



KÖMÜR AÇIK İŞLETMELERİNDE PASA ŞEV STABİLİTESİNİN HIPOPLASTİK MODEL İLE TESPİTİ

Mahmut Suat DELİBALTA

Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde, Türkiye

ÖZET

Madencilik sektörü diğer endüstriyel işletmelerden farklı olarak, doğal çevre ile çok daha sıkı ilişki halindedir. Kömür açık işletmelerinde gerek üretim, gerekse örtükazı (dekapaj) faaliyetleri sırasında ve sonrasında pek çok üretim çukurları/boşlukları ve şev yüzeyleri oluşmaktadır. Geometrileri örtü kalınlığına, işletme büyüklüğüne ve seçilen açık işletme üretim yöntemine bağlı olarak bozulan bu arazilerin, yeniden düzenlenmesi ve kullanıma sunulması çevresel etki bakımından büyük önem taşımaktadır. Farklı kullanım alternatiflerinin uygulanabileceği bu bölgelerin, eski ekolojik ve ekonomik değerine kavuşturulması veya daha da geliştirmesi, ancak jeoteknik yönden duraylı ortam koşullarına sahip olması ile mümkündür. Pasa malzemesinin gevşek yapısal ve oluşum özellikleri nedeniyle önemli bir kısmı kayma veya akma eğiliminde olmaktadır. Çok kısa zaman dilimi içerisinde ani hızlara ulaşan ve büyük bir enerji boşalmasıyla sonuçlanan bu tür şev kaymaları, önemli tehlike potansiyelleri içermektedir. Bu maksatla yapılan çalışmada; pasa şev duraysızlıklarının oluşum koşulları, hipoplastik model (Δ^2E) ve kullanım alternatifleri tanıtılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Açık işletmeler, pasa şev stabilitesi, hipoplastik model

THE DETERMINATION OF SLOPE STABILITY WITH HYPOPLASTIC MODEL IN COAL OPEN PIT MINES

ABSTRACT

Mining sector, unlike other industries are much connected with its natural environments. Many production open-spaces and slopes are occurred during or after production and overburden stripping in coal open pits. These land fields of which geometries are deformed depending on the overburden thickness, the size of the operation and the mining technique selected directly impact the effectiveness of the reclamation process and in turn proper preparation of the land for public use. These land fields must be stable geotechnically as well as ecologically so that alternative public usages can be managed. The mining land field soil is often tending to slide and flow due to its structural and stability properties. These sudden changes can reach to high speeds within seconds and often result in massive energy discharges which can cause catastrophic land slides. It is our hope that this work will shed light to understand and predict the risk of slope stability so that this hypoplastic materials theory (Δ^2E) can be safely used for alternative public serve.

Keywords: Open pit mines, slopes stability, hypoplastic model

1. GİRİŞ

Madencilik sektörü, diğer endüstriyel işletmelerden farklı olarak doğal çevre ile çok daha sıkı ilişki halindedir. Ülkemizdeki toplam linyit üretiminin yaklaşık %90'nın açık işletme üretim yöntemi ile gerçekleştirildiği dikkate alırsa, madencilik faaliyetleri nedeniyle bozulan arazilerin oldukça önemli boyutlara ulaştığı açıkça görülecektir [1, 2]. Gerek iş güvenliği, gerekse doğal çevrenin korunması bakımından bu arazilerin yeniden

düzenlenmesi ve kullanıma sunulması, yasal bir zorunluluktur. Farklı kullanım alternatiflerinin tasarlanabileceği bu arazilerin, başta jeoteknik bakımdan duraylı (stabil) ortam koşullarına sahip olması gerekmektedir [3].

Pasa malzemesinin gevşek yapısal ve oluşum özellikleri nedeniyle önemli bir kısmı kayma veya akma eğiliminde olmaktadır. Bunun en önemli koşulu; boşluk suyu basıncının artması ile kayma gerilmesinin azalması ve statik denge durumunu bozacak yeterli büyüklükteki bir iç veya dış kuvvetin yüzeye etkimesidir. Çok kısa zaman dilimi (birkaç saniye veya dakika) içerisinde ani hızlara ulaşan ve büyük bir enerji boşalmasıyla sonuçlanan bu tür şev duraysızlıkları, önemli tehlike potansiyelleri içermektedir. Ayrıca; bu tür duraysızlıkların özel bir tehlike potansiyeli içermesi, kayma öncesi belirtiler olarak yorumlanan;

- şev yüzeyindeki hareketlerin yavaş yavaş ilerleyerek artması,
- şev'in göbek oluşturmaması,
- şev gerisinde gerilme çatlaklarının oluşması gibi alışlagelmiş belirtiler göstermemesi ve
- ani meydana gelen bir kaymanın zaman diliminin tam olarak tahmin edilememesinden kaynaklanmaktadır.

Bu nedenle pasa yığınlarında oluşabilecek duraysızlıkların göreceli bir tahmini için öncelikle;

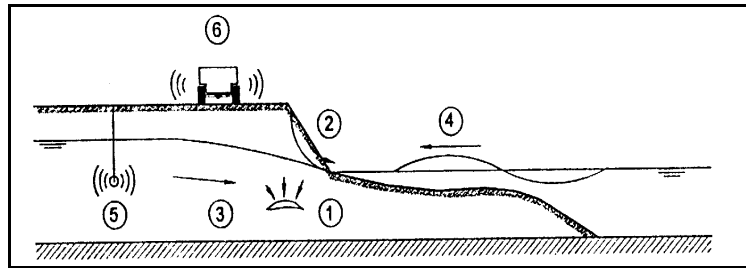
- ✓ yığının dane boyut dağılımı ve formu,
- ✓ yeraltı su seviyesinin pasa yüksekliğine göre oransal değişimi,
- ✓ dinamik etki kuvvetleri (sismik aktivite),
- ✓ ilgili yığın yoğunluğu ve malzemenin zemin mekaniği özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir [4].

2. PASA ŞEV DURAYSIZLIKLARININ OLUŞUM KOŞULLARI

Kömür açık işletmelerinde muhtemel bir pasa şev duraysızlığının oluşabilmesi, aşağıda belirtilen koşulların açığa çıkmasıyla mümkündür. Bunlar;

- Dane boyut dağılım eğrisinde bir dane büyüklüğünün baskın olarak gözükmemesi,
- Yığındaki danelerin büyük bir kısmının iyi yuvarlaklık ve kaygan yüzey özellikleri göstermesi,
- Gevşek/çok gevşek yığın halinde bulunması,
- Boşluk ve gözeneklerin tamamen su ile dolu olması,
- Kritik denge koşulundaki yığının bir iç veya dış etkisiyle bozulması,
- Dinamik kuvvetlerin etki büyüklükleri ve sıklığıdır.

Eğer pasa şev duraysızlığı için yukarıda belirtilen gerekli tüm koşullar oluşmuş ise, yığının denge durumunu bozacak bir iç veya dış kuvvetin yüzeye etkisiyle, her an kayma başlayabilir. Kaymayı kolaylaştıran olası etki kuvvetleri şekil 1'de verilmiştir [5, 6].



Şekil 1. Açık işletmelerde pasa şev duraysızlığına neden olan etki kuvvetleri

- ① Gözenek ve boşluk alanlarının oturması sonucu çökmesi,
- ② Lokal / dik şev kaymaları,
- ③ Yeraltı su tablasındaki akışlar,
- ④ Yüzey suları ve su dalgalarının etkisi,
- ⑤ Yeraltında yapılan dinamik etkiler (örneğin patlatma veya sarsıntılar),
- ⑥ Yüzeyde yapılan dinamik etkiler (örneğin çalışan iş makineleri vs.),

⑦ Bölgenin depremsellik özelliğidir.

Burada, sadece dinamik etki kuvvetlerinden ⑤ ve ⑥ zamansal olarak sınırlandırılabilir. Diğer etki faktörlerinin herhangi bir zamanda gerilme değişimine neden olup olmayacağı, bir kayma oluşturup oluşturmayacağı ve ne zaman meydana geleceği henüz belirsizdir. Ayrıca, tek bir etkenin kaymaya neden olduğunu söylemek genellikle mümkün değildir. Ancak; pasa şev kayma riski, işletme koşulları ve ortam büyüklüklerine (geometri, dekapaj sistemi, in-situ durum vb.) bağlı olarak, nitel ve ampirik bağıntılar ile göreceli olarak belirlenebilmektedir [7, 8].

3. PASA ŞEV DURAYSIZLIKLARININ SAYISAL ANALİZİ

Statik koşuldaki bir pasa şev kayma riskinin geleneksel yöntemler ile analizinden; blok, dilim ve kama yöntemlerinin kullanılması anlaşılır. Burada kopan blok, kaymayı kolaylaştıran ve kaymaya karşı koyan kuvvet veya momentler arasında denge koşullarının sağlandığı ideal cisim olarak tasarlanır. Kayma yüzeyleri; dairesel, düzlemsel veya poligonal olarak oluşabilir [9, 10, 11].

Esas itibarıyla analizlerdeki belirsizlikler, karşılaşılan malzeme davranışının karakterize edilmesinde oluşmaktadır. Geleneksel yöntemler, kaymanın şev topuğundan başlayarak geriye doğru gelişen değil de, hareketin kaynağı şev gerisinde bulunuyor ise, gerçek değerleri yansıtabilir. Bunun böyle gelişip gelişmeyeceği, benzer yığın ve ayrıntılı veriler üzerinde değerlendirilerek veya ikinci enerji yasası (2. Enerji teorisi) vasıtasıyla öğrenilebilir. Geleneksel yöntemler ile özellikle sınır denge durumunun tespiti gereklidir, fakat denge koşulunun stabilitesi için yeterli değildir. Bu nedenle, geleneksel yöntemler ile birlikte diğer analiz yöntemlerini de dikkate almak gerekmektedir. Ayrıca; ani oluşan pasa şev duraysızlıkları, sadece kayma gerilmelerinin karşılaştırılması sorunu değil, bilakis bir stabilite problemi. Sistem; bir etki sonrası kısmen açığa çıkabilecek potansiyel enerjiye sahiptir. Araştırma koşullarına uygunluğu ve yukarıda belirtilen gerekçeler nedeniyle, pasa şev stabilite analizlerinin hipoplastik madde yasasına göre yapılması daha doğru sonuçlar sunabilmektedir [12, 13].

3.1 Hipoplastik Model ile Şev Stabilitesi Analizi

Burada tarif edilen stabilite analizi, 2.Enerji yasasına dayanmaktadır. Bir şev alanında statik denge koşullarından hareketle, sonsuz küçük ayrışmalı temsili bir deformasyon alanı kabul edilir. Bu deformasyon veya hareketli alan; kinematik bakımından mümkün olabilen, ayrıca keyfi ve amaca uygun olarak mümkün olduğunca basit seçilir. Kullanılan yasaya uygun olarak gelişen deformasyon, bütün gerilme bileşenlerinin değişmesine neden olur. Deformasyon gradyenlerinden oluşan söz konusu ikinci enerji yasasının (Δ^2E) negatif değeri, sisteminde kinetik enerji olarak açığa çıkar ve bununla başlamış deformasyon hızlanır $\Delta^2E < 0$ (=Dilatanz, duraysız, stabil olmayan durum) veya frenlenir $\Delta^2E > 0$ (=Konraktanz, duraylı, stabil durum).

Fakat burada bulunan hız vektörleri, sadece stabilite analizinde kullanılır ve gerçek koşulları temsil etmezler. Bu nedenle, salt stabilite analizinde kendiliğinden herhangi bir başlangıç duraysızlığının gelişip gelişmeyeceğini gösterirler. Sonuç temsili ayrışma hızı büyüklüğünden bağımsızdır. Gerçek etkilere kıyasla, sonsuz etki (kinematik zincir) bütün noktalarda eş zamanlı oluşacak gibi tasarlanır. Yasanın temel esasları ise, aşağıda verilmektedir.

3.1.1 Hipoplastik Modelin Kullanım Özellikleri

Hipoplastik madde yasası; fiziksel esaslara dayalı, durum değişkenlerinin açık bir matematiksel ifadesi ve geniş ölçüde malzeme parametrelerine bağlı olarak tanımlanır. Akma yüzeyleri ve şekline gereksinim olmaksızın, elastik ve plastik deformasyonlar arasında da fark gözetilmez. Eşitlik; oransal tiptedir ve deformasyonlar, dane gerilmeleri ve boşluk oranı vasıtasıyla tanımlandığından, objektif bir gerilme değerini ifade eder. Zemin davranışı üzerine basınç düzeyinin ve sıklığın etkisi dikkate alınır. Duraylılık, duraysızlık ve kritik içsel sürtünme açısı, zemin durumu ve deformasyon yönlerinden belirlenir. Hipoplastik yasa, dane temas kuvvetleri ve rölatif ötelenmelerin ortalama değeriyle karakterize edilebilen, basit çimentolanmamış dane yapısının mekanik davranışını tanımlar. Aşağıdaki özellikler, hipoplastik madde yasasının temelini oluşturur.

- Zemin durumu yalnız dane gerilme tansörü ve boşluk oranı ile tanımlanır.
- Daneler granülometrik olarak ayrışık, yani topaklanma ve dane bölünmeleri ihmal edilir.

- Boşluk oranının bir üst ve alt sınırı vardır, her ikisi de basınçla azalır.
- Ortalama basınç ile azalan kritik bir boşluk oranı vardır.
- Dane yapısı oran ve yön bağımsız davranır (anizotrop durum).
- Etkin gerilmeler prensibi vardır.
- Fiziko-kimyasal etkiler ve katı cisim ayrışmaları ihmal edilir.
- Gerilme eğrileri başlangıç durumundan bağımsız olarak, orantılı gerilme eğrilerinde asimptotik olarak meydana gelirler.

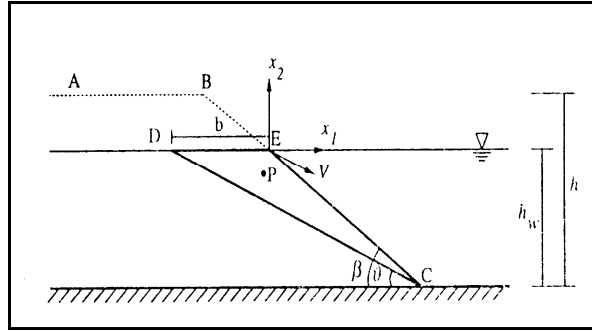
Hipoplastik model, toplam sekiz malzeme parametresi ile karakterize edilir: ϕ_g , h_g , n , e_{io} , e_{co} , e_{fo} , α ve β (bkz. Semboller). Bunlar, malzemenin granülometri özellikleri ile çok sıkı ilişkilidir ve basit zemin indeks deneyleri ile belirlenebilirler. Hipoplastik eşitliğin kullanılabilmesi için, ek olarak iki büyüklüğe daha gereksinim vardır: in-situ boşluk oranı ve dane gerilme bileşenleri. Bu yasa, elesto-plastik yasaya karşın elastik ve plastik kısımlardaki deformasyonların keyfi dağılmadığını kabul eder ve ilk defa GUDEHUS ve RAJU tarafından gevşek yığılmış, ayrışık daneli zeminler üzerinde özellikle pasa şevlerinde kullanılmıştır.

Sabit yük altında şev stabilitesi için yeter koşul;

$$\Delta^2 E = \int_v \dot{T}_g \frac{\partial V}{\partial x} .dV > 0 \quad (1)$$

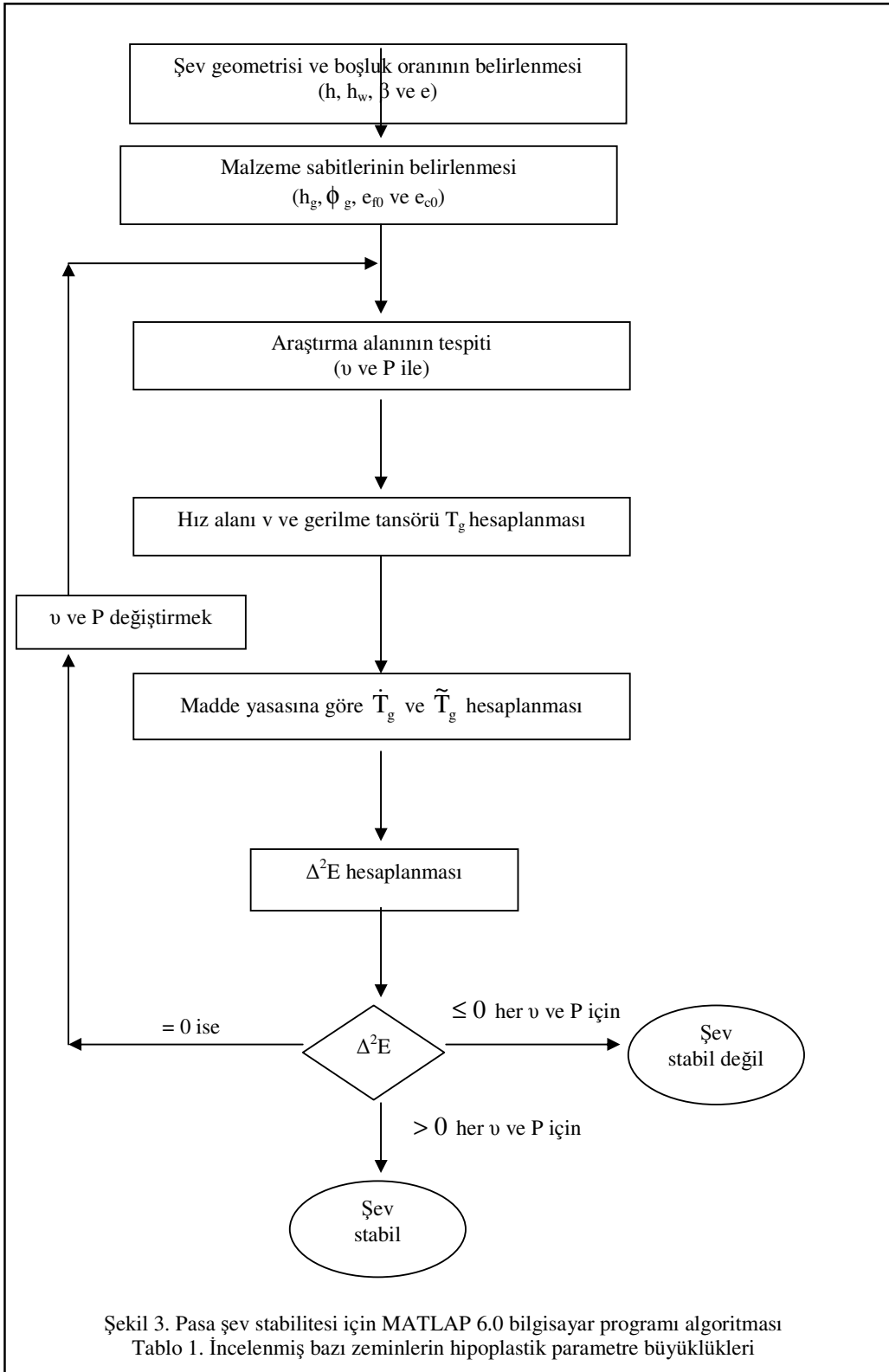
her kinematik hız alanı (v) için sağlanmalıdır. \dot{T}_g , birinci Piola – Kirchoff gerilme tansörüdür. Eğer; $\Delta^2 E > 0$ ise şev stabil, $\Delta^2 E \leq 0$ ise stabil olmayan denge koşulunu göstermektedir.

Stabilitesi araştırılacak bölge (v) açısı vasıtasıyla belirlenir (Şekil 2). $\Delta^2 E$ eşitliği alana integre edilir. Daha basit olarak noktasal hesap yapılabilir (örneğin P noktası gibi). Böylece kinematik hız alanı v belirlenir ve gerilme tansörü T_g hesaplanır. Granüle malzemenin mekanik davranışı, \tilde{T}_g Jaumannsch gerilme eşitliği ile belirlenir. Böylece, \dot{T}_g birinci Piola–Kirchoff gerilme tansörü hesaplanabilir. Hesaplama adımları, olası her (v) açısı ve P noktası için tekrarlanabilir [14, 15].



Şekil 2. Şev geometrisi ve parametrik büyüklükler [15]

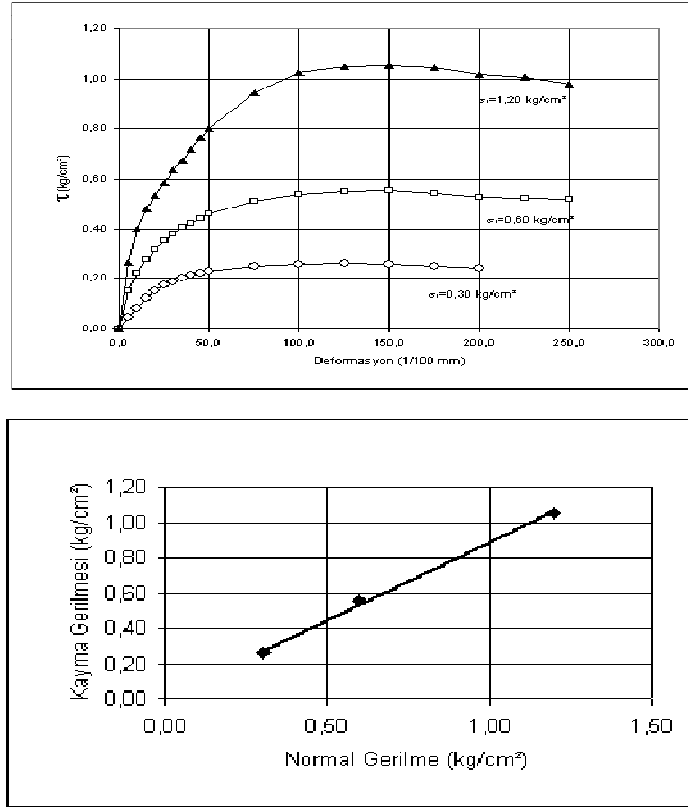
Hipoplastik madde yasasının temel eşitliklerini oluşturan bağıntılar, algoritması şekil 3'te verilen akış diyagramına göre MATLAB 6.0 bilgisayar programında yazılmıştır. Pasa malzemesinin mekanik davranışını belirleyen parametreler ise; yapılan arazi, laboratuvar ve model deneyler ile belirlenmiştir (Tablo 1).



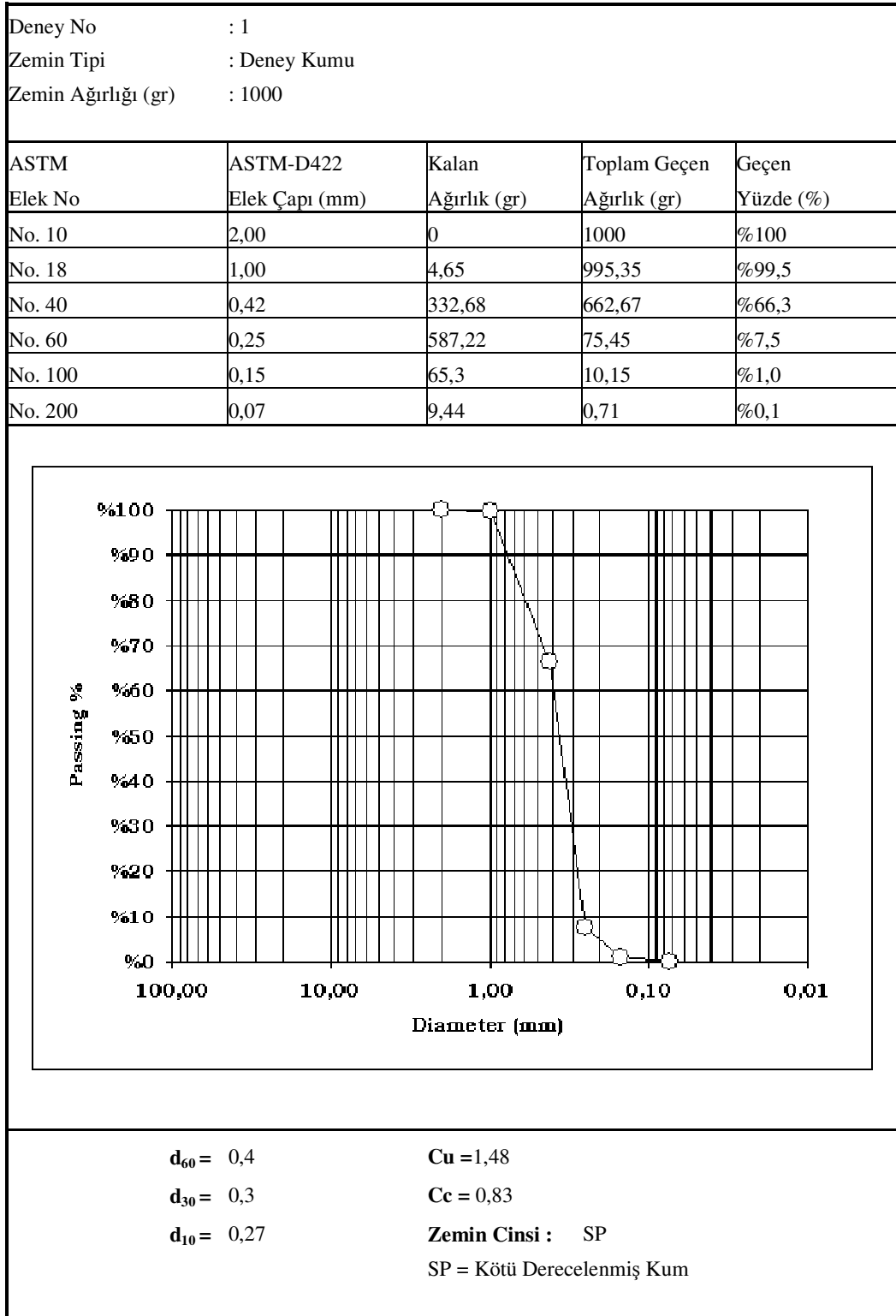
Kum	h_g (MPa)	n (-)	e_{f0} (-)	e_{c0} (-)	e_{i0} (-)	ϕ_g (°)	α (-)	β (-)
Ticiono	250	0,68	0,938	0,59	1,105	31	0,11	1,00
Toyoura	120	0,69	0,98	0,61	1,127	32	0,12	1,00
L.Buzzard	6400	0,45	0,79	0,49	0,934	31	0,16	1,00
Hokksund	150	0,70	0,874	0,533	1,01	31	0,09	1,00
Monterey	8000	0,35	0,834	0,54	0,90	32	0,07	1,00
Berlin	3730	0,20	0,75	0,46	0,90	32	0,14	1,00
Kleinkoschen	7450	0,11	0,90	0,45	1,04	34	0,14	1,0
Schlabendorf	1000	0,20	0,85	0,48	1,00	31	0,25	1,0
Quiou	75	0,45	1,281	0,831	1,41	36	0,05	1,0
Dogs Bay	30	0,72	1,827	0,981	2,192	40,6	0,05	1,0
Zwenkau	42	0,22	1,14	0,60	1,31	32	0,10	3,0
TKI-Muğla	162	0,72	0,94	0,52	1,128	41	1,63	13,2

3.1.2 Laboratuvar Testleri ve Model Deneyler

Deneyler arazi koşullarını temsilen, kötü derecelenmiş SP kum numunesi ile yapılmıştır. Seçilen zemin %8,2 ince dane boyutuna, esas itibariyle silt ve ince kum boyutuna sahiptir. Şev eğiminin hazırlanması için, zemin tamamen suya doygun yapılmıştır. Burada görülen o ki, silt kısmı (%1,1) dane yapısından ayrılarak yukarı doğru hareket etme eğilimindedir. Deney sonuçlarının yenilenebilmesi için, silt kısmı önceden deney numunesinden ayıklanmıştır. Kullanılan numuneye ait; kesme kutusu deneyi, elek analiz sonuçları ve dane boyut dağılım eğrisi şekil 4 ve 5’de verilmiştir. Kohezyon $c = 0 \text{ kg/cm}^2$ ve içsel sürtünme açısı $\phi = 41^\circ$ bulunmuştur. En sıkı ve en gevşek yığın boşluk oranları ($e_{\min}: 0,52$; $e_{\max}: 0,94$) yapılan piknometre deney sonuçlarına göre belirlenmiştir.



Şekil 4. Deney numunesine ait kesme kutusu deney sonuçları

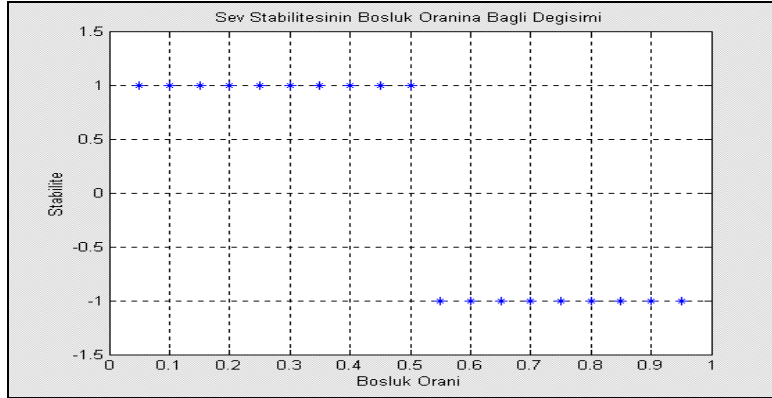


Şekil 5. Deney numunesine ait elek analiz sonuçları ve granülometri eğrisi

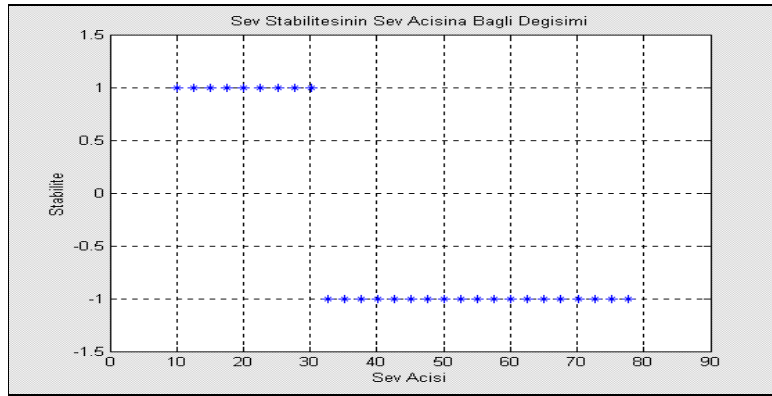
İlk deney serisi sabit şev geometrisi esasıyla yapılmıştır ($h=32\text{cm}$, $h_w=22\text{cm}$ ve $\beta=35^\circ$). Boşluk oranı 0,52-0,94 arasında değişmektedir. Şekil 6.a, MATLAB 6.0 bilgisayar programında gerçekleştirilen şev stabilitesi analiz sonuçlarına göre, sistemin enerji değeri (Δ^2E) ile boşluk oranı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Burada; 0,53'den büyük boşluk oranlarında şevin duraysız; 0,53'den küçük boşluk oranlarında ise muhtemel bir kaymanın oluşamayacağı görülmektedir. Bu gözlemlere göre, deney kumu için kritik boşluk oranı ($e_{kri} = 0,53$) olarak belirlenmiştir. Buradaki kritik boşluk oranı değeri, Δ^2E 'nin sıfır olduğunu göstermektedir.

İkinci deney serisinde, şev açısı $25^\circ-45^\circ$ arasında değiştirilmiştir (ilk geometrik değerler ve gevşek yığın halinde $e_0 = 0,87 > e_{kri}$). Burada, kayma düzeyinin kullanılan tetikleme kuvvetine göre, şev açısından bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Şev yüzeyinin kayması belirli şev açıları için mümkündür ve daha büyük şev açıları ile bu miktar artmaktadır. Şekil 6.b, şev stabilitesinin şev açısına bağlı değişimini göstermektedir. Bu sonuçlara göre;

- Şev, büyük bir boşluk suyu basıncı oluştuğu sürece kayar.
- Laboratuvar deneyleri, kritik bir boşluk oranının (e_{kri}) var olduğunu doğrular. Araştırılan zemin için bu değer $e_{kri}=0,53$ dir. Eğer şev bölgesindeki boşluk oranı, kritik boşluk oranından daha büyük ise, her an bir kayma oluşabilir.
- Şev açısı, şevin stabilitesi için ikinci derecede önemli rol oynar. $33^\circ < \beta$ şev açılarında ani bir kayma mümkündür.
- Yuvarlak danelerde içsel sürtünme açısı (ϕ_d), köşelilerden daha düşüktür. Buna göre, küçük içsel sürtünme açısına sahip zeminlerde, yani yuvarlak daneli zeminlerde kayma daha çabuk oluşur.
- Eğer oluşan bir kayma sıkı bir bölgeye veya yüksek konsolidasyonlu kısma ulaşırsa, o zaman zemin kayma hareketi duracaktır.



(a)



(b)

Şekil 6. Model deneye ait MATLAB 6.0 bilgisayar programı şev stabilitesi analiz sonuçları

3.2 Şev Stabilitesi Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Geleneksel şev stabilite analizinde, bir bloğa etkiyen kaymayı sağlayan ve kaymaya karşı koyan kuvvetlerin oranı, sınır denge koşulunun ve emniyet katsayısının tespiti için gereklidir (1.Yasa). Fakat bu sadece tasarımsal sistemlerde, yani kaymaya karşı veya kaymayı sağlayan kuvvetlerin deformasyonlara neden olmaması halinde geçerlidir. Ayrıca, geleneksel (klasik) stabilite analiz yöntemlerinde malzeme dayanım özelliklerinin kullanımı daha da problemlidir, çünkü pasa yığınlarında zamansal ve yerel çok büyük değişken dirençler (anizotropi) söz konusudur. Bu nedenle, pasa şevlerinde geleneksel stabilite analizi, ancak göreceli sonuçlar verebilir. Sistemin sınırlı tasarımı, bir emniyet faktörünün gerçekleşme ihtimalini tam olarak açıklayamayabilir. Yeter derecede stabilite için, 2.Enerji yasası devreye girer ve hiçbir araştırma bölgesinde (lokal veya global) $\Delta^2E < 0$ olmamalıdır. Söz konusu ikinci yasa, alınan enerjinin ön belirtisi üzerine (Δ^2E), bir yığında lokal veya global kayma olup olmayacağını açıklar. Bu; malzeme bileşenleri ve durum değişkenlerinin tam bir tanımlanmış alanını gerektirir. Bu alan; basit ampirik yaklaşımla belirlenir ve esas itibarıyla gerçek bir etkinin hareket alanı ile hiçbir ilişkisi yoktur. Ancak; kayma hareketi olarak kabul edilen bir mekanizma ile statik dengenin kaybolması ve bir kaymanın başlaması, açığa çıkan kinetik enerji vasıtasıyla (kinematik zincir) gerçeğe yakın tahmin edilebilir. Göreceli olarak büyük bir enerji açığa çıkaran temsili alanlar, muhtemel bir kaymanın başlangıcını gösterir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kömür açık işletmelerinde gerek üretim, gerekse dekapaj faaliyetleri sırasında ve sonrasında pek çok üretim çukurları/boşlukları ve şev yüzeyleri oluşmaktadır. Pasa malzemesinin gevşek yapısal ve oluşum özellikleri nedeni ile önemli bir kısmı kayma veya akma eğiliminde olmaktadır. Çok kısa zaman dilimi (birkaç saniye veya dakika) içerisinde ani hızlara ulaşan ve büyük bir enerji boşalmasıyla sonuçlanan bu tür şev duraysızlıkları, önemli tehlike potansiyelleri içermektedir. Farklı kullanım alternatiflerinin uygulanabileceği bu bölgelerin, eski ekolojik ve ekonomik değerine kavuşturulması veya daha da geliştirmesi, ancak jeoteknik yönden duraylı ortam koşullarına sahip olması ile mümkündür.

Şev kayma riski; işletme koşulları ve ortam büyüklüklerine (geometri, dekapaj sistemi, in-situ durum vb.) bağlı olarak, nitel ve ampirik bağıntılar ile belirlenebilmektedir. Özellikle geleneksel analiz yöntemleri ile statik denge koşulunun tespiti gereklidir, fakat ortamın stabilitesi için yeterli değildir. Bu nedenle pasa şev stabilitesi analizi için, 2.Enerji yasasına (Δ^2E) dayalı olarak geliştirilen hipoplastik model kullanıma girer. İlk kez GUDEHUS ve RAJU tarafından kullanılan bu yasa, elasto-plastik yasaya karşın elastik ve plastik kısımlardaki deformasyonların keyfi dağılmadığını kabul eder ve yeter derecede stabilite sağlamak için, hiçbir şev bölgesinde (lokal veya global) $\Delta^2E < 0$ olmamalıdır. Hipoplastik madde yasasının temel eşitliklerini oluşturan bağıntılara göre hazırlanan MATLAB 6.0 bilgisayar programı, bu tür problemlere uygun çözümler sunmaktadır. Yalnız burada, kaymanın zamansal gelişimi ve süresi hakkında bir öngörü ortaya konulmamaktadır. Fakat, kesinlikle bir kayma bekleniyor mu, evet veya hayır? sorusuna hipoplastik model ile daha net cevap verilebilmektedir.

Sonuç olarak madencilik faaliyetleri sonucu bozulan arazilerin yeniden düzenlenmesi ve iyileştirilmesinde temel amaç; bu arazilerin duraylı (stabil) olarak güzel bir peyzaj görünümünü kazanması yanında, eski ekolojik ve ekonomik değerine kavuşturulması veya daha da geliştirilmesi olmalıdır.

5. SEMBOLLER

p_u, p_w, u_w	Boşluk suyu basıncı (kPa)
d	Dane çapı (mm)
h_g	Granüle malzemenin sertliği (MPa),
ϕ	İçsel sürtünme açısı ($^\circ$)
e	İn-situ boşluk oranı (-)
e_{io}	İzotrop başlangıç boşluk oranı (-)
e_{max}, e_{min}	Maksimum, minimum boşluk oranı (-)
Δ^2E	İkinci enerji yasası (J/s^2)
c, C	Kohezyon kuvveti (kN/m^2)
α, β	Konsolidasyon exponentleri (-)

n	Malzeme sertliğine bağlı üstel değer (-)
\hat{T}^*	Norm gerilme tansörü (kPa)
H_K, h	Pasa şev yüksekliği (m)
H_{WK}, h_w	Pasa şev içerisindeki su seviyesi (m)
β	Pasa şev eğim açısı (°)
e_{c0}	Sıfır basınçta dinamik boşluk oranı (-)
e_{f0}	Sıfır basınç daimi akımda boşluk oranı (-)
ν	Şev kayma yüzeyi açısı (°)

6. KAYNAKLAR

1. ÜNAL, E., KARA, D. ve AYDOĞAN, O., Türkiye Madencilik Endüstrisinde İleri Teknoloji Uygulamaları, TÜBİTAK MAG-987/ YBAG-0028, Bölüm V, 165s. 1994.
2. ÜNVER, Ö. ve KARA, D., “Türkiye’de Kömür Madenciliği ve Çevre”, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, *Madencilik*, Cilt:XXXIII, Sayı:2, 3-9, 1994.
3. PIERSCHKE, K-J. ve BOEHM, B., “Geotechnische und wasserwirtschaftliche Aspekte bei der Restseegestaltung im Rheinischen Braunkohlenrevier”, *Braunkohle* 48, Nr.6, 647-653, 1996.
4. FÖRSTER, W. ve WALDE, M., “Überlegungen zur Sanierung von Tagebau-Restlöchern an Beispielen”, Vortrag zum Tagebautechnischen Kolloquium, 1994.
5. FÖRSTER, W. ve JENNRICH, C., Sanierung und Sicherung setzungsfließgefährdeter Kippen und Kippenböschungen, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Teilprojekt 4, 36s., 1999.
6. DUNCAN, J.M. ve WRIGHT, S.G., Zemin Şevlerinin Duraylılığı, Çeviren Kamil Kayabalı, Gazi Kitapevi Tic. Ltd. Şti., ISBN:975-6009-00-4, 299s., Ankara, 2005
7. VARDAR, M., Heyelanlar, Yamaç ve Şevlerde Duraylılık İrdemeleri, İTÜ Maden Fakültesi, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, *Ders Notları*, 1996.
8. NASUF, E. ve AVŞAR, S., Kaya Mekaniği ve Şev Duraylılık Analizlerinde Bilgisayar Uygulamaları, İTÜ Maden Fakültesi, *Ders Notları*, 2000.
9. ŞEKERCİOĞLU, E., Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 28, Ankara, 1993.
10. KIZIL, M.S. ve KÖSE, H., Açık İşletmelerde Şev Stabilitesi, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 254, 114s. İzmir, 1995.
11. ULUSAY, R., Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:38, 385s. Ankara, 2001.
12. FÖRSTER, W. ve GUDEHUS, G., Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen, TU Bergakademie Freiberg, 135s., 1998.
13. DELİBALTA, M.S., TKİ-GELİ (Muğla) Bölgesinde Dekapaj Döküm Sahasındaki Şev Duraysızlıklarının İncelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 154s. İstanbul, 2003.
14. DELİBALTA, M.S., “Geotechnische und Bergmännische Aspekte der Restlochgestaltung des Braunkohlentagebaus TKİ/Muğla (Türkei)”, Raumbezogene Informationssystem und Simulationswerkzeuge in Geowissenschaft und Geo-Engineering, FIS-Forum Clausthal 2000, ISBN 3-89720-486-X, 51-56, 2001.
15. RAJU, V.R., Spontane Verflüssigung lockerer, granularer Körper-Phänomene, Ursachen, Vermeidung, Universität Karlsruhe, Institut für Boden- und Felsmechanik, Heft:134, 1994.