

KAYA ŞEVLERİNDE DEVRİLME

Abdurrahim ÖZGENOĞLU*

ÖZET

Devrilme, yatımı Şev içine doğru olan süreksizliklerin sütunsal bir yapı oluşturduğu dik kaya Şevlerinde olan bir yıkılma biçimidir. Bu yazıda, ancak son yıllarda dikkati çekip çalışılmaya başlanan ve geleneksel kayma biçimindeki yıkılmadan çok farklı olan devrilme değişik yönleriyle ele alınarak incelenmiştir. Devrilmenin mekaniği, arazide gözlenen türleri ve analizinde kullanılan yöntemler öz olarak sunulmuştur. Fiziksel, kuramsal ve sayısal modellerden faydalanılarak yapılan yaklaşımlar irdelenip, gözlemler yorumlanmıştır. Geometrisi basit kurumsal bir modele denge sınırı yöntemiyle yapılan yaklaşım ekte verilmiştir.

ABSTRACT

Toppling is a mode of failure of steep rock slopes having a columnar structure formed by discontinuities dipping into the rock mass. In this paper, toppling which has been receiving attention in recent years only, and differs widely from conventional sliding modes, is examined in various directions. Toppling mechanism, different types of toppling failures which may be encountered in the field, and the methods of analysis are presented in essence. Approaches made by using physical, theoretical and numerical models are discussed and comments are made on observations. Limit equilibrium approach for a simple structure is given in the appendix.

(*) Maden Y.Muh. Asistan, ODTU.

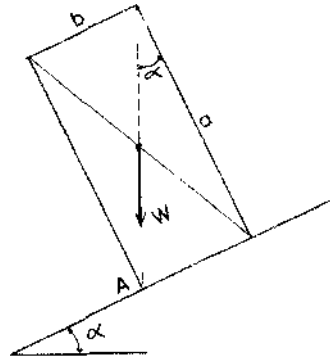
1. GİRİŞ

Şev analizleri yaparken kaya mekaniği uzun süre zemin mekaniği prensiplerinin etkisinde kalmıştır. Bunun 5^{inci} olarak "kayma" yakın zamana kadar, kaya içinde açılan şevlerde başlıca yıkılma (failure) biçimi olarak kabul edildi. Fakat son zamanlarda yapılan kuramsal çalışmaların fiziksel ve sayısal (nümerik) modellerle ve arazi gözlemleriyle desteklenmesi sonucu "devrilme" yeni bir yıkılma biçimi olarak ilgi çekmeye başladı. Her ne kadar bu yıkılma biçimiyle ilgili şu andaki bilgi pratikte bir yarar sağlama açısından yeterli düzeyde değilse de açık ocak mühendislerinin, özellikle şev aynasına paralel doğrultuda ve yatırı kaya kütesine doğru olan düzgün tabakalaşma düzlemleri, dilinim veya eklemlerin oluşturduğu sütunsal yapıya sahip bir formasyonda dik şev açılacaksa devrilme olasılığını gözönünde bulundurmaları gerekir.

Kaya şevlerinde devrilme olasılığı ilk kez 1796 yılında Bray (1) tarafından ortaya atıldı. Bray'in kuramsal bulguları çok geçmeden Barton (2), Ashby (3), Müller ve Hofmann'ın (4) fiziksel, Cundall'ın (5) sayısal model çalışmalarıyla doğrulandı, özellikle Ashby'nin övgüye değer model çalışması sonraki araştırmalar için ilk temel taşı oluşturdu. Devrilmenin kaya şevlerinde meydana gelebilecek bir yıkılma biçimi olduğunun model çalışmalarıyla belirlenmesinden kısa bir süre sonra De Freitas ve Watters (6) araziden devrilme örnekleriyle bu yıkılma mekanizmasının doğada da var olduğunu kanıtladılar. Süregiden araştırmalar bu yıkılma biçimine pek çok ülkede rastlanıldığını göstermektedir.

2. DEVRİLME MEKANİĞİ

Tek bir blok için devrilmenin mekaniği basit olup Şekil 1 (a) da görüldüğü gibidir. Eğik düzlem üzerindeki bloğun ağırlık vektörü taban dışına çıktığı anda



Denge sınırı .

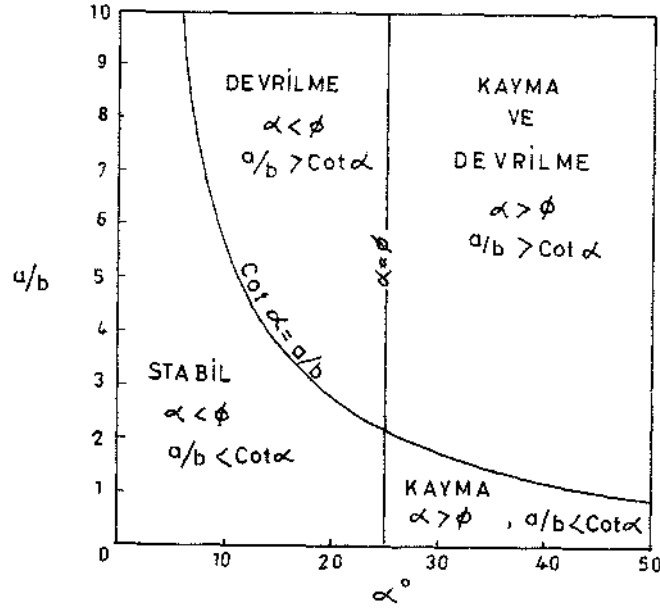
$$\text{devrilme için} \rightarrow \cot \alpha = a/b \\ (\tan \alpha = b/a)$$

$$\text{kayma için} \rightarrow \tan \alpha = \mu \\ (\tan \phi = \mu)$$

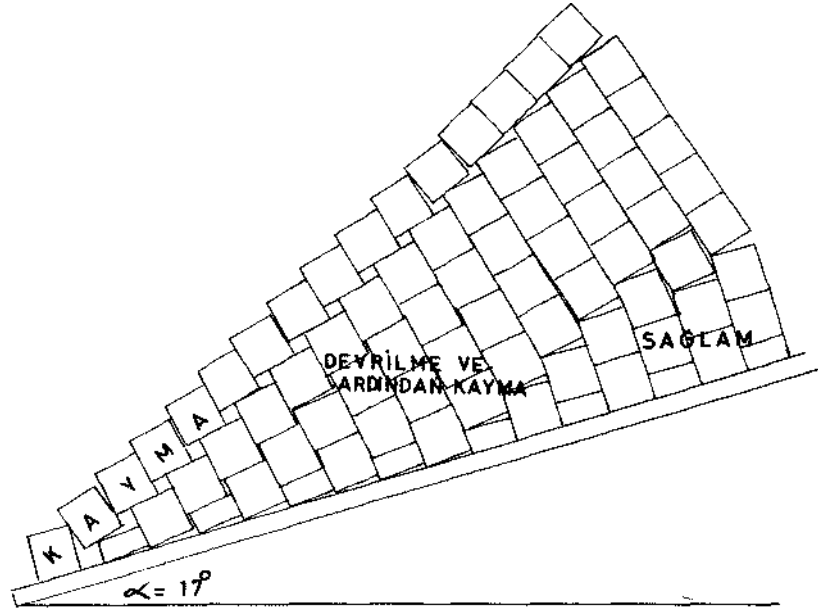
Şekil 1(a).Devrilme için blok denge konumunda

blok A köşesi etrafında dönerek devrilir (tabanda kohezyon sıfır varsayılarak). Ağırlık vektörünün tabana göre konumunu eğik düzlemin eğitimi (α) ve bloğun geometrisi (a/b oranı) saptar, öte yandan, blok ile eğik düzlem arasındaki sürtünme açısı devrilme ve/veya kayma olasılıklarını belirlemesi bakımından da önemlidir (Şekil 1(b)). Ne var ki, düzgün yüzeyleri olmayan birçok bloktan oluşmuş ve gerçek bir kaya şevinde şekil 1(a)'daki gibi basit devrilme ender olur. Böyle durumlarda devrilmenin kinematığı oldukça karmaşıktır. Blokların birbirleriyle temasına bağlı olarak karışık kayma ve dönme hareketleri olur. Bunun sonucu olarak blok ayrılmaları (block separation), kenetlenmeler (interlocking), kamalama etkisi (wedge action) gibi çeşitli mekanizmaların yanında blok bölünmeleri ve kdşe ezilmeleri de görülür. Şekil 2 ve Şekil 3 değişik iki yöntemle yapılan model çalışmalarını göstermektedir. Şekil 2, alçıdan dökülmüş bloklardan oluşan bir modelin taban düzlemi kritik eğime (α) ulaştığı andaki görünümüdür. Görüldüğü gibi üç değişik davranış bölgesi vardır:

- Genellikle topukdaki bloğun kaymasına bağlı olarak oluşan kayma bölgesi,
- Devrilen sütunların ve artan eğimin sürtünme açısını geçmesi halinde kademeli olarak kayan blokların oluşturduğu bölge,
- Hiç bir hareketin olmadığı üçgenimsi sağlam bölge.



Şekil 1(b). Tek blok için devrilme ve kayma koşulları



Şekil 2-Blok model yıkılma noktasında (Ashby⁽³⁾den)

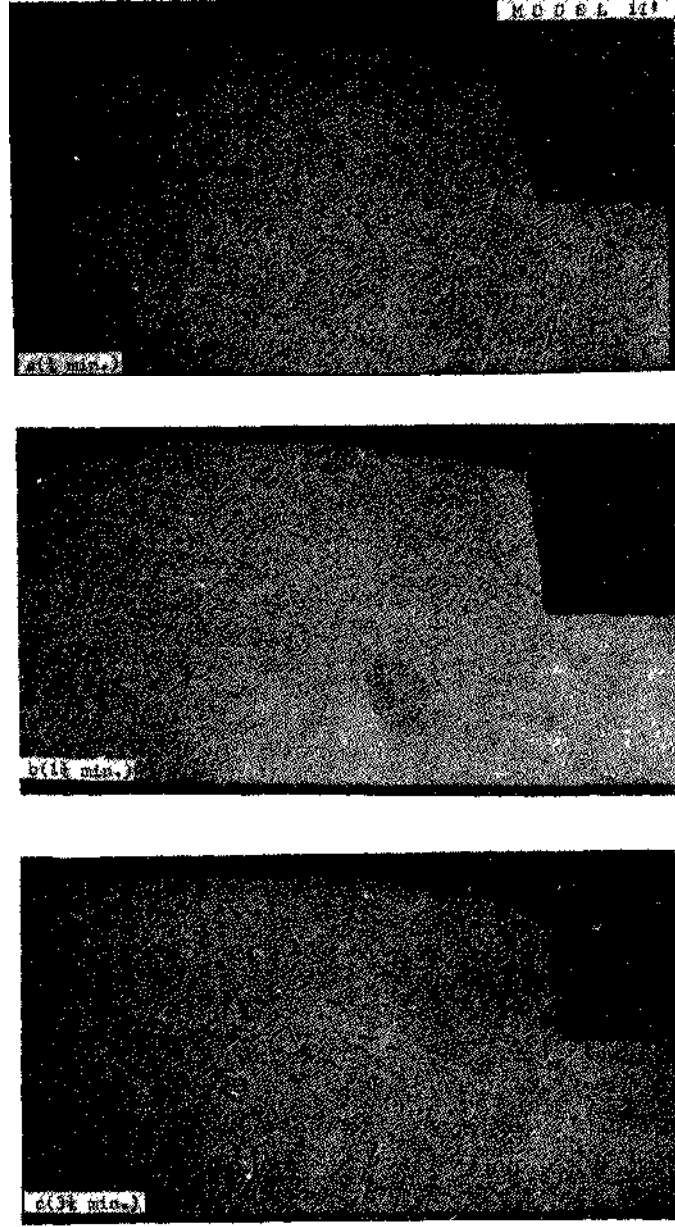
Şekil 3 ise bir taban sürtünmesi modelinde devrilmeye ortam hazırlayan eklem takımı içeren şevin yıkılışındaki değişik aşamaları göstermektedir.

3. DEVRİLME TÜRLERİ

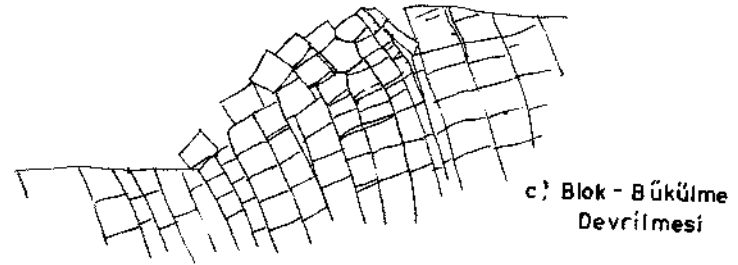
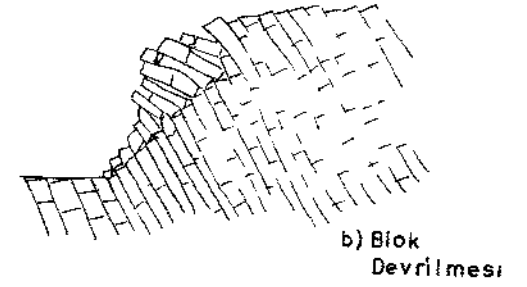
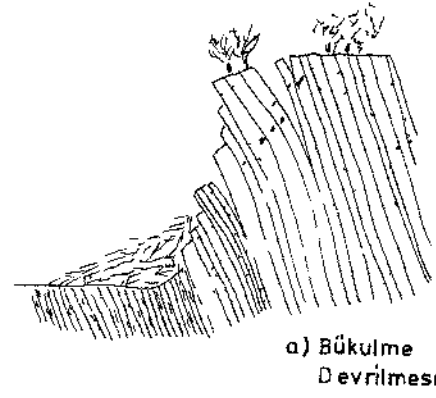
Değişik mekanizmalar kolanların devrilmesini sağlayabilir. Arazide rastlanabilecek devrilme türleri Goodman ve Bray (7) tarafından belirtilmiştir. Bunlara aşağıda kısaca değinilecektir.

a. Bükülme devrilmesi: Şekil 4(a)'da görüldüğü gibi bu tür devrilme dik yatımlı süreksizliklerin oluşturduğu uzun kolonların bükülüp kırılmaları sonucu olur. Şev topuğundaki kayma, aşınma (erozyon) veya alttan kesme gibi etkenlerle devrilme başlar ve geriye kaya kütesine doğru yayılarak derin, geniş gerilim çatlakları meydana gelir. Bükülme devrilmesi çoğunlukla arduvaz, şist ve fillatarda oluşur.

b. Blok devrilmesi: Şekil 4 (b)'de gösterilmiştir. Bu tür devrilme sert kaya kolanları geniş aralıklı çapraz eklemlerle bölündüğü zaman görülür. Topuktaki kısa kolonlar, gerideki uzun kolonların dönmesinden doğan yüklerin etkisiyle ileri



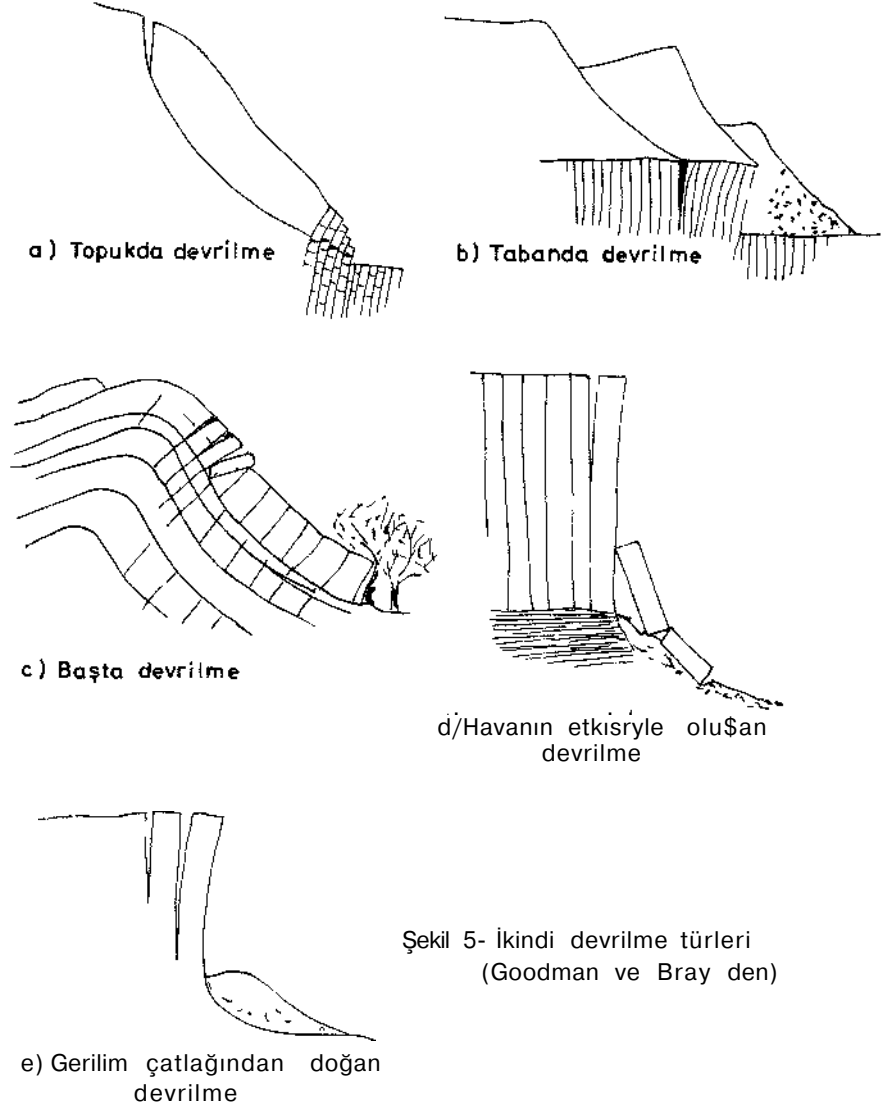
Şekil 3. Bir taban sürtünmesi modelinde surekii kolonlardan oluşan Şevin yıkılışı



Şekil 4- Devrilme -türleri (Goodman ve Bray⁽⁷⁾ den)

doğru itilirler ve bu kaymalar devrilmenin yukarıya doğru yayılmasına neden olur. Kalker, kumtaşı gibi kalın tabakalaşma gösteren tortul kayaların yanında sütünsal eklemleri olan volkanik kayalar da bu tür bir devrilme gösterirler.

c. Blok-bükölme devrilmesi: Birçok çapraz eklem tarafından bölünmüş kolonların bükölerek devrilmesi bu eklemlerdeki deplasman birikimi yoluyla olur (Şekil - 4(c)). Topuktaki eklem yüzeylerinde kayma olurken diğer kısımlarda



Şekil 5- İkinci devrilme türleri
(Goodman ve Bray den)

kayma ile devrilme birlikte oluşur. Çapraz eklem yüzeylerindeki kaymaların nedeni blok dönmelerinden doğan eğim artışlarıdır. Küçük çaptaki birçok devrimlerin oluşturduğu bu tür devrimde bükülme türüne göre daha az gerilim çatlağı vardır. Yine, blok devrilmesiyle karşılaştırıldığında bu tür devrimin daha az kenar-yüzey teması ve daha az boşluklar yarattığı görülür. Arakatkılı kumtaşı ile şeyi, çakmaktaşı ile şeyi ve ince tabakalaşma gösteren kalker blok-büküme devrilmesi gösterir.

İKİNCİL DEVRİLME

Devrimenin bağımsız başka fenomenlere bağlı olarak uyarıldığı durumlar da vardır. Bu tür devrimler ikincil devrimler diye adlandırılabilir. Yine Goodman ve Bray (7) Şekil - 5'deki ikincil devrim mekanizmalarını öngörmüşlerdir. Genellikle bu tür devrimler ya aşınma, havanın etkisiyle bozulma gibi doğal nedenler yada çalışılma sonucu doğan şev topuğunun alttan kesilmesi ile başlar. Tümünde, esas yıkılma biçimi kayma veya kayanın fiziksel parçalanmasıdır ve devrim bunun sonucu olarak şevin bir bölümünde aşağıda açıklanan yollardan biriyle meydana gelir:

a. Dik yatımlı sert kaya tabakalarını şev yukarısındaki dengesizlik yüzünden yüklenmesi sonucu oluşan kaymanın doğurduğu topuk devrilmesi

b. Dik yatımlı tabakaların üstünde bulunan malzemenin dengesizliğinden doğan çekme dolayısıyla oluşan kaymanın neden olduğu taban devrilmesi

c. Şevin aşağı kısmındaki harekete bağlı olarak üstte serbest kalan blokların devrilmesi (baş devrilmesi)

d. Kolonların altındaki malzemenin havanın etkisiyle bozulması sonucu olan devrim ve düşme

e. Kohezif malzemedeki gerilim çatlağının meden olduğu devrim.

4. DEVRİLME ANALİZİ

4.1. YÖNTEMLER

Devrim gelişmiş sayısal yöntemler yanında basit fiziksel modellerle de incelenebilir. Erguvanlı ve Goodman (8) tarafından geliştirilen "*taban sürtünmesi*" tekniği niteliksel karakterine karşın devrim olasılığını ve kinematiğini göstermesi bakımından çok yararlıdır. Yatay düzlem üzerine iki boyutlu olarak kurulduğu için hazırlanması ve uygulanması kolay, çabuk ve ekonomiktir. Rijid (katı) blokların yanında gevşek karışımlar da (un + nebati yağ + kum) model maddesi

olarak kullanılabilirdi için karmaşık geometrik yapılar kolaylıkla modele aktarılabilir. Ancak, bu yöntemin şev dizaynında kullanılabilirliği sınırlıdır. Çünkü geometrideki değişikliklerin etkisini hassas olarak saptamak zordur; ayrıca model maddesinin de özellikleri belli sınırlar içindedir. Ne var ki, yazar (9) yaptığı bir dizi taban sürtünmesi deneylerinden bazı yararlı sonuçlar elde etmiştir. Bunlara ilerde kısaca değinilecektir.

Diğer bir model tekniği ise Barton (2) tarafından geliştirilen "*eğilim çerçevesi*" dir. Birtakım dezavantajlarına karşın bu yöntemle niceliksel sonuçlar elde edilebilir. Devrilmeye etki eden öğeleri İncelerken Ashby (3), alçıdan dökülmüş küp bloklar (2.54 cm.) kullanarak, bu teknikten geniş çapta yararlanmıştı. Yatay durumdaki bir demir çubuk üzerine blokların üst üste koyulmasıyla kurulan model, çubuğun dikey bir düzlem içinde yavaş yavaş döndürülerek eğiminin artırılmasıyla yıkılır. Blokların şeklini değiştirerek çeşitli konfigürasyonlar elde etmek olanağı vardır.

Denge smırı yöntemi her ne kadar uygulanabilmesi için yıkılma biçiminin önceden bilinmesi veya yakınca kestirilmesi gerektiriyorsa da sayısal bir sonuç (emniyet katsayısı) verdiğinden pratiğe dönüktür. Bray (10) basit geometrik yapısı olan bazı kuramsal modellere bu yöntemi uygulayarak devrilme için emniyet katsayısını formüle etmiştir. Bu modellerden biri için yapılan analiz ekte sunulmuştur. Bu yöntem birkaç basit devrilme durumuna uygulanabilir olmasına karşın devrilmeye etki eden öğelerin anlaşılmasına yardım eder.

Başlangıçta Otter ve çalışma arkadaşlarınınca (11) izotropik, elastik sürekli ortamı modellemek için ortaya atılan *dinamik gevşeme* yöntemi daha sonra Cundall (5) tarafından benimsenerek süreksizlik içeren ortamın kinematik davranışını belirlemek amacıyla dönük olarak geliştirildi. Cundall'ın programı bloklardan oluşmuş bir sistemdeki ardışık (progressive) büyük çaptaki devrimleri simule edebilmekteydi. En önemli varsayım ise blokların tam rijid olmasıydı. Böylece bütün deformasyonlar blok kayması ve/veya dönmesi ile oluşuyor ve blok içindeki elastik deformasyonlar bunların yanında önemsenmeyecek kadar az varsayılıyordu. Blokların birbirleriyle olan ilişkileri gerçekçi sürtünme kanunları ve basit sıkılık (Stiffness) parametreleriyle sığlanıyordu. Hocking (12) tarafından "paket" haline getirilen Cundall'ın programı yazar (9) tarafından bazı geliştirmeler de yapılarak kullanıldı ve devrilme açısından irdelendi. Bu yöntemle alınan sonuçların diğer yöntemlerle elde edilenlerle uyum içinde olduğu görüldü.

4.2. YORUM

Sürekli kolonların oluşturduğu taban sürtünmesi modellerindeki gözlem, blokların bükülme dayanımı (flexural strength) ile şev topuğundaki blokların dönmeye karşı gösterdiği direncin devrilmeyi kontrol eden ana faktörler olduğu-

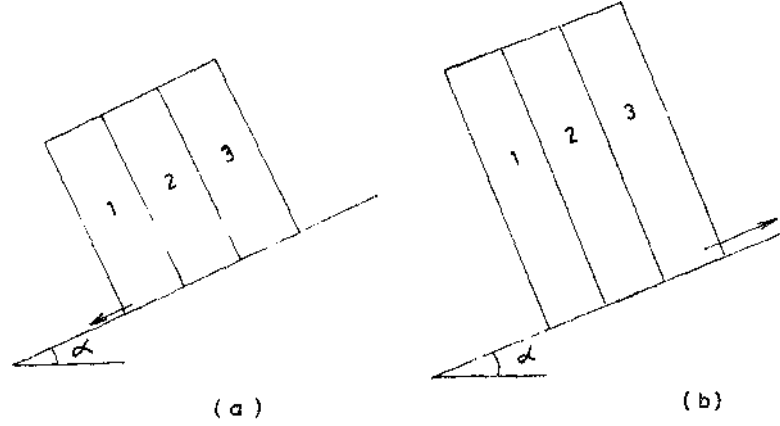
dur. Bu yargı, modelde şev yüksekliği artırıldığında buna bağlı olarak tabanı oluşturan kolon sayısı arttığı için (şev üst yüzeyi değişmiyor) daha stabil şevler elde edilmesiyle desteklendi. Öte yandan, stabilitenin şev açısı değişimine karşı, modelde şev tabanını oluşturan kolon sayısına bağlı olmaksızın, çok hassas olduğu görüldü. Kolonların, tuğla örmesi biçimi oluşturacak şekilde çapraz eklemle bölündüğü modellerde stabilitesizlik ve topuktaki bozulmalar daha az idi. Bu, çapraz eklemelerin dönmeden doğan gerilim birikimlerini bir dereceye kadar azaltması yanında daha yüksek bükülme gerilim dayanımı olan kısa kolonlar oluşturmamasındandı.

Bütün testler gözden geçirildiği zaman eğimi 60° - 65° olan şevlerin denge sınırlarında olduğu, eğimi 70° veya yukarı olan şevlerin çabucak yıkıldığı saptandı. John (13) da eğim açısı 60° 'den fazla olan şevler için (koşullar uygunsa) devrilme analizi önermektedir. Taban sürtünmesi modellerinden belki de pratikte en yararlı olabilecek nitelikteki gözlem,şev tepesinde oluşan gerilim çatlaklarıyla ilgili olandı. Şekil - 3'de görülen bir dizi gerilim çatlağı,modellerin büyük bir bölümünde devrilmeyle birlikte oluştu. Bundan da arazide şev tepesinde rastlanılacak bir dizi paralel gerilim çatlağının devrilme biçiminin yıkılma için bir gösterge olabileceği sonucu çıkabilir.

Eğilim çerçevesi ile yapılan deneyler de (3) devrilmenin şev topuğundaki kaymalarla yakından ilgili olduğunu ortaya koydu. Modellerin stabilites! açısından topuktaki kayma-süresizliği sürtünme karakteristiklerinin kolon yüzeylerindeki çok daha etkin olduğu görüldü. Bir diğer önemli faktör de kolonları oluşturan eklem sisteminin konumuydu ve en kritik yatımın 65° olduğu belirlendi. Eğilim çerçevesi deneylerinin en önemli bulgularından birisi kayma için hesaplanacak emniyet katsayısının devrilme durumunda % 70'e kadar varan bir düşme gösterebileceğidir. Bu da yalnız kayma biçimi yıkılmayı gözönüne alarak hesaplanan emniyet katsayısı ve yapılan dizaynın devrilme durumunda yetersiz kalacağını ve tehlikeli sonuçlar doğuracağını ortaya koyar.

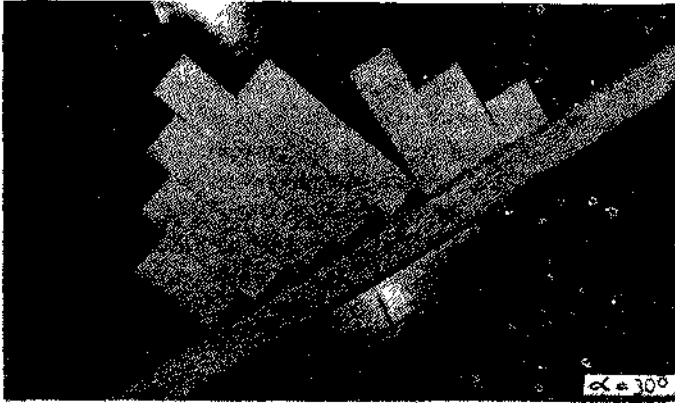
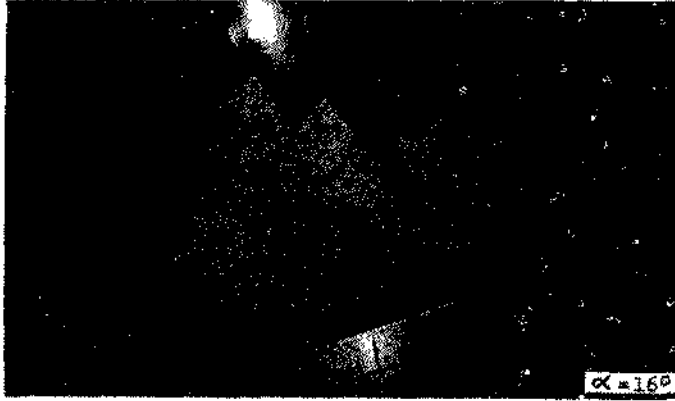
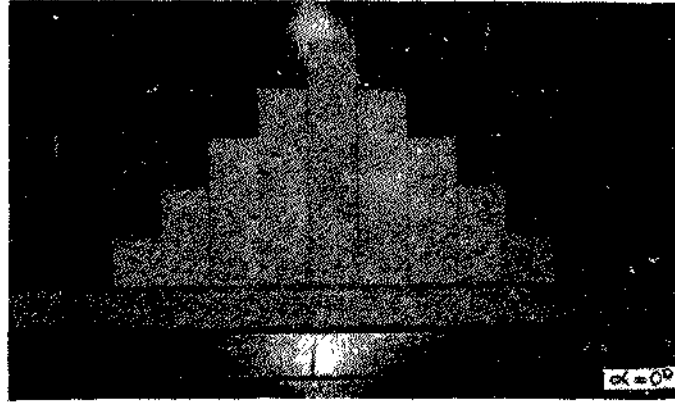
Denge sınırı yöntemi, şu aşamada yalnız kırılıp deforme olmayan (ri- lid) tek-parça kolonlardan oluşmuş, tamamıyla drene olan şevler için geçerli ise de sayısal bir sonuç verdiğinden ve böylece devrilmeyi kayma ile karşılaştırma olanağı sağladığından yararlıdır. Ancak, bu yöntemin geliştirilerek yeraltı su koşullarını, eklem karakteristiklerini içermesi ve hepsinden önemlisi tek parça kolonlardan değil de çok sayıda bloktan oluşan kolonların meydana getirdiği şevlere uygulanabilir düzeye getirilmesiyle değeri artacaktır. Birbirleriyle temas halinde olan birden fazla kolonun devrilmesi incelenirken, tek bloktan farklı olmak üzere, yüzeyler arası kayma ve dönmeye bağlı olarak tabandaki genişlemenin yarattığı kayma da gözönüne alınmalıdır. İki, üç ve dört bloktan oluşan sistemlerin devrilme açısından denge sınırı koşulları incelendiğinde çoğunlukla alttaki bloğun (Şekil - 6 (a) - Blok -1) aşağı doğru kayacağı saptanmıştır. Blok yüksekliği

arttıkça üstteki bloğun (Şekil- 6 (b) - Blok 3) yukarı doğru kayma eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu da blok geometrisinin devrilme kinematikiğindeki etkinliğini vurgular.

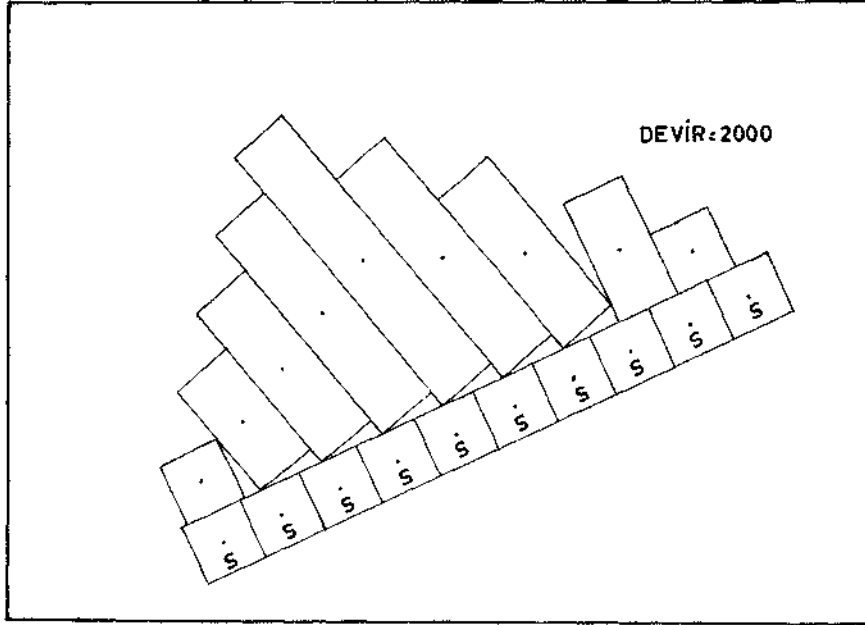
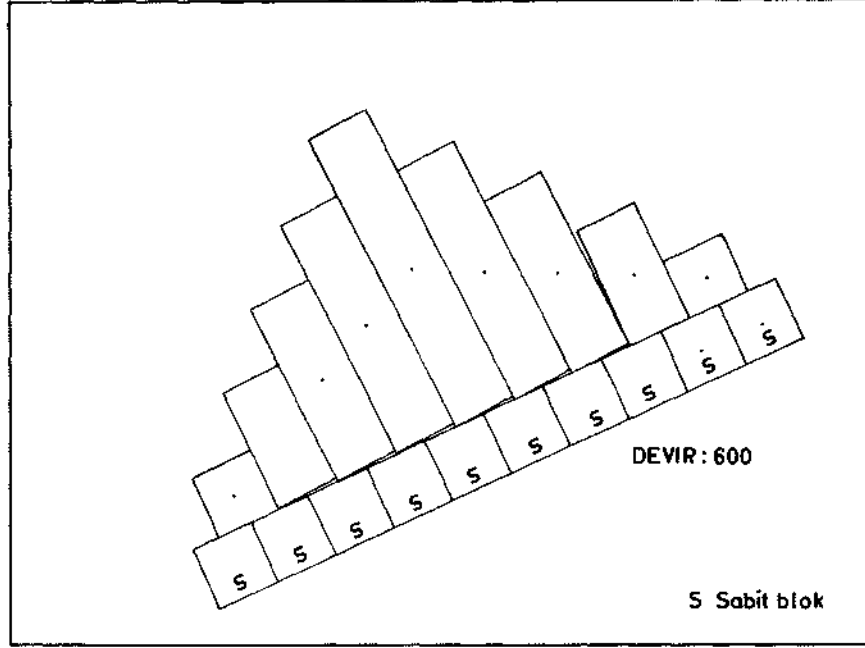


Eğilim çerçevesi deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında denge sınırı yönteminin daha stabil sonuçlar verdiği belirlendi. Bunun nedeni ilkindeki deneysel koşulların kusursuz olmayışydı, örneğin; Motorun yarattığı titreşimler, blok boyutlarındaki eşitsizlik.

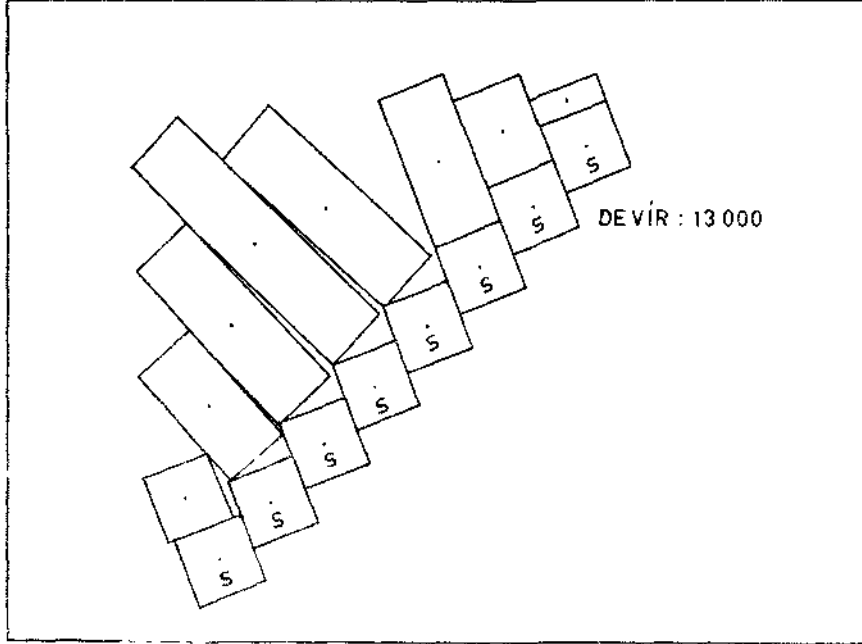
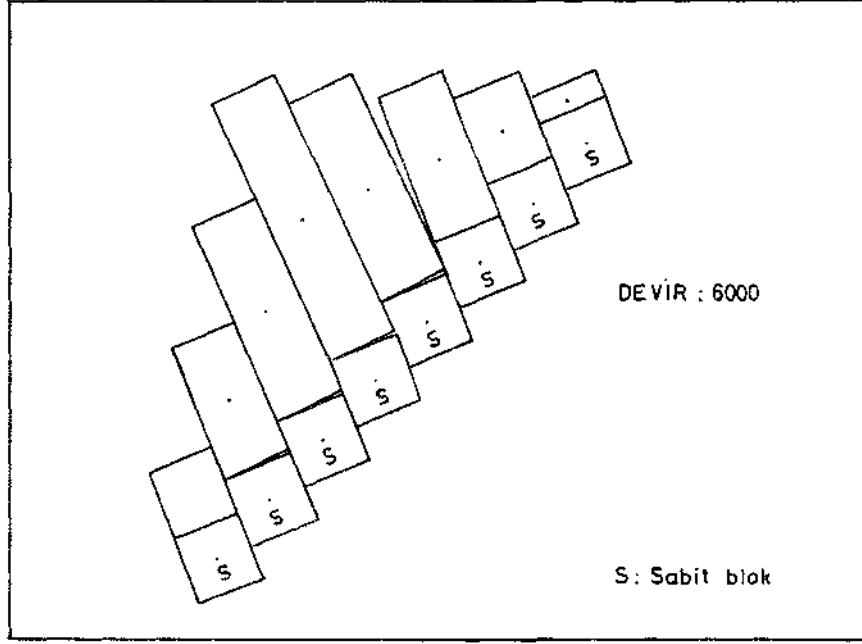
Dinamik gevşeme blok programının (DGBP) devrilmeyi de kayma kadar kusursuz modellediği saptandı. DGBP'nin verdiği sonuçların fiziksel (eğilim çerçevesi) ve kuramsal (denge sınırı) model sonuçlarıyla uyum içinde olduğu görüldü. Şekil - 7 ve Şekil - 8 eğilim çerçevesi ile DGBP arasındaki uyumu kanıtlamaktadır. Şekil - 9 ise tabanı basamaklı bir modelin (DGBP) denge sınırı yönteminin öngördüğü biçimde devrilişini göstermektedir. Yüksek eylemsizlik kuvvetlerinin oluşması, kararlı zaman basamağının (iterasyonlar ara«) çok kısa oluşu gibi zorlukların yanında blokların rijid varsayılması bu yöntemin kullanılabilirliğini mekaniksel devinimlerin egemen olduğu yıkılma biçimiyle sınırlandırmaktadır. Ne var ki, bu yöntem yıkılma biçiminin önceden saptanmasını gerektirmez (çünkü sistem stablitenin en u olduğu biçimde yıkılır) ve ardaşık (progressive) yıkılmayı, karmaşık jeolojik yapıyı modelleyebilir. Bu bakımlardan da denge sınır yöntemine karşı üstündür. Dinamik gevşeme yönteminin sonlu elemanlar metoduyla biraraya getirilip birlikte kullanılması durumunda blokların kırılması da modellenebilecek ve gerçeklere çok daha yakın sonuçlara ulaşılacaktır.



Şekil 7. Eğilim çerçevesinde tek-parça kolonlardan oluşan modelin yıkılışı.



Şekil 8 - DGSP nin düz tabanlı modele uygulaması



Şekil 9- DG B P nin basamak tabanlı modele uygulaması

5. SONUÇ

Yatımı şev içine doğru olan süreksizliklerin oluşturduğu kolonları içeren dik kaya şevlerinde devrilme biçimi yıkılma olasılığı unutulmamalıdır. Böyle durumlarda yalnız kayma biçimi yıkılma için yapılacak analiz yüksek emniyet katsayısı vererek tehlikeli sonuçlar doğuran hatalı dizayna sebep olabilir. Stabilite-sizlik durumunda devrilme ve kayma için alınacak önlemlerin de değişik olacağı açıktır. Devrilmeyi kaymadan ayıran en belirgin özellik ise ilkinde belirli bir kayma düzleminin olmayışıdır. Devrilme dönmeyle birlikte oluşan kolonlar arası kayma ve şev topuğundaki blokların tabanlarındaki kaymalar vardır.

Bugüne değin yapılan araştırmalar, kaya şevlerindeki devrilme için, pratikte değeri olan dizayna dönük bir çözüm getirmediyse de açık ocak mühendisini böyle bir yıkılma biçiminin olasılığından haberdar edip tehlikelerine karşı uyarması bakımından yararlı olmuştur. Bu arada devrilme analizi için değişik yöntemler irdelenmiş ve taban sürtünmesi prensibinden kaynaklanan basit iki boyutlu modellerden, gelişmiş sayısal dinamik gevşeme metoduna kadar değişik yaklaşımlardan yararlanılabileceği saptanmıştır. Kolayca hazırlanabilen taban sürtünmesi modellerinin ilk incelemelerde, devrilmenin kinematik olasılığının belirlenmesinde güvenle kullanılabileceği anlaşılmıştır. Henüz dizayn aracı olmaktan çok araştırma aracı olan dinamik gevşeme yönteminin devrilmeyi etkileyen parametrelerin analizinde yararlı olabileceği saptanmıştır. Birtakım varsayılara bağlı kalınarak basit jeolojik yapılar için çözüm veren denge sınırı yönteminin ise pratiğe dönük olmasına karşın kullanıldığının sınırlı olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. BRAY, J.W. Seminar on toppling failure. Rock Mech. Dept. imperial College, London, 1969.
2. BARTON, N.R. A model study of the behavior of steep excavated slopes. Ph.D. Thesis, Univ. of London (Imperial College), 1971.
3. ASHBY, J. Sliding and toppling modes of failure in models and jointed rock slopes. M. S. Thesis, Univ. of London (Imperial College), 1971.
4. MÜLLER, L. and HOFMANN, H. Selection, compilation and assessment of geological data for the slope problem. Proc. Symp. on Open Pit Mine Planning, Johannesburg, 1970
5. CUNDALL, P.A. The *measurement and* analysis of accelerations in rock slopes. Ph.D. Thesis, Univ. of London (Imperial College), 1971.
6. DE FREITAS, M.H. and WATTERS, R.J. Some field examples of toppling failure. Geotechnique, Vol. 23, No. 4, 1973.
7. GOODMAN, R.E. and BRAY, J.W. Toppling of rock slopes. Proc. Conf. on Rock Engineering for Foundations and Slopes, ASCE, Boulder, Colo. Vol. 2, 1976.

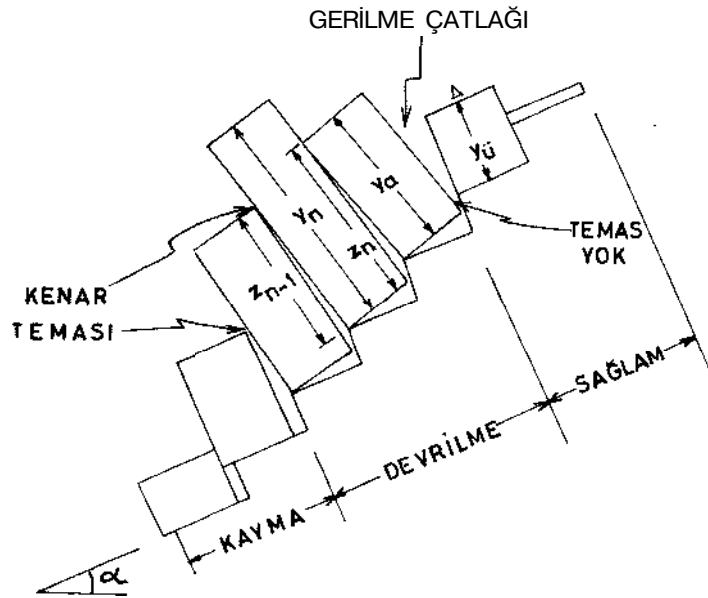
8. ERGUVANLI, K.A. and GOODMAN, R.E. Applications of models to engineering geology for rock excavations. Bull of the Assoc, of Eng. Geologist. Vol. IX, No. 2, 1972.
9. ÖZGENOĞLU, A. The analysis of toppling failure using models and numerical methods. M. Phil. Thesis, Univ. of London (Imperial College), London, 1978.
10. BRAY, J.W. Rock Slope Stability Lecture Notes, Imperial College, London, 1976.
11. OTTER, J.R.H., CASSELL, A.C. and HOBBS, R.E. Dynamic Relaxation, Proc. Inst. Civ. Engrs. V.35, Dev. 1966.
12. HOCKING, G. Notes on dynamic block modelling program. Publication of "Goider Associates", April 1975.
13. JOHN, K.W. Three dimensional stability analysis of slopes in jointed rock. Proc. Symp. on Open Mine Planning, Johannesburg, 1970.

EK

DENGE SINIRI YÖNTEMİ İLE BASAMAKLI TABAN ÜZERİNDE DEVRİLME ANALİZİ

Varsayımlar;

- kolonlar tek parçadır
- kolonlar kırılmaz, deforme olmaz
- şev tamamıyla drene olmaktadır (su basıncı yok)



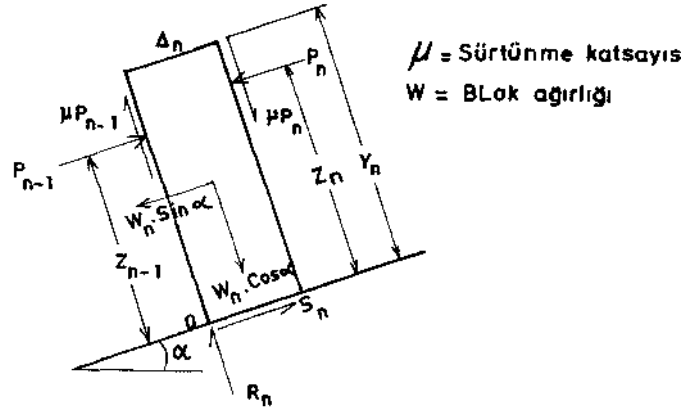
Şekil E.1- Basamaklı tabanda devrilme
(Bra y⁰¹¹ den)

Stabil bölgeyi hareket eden kısımdan ayıran gerilim çatlaklarının yeri tek blok devrilme kriterinden yararlanılarak bulunur. Yani çatlak

$$Y_{\ddot{u}} < \Delta \text{Cot } \alpha < Y_a$$

koşuluna göre yükseklikleri Y_y ve Y olan bloklar arasında oluşur.

Tipik bir kolondaki denge sınırı koşullarını belirlemek için n'inci blok üzerinde etkin olan kuvvetlerden yararlanılabilir.



Şekil E. 2- n inci blok üzerinde etkin olan kuvvetler

Devrilmeyi yaratan P_n kuvveti O etrafında moment alınarak bulunur.

$$P_n \cdot Z_n - P_n \cdot \Delta_n = P_{n-1} \cdot Z_{n-1} + W_n \cos \alpha \cdot \Delta_n / 2 - W_n \sin \alpha \cdot Y_n / 2$$

$$P_n = \frac{P_{n-1} \cdot Z_{n-1} + W_n / 2 \cdot (\Delta_n \cdot \cos \alpha - Y_n \cdot \sin \alpha)}{Z_n - \mu \Delta_n} = P_n''$$

Bloğun kaymasına neden olan P kuvveti ise R ve S ye paralel kuvvetlerin çözümlenmesiyle elde edilebilir.

$$R_n = W_n \cdot \cos \alpha + \mu(P_n - P_{n-1})$$

$$S_n = W_n \cdot \sin \alpha + (P_n - P_{n-1})$$

Ote yandan kayma için

$$S_n = R_n \cdot \mu \quad \text{olur, ve}$$

$$W_n \cdot \sin \alpha + (P_n - P_{n-1}) = \mu \cdot W_n \cdot \cos \alpha + \mu^2 (P_n - P_{n-1}) \quad \text{den}$$

$$P_n = P_{n-1} + \frac{W_n (\mu \cdot \cos\alpha - \sin\alpha)}{1-\mu^2} = P'_n \text{ bulunur.}$$

Sonunda eğer $P'_n < P''_n \rightarrow P_n = P'_n$ olur ve *Blok Kayar*

eğer $P''_n < P'_n \rightarrow P_n = P''_n$ olur ve *Blok Devrilir*.

Hareketli bölgedeki her blok için P_n değerleri (kayma ve devrilme için ayrı ayrı sırasıyla hesaplanır. Analiz denge sınırı için gerekli sürtünme katsayısı, β , bulunana kadar sürdürülür. Bunun için, uç koşulları sağlanana, yeni gerilim çatlağı bitişiğindeki blok için $P_n = 0$ olana dek β azaltılıp çoğaltılır (iterasyon). O zaman, devrilme için emniyet katsayısı, E.K.,

$$E.K. = \frac{\text{arazide elde edilen } \mu}{\text{denge sınırı için gerekli } \mu} \quad \text{olarak hesap edilebilir.}$$

