

AVNİK (BİNGÖL) DEMİR YATAKLARI AÇIK İŞLETME ŞEV DURAYLILIĞI İNCELENMESİ

A. Günhan PAŞAMEHMETOĞLU (*)

Aydın BİLGİN (**)

Abdurrahim ÖZGENOĞLU (**)

Celâl KARPUZ (**)

ÖZET

Bu bildiri, Bingöl ilinde yer alan Avnik Demir yataklarından Koşal yatağında sürdürülen açık işletme şev dizaynı çalışmalarını ile ilgili değerlendirmeler verilmiştir.

Açık işletme şev duraylılığı çalışmalarında, yantaşların ve cevherin fiziksel ve mekanik özellikleri, süreksizlikler ile bunların sürtünme özellikleri ve şevlerin duraylılık sorunları incelenmiştir. Cevher yatağı değişik dizayn sektörlerine ayrılarak her bir sektörde emniyet katsayısı değişik koşullar için hesaplanmış sonuçlar tartışılmış, şev açıları ve ileride yapılması gerekebilecek çalışmalar için öneriler getirilmiştir.

ABSTRACT

In this paper, the results of open pit slope stability investigations carried out at Koşal (Avnik) iron ore deposit within the province of Bingöl are presented.

Open pit slope stability studies are included the determination of the physical and mechanical properties of the host rocks and the ore, the investigation of discontinuities and their mechanical properties and the study of types of slope stability problems that may be encountered. Orebody is divided into several design sectors and for each sector the sensitivity of safety factor to changes of various factors is determined, discussions are made and proposals are brought for slope angles and further investigations to be carried out.

(*) Y. Prof. Dr., Maden ve Petrol Mühendisliği Bölümü, ODTÜ; ANKARA.

(**) Maden Y. Müh., Öğr. Gör. Maden ve Petrol Mühendisliği Bölümü ODTÜ; ANKARA.

1 GİRİŞ

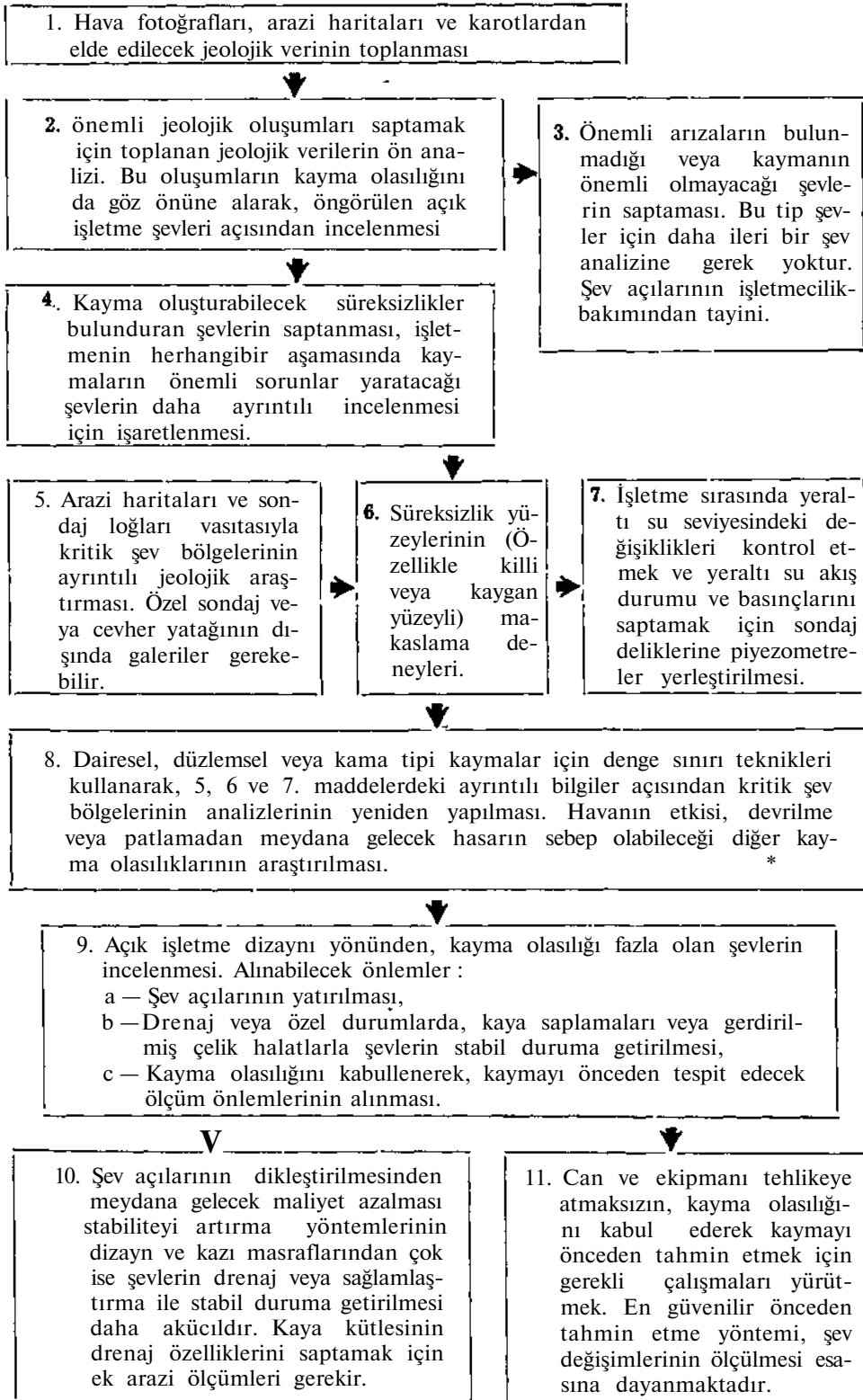
Açık işletme madencilğinde kaya mekaniği şev duraylılığı çalışmalarının ve dizaynının ekonomi ve emniyet yönünden katkısının önemi tartışılmaz, özellikle yüksek tenörlü cevherlerden düşük tenörlülere ve az derin olanlardan derine giden büyük boyutlu ve derin açık ocaklara gidildikçe bu çalışmaların önemi daha da artmaktadır.

Şev stabilité analizlerinde ve şev dizaynında, genellikle uygulanan kaya mekaniği çalışma programı Şekil - 1'de (1) ayrıntılı olarak verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere uygulanan yöntem iki aşamalıdır. Birinci aşamanın amacı, emniyetli şevleri kayma olası şevlerden ayırmak ve kayma olması beklenen şevlerde hangi tip kaymanın olabileceğini tespit etmektir. İkinci aşamanın amacı ise, çalışmaları kayma olası kritik şevlere yoğunlaştırarak yapısal jeoloji, yeraltı su durumu, süreksizlik düzlemlerinin sürtünme özellikleri ile ilgili daha ayrıntılı araştırmalar yapmak ve elde edilen verilerle ayrıntılı şev duraylılığı analizleri yaparak kritik şevlerde duraylılığın şev geometrisini değiştirmek, direnç veya kaya kütlelerini sağlamlaştırma yöntemleri ile sağlanıp sağlanamayacağını araştırmaktır.

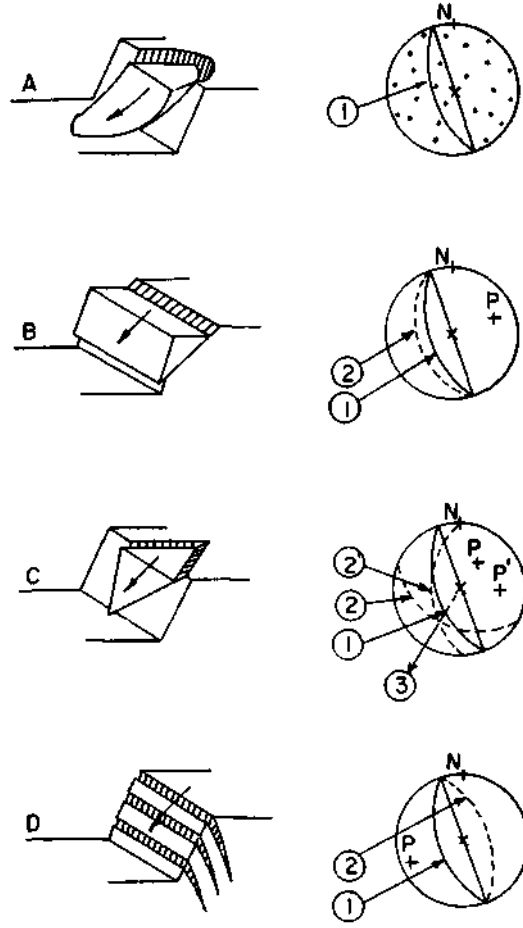
Şekil - 2'de açık ocak şevlerinde oluşabilecek genel kayma tipleri ve bunların stereografik projeksiyon yöntemi ile tanıma diyagramları görülmektedir (2). Kaya şevlerinde kayma genellikle kaya kütlelerinde var olan tabakalanma, eklem, fay gibi süreksizlik düzlemlerinde oluşur. Kaya yenilmesinin ve kaya kütlelerinin deformasyonunun var olmadığı varsayıldığında, şevlerde kayma olayını basit matematiksel modellerle açıklamak mümkündür. Bu modellerde kaya bloklarında kayma «denge sınırı» erişildiğinde, diğer bir deyişle, kaymayı teşvik eden yerçekimi ve yeraltı su basıncı kuvvetleri ile kohezyon ve sürtünme kuvvetlerinin oluşturduğu kaymaya karşı koyan kuvvetler eşit (emniyet katsayısı = 1) olduğunda meydana geldiği kabul edilir. Kaya kütlelerinin deformasyonu yok varsayıldığından, kuvvetler sistemi kaya bloğu yüzeyine belirli noktalarda etki eden birkaç toplam kuvvetten oluşan basit bir sisteme dönüşmüş olur.

Şekil 2 de verilen dört ana kayma tipinden ilk üçü için «denge sınırı» yöntemi geliştirilmiş :

- (a) dairesel kayma yöntemi
- (b) düzlemsel kayma yöntemi



Şekil — 1. Açık İşletme Şevlerinin Stabilite Analizi



Şekil — 2 Değişik şev kayma tipleri ve tanıma diyagramları

- A Belirli yapısal düzene sahip olmayan zeminde , artık kaya tumbasında ve yoğun çatlaklı kayada dairesel kayma
 B Sleyt gibi düzenli yapıya sahip kayada düzlemsel kayma
 C Kesişen iki süreksizlik düzleminde kama tipi kayma
 D Dikey yatımlı süreksizliklerle ayrılan kolonlar halindeki sert kayada devrilme

- (1) Şev düzlemi
 (2) , (2') Süreksizlik düzlemleri
 P, P' Düzlemlerin merkezleri
 (3) Kayma yönü

(c) kama tipi kayma yöntemi

ve ayrıntılı olarak Hoek ve Bray'in Kaya Şev Stabilitesi kitabında verilmiştir (1). Devrilme tipi kayma ile ilgili çalışmalar sürdürülmekte olup (3,4) bu tip duraysızlık için öngörülen «denge sınırı» yöntemi basit modeller için geçerlidir.

Basit, uygulaması çabuk ve şev yüksekliği, şev açısı, su durumu gibi parametrelerdeki değişmelerin emniyet katsayısına etkisinin ayrı ayrı ve çabucak hesaplanmasına olanak vermesi nedeniyle «denge sınırı» yöntemleri şev duraylılığı analizlerinde en çok kullanılan dizayn aygıtlarıdır (5).

Bu bildiriye, kaya şev duraylılığı analizlerinde kullanılan denge sınırı yöntemleri anlatılmayacak, bu yöntemleri ayrıntılı olarak içeren ilgili kaynaklara (1,3,4) atıf yapılmakla yetinilecektir. Burada, kaya şev duraylılığı çalışmalarının Avnik (Bingöl) demir yataklarından Koşal (Mişkel) yatağına uygulanışı ve elde edilen sonuçlar açıklanacaktır.

2. KOŞAL - MIŞKEL DEMİR CEVHERİ YATAĞI

Bingöl ili Genç ilçesinde yer alan Avnik demir yatakları Haylan, Mişkel - Koşal ve Hamek'ten oluşmaktadır. Bunlardan Koşal - Mişkel bölgenin en önemli yatağıdır.

Koşal - Mişkel apatitli manyetit yatakları alt birlik kayaları olarak adlandırılan amfibol - feldspat gnays ve yer yer amfibol şist birimleri (yan taş) içinde bulunur (6). Koşal demir yatağı yaklaşık doğrultusu ESE - WNW olan fay (7) ile atılmış olup bu çalışmada kuzey kafa ve güney kafa olarak adlandırılmışlardır. Bazı kısımlarda mostra veren cevherleşme zonlarının tabanı yüzeyden yaklaşık olarak 300 m. derinliğe kadar inmektedir.

3. KAYA MEKANİĞİ ÇALIŞMALARI, VERİ TOPLAMA

Kaya mekaniği çalışmaları rezerv tespiti çalışmalarına paralel olarak yürütülmüştür. Kaya mekaniği araştırmalarının erken safhada başlamasının yararı, fizibilite aşamasında açık ocağın değişik bölümlerinde şevlerin duraylılığı ve şev açıları hakkında az bir harcamayla veri elde edilmesi, bu verilerden fizibilite etüdünde yararlanılması ve dizayn aşamasında da daha ayrıntılı şev duraylılığı çalışmalarını gerektirip gerektirmeyeceğinin, gerekirse ocağın hangi

kısımlarında yoğunlaştırılacağı ve ne gibi araştırmaların yapılması gerektiğinin tespit edilmesidir.

Şev duraylılığı çalışmaları Şekil — 1 de belirtilen programa uygun olarak yürütülmüştür. öncelikle, mevcut programlardan ve hava fotoğraflarından yararlanılmıştır. Arazi çalışmalarında, sondaj logaları incelenmiş, kaya ve cevher birimlerinden gerek karotlardan ve gerekse mostralardan blok numuneler alınmış, süreksizlik sistemlerinin ve özelliklerinin tesbiti amacı ile mostralarda sistematik ölçümler yapılmış, süreksizlik düzlemlerinin sürtünme özelliklerinin makaslama kutusunda yapılacak deneylerde bulunabilmesi için yönlü numuneler alınmıştır.

Rezerv tesbitini amaçlayan sondajlardan hidrojeoloji araştırmaları yönünden de yararlanılması planlanmasına karşın sondaj çalışmaları sırasında yeraltı suyu hakkında bilgi edinilmemesi yanısıra sondajların bitiminde bu kuyulardan su düzeyi gözlemleri amacı ile yararlanmak da mümkün olmamıştır. Bunun nedenleri, kuyuların kısa sürede çökmesi, kuyular içinde fazla miktarda mazot bulunması ve kuyulara yeraltı suyu düzeyi ölçümleri için gözlem boruları yerleştirilememişidir. Ayrıca, basınçlı su deneyleri için planlanan sondajlar yapılamadığından bunlardan da yararlanmak mümkün olmamıştır (6).

Manyetit demir cevheri ve yantaş olarak bulunan gnays ile amfibol şistin, bloklardan çıkartılan ve sondajlardan alınan karotlar üzerine yapılan deneylerden elde edilen mekanik ve fiziksel Özellikleri Tablo — İde, süreksizlik sistemlerini tesbit amacı ile mostralarda yapılan ölçmelerden elde edilen verilerin Schmidt diyagramı ile değerlendirilmesinden adı geçen sahada egemen olduğu anlaşılan üç eklem takımının eğim ve eğim yönleri Tablo — 2 de verilmiştir.

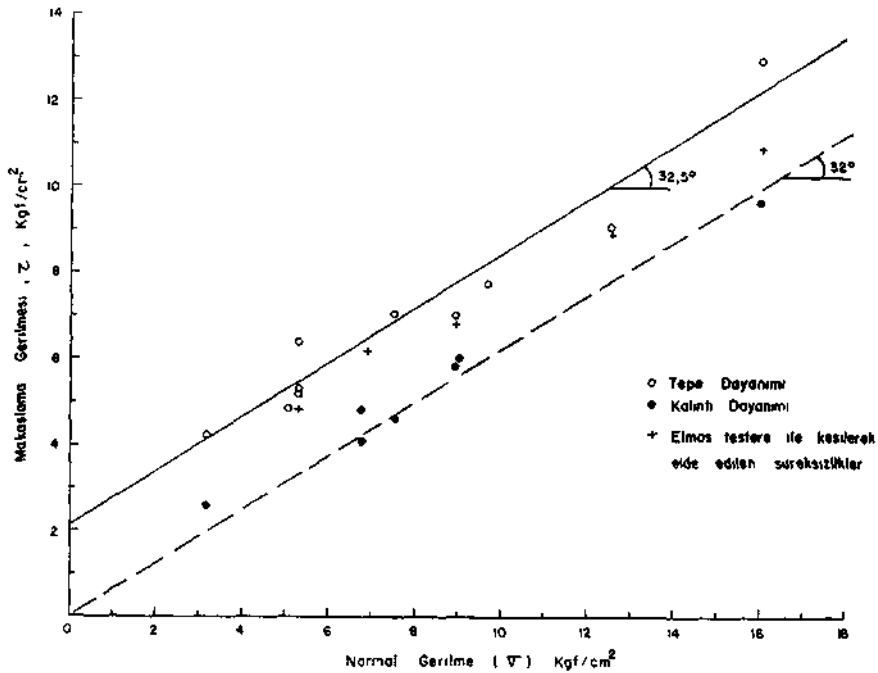
TABLO - I Gnays Amfibol Şistin Manyetit Demir Cevherinin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Kaya Cinsi	Basma Dayanımı σ_c (Kgf/cm ²)	Elastisite Modülü, E (Kgf/cm ²)	Poisson Orom	Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Kaba Yoğunluk (gr/cm ³)	Elkıl Görecelik (%)	Toplam Görecelik (%)	Simit Sırtlık D.g.
Gnays	2225	13500	0.156	2.69	2.66	0.64	1.12	57
Amfibol Şisti	1308	4000	0.196	2.76	2.70	0.77	2.17	53
Manyetit	958	11000	0.146	4.54	4.15	0.72	1.96	52

Tablo. 2 — Egemen Süreksizliklerin Eğim ve Eğim Yönleri Değerleri

Süreksizlik Düzlemi	Eğim	Eğim Yönü
1. Eklem Takımı (JI)	70° \mp 10°	135° + 8°
2. Eklem Takımı (JII)	47° + 5°	192° + 7°
3. Eklem Takımı (JIII)	48° + 3°	287° \mp 3°
4. Fay (JIV)	50° - 55°	015°

Eklem takımları genellikle düzenli, sık ve sıkı olup yüzeyleri çoğu kez pürüzlü ve dolgusuzdur. ön bilgiler derinlik artıka eklemelerin etkinliklerini kaybettiğini göstermekte ise de sahanın bazı kesimlerinde pürüzsüz ve dolgulu eklemeler de görüldüğünden şev stabilite analizlerinde eklemelerin derinlikle sürekliliklerini korudukları varsayımı esas alınmıştır. Eklem takımlarının genel sürünme özellikleri Şekil — 3 de görülmektedir.



Şekil - 3 Eklem Takımlarının Maksimum Dayanım

Tablo — 2 de eğim ve eğim yönü verilen fay jeolojik kesitlerde görülmektedir (7). Ancak, fayın ve dolgu malzemesinin özellikleri ayrıntılı olarak çalışılmadığından analizlerde fayın sürtünme özellikleri için varsayım yapılmıştır. Fayın geniş bir alanı kapsayan tektonik hareket sonucu oluşabileceği göz önüne tutularak dolgu malzemesinin kohezyonu sıfır ve içsel sürtünme açısı 10° - 20° olarak alınmıştır.

4 KİNEMATİK ANALİZLER

Süreksizlik düzlemlerinin şev aynasının konumuna ve geometrisine göre, teker teker veya birlikte meydana getirebilecekleri duraysızlıkları ve bu duraysızlıkların biçimini (Şekil — 2) ve konumunu saptamak için kinematik analize başvurulmuştur. Bu analizler, Şekil — 4 de görülen açık ocak geometrisi esas alınarak yapılmıştır. Ocak geometrisi ekonomik analiz yapılmaksızın, genel şev açısı 45° olarak öngörülerek ve ocak derinliği - tabanı, kesitlerde (7) görülen cevherleşme alt sınırı esas alınarak saptanmıştır.

Şekil — 4 ün sol alt köşesinde verilen tablodan da görüleceği üzere ocak geometrisi ve egemen süreksizliklerin eğim ve eğim yönleri kinematik olarak 10 değişik duraysızlığı olası kılmaktadır.

Fayın neden olduğu duraysızlık kuzey kafasının güney yamaçlarında düzlemsel kayma ve güney - batı ile güney - doğu yamaçlarında kama tipi kayma biçiminde olurken güney kafasının kuzey yamaçlarında devrilme biçiminde kendisini göstermektedir. JI'in eğiminin yüksek olması ($\gamma_p = 70^{\circ} + 10^{\circ}$) bu eklem takımının bir yandan basamaklarda düzlemsel kaymaya, öte yandan da JIII ile birlikte devrilme biçimi duraysızlığa neden olabileceğini ortaya koymaktadır. Eklem takımlarının derinlere inildikçe sürekliliklerini yitirmeleri nedeniyle, JII ve JIII eklem takımları için olası görülen düzlemsel kayma ancak kompozit düzlemlerin oluşması durumunda olanaklı olabilir.

Kuzey ve güney kafalar için 10 değişik dizayn sektörü saptanmıştır (Şekil — 4). Bu sektörlerin bazılarında iki veya daha fazla duraysızlık tipi yer almaktadır. Böyle sektörlerde en düşük kritik şev açısını veren duraysızlık tipinin esas alınacağı açıktır.

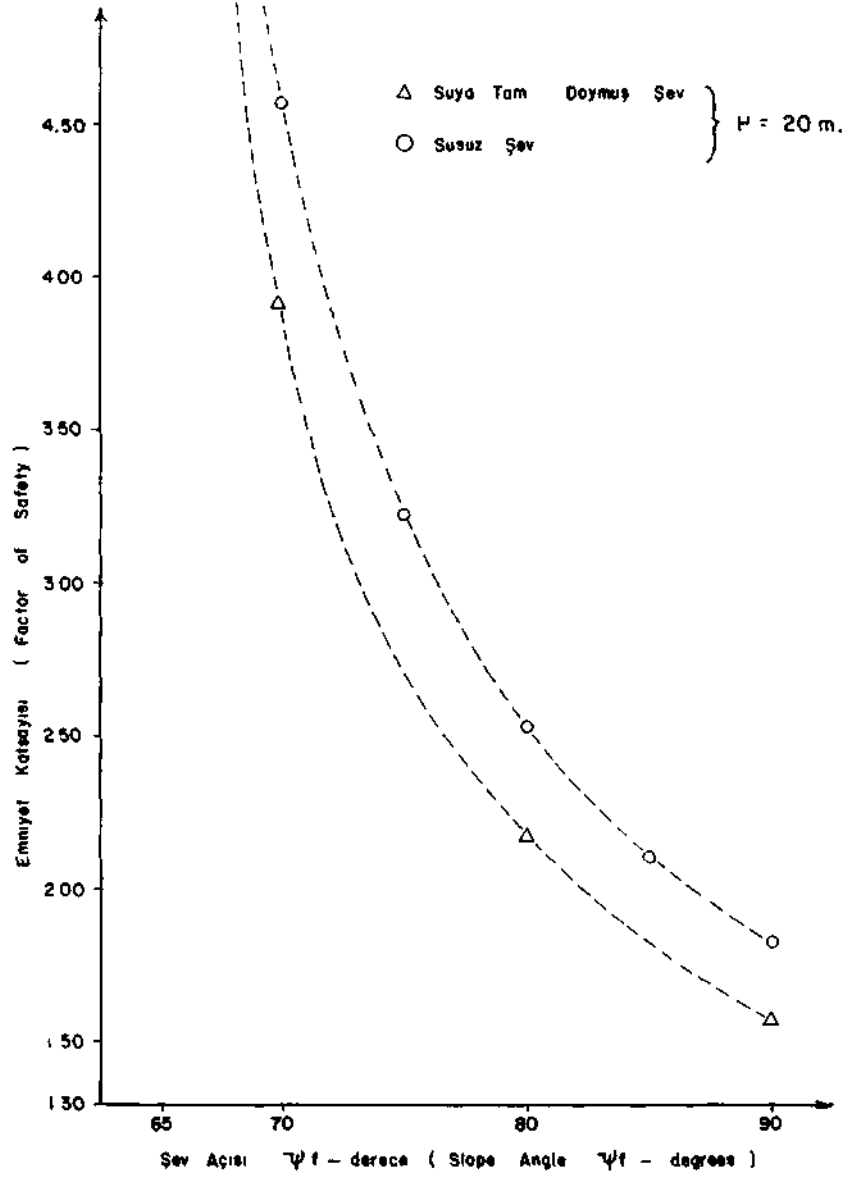
5. DÜZLEMSEL KAYMA, KAMA TİPİ KAYMA VE DEVRİLME ANALİZLERİ

Kinematik analiz sonucu saptanan değişik duraysızlıklar için «denge sınırı» yöntemleri kullanılarak duraysızlık analizleri yapılmış, olası kaymaya karşı koyan kuvvetler ile kaydırmaya çalışan kuvvetler göz önüne alınarak emniyet katsayısı değişik koşullar için saptanmıştır. Analizler sahanın 3. derece deprem bölgesi olduğu ve yeraltısu durumunun saptayan veriler olmadığı göz önüne alınarak, VIII şiddetinde deprem yükü (ivme = 0,2 g) ve değişik su durumları, şev konumu, şev açıları ve şev yükseklikleri için yapılmıştır. Denge koşulu emniyet katsayısının bir olduğu durumda sağlanmasına karşın, emniyetli çalışma açısından açık işletme şev dizaynında emniyet katsayısı 1,3 olarak alınmıştır (1).

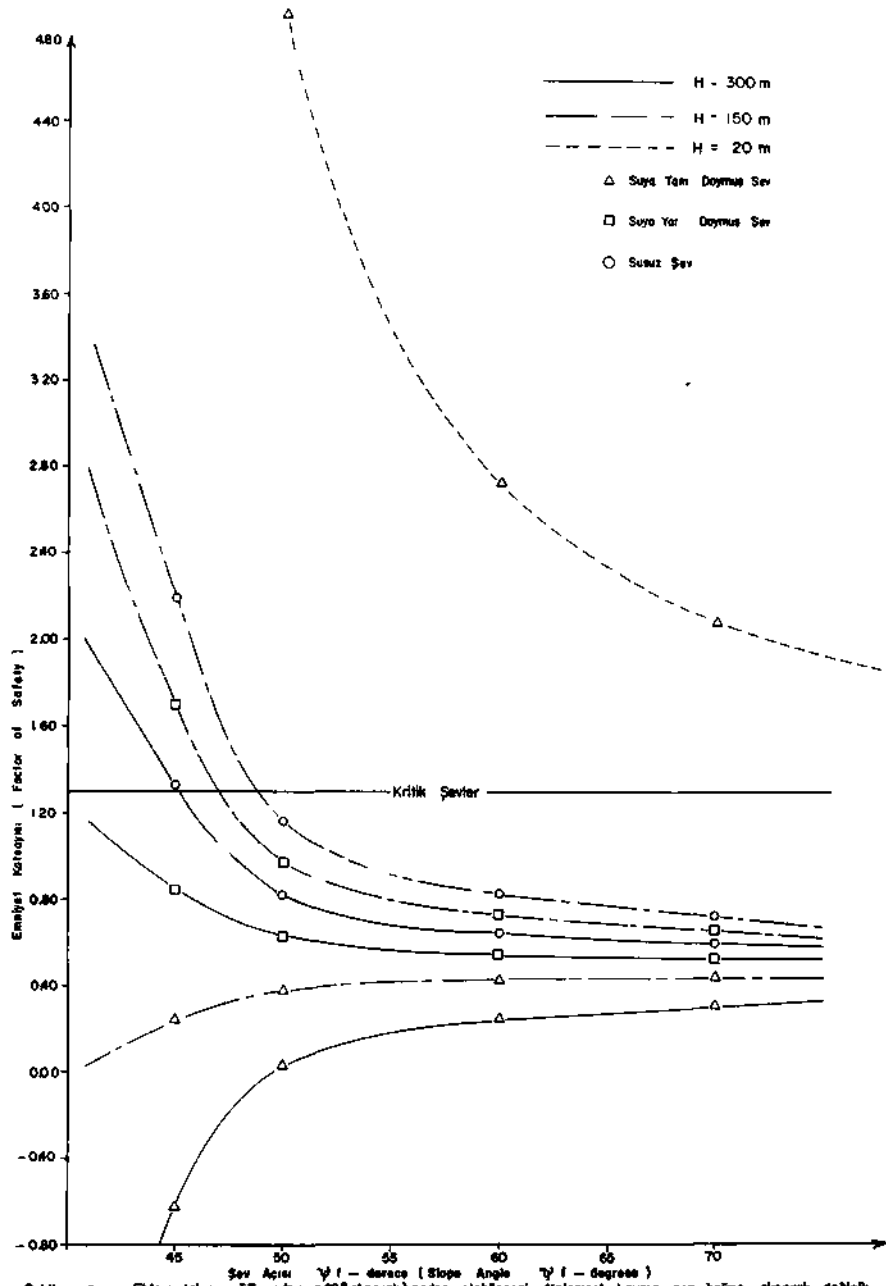
5.1. DÜZLEMSEL KAYMA ANALİZİ

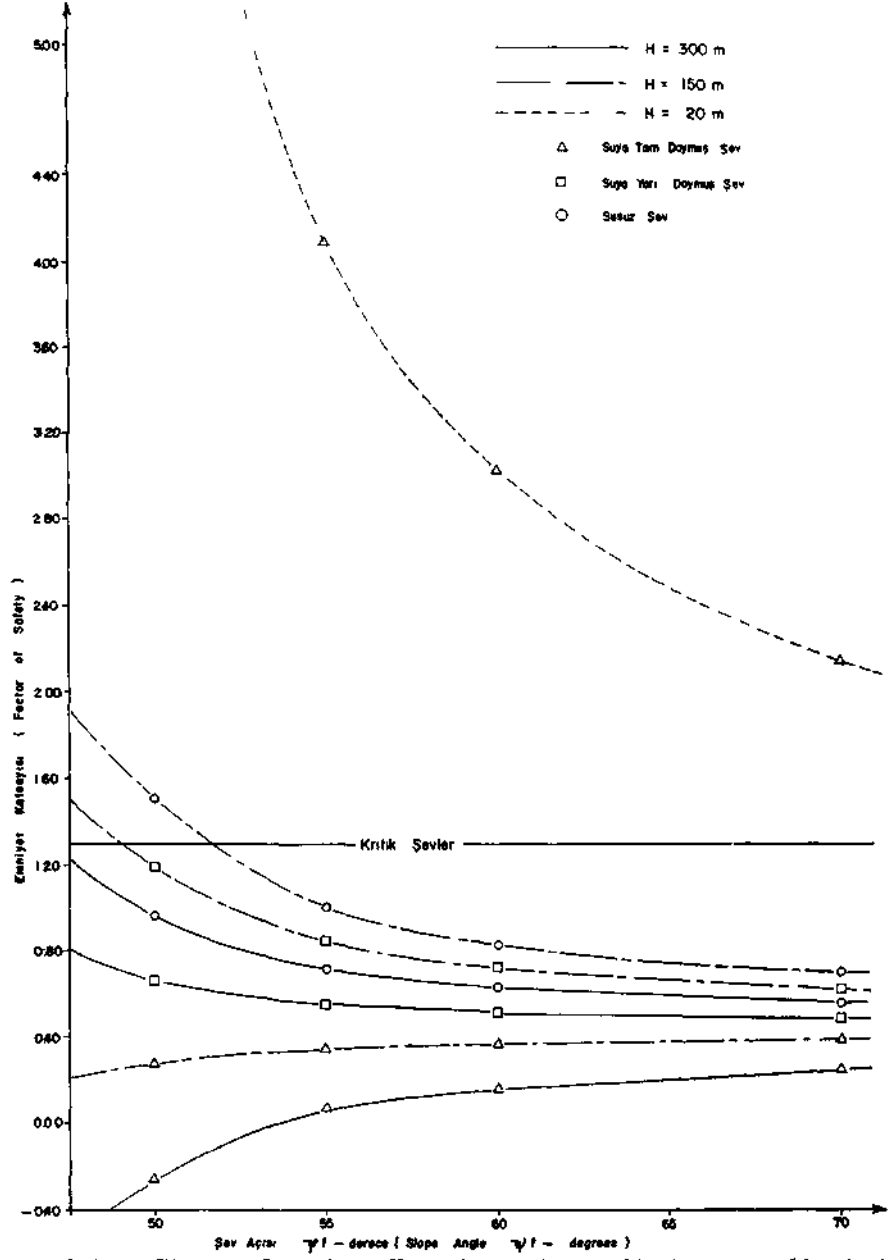
JI, JII ve JIII eklem takımlarının oluşturabileceği düzlemsel kayma için analiz sonuçları sırası ile Şekil — 5, Şekil — 6 ve Şekil — 7 de verilmiştir. Eklem takımı JI, $70^\circ + 10^\circ$ lik bir eğim gösterdiğinden yalnız basamaklar için kritik olabileceği düşünülmüş (60° lik genel şev açısına kadar duraysızlık söz konusu değildir) ve analiz basamak yüksekliğindeki şevler için yapılmıştır. Şekil — 5 de görüldüğü gibi 20 m yüksekliğinde ve yeraltısu düzeyi şev tepesine kadar (doymuş - şev) olan 90° lik şev dahi stabil olmaktadır.

Eklem takımı JII, bölgede $47^\circ + 5^\circ$ bir eğimle yatmaktadır. Daha kritik olduğu saptandığından analizler eğimin en düşük hali için ($\alpha_p = 42^\circ$) yoğunlaştırılmıştır. Şekil — 6 dan da görüleceği üzere, suya tam — doymuş 150 m ve 300 m yüksekliğindeki şevler tüm şev açıları için stabil değildir. Aynı yükseklikteki suya yarı - doymuş (şevde su düzeyi şev yüksekliğinin yarısında) ve kuru şevlerde ise düşük şev açılarında stabil olabilmektedir, örneğin, 150 m yüksekliğindeki suya yarı - doymuş bir şev, 47° ye kadar olan şev açılarındadır emniyetli olmaktadır (emniyet katsayısı = 1,3). JIII, basamaklar için en kötü koşullarda bile duraysızlık yaratmamaktadır. Ancak, yeraltısu durumu tesbit edilmedikçe 150 ve 300 m gibi yüksek şevlerde şev açısı 42° den yüksek alınmamalıdır.



Şekil - 5 Eklem takımı J I in ($\psi_p = 60^\circ$ alınarak) neden olabileceği düzlemsel kayma göz önüne alınarak değişik koşullar altındaki şevler için emniyet katsayısı ($\alpha = 0.2 g$)





Şekil - 7 Eklem tokumu J III için ($\psi p = 45^\circ$ alınarak) neden dâbilediği düzlemel kayma gaz önüne alınarak değişik koşullar altındaki şevler için emniyet katsayısı ($\alpha = 0.2 g$)

Eklemler takımı JIII de JII nin özelliklerini taşımakta olup basamaklar ($H = 20$ m) her türlü koşullarda stabildir. 300 m yüksekliğindeki şevler, şev açısı 45° den dik olduğunda tüm koşullarda duraysızlık göstermektedir (Şekil — 7). Bu tip düzlemsel kayma beklenen şevlerde genel şev açısı 45° den dik alınmamalıdır.

Varlığı jeolojik kesitlerden çıkartılan fayın özellikleri bilinmediğinden sağlıklı bir analiz yapılamamıştır. Ancak, içsel sürtünme açısı $= 20^\circ$ (kuru şev), kohezyon $= 0$ varsayımıyla yapılan analizde, beklenildiği gibi, çok düşük emniyet katsayıları elde edilmiştir. Bu bakımdan güvenilir verilere dayanan bir analiz yapılmadıkça kuzey kafasının güney yamaçlarındaki şev açısı (gerek basamaklar — fay yakınında — için ve gerekse genel ocak için) fayın eğimi olan 50° yi geçmemelidir.

5.2. KAMA TİPİ KAYMA ANALİZİ

Üç eklemler takımı ve fayın birbirleri ile kesişmesiyle oluşturdukları kama bloklarının ortak kesişme doğrularının eğim ve eğim yönleri aşağıda verilmiştir.

Kamayı oluşturan Süreksizlikler	Kesişme Doğrusunun Ortalama	
	Eğimi	Eğim Yönü
JI — JII	47°	202°
JI — JIII	21°	215°
JII — JIII	36°	238°
JI — Fay	43°	065°
JII — Fay	01°	104°
JIII — Fay	42°	323°

Buna göre, JI -JIII ve JII - Fay'ın oluşturduğu kamaların eğimleri içsel sürtünme açısından düşük olduğundan bu tip kamalarda kama tipi kama duraysızlığı beklenmemektedir. Ancak, bunlar devrilme tipi duraysızlıklarda etken olabilirler (Şekil — 4).

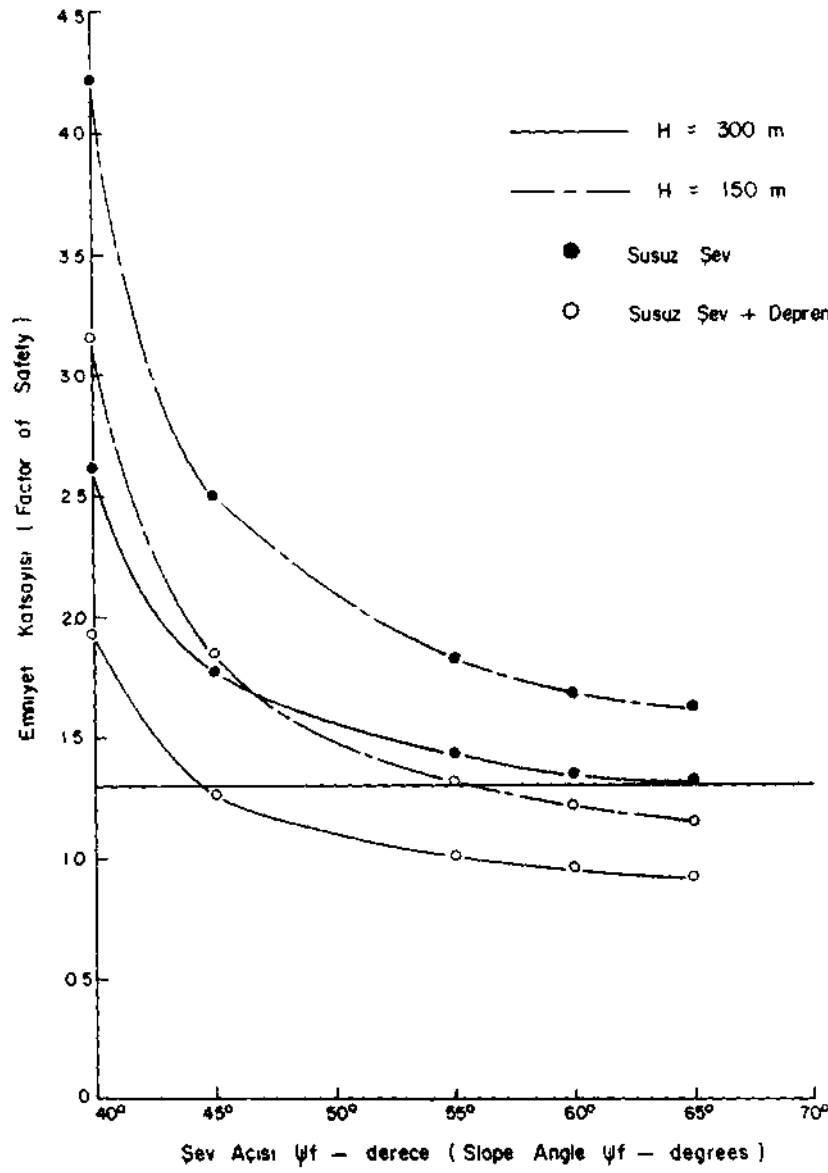
JII ve JIII eklemler takımlarının kesişmesi ile meydana gelen kamaların oluşturacağı duraysızlıklar Şekil — 4 de görüleceği üzere

S3 sektörlerinde beklenmektedir. Bu sektörlerde kama 36° eğimden sonra oluşabilmektedir. Pratik olarak, eğimi bu açıdan düşük şevlerde kamanın kesişme doğrusu şev aynasında yüzeye çıkmayacağından kayma beklenmez. Şekil — 8 de değişik koşullar için bu yöndeki şev ile emniyet katsayısı ilişkisi irdelenmektedir. Şekilde, depremin emniyet katsayısı üzerindeki olumsuz etkisi açıkça görülmektedir. Suya - doymuş ve deprem ivmesinin katıldığı analizlerde elde edilen emniyet katsayısı çok düşüktür ve şekillerde gösterilmemiştir. Kuru şev durumu ve deprem ivmesinin varlığı kabul edilerek yapılan analizlerde (300 m yükseklikteki şev için) şev 45° ye kadar stabil görülmektedir. Ancak, şevin suya-doymuş durumunda bu açı 36° ye düşecektir. Yukarıda da belirtildiği üzere, JII ve JIII eklem takımlarının kesişme doğrusunun eğimi 36° olduğundan ve şev açısının bu açıdan düşük olması durumunda kamanın kesişme doğrusu şev aynasında yüzeye çıkamayacağından tüm koşullarda şev stabil olacaktır. Su durumu uygun sondajlarla ayrıntılı olarak incelenmedikçe, bu sektör için genel şev açısının 36° olarak alınması uygun olacaktır.

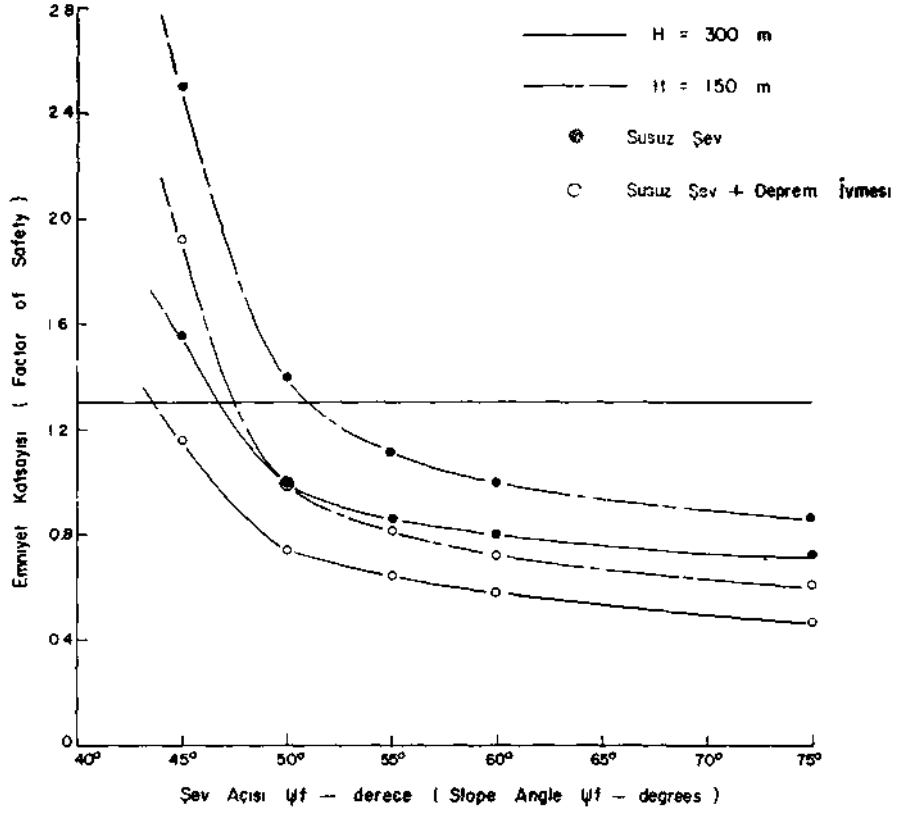
Kama tipi kayma yönünden ocağın diğer iki kritik bölgesi S2 ve S7 sektörleridir (Şekil — 4). Bu sektörler kuzey kafasındadır. S2 sektöründe kamaları fay ve JIII oluşturmakta ve bu süreksizliklerin kesişme doğrusunun eğimi 42° dir. Diğer bir deyişle, bu açıdan düşük şev açılarında tüm kötü koşullarda dahi bir kayma beklenemez. Bu sektör için emniyet katsayısı - şev açısı ilişkisi Şekil — 9 da verilmiştir. Bu bölgede 42° den dik genel şevlerde ($H = 300$ m) duraysızlık söz konusudur. Bunun da nedeni fay için kohezyon değerinin sıfır olarak alınmasıdır.

Diğer taraftan, Şekil — 4 den de görüleceği üzere, bu sektörde JIII eklem takımından dolayı düzlemsel kayma olasılığı da vardır ve düzlemsel kayma analizlerinde de belirtildiği gibi bu tip duraysızlık bu sektördeki şev açısını 45° ile sınırlamaktadır (Şekil — 7).

S7 sektöründe de fay bu kez JI eklem takımı ile kama oluşturmakta ve bu süreksizliklerin kesişme doğrusunun eğimi 43° dir ve genel şev açısı 43° den yüksek olduğunda duraysızlık söz konusudur (Şekil — 10). S7 ve S2 sektörlerinde genel şev açısının yükseltilmesi istendiğinde fayın tüm özelliklerinin ve yeraltı durumu ayrıntılı olarak saptanması gerekmektedir.



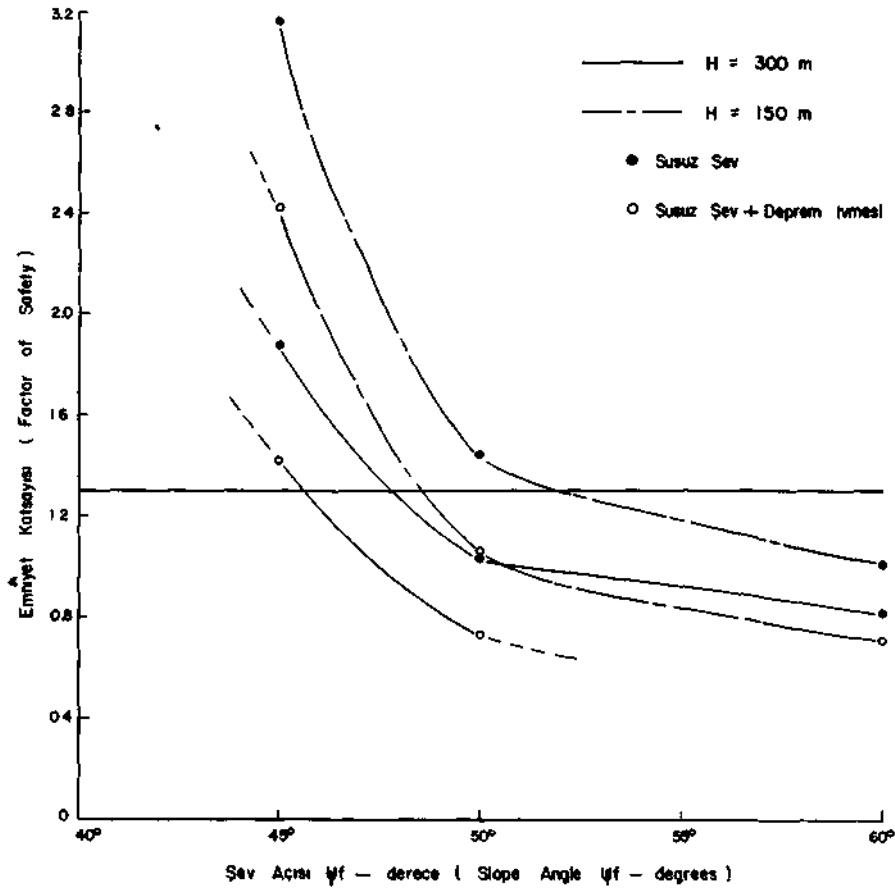
Şekil - 8 JII ve JIII eklemlerinin oluşturacağı kama tipi kayma göz önüne alınarak değişik koşullar altındaki şevler için emniyet katsayısı (Şev eğim yönü = 240°)



Şekil - 9 Fay ve JIII eklem takımının oluşturacağı kama tipi kayma yüz önüne alınarak değişik koşullar altındaki şevler için emniyet katsayısı (Şev eğim yönü = 330°)

S5 ve S9 sektörleri (Şekil — 4) için söz konusu olan JI ve JIII eklem takımlarının oluşturduğu kama tipi duraysızlık şev açısının 47° den dik olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Ancak, bu sektörlerde JIII eklem takımından dolayı düzlemsel kayma olasılığı da vardır ve daha önce de belirtildiği gibi bu tip duraysızlık bu sektörlerde şev açısını 42° ile sınırlamaktadır.

Basamaklar için yapılan analizlerde şevler tüm koşullarda stabil gözükmemektedir (Faya yakın oluşan kamalar dışında). Basamaklarda açık ocaktaki çalışmaları aksatacak nitelikte büyük tip kayma



Şekil - 10 Fay ve JI eklemlerinin oluşturacağı kama tipi kayma çukurluğuna alınarak değişik koşullar altındaki şevler için emniyet katsayısı (Şev eğimi $\alpha = 60^\circ$)

beklenmemesine karşın patlamaların da etkisi ile küçük blok kaymaları şeklinde düşmelerin her zaman olabileceği açıktır.

5.3. DEVRİLME ANALİZİ

Kinematik analiz herne kadar iki değişik devrilme olasılığı ortaya koymuşsa da bu duraysızlık biçimi için ayrıntılı bir analize gidilmemiştir. Bunun nedenleri şunlardır :

a — Devrilme, ardışık (progressive) özellikli bir duraysızlık biçimi olup, eğimi 60° üzerinde olan şevler için analiz gerekir (4). Bu nedenle basamaklar için kritik olup ardışık özelliği dolayısıyla da oluşumunun gözlenerek gerekli önlemlerin alınmasına zaman bırakır.

b — Devrilme, kinematiği gereği, birbiriyle temas halinde bulunan kolonların yüzeyleri arasındaki görelî kaymayla oluşur. Bölgedeki eklem yüzeylerinin pürüzlü ve eklem açıklıklarının çok sıkı olarak tanımlanması devrilme olasılığını basamaklar için bile zayıflatmaktadır.

c — Devrilme mekanizmasının oldukça karmaşık olması nedeniyle analizi için bugüne dek geliştirilen analitik yöntemler henüz her türlü arazi koşullarına cevap verecek düzeyde değildir. Eldeki yöntemler pratikte değeri olan dizayna dönük olmayıp basit modeller için geçerlidir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üçüncü derece deprem bölgesinde olan ocak için beklenilecek deprem ivmesinin de katılması ile yapılan ve ayrıntılı olarak bundan önceki bölümlerde açıklanan analizlerden şu sonuçlar elde edilmiştir :

1. Genel şev açısı, süreksizliklerin geometrisi ve sürtünme özelliklerine ve özellikle yeraltı durumuyla bağlı olarak farklı konularda değişik değerler alabilmektedir. Buna göre ocak on ayrı dizayn sektörüne ayrılmıştır. En düşük kritik şev açısı 36° olarak JII ve JIII eklem çiftinin oluşturduğu kama bloklarının etkin olduğu S3 sektörlerinde (kuzey - doğu yamaçlarda) görülmektedir. Diğer taraftan fayın etkisi olmadığı güney kafanın güney, güney - batı şevlerinde (S10) JI, JII ve JIII eklem Rakımlarının da geometrileri nedeniyle duraysızlığa neden olamayacağı ve istendiğinde yüksek genel şev açıları çalışabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca, kuzey ve güney kafalarının kuzey-batı şevlerinde (S6) JI eklem takımının eğiminin yüksek olması ($70^\circ + 10^\circ$) 60° ye kadar olan genel şev açılarına izin vermektedir. Kuzey kafanın güney şevlerinde (S1) faydan dolayı genel şev açısının fayın eğimi olan 50° den düşük olması gerekmektedir. Genel şev açısı, ocağın güney kafası

güney-doğu şevlerinde (S8) 45° ve geri kalan şevlerinde (S2, S4, S5, S7, S9) ise $42^\circ - 43^\circ$ dir.

2. Basamaklar için yapılan analizlerde şevler tüm koşullarda stabil görünmektedir (faya yakın yerlerde oluşan kamalar dışında). Basamaklarda açık ocaktaki faaliyetleri aksatacak nitelikte büyük tip kayma beklenmemesine rağmen devrilme biçiminde ve patlatmanın da etkisi ile küçük blok kaymaları şeklinde düşmelerin her zaman oluşabileceği açıktır. Bu nedenle, basamak eğimleri istendiği kadar dik alınabilir.

3. Genel şev açısının düşük değerler aldığı bazı konumlarda düşük şev açılara özellikle şevlerin suya - doymuş olduğu varsayımı neden olmaktadır. Duraylılık analizi şeklinde sunulan analizlerden de görüleceği üzere, yeraltı suyunun gerçek durumunun ayrıntılı çalışmalarla ortaya çıkartılması ve gerektiğinde önlemler alınması ile, genel şev açısının bazı konumlarda arttırılabileceği anlaşılmaktadır.

4. Şev açılarını düşüren bir diğer etmen de süreksizliklerin derinlikle sürekliliklerini korudukları varsayımdır. Süreksizliklerin, derinlikle ilişkilerinin, devamlılıklarının ve diğer özelliklerinin (gerek geometrik, gerekse fiziksel ve mekanik) daha ayrıntılı çalışılması ile şev açılarını arttırmak olanaklı olabilecektir. Bu amaçla, basamaklar açıldıkça süreksizlik düzlemlerinin sistemli bir biçimde çalışması gerekmektedir. Ancak, bu konuda ölçülü olunması ve dizaynda her zaman güvenilir yanda bulunulmasının seçilmesi önerilir.

Yukarıda söz edilen çalışmalar ayrıca sınırlı olan verilerin duyarlılığını arttırmak, farklılıkları saptamak için de gerekli olup, yapılan analizlerde herhangi bir değişiklik gerektirip gerektirmeyeceği zamanında ortaya çıkarmakta yardımcı olacaktır. Bu denetim düzeneği sonucu zamanında alınacak önlemlerle ocağın ve şevlerin ömrü boyunca emniyetli ve ekonomik bir çalışma sistemi oluşturmak olanaklı olacaktır.

5. Jeolojik kesitlerde (7) varolduğu şekliyle ve sürtünme özellikleri hakkında varsayım yapılarak şev stabilite analizlerinde dikkate alınan fayın da ayrıntılı olarak çalışılarak yatımı, sürekliliği ve özellikleri konusunda kesin bilgi edinilmesi gerekmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Hoek, E., Bray, J. W. : Kaya Şev Stabilitesi, Çevirenler : Paşamehmetoğlu, A. G., Öncül, M. K., Çakmak, F., Satırlar, T. B., Maden Mühendisleri Odası Yayınları, 1977, 320 sayfa.
2. Hoek, E., Londe, P. : Surface Working in Rock, Proceedings of the Third Congress of the International Society for Rock Mech., Advance in Rock Mechanics, 1974, Vol. 1, part A, pp. 613 - 654.
3. Goodman, R. E., Bray, J. W. : Toppling of Bock Slopes, Rock Engineering for Foundations and Slopes, ASCE, 1976, Vol. 2, pp. 201 - 234.
4. özgenoğlu, A. : Kaya Şevlerinde Devrilme, 6. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, 1979,18/1 -19.
5. Bieniawski, Z. T. : Practical Rock Mechanics, Lecture Notes, The Pennsylvania State University, 1980,101 pages.
6. Doyuran, V., Erler, A., Paşamehmetoğlu, A. G. ve diğerleri : Avnik (Bingöl) Demir Yatakları Hidrojeoloji, Hidroloji, Açık İşletme Şev Duraylılığı incelemesi, ODTÜ Proje No. : 78 - 04 - 08 - 02,1980,137 sayfa.
7. —————: Avnik - Koşal Demir Madeni Düşey Kesitleri ve Rezerv Değerlendirme Raporu, Tüstaş Sınai Tesisler A.Ş., 1980.

8. TEŞEKKÜR

Bu araştırma, TDÇi Genel Müdürlüğü ile ODTÜ arasında akdedilen 78-04-08-02 No .lu uygulamalı araştırma proje sözleşmesi kapsamında yapılmıştır. Çalışmalar- ODTÜ hidrojeoloji, hidroloji ve kaya mekaniği araştırma gruplarınca yürütülmüştür. Yazarlar, bu çalışmayı destekleyen Türkiye Demir ve Çelik işletmeleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkürü bir borç bilirlen. Bu yazıda belirtilen görüşler yazarlara ait olup, TDÇi'ni hiçbir şekilde bağlamayacağı açıktır.