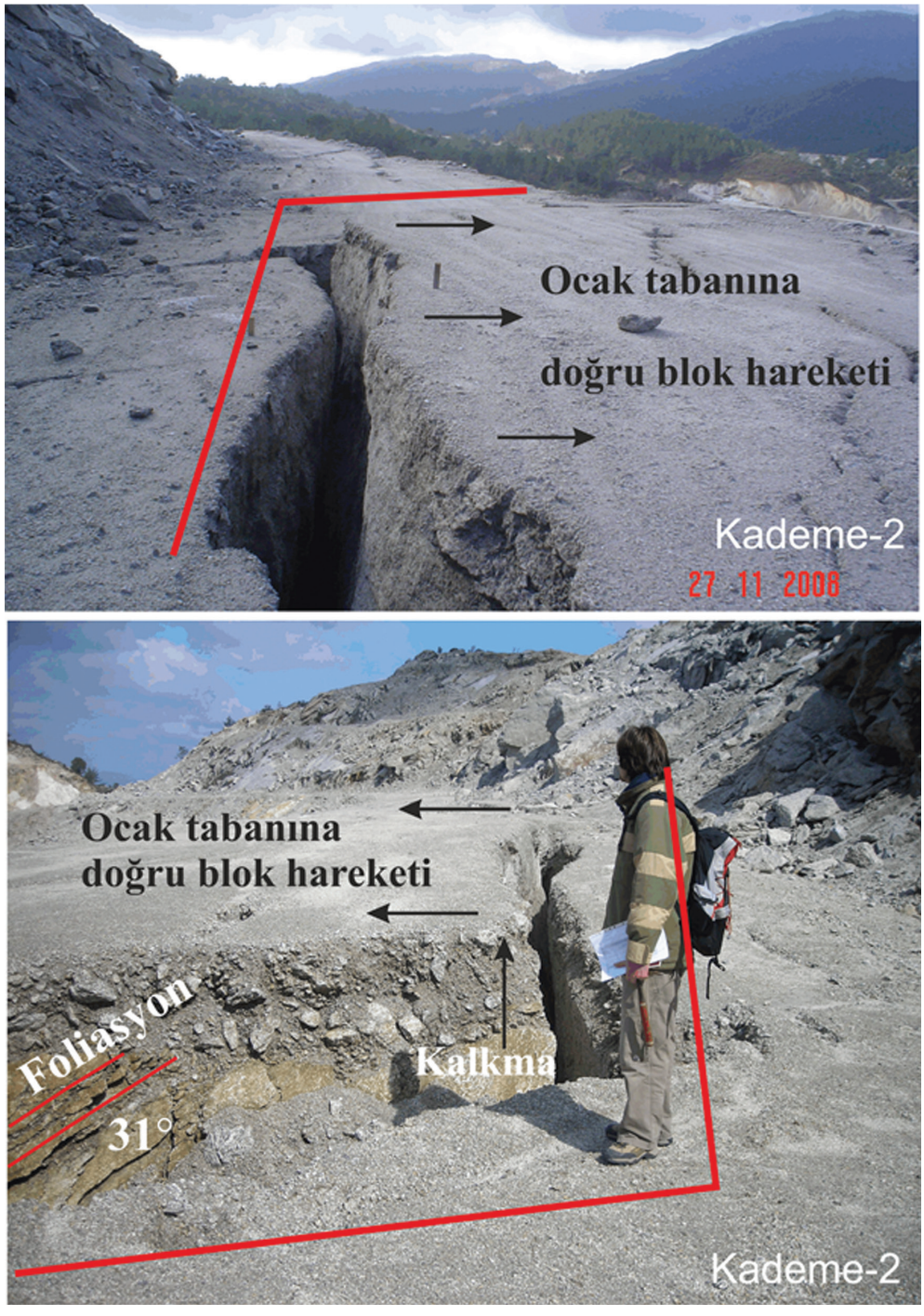
İki Düzlemli Blok Hareketinin Kinematik İncelemesi

Yaklaşık düşey konumlu çatlakların (82/40 ve 82/70) foliasyon düzlemlerini ($\overline{P}_{fl}$) kutbunu oluşturan foliasyonlar) kesmesiyle oluşmuş blok kaymalarına ait stereogram Şekil 12′de sunulmuştur. Çatlaklar bloğu geriden sınırlayan süreksizliklerdir ve gerilme çatlakları bu yüzeylerden itibaren gelişmiştir (Şekil 13). Esas kayma düzlemi foliasyon yüzeyleridir. Blok hareketi sırasında, çatlaklardan itibaren çekme gerilmeleri etkili olmaktadır. Şekil 12′deki projeksiyonda foliasyon ve şev düzlemlerini, eğim çizgileri (L_F ve $L_{şev}$) temsil etmektedir. α_1 - açısı; foliasyonlarla yaklaşık düşey konumlu çatlaklar arasındaki açıyı göstermektedir. $L_{şev}$′in her iki yanında yer alan ± 20°'lik alan içerisine, çatlakların kutup noktalarının düşmesi halinde blok kayma potansiyelinin varlığı ortaya çıkmaktadır. Blok kayma potansiyelinin en yüksek olduğu durum$\overline{P}_{şev}$ -$\overline{P}_{foliasyon}$ -$\overline{P}_{çatlak}$ kutup noktalarının aynı hat üzerinde yer almasıyla oluşmaktadır. Şekil 12′de bu durum gerçekleşmiş görülmektedir. Verilere göre, incelenen sahadaki hareketin tipi, iki düzlemli birleşik bir blok kayma hareketidir. Bir diğer anlatımla, kayma düzlemi kaşık şekilli eğri bir yüzey değil, foliasyonların oluşturduğu iki düzlemli (çatlak + foliasyon) bir yüzeydir (Şekil 14). Şekil 13'te görüldüğü üzere şev içine eğimli çatlaklarda yenilmeyi oluşturan mekanizma; açık ocağa doğru blok kayma hareketi gerçekleşmeden önce, kayması muhtemel kaya bloğunun yukarı yönde yükselmesine (blok öne eğilirken, arka tarafı yukarıya doğru yükselmektedir), beklenenin tersi yönde bloklararası bir makaslamanın gelişmesine neden olmaktadır. Bu tür hareketler açık işeltme şev basamaklarının tabanında yükselmelere (kabarmalara) neden olmaktadır. Düşeye yakın çatlaklar KD yönüne eğimli olup, konumları 40-70 / 82-90 aralığındadır. Şev gerisindeki gerilme çatlaklarının bu süreksizlik düzlemlerinden itibaren geliştikleri, stereografik izdüşüm çalışmalarıyla anlaşılmıştır (Şekil 7′de $\overline{P}_{j3}$ nolu kutup noktasını oluşturan süreksizlikler).



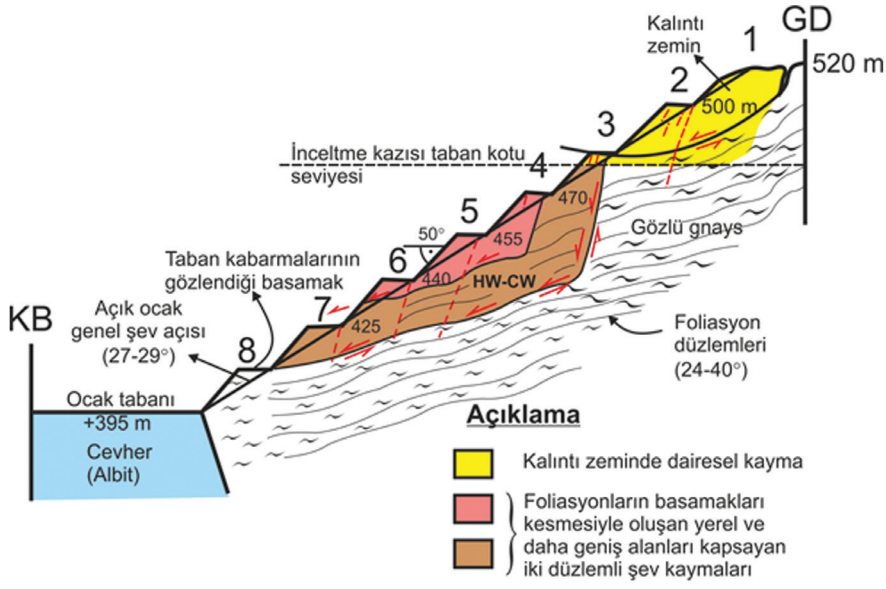
Şekil 12. Yaklaşık düşey konumlu çatlakların (J_1 ve J_2) foliasyon düzlemlerini kesmesiyle oluşmuş blok kaymalarına ait alt yarım küre projeksiyonu.

Figure 12. Lower hemisphere projection of the block slidings formed due to the intersection of almost vertical joints (J_1 and J_2) with the foliation planes.



Şekil 13. Yaklaşık düşey konumlu, eğim yönü şev tabanına doğru olan çatlaklar ve foliasyon düzlemlerinin kesişmesinden oluşan bloklardaki α_1-açıları.

Figure 13. α_1- angles at the blocks formed by intersection of the foliation planes and nearly vertical joints dipping to the slope base.



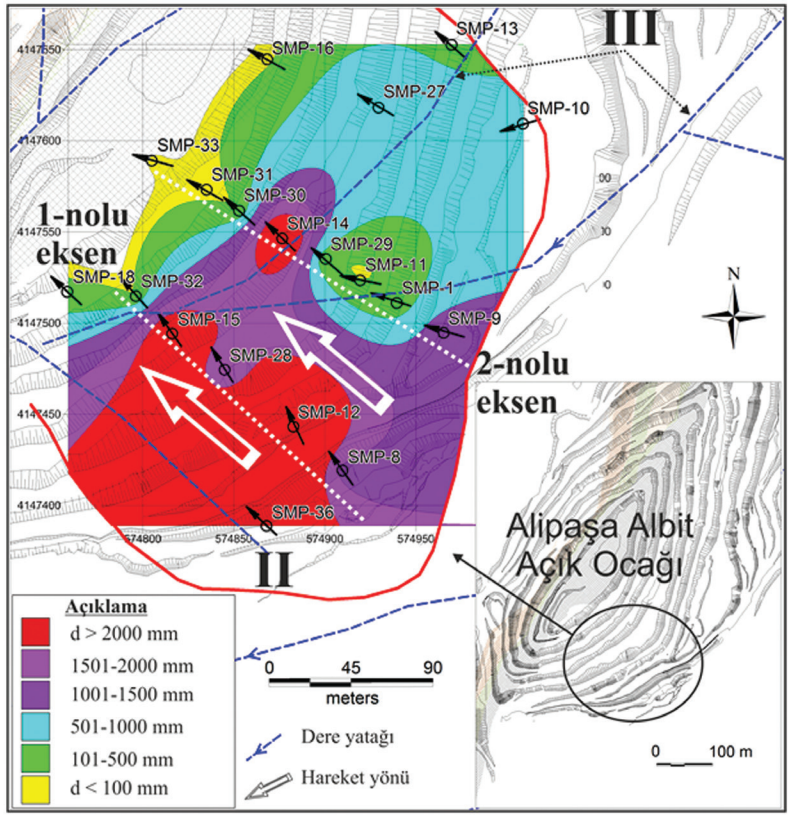
Şekil 14. Açık ocak heyelanı duraysızlık mekanizmasına ilişkin hazırlanmış model.
Figure 14. Model of the landslide mechanism in open-pit mine.

DEĞERLENDİRME

Açık ocak işletmeye açılmadan önce, sahanın topoğrafik koşullarının güncel topoğrafyadan çok daha farklı olduğu, önceki topoğrafik haritaların incelenmesiyle anlaşılmıştır. Heyelan sahasının gerisinde (taç bölgesinde) yer alan dere yatakları, güncel topoğrafyada yer almamaktadır. Ocak planlaması yapıldıktan sonra, eski derelerin yatakları değiştirilmiştir. Ancak süreksizlikler boyunca gelişmiş bu yataklar, eğimle birlikte, ocak içine doğru sızıntı suları taşımaya devam etmiştir. Bu sonuca varılmasını sağlayan etmenler şunlardır: i) Heyelan sahasında yer altı su seviyesinin ocağın diğer bölümlerine göre daha yüksek olması (+462 m), ii) Heyelan etki sahasında yer alan gnaysların oldukça-tamamen ayrışmış (yer yer kalıntı zemine dönüşmüş) durumda olmaları, iii) Heyelan sahasındaki süreksizlik zonlarının nemli olması, yer yer damlama şeklinde su gelişlerinin gözlenmesi iv) Gömülü dere yataklarının akış yönleriyle, süreksizlik düzlemlerinin eğim yönlerinin örtüşmesi (Şekil 15).

Üç nolu kutup noktasını () oluşturan foliasyonların eğim yönleriyle II-nolu derenin akış yönünün, III-nolu derenin akış yönüyle de ve kutuplarını oluşturan foliasyon düzlemlerinin eğim yönlerinin örtüştüğü belirlenmiştir (Şekil 15). Gömülü dere yatakları boyunca sızan suların geniş foliasyon yüzeyleri boyunca heyelan sahasına taşındığı anlaşılmıştır. Ayrıca açık ocaktaki basamak şevlerini kesen foliasyonlar boyunca nemli zonların varlığı ve bu düzlemler boyunca düzlemsel kaymaların geliştiği gözlenmiştir. SMP-19 noktasında bileşke hareket vektörünün yönlem ve dalımları, foliasyon düzlemlerinin doğrultu ve eğimleriyle ilişkilendirilmiştir. SMP-10 hariç (hareket yönü; bileşke kayma yönü-GB yönünü göstermektedir), bileşke hareket vektörü yönlemlerinin 286.40° ile 337.31° arasında değiştiği belirlenmiştir. SMP-18 noktasının ortalama bileşke hareket

vektörü yönlem açısı 308.04°'dir. I-nolu eksende ölçülen kümülatif hareket yönlerinin ortalama değeri 322.73, II-nolu eksende ise 297.58'dir. Bu ortalama değerlerin ortalaması 310.154'tür (Şekil 15; burada, hareket yönü, miktarı, güncel topoğrafya ve önceki topoğrafyaya ait dere yatakları arasındaki ilişki CBS yardımıyla açık olarak ortaya konmuştur). Bu değer -kutbunu oluşturan foliasyon düzlemlerinin eğim yönüyle örtüşmektedir (α=320°). Ek olarak, SMP-10 noktasında ölçülen değer ise + kutbunu oluşturan foliasyonlarla örtüşmektedir. SMP-10, III-nolu derenin kollarının tam ortasında yer almakta olup, şev hareketinin yönü 252.39°'dir. Bu durumda SMP-10′un hareket yönü II-nolu dere kolunun akış yönüne yaklaşık dik ve heyelanın KB yönüne hareketi (310.154°) nedeniyle oluşan boşluğu dolduracak şekilde gelişmiştir. SMP-10′un hareket yönünü, hem foliasyonların eğim yönleri hem de heyelanın KB yönüne hareketi nedeniyle gelişen GB yönlü çekme gerilmeleri belirlemiştir. Bileşke hareket vektörünün yönlem ve dalım açısı değerleriyle foliasyon düzlemlerinin doğrultu ve eğim açıları birlikte eşleştirildiğinde; SMP-8, SMP-10, SMP-11, SMP-12, SMP-14, SMP-27, SMP-28, SMP-29, SMP-32 ve SMP-36 şev hareketi izleme noktalarında tam bir uyumun olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 15. Alipaşa açık ocağına ait tematik deformasyon haritası.
Figure 15. Thematic deformation map of the Alipaşa open-pit mine.

SMP-10 noktası, heyelanın KD yönündeki en uç noktasında yer almaktadır. Diğer dokuz nokta ise heyelanın I ve II nolu eksenleri üzerinde yer almaktadır. Bu eksenlerde kayma hareketi en hızlı ve en büyük değerlere ulaşmaktadır. Bileşke hareket vektörlerinin yönleri (18 noktanın) dikkate alındığında; açık ocağın güneydoğusunda yer alan heyelanın kayma yönü, ocak tabanına doğrudur ve yönlemi 310.154° (K50B)'dir. Kayma, şev dışına eğimli (26°- 40°) foliasyon düzlemleri tarafından denetlenmektedir.

Bileşke hareket yer değiştirme miktarı-zaman eğrileri incelendiğinde; eğriler üzerinde iki adet yüksek açılı rampanın yer aldığı görülür. Bu rampalar üçer aylık iki çok yağışlı döneme karşılık gelmektedir. Birinci dönem; Aralık 2012 – Mart 2013, ikinci dönem ise Aralık 2013 – Mart 2014 tarihleri arasındadır. Bu iki dönemin öncesinde ve sonrasında önemli bir şev deformasyonuna hiçbir SMP noktasında rastlanmamıştır. İlk üç aylık yağışlı dönemde SMP-8, SMP-9, SMP-12, SMP-14, SMP-15, SMP-27 ve SMP-28 noktalarında toplam yer değiştirme (bileşik hareket vektöründe) miktarları 1.0 m′den daha fazladır. SMP-12, SMP-14 ve SMP-15 noktalarında bileşke toplam hareket miktarı ise ≥ 3.0 m olarak gerçekleşmiştir. Bileşke hareket yer değiştirme-zaman eğrileri iki kez dış etkilere maruz kalmıştır. Buna ek olarak, 11 Ekim 2011′de ilk gerilme çatlakları gelişmiştir. Önlem olarak şev inceltme kazıları yapılmış ve yaklaşık 200.000 m^3 kaya malzemesi kaldırılmıştır (Şekil 14). Böylece, şev hareketleri biraz olsun yavaşlatılmıştır. Ancak, Aralık 2012′de başlayan ve Mart 2013′e kadar devam eden yoğun yağışlarla birlikte düzlemsel kayma türünde, iki düzlemli şev deformasyonları meydana gelmiştir. 2013 yılı sonuna doğru drenaj çalışmalarına başlanmıştır. Heyelan sahasının gerisinde yer alan dere yataklarına ve diğer akaçlamalara 50 cm çaplı körüklü plastik su boruları döşenmiş ve yüzey sularının heyelan sahasına yönelmesi engellenmiştir. Drene edilen sular, iki adet küçük ölçekli tahliye barajında biriktirilmiş ve daha sonra da duraysız bölge dışındaki bir dere yatağına aktarılmıştır. Ayrıca, gerilme çatlakları yarı geçirgen ince malzemeyle kaplanarak sıkıştırılmıştır. Böylece yüzey sularının derine nüfuz etmesi önlenmiştir. Bu önlemlere ek olarak, şev kademelerinin tabanında oluşturulan kanallar aracılığıyla palyelerde biriken sular tahliye barajlarına aktarılmıştır. Böylece Aralık 2013′e gelmeden heyelan önleme çalışmaları tamamlanmıştır. Heyelan sahası, Aralık 2013 ile Mart 2014 döneminde yine yoğun yağış almış, şev hareketleri tekrar başlamıştır. Ancak, alınan önlemlerle şev hareketleri sınırlanmış ve önceki döneme göre bu hareketler çok daha sınırlı olarak gerçekleşmiştir. Günümüz koşullarında da şev hareketleri sınırlı tutularak ocak tabanında cevher üretimine devam edilmektedir.

Bileşke kuvvet yer değiştirme miktarlarının zamana bağlı değişiminden elde edilen eğriler incelendiğinde; yoğun yağışların neden olduğu yeraltı su seviyesi yükselmeleri heyelan sahasında boşluk suyu basınçlarını arttırmıştır. Şev hareketlerinin incelendiği dönem içinde boşluk suyu basınçları iki kez yükselmiş ve yükselişleri sonucunda da şev deformasyonlarında ciddi artışlar olmuştur. Bu dönemlerin öncesinde ve sonrasında (kurak dönemler) sınırlı şev deformasyonları meydana gelmiş, eğrilerin eğimleri yataya yakın bir konum almıştır. Heyelanlı sahadaki 410 m kotlu şev basamağında, topuk kabarmaları gözlenmiştir. Ancak kayma dairesi kademe şevinde günlenmediği için

retrogresif safhada olan heyelan henüz progresif safhaya geçmemiştir.

SONUÇLAR

Katlamalı hareket vektörlerinin yönlemlerinin 253.09° ile 337.31° arasında, dalım açılarının ise 21° ile 34° arasında olduğu GPS verilerinin değerlendirilmesiyle elde edilmiştir. 21° ile 34° dalım açısına sahip bileşke vektörlerin, istasyonların üzerinde kurulduklarını gnaysların içerdikleri foliasyon eğim açısı ve eğim yönleriyle uyumlu oldukları belirlenmiştir. Diğer taraftan, foliasyon düzlemi eğim yönlerinin gömülü dere yataklarının akış yönleriyle de uyumlu oldukları saptanmıştır. Bu iki neden; kütle hareketini oluşturan esas kayma düzleminin yer yer basamakları kesen foliasyon düzlemleri olduğunu göstermektedir. Gerilme çatlaklarının, konumları 40-70 / 82-90 aralığında olan düşey çatlaklardan itibaren geliştiği, bu çatlakların kayan kütlenin şev gerisindeki bölümünü sınırlayan çatlaklar olduğu ve gerilme çatlaklarının da bu yüzeylerden itibaren geliştiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kayan kütlenin, şev gerisi ucu gerilme çatlaklarıyla sınırlı, iki yüzeyli (çatlak + foliasyon) bir düzlemsel kayma modeli olduğuna işaret etmektedir.

Hareket izleme çalışmalarından, katlamalı bileşke hareket vektörlerinin yönlem ve dalımlarından ve saha gözlemlerinden edinilen veriler ışığında, açık ocakta meydana gelen heyelan hareketinin yerel olmadığı ve şev üst noktasından ocak tabanına yakın bir kesime kadar olan bölümü (+ 410 m kotuna kadar) etkilediği belirlenmiştir. Bu anlamda heyelanın 6 şev basamağını etkileyecek büyüklükte olduğu anlaşılmıştır. Ancak heyelan retrogresif aşamadadır ve henüz progresif aşamaya geçmediği belirlenmiştir.

Aralık 2012 - Mart 2013 ve Aralık 2013 - Mart 2014 dönemlerindeki yoğun yağışlar sonrasında heyelan sahasındaki şev basamaklarında deformasyonların arttığı saptanmıştır. Bu durum zamana bağlı katlamalı hareket yer değiştirme eğrileriyle her istasyon için saptanmıştır. Eğri üzerinde iki artış meydana gelmiştir. Birinci rampanın eğimi 70°- 80°, ikinci rampanın eğimi ise 30°- 40° civarındadır. Rampaların öncesinde ve sonrasında eğrinin eğimi yataya yakın seyretmektedir. Birinci rampanın Aralık 2012 - Mart 2013, ikinci rampanın da Aralık 2013 - Mart 2014 dönemleriyle tam olarak çakıştığı belirlenmiştir. Rampalarda düşey hareket hızları da kurak dönemlerin çok üzerinde değerler vermiştir. En yüksek ölçülen hızlar birinci rampada 13.5 mm/gün, ikinci rampada ise 5.0 mm/gün′dür. İkinci rampanın eğiminin birinci rampaya göre çok daha düşük olmasının nedeni; 2013 Ocak ayının sonlarında gerçekleştirilen drenaj projesinin uygulamaya geçirilmesidir. Böylelikle şev gerisindeki yüzey sularının, gömülü dere yatakları aracılığıyla heyelan sahasını beslemesinin önüne geçilmiştir.

KAYNAKLAR

Allasia, P., Manconi, A., Giordan, D., Baldo, M., Lollino, G., 2009. ADVICE: A new approach for near-real-time monitoring of surface displacements in landslide hazard scenarios. Sensors, 13, 8285–8302.

Bell, R., Glade, T., 2004. Natural hazards and earth system sciences quantitative risk analysis for landslides – Examples from B´ıldudalur, NW-Iceland. Natural Hazards and Earth System Sciences, 4, 117–131.

D.M.İ., 2014. Devlet Meteoroloji İstasyonu Kayıtları, Aydın.

Franklin, J. A., 1977. The monitoring of structures in rock: Intl. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 14, 163-192.

GEOVIA Surpac 6.6.1. (2013). GEOVIA Surpac Reference Manual.

Kadakçı, K. T., Koca, M. Y., 2014. Açık ocak albit işletmesindeki kaya şevlerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak duraylılık değerlendirmesi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 38, 1, 1-19.

Kıncal, C., 2014. Application of two new stereographic projection techniques to slope stability problems. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 66, 136-150.

Koca, M. Y., Kahraman, B., Karakuş, D., Özdoğan, M. V., 2010. General assessment of the stability of Overall slope of Ali Paşa Albite Mine. Dokuz Eylül Üniversitesi, 156 s (unpublished).

Koca, M.Y., Kahraman, B., Kıncal C., 2012. Report of Overall Slope Stability Assessment of The Alipasa Open Pit Mine. Dokuz Eylül Üniversitesi, 80 s (unpublished).

MapInfo Professional 8.0, 2000. MapInfo Professional 8.0 software manual.

Martin, D. C., 1993. Time dependent deformation of rock slopes. University of London, PhD Thesis, London.

NetCad GIS 7 (2015). NetCad GIS Yazılım Kullanma Kılavuzu.

Read, J., Stacey, P. F., 2009. Guidelines for Open Pit Design, CSIRO Publishing, Melbourne, 496 p.

Savely, J. P., 1993. Slope management strategies for succesful mining. Proceedings Innovative Mine Design for the 21st Century, Balkema, Rotterdam, 25-34.

Sjöberg, J., 1996. Large scale slope stability in open pit mining – a review, technical report. Division of Rock Mechanics, Lulea University of Technology, Sweden, 215 p.

Tanyaş, H., Ulusay, R., 2013. Assessment of structurally-controlled slope failure mechanisms and remedial design considerations at a feldspar open pit mine, Western Turkey. Engineering Geology, 155, 54– 68.

Wang J., Gao J., Liu Ch., Wang J., 2010. High precision slope deformation monitoring model based on the GPS/Pseudolites technology in open-pit mine. Mining Science and Technology 20, 0126–0132.

Wilson, S.D., 1970. Observational data on ground movements related to slope instability. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Civil Engineers Proceedings, 96, 1521-1544.

Wylie, D. C., Munn, F. J., 1978. The use of movement to minimise production losses due to pit slope failures. Proceedings, First International Symposium on Stability in Coal Mining, eds. Brawner & Dorfling, Vancouver, 75-94.

Zavodni, Z. M., 2000. Time-Dependent Movements of Open-Pit Slopes. Slope Stability in Surface Mining. Hustrulid, W.A. (ed). SME, Littleton, CO, USA, Ch. 8. p.110.