

GİRİŞ

1.Sorunun Tanımı

Heyelan deyimi en iyi, Terzaghi (1950)'in yaptığı gibi; "doğal ya, zemin, yapay dolgu ve bunların karışımından oluşan ve oluşturan malzemelerin, aşağı ve dışa doğru hareketmesi" biçiminde tanımlanabilir. Bu genel tanımlama; zeminin ardışık donma ve çözülmesinden oluşan akma (dilatation), yer çekiminin uzun süreli etkileri ve göreceli olarak ince yüzeysel zemin katmanlarının ardışık ıslanma ve kurumasından oluşan sünme (creep) vs. gibi, tüm kitle hareketlerini de kapsamaktadır. Sunulan bildiride ise daha çok, göreceli olarak çok çabuk bir biçimde gerçekleşen kayma, kayma ve akma ile bunların karışımından oluşan kitle hareketleri amaçlanmaktadır.

Zemin yüzü eğimli olduğunda, zemini aşağı ve dışa doğru hareket ettirmeye çalışan bir yer çekimi bileşeni söz konusudur. Bu eğilime karşı zemin, kitle içerisinde oluşan mobilize olan kayma direnci ile direnmeye çalışır. Zeminin hareket ettirmeye çalışan kuvvetler kitle içerisinde oluşan kayma direncini geçer geçmez, genellikle en az kayma direncine sahip bir veya birkaç kayma yüzeyi veya zonu boyunca şev göçmesi meydana gelir. Zeminin kaydırmaya çalışan kuvvetleri artırmaya veya zemin içinde oluşan kayma direncini azaltmaya çalışan pek çok etken söz konusudur ve sonuçta bu etkenler heyelanların nedenlerini oluştururlar. Söz konusu etkenler aşağıdaki gibi iki ana grupta toplanabilir;

Morfolojik, iklimsel ve yersarsıntısı vs. gibi olaylar sonucu ortaya çıkan doğal etkenler,
) Kentleşme, otoyol, karayolu, demiryolu, hidroteknik yapılar, madencilik vs. gibi geliştirmeler sonucu ortaya çıkan yapay etkenler.

Zemin mekaniği ve temel mühendisliği inşaat mühendisliğinin çok önemli bir kolu olmakla birlikte, kısmen zeminin oluşturan malzemelerin karmaşıklığı, kısmen de zemin özelliklerinin zamanla sürekli değişmesi nedenleriyle, inşaat mühendisliğinin en geç ve en yavaş gelişen kollarından biri olmuştur. Bunun sonucu olarak, gerek heyelana neden olan etkenlerin değerlendirilmesindeki belirsizlikler, gerekse zemin mekaniği ve mühendislik jeolojisiindeki yetersizlikler heyelan sorunlarının çözümünü daha da güçleştirmektedir. Modern zemin araştırma ve deneme teknikleri, bilgisayar kullanımının uygulamalı mühendislikte çok yaygınlaşması, dinamik eleman çözümlemelerinin zemin mühendisliğinde de kullanılmaya başlanması, ölçüm ve davranış izlenmesi tekniklerinin önemi-nin çok iyi anlaşılması ve aşamalı göçme mekanizmasının (progressive failure) daha iyi anlaşılması gibi son gelişmeler, heyelan sorunlarının değerlendirilmesine çok daha gerçekçi yöntemlerin uygulanmasına olanak

HEYELANLARIN ÖNLENMESİ VE DÜZELTİLMESİ

Rüştü GÜNER

İnş. Yük. Müh.

DST*-NEDECO Ortak Girişimi

*DST: Dapta, Su-Yapı ve Temelsu Müşavir Müh. Firmaları

sağlamıştır. Konuyla ilgili yine de pek çok şey yapılması gerekli olmakla birlikte, yakın gelecekte çok umut var görünmektedir.

İzleyen bölümlerde, konuya ilişkin günümüzdeki olanaklar irdelenmekte ve şev göçmelerinin önlenmesi ve heyelanların düzeltilmesi yöntemlerine genel anlamda değinilmektedir. En uygun çözüm hemen her konuda, sorunun doğru bir biçimde tanısını gerektirdiğinden, şev göçmesi önleme veya heyelanların düzeltilmesi yöntemlerinin ayrıntılarından çok, şev bozulmasına neden olan etkenlere ağırlık verilmektedir.

1.2. Ekonomik ve Toplumsal Bakımdan Heyelanların Önemi
Doğal ve yapay kazı ve dolgu şevlerinde olabilecek göçmeler, yıkım ölçüsünde can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir. Örneğin, 1963 yılında İtalya'daki Vaiont Baraj Gölü yama-cında ortaya çıkan ve yaklaşık 3000 kişinin ölümüne yol açan heyelanda olduğu gibi, şev göçmelerinin neden olduğu can kayıplarının ekonomik olarak ölçülebilmesi olanağı yoktur. Kaldı ki, yalnızca alt ve üst yapı yatırımlarında parasal zarara yol açan heyelanlarda bile, doğrudan ve dolaylı ekonomik kayıpların değerlendirilebilmesi çok güçtür. Birçok metropolitan alanlardaki heyelana duyarlı yörelerin kullanıma açılması kentsel planlarda yasaklanmıştır. Oysa bu tür alanlar, söz konusu metropolitandaki tek veya diğer görüş açı-larından en elverişli olanak olabilir. Gerçekten sorunlu olma-

**Hindibaba
Köyü'nün
Kuzey-Batısındaki
eski heyelanlar**



yan bir alanın gereksiz olarak yerleşime veya kullanıma kapatılması, gerçekte ekonomik kayıp anlamına gelmektedir. Öte yandan, gerçekten sorunlu bir alanın yerleşim ve kullanıma açılması ise, çok büyük can ve mal kayıplarına yol açabilecektir. Sonuç olarak mühendisler, güvenlik ve ekonomi açılarından en uygun çözümleri bulmak sorunuyla yüz yüzedir.

2. ŞEV GÖÇMELERİNİN SINIFLANDIRILMASI

2.1. Genel

Térzaghi (1950) nin belirttiği gibi heyelanın sınıflandırılmasında, gerek neden olan etkenlerin, gerekse yol açtığı olayların çok karmaşık olması nedenleriyle pek çok seçenek bulunmaktadır. Mühendis ve jeologlar çoğu kez, ya olmuş bir heyelanı düzeltme, ya da değişik amaçlarla gerçekleştirilmesi gereken şevlerin ekonomik ve güvenli bir biçimde projelendirilmesi sorunlarıyla karşı karşıyadır. Soruna bu gözle bakılınca heyelan sınıflandırmasının, tanı, düzeltme ve önlem alma amaçlarına yanıt verecek biçimde yapılması en uygun yaklaşım olarak görülmektedir.

İzleyen paragraflarda, bazı sınıflandırma sistemlerine genel anlamda, Amerikan Karayolları Araştırma Kurumu Heyelan Komitesi Raporu (Highway Research Board Landslide Committee's Report, USA, 1950) nda verilen sınıflandırmaya ise ayrıntılı olarak değinilmektedir.

2.2. Şev Hareketlerinin Sınıflandırılması

Hareket eden malzeme türleri, hareketin biçimi, hızı, nedenleri, yaşı veya gelişme aşaması ve diğer etkenlere dayalı pek çok heyelan sınıflandırması vardır.

Terzaghi (1950), hareket eden malzemelerin fiziksel özelliklerine dayalı bir sınıflandırma önermektedir.

Savaranski'nin sınıflandırması kayma yüzeyi şekline dayanmaktadır ve Sovyetler Birliği'nde yaygın olarak kullanılmaktadır (Menzel and Zaruba, 1969). Bu sınıflandırma heyelanları, silindirik (asequent), düzlemsel (consequent) ve karmaşık (insequent) olmak üzere üç gruba ayırmaktadır. Asequent heyelanlar homojen kohezyonlu zeminlerde, yaklaşık silindirik biçiminde yüzeyler boyunca olmaktadır. Consequent heyelanlar, katmanlaşma, çatlak, eklem, sistleşme vs. gibi önceden var olan düzlemler boyunca olmaktadır. Insequent heyelanlar ise, önceki iki türün karmasıdır ve çok derinlere kadar ulaşabilmektedirler.

Popov'a göre heyelan sınıflandırması, bölgesel koşulları göz önüne almalıdır. Bu tür sınıflandırmalar özellikle genç mühendislerin söz konusu yöredeki şev hareketlerine daha bilinçli yaklaşabilmelerini sağlayabilmektedir (Menzel and Zaruba 1969).

Skempton ve Hutchinson (1969) killi şevlerdeki heyelanları

genelde kayma yüzeyi biçimine dayalı olarak sınıflandırmaktadırlar.

Örneğin yaşlarına göre de heyelanlar, aktif, uyuyan ve fosi olarak sınıflandırılabilir.

Kitle hareketleri önce, heyelanlar ve özel şev hareketleri olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Bu ana gruplar alt sınıfları ile birlikte aşağıda özetlenmiştir.

A. Heyelanlar (Landslides)

A.1. Kaya ve Zemin Düşmeleri (Falls)

Düşmeler hem kaya, hem de zemin formaşyonlarında olabilmekte ve gevşeme veya parçalanma yoluyla ana kitleden ayrılan bölümlerin ani hareketi olarak tanımlanabilmektedir. Bunları kaymalardan ayıran ana özellik, hareketin serbest düşme biçiminde olmasıdır. Düşmelerde, düşen malzeme birimleri arasında etkileşim çok azdır veya hiç yoktur. Nedenleri arasında yerçekimi kuvveti, çatlaklı ve eklemlili yapılanmalar, tektonik olaylardan doğan parçalanmalar, ayrışmalar, çatlaklardaki suyun kayma direncini azaltıcı ve hidrostatik veya don basıncı doğurucu etkileri, bitki köklerinden doğan basınçlar, şev topuğunun kazılması veya patlatmalar gibi yapay zorlamalar, yer sarsıntısı, iklimsel ve morfolojik etkenlerle şev altının oyulması gibi doğal olaylar sayılabilir.

Kohezyonlu zeminlerdeki düşmeler genelde, çok ender olarak çatlaksız durumda bulunan, aşırı konsolide olmuş kilerde ortaya çıkabilmektedir.

A.2. Kaymalar (Slides)

Kaymalar, olabildiğince iyi tanımlanmış bir veya birkaç kayma yüzeyi veya zonu boyunca oluşan kitle hareketleridir. Ancak, çoğu kez olduğu gibi kaymalar, oluşumlarının genellikle son aşamasında kısmen veya bütünüyle akmalara dönüşebilmektedirler. Kayma sırasında hareket eden kitleler, az veya ileri ölçüde deformasyona uğrarlar ve orijinlerine bağlı olarak çok ufak parçalara ayrılabilirler. Kaymalar, kayma yüzeylerinin biçimine göre, düzlemsel, dönele (eğrisel) ve karmaşık olmak üzere üç alt sınıfa ayrılabilir.

A.2.1. Düzlemsel Kaymalar (Planar Slides)

Düzlemsel kaymalar kayalarda ve kohezyonsuz veya kohezyonlu zeminlerde ortaya çıkabilmektedir. Bu tür hareketler büyük ölçüde kayan kitlenin jeolojik oluşumundan kaynaklanmaktadır.

Kayan kitle genelde birkaç metre kalınlıkta olmakla birlikte, çok büyük alanları kapsayabilmektedir. Ayrışmaya uğramış yüzey katmanları, eklemlili kayalar, ana kaya üzerinde yer alan göreceli olarak geçirimsiz yamaç molozları, daneli zeminler ve şev topuğuna doğru dalımlı önceden oluşmuş süreksizlik, kayma veya ayrılma düzlemleri bulunan formaşyonlar, bu tür kaymalara eğilimlidirler. Hareket gittikçe

iyen bir özellik gösterebilmekte ve genellikle şev yukarısı-
oğru yavaşça ilerleyebilmektedir. Düzlemsel kaymaların
nı bir türü, şev veya dolgu altındaki yumuşak kaya veya
inlerin sıkışma ve ezilmeyle kısmen dışarı sızması veya
aması (squeezing out) diye adlandırabileceğimiz
kettir. Bu tür hareketler çok yavaş geliştiğinden, gözden
yca kaçabilmektedir. Vadi tabanlarındaki yumuşak kaya
nanlarının yukarı doğru kabarması veya belvermesi
ging) olayı da bu tür hareketlere örnek verilebilir.

yan ve fosil heyelanların önceden oluşmuş kayma yüzey-
yalnızca artık dirence sahiptir. itle hareketlerinin kayma
ları, hatta çatlaklı sert killerde olduğu gibi küçük
eksizlikler bile, yumuşama (softening) diye adlandır-
ceğimiz olay için kolay bir iz oluşturabilmekte ve bu ola-
 gelişme durumuna ve gerilme geçmişine dayalı olarak
ın, pik ve artık dirençler arasında değişen dirençler göste-
ilmektedir. Bunun sonucunda kaymalar, bu yüzeyler ve
eksizlikler boyunca oluşmaktadır. Bu tür yüzeyler
ıllıkla düzlemsel olduğundan, ortaya çıkan kaymalar
düzlemsel olmaktadır. Ancak, aynı nedenle oluşabilen
ıel veya karmaşık kaymalar da çok yaygındır.

1.2. Dönel Kaymalar (Rotational slides)

nel kaymaların çok sık karşılaşılan bir türü, daha çok
ıme ve az ötelenme biçiminde oluşan şev göçmesi
ımp)dir ve genellikle konsolide olmamış veya çok az
ısolide olmuş formasyonlarda ortaya çıkmaktadır. kil, kilaşı
şeyler bu tür göçmelere çok yatkındırlar. Kitlenin
mojenliğine ve şev geometrisine bağlı olarak dönel
malar, yaklaşık silindirik, daha çok spiral biçiminde yüzeyler
yunca oluşur. Kayma sonucunda hareket eden kitlenin
kesimleri çökerken alt kesimleri kabarı ve zemin yüzeyi
ekli alır. Bu grubun büyük bir oranını kaşık biçimindeki
malar oluşturmaktadır. Düzeltici önlemlerin alınmaması
rumunda, kaymanın taş ve yan kesimlerinde yeni kaymalar,
ok kesiminde ise akmalar başlayabilmekte ve hareket
layca karmaşık heyelana dönüşebilmektedir.

ınel kaymalar aşırı konsolide olmuş çatlaklı sert killerde de
ıaya çıkabilmekte ve yumuşama zonunun kalınlığına bağlı
arak genellikle daha sık olmaktadır.

2.3. Karmaşık kaymalar (Complex Slides)

poğrafya ve jeoloji koşullarına bağlı olarak kaymalar,
ızlemsel ve dönel kaymaların karmaşığı biçiminde
abilmektedir. Bu tür kaymalar genelde heterojen yapıdan
önceden oluşmuş kayma veya süreksizlik yüzeylerinin
ılınmasından kaynaklanmaktadır.

3. Akmalar (Flows)

ımalarla daha çok; yamaç molozu, ayrıışmış malzemeler,
ımlar ve konsolide olmamış yüzeysel formasyonlar gibi
ıvşek malzemelerde karşılaşılmaktadır. Bu tür şev hareketleri-

nin ana nedenini, boşluk suyu basıncı doğmasına yol açarak
kayma direncini azaltan su oluşturmakla birlikte akmalar,
kumlar ve siltler gibi kum formasyonlarda da ortaya çıka-
bilmektedir. Zeminin su içeriği, topoğrafyası ve jeolojik
durumu gibi etkenlere bağlı olarak kitle hareketi çok değişik
özellikler gösterebilmekte ve örneğin çamur akmasında ze-
min viskoz bir sıvı gibi davranabilmektedir. Akmalar genellikle
şiddetli sağnaklar sırasında veya sonrasında ortaya çıkmakta
ve kaynak suları, donmuş zeminlerin ani çözülmesi gibi di-
ğer etkenler de bu oluşumu hızlandırabilmektedir. Kum-
lardaki sıvılaşma (liquefaction) olayı, özel öneme sahip bir
akma biçimidir. Özellikle su içeriğinde ve yükleme durumunda
ani değişikliklere maruz gevşek kumlar ve ince daneli granüler
zeminler sıvılaşmaya karşı çok duyarlıdırlar.

A.4. Karmaşık Heyelanlar (Complex Landslides)

Bu tür kitle hareketleri, topoğrafik ve jeolojik koşulların veya
kitleyi oluşturan bileşenlerin karmaşıklığı nedenleriyle ortaya
çıkabilmektedir. Yine aynı nedenlerle, kayma veya akma
biçiminde başlayan bir kitle hareketi son aşamada karmaşık
heyelana dönüşebilmektedir. Her tür kitle hareketinin yer
alabileceği bu heyelanlar çok geniş alanları kapsayabilmekte
ve yol açtığı zararlar da çok büyük boyutlara ulaşabilmektedir.

3. HEYELANLARIN NEDENLERİ

3.1. Genel

Önceki bölümlerde şev göçmelerine neden olan etkenlere
bir ölçüde değinilmiştir. Bir şev göçmesi için genelde birden
çok etken söz konusudur ve çoğu kez bu nedenlerin tümü-
nü birden tam olarak değerlendirebilme olanağı bulunamaz.
Amaç, olabiliyorsa tüm nedenlerin aydınlatılması olmakla
birlikte; genellikle en etkin olanların bulunması ile yetinilmek
zorunda kalınır ve bunlara dayalı olarak da en etkin düzeltici
önlemlerin belirlenmesi yoluna gidilir. Çok sık olarak da şev
göçmelerine, ya yanlış projelendirme yaklaşımları ile, ya da
örneğin herhangi bir önlem almaksızın çok derin temel ve-
ya şev kazılarına çok yağışlı dönemlerde girişmekle, mühendis
kendisi neden olabilmektedir. Şev göçmesinin başlamasına
neden olan en son etken göçmenin tek nedeni olarak algı-
lanmamalıdır. Böyle bir değerlendirme sorunun çözömlen-
mesinde çok yanlış yaklaşımlara neden olabilmektedir.

3.2. Heyelanların Nedenleri

Daha önce de vurgulandığı gibi, kitlelerin stabilitesini
belirleyen etkenler, kayma gerilmelerinde artışa neden olan
etkenler ve kayma direncinde azalmaya neden olan etkenler
olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Tüm bu etkenlerin Terzaghi (1950) tarafından verilen
tanımları, özet olarak Tablo 4.1'de gösterilmektedir.

Bazı bölgelerde, o yörede deneyim kazanmış mühendislerce
çok iyi bilinen heyelana duyarlı bazı formasyonlar bulunabil-

Tablo 4.1.
Heyelanların Nedenleri
(Terzaghi 1950)

Etken	Etkenin Yol Açan Olay veya İşlem	Etkenin Biçimi	Etkenin Karşı En Duyarlı Sev Malzemeleri	Önemli Etkenin Fiziksel Karakteri	Sevin Denge Kosullarına Etkisi
Tasınma	Yapın İşlenmesi veya erozyon	1.Yükseklik veya seviyesinde artma	Her tür malzeme	Sevi oluşturan malzemedeki gerilme durumunda değişme	Kayma gerilmelerinde artış
			Sert çatlaklı kil, seyl	Gerilme durumunda değişme ve çatlaklarda açılma	Kayma gerilmelerinde artış ve işlem 8'in başlaması
Tektonik gerilmeler	Tektonik hareketler	2.Yer kabuğunda büyük ölçekli deformeasyonlar	Her tür malzeme	Sev açısında artma	Kayma gerilmelerinde artış
Tektonik gerilmeler veya patlayıcılar	Yersarsıntısı veya patlamalar	3.Yüksek frekanslı titreşimler	Her tür malzeme	Sevici gerilme değişimleri	Kohezyonda azalış ve kayma gerilmelerinde artış
			Lös, hafifçe cimentolanmış kum ve çakıl	Daneler arası bağlantılarda bozulma	
			Doygun durumdaki orta veya ince gevsek kum	Danelerin yerleşiminde değişme başlaması	Sivilasma
Sevi oluşturan malzemenin ağırlığı	Sevi oluşturan olay veya işlem	4.Sevde sunma	Sert çatlaklı kil, seyl, eski kaynakların kalıntıları	Kapalı çatlakların açılmasına ve yeni çatlakların oluşmasına yol açması	Kohezyonu azaltır, işlem 8' hızlandırır
		5.Sev topuğunun altındaki zayıf tabaka durumunda sunma	Plastik malzemeler üzerindeki rijit malzemeler		Kohezyonda azalma, işlem 8' hızlanma
Su	Yağmur veya kar erimesi	6.Bosluklardaki havanın yer değiştirilmesi	Islak kum	Bosluk suyu basıncında artış	Kohezyonda azalış
		7.Açık çatlaklardaki havanın yer değiştirilmesi	Çatlaklı kaya, seyl		
		8.Sisme ile birlikte kapiller basıncın azalması	Sert çatlaklı kil ve bazı seyller	Sismeğe yol açması	
		9.Kimyasal ayrışma	Her tür kaya	Daneler arası bağlantıda zayıflama (kimyasal ayrışma)	
	Don	10.Donma sonucu suda hacim artması	Çatlaklı kaya	Çatlakların genişlemesi ve yenilerinin oluşması	Sürtünme direncinde azalış
		11.Buz katmanlarının oluşması ve ardından erimesi	Silt ve siltli kum	Donan üst zemin katmanlarındaki su içeriğinde artış	
	Kuraklık	12.Buzulma (retre)	Kil	Buzulma çatlakları oluşması	Kohezyonda azalış
	Anı boşalma	13.Sev topuğuna doğru sızma	İnce kum ve silt	Bosluk suyu basıncında artış	Sürtünme direncinde azalış
	Su tablası düzeyinde ani değişme	14.Danelerin yerleşiminde değişme başlaması	Doygun durumdaki orta veya ince gevsek kum	Bosluk suyu basıncında ani artış	Anı sivilasma
	Uzak bir akiferdeki su tablasında yükselme	15.Sevi oluşturan malzeme içindeki pıye-zometrik yüzeyde yükselme	Kil katmanları altında veya arasındaki silt ve kum katmanları	Bosluk suyu basıncında artış	Sürtünme direncinde azalış
	Depolama veya kanal gibi yapay bir su kaynağından sızma	16.Seve doğru sızma	Doygun silt	Bosluk suyu basıncında artış	Sürtünme direncinde azalış
		17.Bosluklardaki havanın ötelenmesi	Islak ince kum	Yüzeyse gerilimin yok olması	Kohezyonda azalış
		18.Suda eriyebilen bağlayıcının ortadan kalkması	Lös	Daneler arası bağın bozulması	
		19.Yeraltı erozyonu	İnce kum veya silt	Sev altının oyulması	Kayma gerilmesinde artış

mektedir. Bu tür formasyonların varlığı o yöredeki heyelanların nedenlerinin belirlenmesini kolaylaştırabilmektedir. Buna örnek olarak formasyonda önemli ölçüde, suyun etkisiyle iyon değişimine çok eğilimli olan, glokon mineralinin varlığı gösterilebilir (Menci and Zaruba, 1969).

Heyelan nedenlerinin en önemlilerinden birini değişik biçimlerde stabilize bozulmasına yol açabilen, su oluşturmaktadır. Heyelanların ortaya çıkmasında yağışın etkisi özel bir öneme sahiptir. Çoğu heyelanlar keşif yağışlı dönemlerde ve özellikle de şiddetli sağnaklardan sonra

olmaktadır. Yağışlarla heyelanlar arasındaki yakın ilişki pek çok araştırma ile kanıtlanmıştır (Peck 1967, Menci and Zaruba 1969 ve diğerleri).

4. HEYELANLARA İLİŞKİN ARAŞTIRMALAR

4.1. Genel

Gerçekleşmiş veya olası bir heyelanla ilgili araştırmaların kapsamı olayın önemine bağlı olmalıdır. Her araştırma önemli bir süre gerektirdiğinden, özellikle gerçekleşmiş heyelanların araştırılmasında düzeltici önlemler, fazla zaman yitirilmeden araştırmalarla birlikte sürdürülmelidir.



eyen paragraflarda heyelan araştırmaları ile ilgili genel bir rve verilmektedir. Sorunun önemine bağlı olarak bu rve genişletilmeli veya daraltılmalıdır.

2. Heyelan Araştırmaları

rek gerçekleşmiş gerekse olası heyelanlarda yapılacak araştırmalar; sorunun tanımlanmasını, topoğrafik, jeolojik, morfolojik iklimsel koşulların aydınlatılmasını ve gerekiyorsa yerinde ve laboratuvarda yapılacak deney, ölçüm ve gözlemleri kapsar. Gerçekleşmiş heyelanlarla ilgili önemli araştırmalardan nisi, kayma yüzeyinin belirlenmesi oluşturmaktadır.

2.1. Heyelan Alanı Topoğrafyasının Araştırılması

Heyelan araştırmasında yapılacak ilk iř alanın topoğrafyasının bir biçimde aydınlatılmasıdır. Topoğrafyası aydınlatılacak alan yeter büyüklükte olmalıdır. İncelenmekte olan soruna, üreye ve olanaklara bağlı olarak zemin yüzünün tüm rntılarını yansıtacak, en az 1/5000 veya daha iyisi daha büyük ölçekli harita, amaca uygundur. Eğer araştırma nceleme düzeyinde düşünülüyorsa yeterli uzunlukta zemin  ve boy kesitleri ile yetinilebilir. Ancak kesitler, varsa tüm sondaj kuyusu yerlerini ve tüm önemli noktaları kapsamalıdır.

Alanın üç boyutlu görünümünü yansıtabilmeleri nedeniyle hava fotoğrafları, şev stabilitesi sorunlarının araştırılmasında k yararlıdır. Baraj rezervuarları, ulaşım ve iletişim yapıları gibi büyük alanları kapsayan araştırmalarda hava fotoğrafları büyük kolaylıklar sağlayabilmektedir. Deneyimli bir mühendis bu verilerden gereksindiği tüm önemli noktaları çıkarmaktadır. Heyelan araştırmalarında yararlanılacak hava fotoğrafları için 1/5000 veya 1/10000 ölçek yeterli olabilmektedir (Mendel ve Zaruba 1969).

Gerçekleşmiş heyelanlarda hareket öncesi topoğrafyanın  bilinenmesi çok önemlidir.

2.2. Jeolojik Araştırmalar

Araştırmada ikinci yapılması gereken, yüzey ve yeraltı jeolojisi  hidrojeolojik koşulları tümüyle aydınlatacak kapsamlı bir jeolojik çalışmasıdır. Bu bilgiler jeolojik harita ve kesitlerde yansıtılmalıdır. Bu amaçla için gereği ve eldeki olanaklara göre araştırma hendek ve kuyuları, şaftlar, sondaj kuyuları  galerilerden yararlanılabilir. Ayrıca geçmiş deprem kayıtlarının derlenmesi ve gerekiyorsa jeofizik yöntemlerden yararlanılması gerekebilecektir.

2.3. Morfolojik ve İklimsel Araştırmalar

Morfolojik ve iklimsel koşulların şev stabilitesindeki önemli noktaları bölümlerde vurgulanmıştır. Bu konuda yapılması gereken, şevi etkileyen akarsuların debi-seviye ölçümleri ve iklim analizi raporları gibi tüm hidrolojik kayıtları ile yağış, sıcaklık vs. değerleri gibi tüm iklim kayıtları toplanmalıdır. m bu kayıtlar varsa, ilgili kuruluşlardan alınır, yoksa kayıtların toplanması en yakın istasyonlardan korelasyonla kestirilir.

4.2.4. Heyelanların Kayma Yüzeylerinin Belirlenmesi

Gerçekleşmiş heyelanların kayma yüzeylerinin belirlenmesi, hem en etkin düzeltici önlemlerin saptanabilmesi yönünden, hem de en uygun stabilite analizinin (geri analiz) uygulanması yolu ile zeminin kayma direnci parametrelerinin bulunabilmesi yönünden çok önemlidir.

Hareket eden kitlenin ta, topuk ve yan izleri arazi gözlemleri ile doğrudan belirlenebilmektedir. Kayma yüzeyinin diğer kesimlerinin belirlenebilmesi ise genellikle yeraltı araştırmaları gerektirir. Bu araştırmalar hareket eden kitlenin tipi, derinliği ve cinsi ile büyük lde değişmektedir. Yüzeysel ve sığ kaymalarda, kayma yüzeyinin doğrudan belirlenebilmesi, laboratuvar deneyleri için kolayca örselenmemiş numune alınabilmesi ve yerinde büyük ölçekli kesme deneyi yapılabilmesine olanak vermeleri bakımından, araştırma hendekleri veya gözlem kuyusu ve şaftları açılması yeğlenmelidir. Bunlardan, ilerine granüler malzeme doldurularak drenaj veya kayma direncini artırma yolu ile, heyelanı düzeltici önlemlerin bir parçası olarak da yararlanılabilmektedir. Kayma yüzeyi derinlere ulaşan heyelanlarda ise genellikle sondaj kuyuları ve galeriler, ender olarak da gözlem kuyuları açılır. Araştırmacı, incelenmekte olan sorunun niteliklerine göre en uygun teknikleri bulabilmek durumundadır. Örneğin Hutchinson ve Hughes (1968), heyelan alanının hareket etmiş ve dengede kalmış kesimlerinde açılan sondaj kuyularından alınan numunelerdeki foraminifer fosillerinin ardalanmasını izlemek yolu ile, kayma yüzeyini belirleyebilmişlerdir.

4.2.5. şev Davranışının İzlenmesi

şev hareketlerinin izlenmesi iki açıdan çok önemlidir. Gerçekleşmiş heyelanlarda bu hem düzeltici önlemlerin belirlenebilmesi, hem de şevin düzeltmeden sonraki davranışının izlenebilmesi bakımından gereklidir. Göçme olasılığı bulunan şevler durumunda ise, gerek göçme olasılığı ile ilgili tüm etkenlerin saptanabilmesindeki belirsizlikler, gerekse ekonomik ve yapılması gerekli daha ayrıntılı çalışmalar vs. gibi diğer nedenlerle, heyelan olasılığını ortadan kaldıracı önlemlerin tümü birden başlangıçta yerine getirilememekte ve zamana bırakılabilmektedir. Bu gibi durumlarda, şevin davranışının izlenmesine önemli zen gösterilmeli ve şevin stabilitesi ile ilgili uyarıcı bir belirti ortaya çıkarılmamalı, zaman yitirilmeden, gerekli önlemler uygulanmalıdır.

şev davranışının izlenmesi ile ilgili teknikler aasında, yüzey ve yeraltı hareketlerinin gözlenmesi, kitle içindeki gerilmelerin ve boşluk suyu başıncalarının ölçülmesi sayılabilir. Mühendis, incelenmekte olan soruna ve yersel olanaklara bağlı olarak, gerekli gözlem ve ölçümlerle ilgili en elverişli teknikleri belirlemelidir. Yüzeysel hareketlerin gözlenmesi şev üzerinde tesis edilen triyaglasyon ağları ile kolaylıkla yapılabilir. Yeraltı hareketlerinin izlenmesi içinse günümüzde



en geçerli teknik, sondaj kuyularına yerleştirilen şev göstergelerinin (slope indicator) kullanılmasıdır.

5. HEYELANLARIN ÖNLENMESİ VE DÜZELTİLMESİ

5.1. Genel

Uygulanabilecek yöntemler bakımından şev göçmelerinin oluşmasına karşı alınacak önlemlerle, gerçekleşmiş heyelanların düzeltilmesi için bulunacak çözümler arasında kesin bir ayırım yapabilme olanağı yoktur. Ancak, önlem almanın bedelinin çoğu kez hareketin gerçekleşmesinden sonra bulunacak düzeltici çözümün bedelinin çok küçük bir kesri olduğu gerçeği gözden ırak tutulmamalıdır.

Şev stabilitesi bozulmalarının bir çoğu, çok basit gerçeklerin göz ardı edilmesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin, şev göçmesine duvarlı çok geniş ve derin inşaat kazılarının yoğun yağışların olduğu mevimlerde veya hemen öncesinde yapılmaması, atık sularının göçmeye duyarlı şevlere boşaltılmaması gibi herhangi bir bedel gerektirmeyen çok basit önlemler bile çoğu kez atlanabilmektedir.

Heyelanların tanımlanması veya sınıflandırılması ile, şev stabilitesine etkiyen faktörlere önceki bölümlerde değinilmiştir. Heyelanlar ve şev stabilitesi sorunları ile ilgili araştırma ve projelerindirmelerin, zemin mekaniği ve mühendislik jeolojisiinde iyice uzmanlaşmış kişilerce yapılması gereği açıktır.

Heyelanların önlenmesi ve düzeltilmesinde yararlanılabilecek geçerli tekniklerin bir özeti Tablo 7.1'de verilmektedir (Turnbull and Hvorslev, 1967). Uzman, incelediği soruna göre en etkin ve ekonomik çözümü bulmakla yükümlüdür. Düzeltici önlemler çoğu kez, yöresel

koşullar ve geleneklerden etkilenmektedir. Örneği Japonya'da, kaplanmamış veya çıplak herhangi bir doğa veya yapay şev görmek olanaksızdır. Amaç, çok yağış olan ülkede, yüzeysel drenajın sağlanmasıdır. Tablo 7.1 de görüldüğü üzere, heyelanların önlenmesi ve düzeltilmesinde çok değişik yöntemler söz konusudur ve bunların ayrıntılarına girilmesi gereksizdir. İzleyen paragraflarda birkaç önemli noktaya değinilmekle yetinilmektedir.

5.2. Heyelanların Önlenmesi

Collin'in daha 19. asrın ortalarında vurguladığı gibi kazı şevleri zamanla, kazıdan önceki şev geometrisine dönmeye eğilimindedir. Mühendislik yapılarında bu ölçüde yatıl şevler, başlıca ekonomik nedenlerle çoğu kez uygulanabilir değildir. Mühendis, gerekli önlemleri de gözden ırak tutmamak koşuluyla yapının tüm ömrü boyunca işlevini yerine getirmesini sağlayacak en uygun şevi belirlemelidir (Collins, 1846). Filtre kurallarına uyularak yapılmış bir drenajın ve çok küçük bir topuk duvarının bile, çatlaklı killerdeki yumuşama olayının önlenmesinde ne ölçüde etkin olabildiği, konunun uzmanlarıncaya çok iyi bilinmektedir.

Heyelanların çoğu suyun etkisiyle ortaya çıktığından, etkin heyelan önleme yöntemlerinden birini, çok iyi projelendirilmiş ve inşa edilmiş yüzeysel ve yeraltısu drenajı oluşturmaktır. (Highway's Research Board 1958, Cedergrén 1967, Mencl and Zaruba 1969). Şev göçmelerinin önlenmesinde çok etkili diğer bir önlem, ya şevin kitleyi kaydırmaya çalışan en etkin kesimlerinin kazılması ya da topoğun yüklenmesi yolları ile şevdeki kayma gerilmelerinin azaltılmasıdır. Seçilecek önlem veya düzeltme yöntemi ekonomik değerlendirmelere bağlıdır ve yapılacak karşılaştırmalarda, yalnızca yatırım değerleri değil, tüm giderler göz önüne alınmalıdır.

5.3. Heyelanların Düzeltilmesi

Bulunacak en iyi çözümler, ayrıntılı arazi ve laboratuvar çalışmaları ile birlikte konunun uzmanlarıncaya hazırlanacak projelere dayanır. Düzeltici önlemlerin bir bölümünün zaman yitililmeksizin ivedilikle uygulanması gerektiğinden, iyi bir zemin mekaniği ve mühendislik jeolojisi bilgisinin ve deneyimin önemi açıktır. Uygulanacak düzeltici önlemlerin sırası da çok önemlidir. Öncelikle şeye akan tüm yüzeysel sular alan dışına aktarılmalı, tüm açık çatlak ve süreksizlikler uygun bir geçirimsiz malzeme ile doldurulmalı ve şev üzerinde suların göllenmesine yol açabilecek tüm düzensizlikler giderilmelidir. Diğer ivedi önlemler uğraşılmakta olan sorunun niteliklerine bağlıdır. Yazarın kanısınca ivedi önlemler, olabildiğince sonuçtaki önlemler paketinin bütünüleyici bir parçası olmalıdır. Bu yaklaşımın en iyi örneklerinden biri, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Aşağı Baker Heyelanı'dır. (Peck, 1967).

Heyelan alanındaki ölçüm çalışmalarından bir görünüm



YNAKLAR

- OP, A.W. 1948, Some factors involved in the design of a large earth dam mes Valley, 2nd int. conf. on SM and FE, Botterdam, Proo. Vol. 2, p. 13-18.
- OP, A.W. 1954, The use of pore pressure coefficients in practice, Geot. 4, p. 148-152.
- OP, A.W. 1955, The use of slip circle in the stability analysis of earth es, geot. Vol. 5, p. 7-17
- OP, A.W. AND BJERRUM, L. 1960, The relevance of the triaxial test to the rtion of stability problems. Research conf. on shear strength of cohesive ; h. 437-501.
- OP, A.W. AND MOGENSTERN, N.R. 1960, The stability coefficients for h slopes. Geot. Vol. 10, p. 129-150.
- OP, A.W. 1966, The strength of soils as engineering materials. r ranking Lecture. Geot. Vol. 16, p. 91-128.

- BISHOP, A.W. AND HENKEL, D.J. 1969, The measurement of soil properties in the triaxial test.
- BJERRUM, L. 1954, Stability of natural slopes in quick clay. Geot Vol.5 p101-119.
- BJERRUM, L. 1967, Engineering geology of Norwegian normally consolidated marine clays. Geot. Vol. 17, 81-118
- BJERRUM, L. 1981, Problems of soil mechanics and construction on soil. Moscow Int. Conf. Soil Mech. Found. eng. (Moscow), Vol. 3. p. 111-153.
- BRAJA M.DAS 1983, Fundamentals of soil dynamics.
- CEDERGREN, H.R. 1967, Seepage, drainage and flow nets.
- COLLIN, A. 1846, Landslides in clays (Translation from French).
- DUNCAN, J.M. AND SEED, H.B. 1966, Strength variations along failure surfaces in clay.
- A.S.C.E. Journ. SM nd FE, Vol. 92, p. 81-104.

*TMMOB Yağış, Sel, Heyelan Sempozyumu 1991, Bildiriler Kitabından alınmıştır.

Yöntemin Prensipleri	Uygulanabilecek Yöntemler	Açıklamalar
1. Göçme nedeni yüklerin azaltılması	1. Kayma alanının üst kısmındaki zeminin kaldırılması 2. Şevlerin yatırılması 3. Kaydırıcı veya aktif itkinin geçerli olduğu alanlardaki yeraltı su düzeyinin düşürülmesi 4. Yüzeysel suların derivasyonu 5. Sızan boruların alan dışına çıkarılması	1. Her zaman fizibil değil 2. Her zaman fizibil değil 3. Yeglenir, pompaj gerektirmiyorsa genellikle ucuz; her zaman fizibil değil
2. Boşluk suyu basıncı fazlasının azaltılması yoluyla, zeminin kayma direncinin artırılması	1. Yüzeysel drenajın iyileştirilmesi 2. İcşel (YAS) drenaj (a) Yatay drenler (b) Düşey kuyular; serbest akışlı veya pompajlı (c) Düşey kum drenleri (d) Drenaj galerileri 3. İnce daneli zeminlerde elektrik geçirme yolu ile kurutma (electroosmosis)	1. Yeglenir 2. Çoğu kez uygulanabilir (a) Genellikle serbest akış (b) Noktasal kuyu sistemlerini (wellpoint systems) veya geniş aralıklı tekil derin kuyuları kapsayabilir (c) Drenler döşendiğinde, daha derindeki geçirimsiz katmanlara veya doğal zemin yüzüne boşaltımı sağlayacak ölçüde düşük çıkış kotları gerekir 3. Diğer yöntemlere göre daha çabuk sonuç verir; genellikle pahalı ve denenerek emin olunduktan sonra kullanılmalıdır. Zemin suyunun tuz içeriği yüksekse maliyet önemli ölçüde artabilir
3. Toprak dolgu, toprak payanda, ve toprak yükleme yoluyla direnen kuvvetlerin artırılması	1. Kayan kitlenin aşağı kesimi üzerinde ve toprak ötesinde dolgu (berm) oluşturulması 2. Orselenmemiş zemin üzerine oturan yüksek dirençli toprak payanda yapılması	1. Olabiliyorsa serbest drenajlı malzeme kullanılması. Kayanın toprak ötesine ulaşmasını önlemek bakımından yeterli genişlikte olmalıdır 2. Olabiliyorsa serbest drenajlı malzeme kullanılmalıdır
4. Yükü kayma alanı dışındaki sağlam zemine aktaran yapılar yolu ile direnen kuvvetlerin artırılması	1. İstinat duvarları 2. Zemin ankrajları 3. Düşey kazıklar veya perdeleme	1. Yeterli desteği sağlayabilecek biçimde projelendirilebilse bile çok pahalı olabilir 2. Özellikle sürekli destek sağlama amacıyla yapılacak yerlerde yüksek güvenlik sayıları alınarak özenle projelendirilmelidirler 3. Düşey kazıkların yatay veya eğik yüklere dayanımı, zeminin kazıklar arasından kayması veya kazıklarla birlik toptan göçmesi olasılıkları çok iyi incelenmiş olmalıdır
5. Özel koşullardaki yöntemler	1. Enjeksiyon 2. Isıtma 3. Dondurma 4. Titreşimle sıkıştırma 5. Kompaksiyon	Yalnızca özel koşullarda uygulanabilen özel yöntemlerdir. Yöntemin uygulanabilirliği ve ekonomisi irdelenmeli ve seçenek çözümlerle karşılaştırılmalıdır