

Bent Temellerinde Etkin (Active) Faylarⁿ

J, L. BHERARD

Berkeley, California

JL, 3. CLUFF

Woodward Lungren and Associates, Oakland, California

O, K, ALLEN

California Institute of Technology, Pasadena, California

ÇEVİREN: MUSTAFA AKINCI

B.SJ, Genel Müdürlüğü, Ankara

(Mı Bu yazı etkin faylar üzerinde kurulmuş bentlerin, fay mekanizması ve kırıkları ile ilintisini, araştırmalardan edinilen deney ve bilgilerin yorumunu, etkin faylar üzerinde kurulması zorunlu bendler için alınması gereken Önlemleri içermektedir. Bendin etkin faylar üzerinde kurulması kaçınılmaz ise dolgu bend türleri tasarlanmalıdır. Etkin fay kuşaklarında beton bend Önerilmemelidir.

Fay etkinliğini saptamak için yapılan jeolojik çalışmalar bent yerinin koşullarını açmlayacak uzaklığa kadar yapılmalı ve fayın geçmişine özgü verileri içermelidir. Son yıllarda gelişen teknoloji, deney ve bilgi birikimi fayların etkinliğini-edilgenliğini (inactivity) saptayabilecek boyutlara ulaşmıştır*

(••) "Potentially active faults in dam foundations, 1974, Géotechnique 24, No: 3, 367-428" den kısaltılarak türkçeleştirilmiştir ve DSİ Genel Müdürlük ünde, Jeoteknik I adlı yayın organının Haziran 1977 sayısında yayınlanmıştır.

GfIMS

Deprem bölgelerindeki bent yerlerinde sık sık faylarla karşılaşılır. Bentlerin ekonomik ömrü süresince olası fay atımlarını saptamak ve tasarımları buna göre yönlendirmek çok güçtür. Sunulan yazıda etkin fayların incelenmesi özellikle mühendislik açısından irdelenecek, sonuçların tasarımlara etkisi vurgulanacaktır.

"Fay kırılması", "fay devinimi (hareketi)"*» **fay atımı" ve "faylanma" deyimleri yüzeyin faya göre konumunu belirlemek için özdeş anlamda kullanılmaktadır.

Fay ve depremin karşılıklı etki bütünlüğü vardır. Başka bir deyişle kimi depremler fayları, oluştururken faylanma sırasındaki enerji özgülmesi de depremlere neden olur,

Akarsular vadilerini daha kolay aşmabilen ezilmiş, paralanmış kuşaklarda açtıklarından, genellikle vadiler fayları izlerler, Bu nedenle bent temellerinde faylarla sık sık karşılaşılması bir raslantı değil, jeolojik ve dinamik olayların en olağan sonucudur* Şiddetli deprem bölgelerinde inşa edilen yüzlerce bentden ancak birkaçının temelinde fay gözlenmemiştir,

Fayın niteliğini (etkin-edilgen) saptamak bu konuda uzmanlaşmayı gerektirir. Çoğun, yer bilimcilerin özdeş fay konusunda değişik yargılara vardığı gerçektir. Nükleer Enerji Santral alanlarında yapılan çalışmalara göre US Atom Enerjisi Komisyonunca onanan etkin fay tanımını aşağıdaki özgül niteliklerden bir veya birkaçını içermelidir:

1) Yüzeyde veya örtü altında son 35*000 yılda en az bir kez atımlandığı veya geçmiş 500*000 yılda devinimin yinelenmesini kanıtlayan olayların gözlenmesi,

2) Aygıtsal ölçümle yeterli doğrulukta saptanan makroskopsite ölçümlerinin fay ile direkt ilişkisinin gösterilmesi,

3) (1) ve (2) de anılan özgül niteliklerini içeren fayların birinin atımının diğerinin atımına neden olacağına yapısal olarak doğrulanması.

Bentlere de uygulanan bu tanımlama genel anlamda yeterlidir» ancak birçok fayların yakm

jeolojik geçmişteki devinimlerini saptamak oldukça güçtür. Böyle durumlarda devinim ve atımın doğası ile yineleme koşullarını yorumlamak jeoloji mühendisinin görevidir.

Bent tasarımları bütünüyle deneysel ve kuramsal olarak gerçekleşmektedir* Tasarım yöntemleri gün ve gün geçiyorsa da, özünde daha önce kumlan bentlerin üretimlerini başarıyla sürdürmeleri tasarımcıların deneylenmelerini sağlamaktadır. Bent temellerinde gözlenen fayların etkinliği konusunda geçmişte özgü güvenilir belgeler yoktur, bu nedenle çoğu kez yorumlarla yetinmek zorunluluğu vardır* Etkin fay kulaklarında tasarımı bentler, tasarımcının, yer yer jeolojisi, sismoloji ve öteki mühendislik bilgileriyle iyi donatılmasını gerektirir, ancak bu koşullarda yorumlar doğru sonuçlar verir.

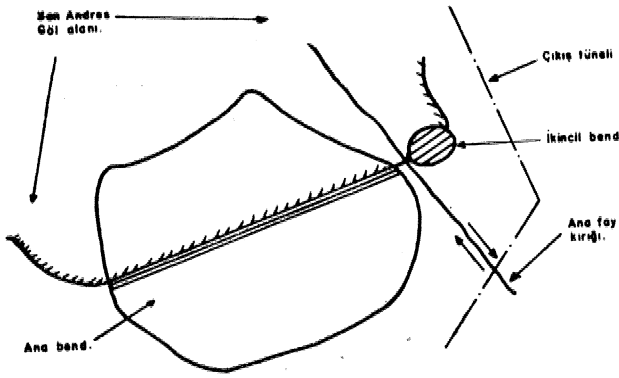
Bu yazı, birçok bent tasarımlarında çalışmış, olayları gözlemiş olan uzmanların, sorunları eleştirmesini, yeni gelişmelerin tartışmasını içermektedir.

BENT YBBUKÜMME FAY KİENJİAİJyRI İI.K tLOİLİ GÖZLEMLER

Yazarların bilgilenmelerine göre depremler sırasında aümlanan fayların neden olduğu bent yenilmesi olmamıştır. Yeryüzünde değişik boyutlarda 25,000 kadar bent vardır. Bunların 500 den fazlası çeşitli nedenlerle ya yenilmiş ya da zarar görmüşlerdir, ancak yenilme nedeni faylanma değildir, Depremlerin bentler için büyük olduğu kuşkusuzdur. Ne varki deprem sırasında oluşan faylanmanın bent yerlerine rastlama olasılığı çok azdır. Aşağıda bu tür bentlere örnekler verilmiştir*

1906 San Francisco depremi

San FranetacQ-nun birkaç mil güneyinde 100 yü önce kurulan San Andres bendi 27 m. yükseklikte ve toprak dolgudur. Bent iki setten oluşmuştur, doğu yakasındaki set, ana setten ince bir sırt üe ayrılmaktadır, 1906 San Francisco depremi sırasında San Andres fayının ana kırığı iki set arasındaki bu sırttan geçmiştir (Çizim 1), Ana set, doğu yakasındaki sete göre kuzeye 2.5 m kütleli olarak devinmiştir. Doğu yakasındaki tünel, doğrultusundan 3 m. sapmış



Çizim is San Andres bendi. Ana fay kırığının konumu.

tır. Göl alanında $20\% \cdot 10^6 \text{ m}^3$ su olmasına karşın ne su kaçağı ne de başka olumsuzluklar gözlenmemiştir, San Andres fay vadisinde kurulan bu bendin istatikselsel Önemi vardır. Bendin kurulduğu yularda deprem faylanma konusunda bilgilenme yetersizdi, Bugünkü bilgilenme ile San Andres gibi ana fayların etkin olduğu kolayca gözlenebilir ve bu tür fay vadilerinin bent yeri için uygun olmadığı kolayca saptanabilir.

İçmesuyu amaçlı Crystal spring bendi de, San Andres bendinin birkaç mü güneyinde ve San Andres fay vadisinde yer alır. Deprem sırasında ana fay kırığı bendin uzun eksenini dik kesmiştir, Bendin batısı doğusuna göre 2 m, kuzeye kaymıştır »Dorukta i m. derine kadar enine ve boyuna çatlaklar gözlenmesine karşın su kaçağı olmaması, dolgunun bent olarak işlevini nasıl sürdürdüğü konusunda tartışmalara neden olmuştur. 1888 de beton ağırlık bendi olarak kurulan Lower Spring bendi, fay kırığından 200 m, ötede olmasına karşın depremden etkilenmemiştir,

1959 West Yellowstone depremi

Hebgen bendi 1914 yılında toprak dolgu olarak inşa edilmiştir. Doruk uzunluğu 210 m, yüksekliği 27 m, dir, 25 km. uzunluğundaki göl alanında $870 \times 10^6 \text{ m}^3$ su depolanmaktadır, 17 Ağustos 1959 West Yellowstone depremi sırasında göl alanı dolu idi. Devinimler düşey atımlı faylar olarak gelişti, Ana fay kırığının toplam uzunluğu 75 km. den fazla idi. Göl alanının saf yakasını keaen Hebgen fay kırığı bu noktada 5 m, düşey atımlanmış ve fayın güneyi

kuzeyine göre düşmüştür. Faylanma ile birlikte göl alanı altındaki ana kaya 6,7 m, bent temelindeki ana kaya ise 3 m, bitevil olarak çökmüştür. Göl alanındaki ortalama çökme 3.2 m. olduğundan bent ve su düzeyi görece (relative) özdeş yükseltide kalmıştır. Deprem kütle devinimine neden olmasına karşın.bendi fazla etkilememiştir. Az harcamayla onarılmış, işletmeye açılmıştır.

BMJWWDÎ İDU. GÖL MANI YENİ ÖİESÎ

Baldwin Hill göl alanı yenilmesine fay boyunca gelişen sızmaların aşındırması neden olmuştur. Bendin yapımı sırasında fay birkaç cm, devinmiş, göl alanındaki sert kili kırmıştır* Göl alanı ve doğal payandalar Alt Plietsoaen ile Üst Püestosen yaşlı, bitifimsiz (cohesionless) ince kum, süt ve kil içermektedir,

Sızma su fay boyunca gelişen yarıklardan girmiş, doğal payandaların akış aşağı olan eğim yüzeylerine etkünlüdür. Kolayca alınabilen ince kum ve süt yıkanmıştır. Bendin yakınında petrol üretimi nedeniyle büyük bir çökmede olduğundan fayın etkisinin olup olmadığı tartışma konusudur* Deneyler, sızıntı suyun, ince taneli bitişimsiz ceminin kü katmanları ile ardalanması sonucu, payandalarda ve temelde etkili olduğunu göstermektedir* Bitişimli olan kil aşınma tüneuerinde oluşturduğu kemerlenme ile, ince kumvesiltin yıkanmasını sağlamakta, büyük boyutlarda sızma tünellerinin gelişmesine neden olmaktadır. Eğer temelde salt ince taneli bitişimsiz kum bulunsaydı, sızma tünelleri gelişmeyebilirdi ve kum, fayın oluşturduğu yarıkları kapatabilirdi

Araştırmacılar tarafından gözlenen, kaim katmanlı killerde gelişen aşınma boşluklarının oluşumunu açıklamak oldukça güçtür. Ayrışan küller olarak bilinen bu tür killerin yenilmede etkin oldukları da gerçektir,

ŞİMDİKİ VE GEPUŞTEKİ TA8AMM UYOULAMALÂLEİ

Birkaç örneğin dışında deprem bölgelerinde kurulan bent temellerinde faylanma sorunu ayrıntılı olarak incelenmemiştir. Çalışmalar genel

likle yüzey jeolojisi ve araştırma kuyuları aracılığı ile yürütülmekte, bent yerinin çevresini kapsamakta idi* Kimi kez de geçmiş jeolojik çalışmalar üe yetmilmekteydi Ancak bu çalışmalar fayların olası etkinliği veya edilgenliği konusunda fazla bilgi vermemektedir.

Etkinliği ve edilgenliği saptanamayan faylar üzerinde tasarımılanan bentler varsayımlarla kurulmaktadır. Çok kullanılan varsayım ise; bendin ekonomik ömrü sırasında bu fayların kırılma olasılığının çok az olması, kırılma bile bent üzerinde fazla etkili olmayacağı biçimindedir.

Bugünkü uygulamada, bent temelinde etkin fay gözlenirse daha uygun yerler seçilmektedir. Bendi kurulması zorunlu ise gerekli önlemler alınır, Örneğin dolgu türü bentler önerilmektedir.

Etkin fayların olduğu kesinlik kazanan yerlerde bendin kuruluşundan kaçınılmıştır, bu kuralın dışında sadece birkaç örnek vardır.

COYOTE Brarol

38 m. yüksekliğindeki Coyote bendi 1936 yılında Calaveras fayının ana kolu üzerinde kurulmuştur* Yakınındaki Hayward fayı en son 1808 yılında kırılmış ve 6.5 - 7 m, şiddetinde bir deprem oluşturmuştur.

Tasarım çalışmalarını yürüten jeoloji mühendisleri Coyote bendinin ömrü boyunca faylanmanın yineieceğini, düşeyde 1 m, ve yatayda 6 m. atımlanacağını öngörmüşlerdir. Ayrıca faylanma anında temelde 30 cm, İlk çatlakların oluşacağı belirlenmiştir. Uzmanlar, bendin aşağıdaki koşullara Özen gösterilerek yapımı durumunda güvenlik içinde işletilebileceği görüşünde birleştiler. Bent toprak dolgu olacak ve:

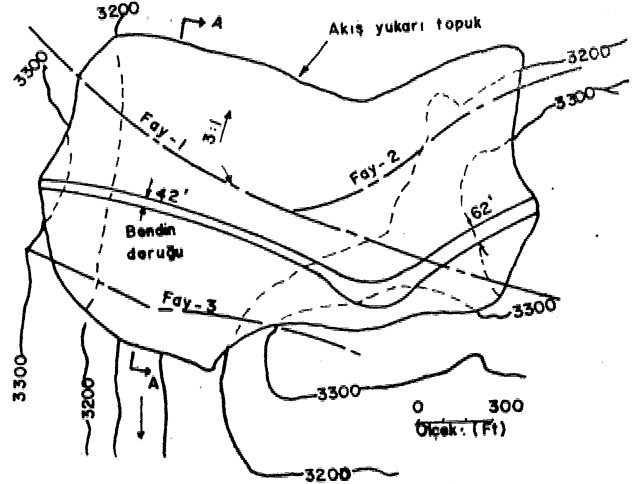
- Geniş, iyi sıkıştırılmış kil çekirdek tasarımılanmalı
- Akışyukarı yüz kaplanmalı
- Kil çekirdek genişliği su düşüşünün en az 5 katı olmalı
- Fazla dolgu payı bırakılmamalı
- Faylanma sırasında oluşacak çatlakların kapatılması için sıkıştırılmış geçirimsiz

çekirdeğin akışacağı ve akış yukarısına kum ve çakıl kuşakları yapılmalı; böylece suyun çekirdeğe etkisi sınırlandırılmalıdır*

Bu önerilere göre tasarımılanan Coyote bendinin doruk genişliği 30.5 m, dalga payı ise 6.7 m. dir. İnşaat bitiminden bu yana faylanma olmamış, bent sorunsuz işletilmektedir.

C ^ AB SPRING BENDİ

İğme suyu Bağlama amaçlı olan bu bent 1071 de tamamlanmıştır. Bent yeri San Andres fayından 8 km uzakta, şiddetli deprem bölgesi içindedir. 1964 yıllarındaki temel araştırmaları sırasında birçok fay gözlenmiştir. Faylar bende koşut (paralel) ve vadi doğrultusundadır, Sol yakada bendi akışyukarisından akışaşağı kesmektedir (Çizim 2)*



Çizim % Cedar Spring bendi. Kufbatap görünüş ve fayların konumu.

Ana kayanın üstünde açılan araştırma hendeklerinde alüvyonun düşey doğrultuda 0°9 - 1.5 m. atımlandığı gözlenmiş, ancak yatay atımlanma düşey atımlamaya göre durumu saptanamamıştır.

Akışyukardaki FAY-İ jeolojik formasyonların dokanağı durumundadır. Ana kaya az çimentolü kumtaşıdır, kazı araçları ile kolayca kazılmıştır* Akış aşağıdaki FAY-3 üzerindeki temel, sert granite oturtulmuştur,

Araştırma hendeklerinde yapılan araştırmalar fayların etkin olduğunu kanıtladı. Bendin güvenlik sorunlarını çözmek için bir araya gelen uzmanlar gurubu (Deprem araştırma ve tent tasarımları uzmanları) tasarımda büyük değişiklikler yapılması durumunda bendin yapısında sakınca olmayacağı sonucuna vardılar. Önerilere g Öre ;

- Bendin yüksekliği 92 m. den 66 m. ye düşürülecek
- Göl alanı yetisi (kapasitesi) 160×10^6 m³ den 60×10^6 m³ düşürülecek
- Temel ve Mİ çekirdek bütünüyle sert granitin üzerine gelecek Çizim 3 de bendin enine kesiti görülmektedir,

Çekirdek işin yöredeki siltli kum yerine aşınmaya karşı dayanımlı göl kili kullanıldı. Geçiş kuşaklarının (transition zone) birleştiği doruk oldukça geniş tutulan fayın akış yukarıdan akış aşağıya geçtiği kesimde doruk genişliği 19 m, ye çıkarıldı.

Etkin faylara karşı savunma 3 nolu (Çizim S) geçiş kuşağı ile sağlanmış, bu kuşakta özellikle çatlakların kapanmasına olanak verecek temiz ve bitişimsiz (Cohesionless) gereç kullanılmıştır. Fay kırılmasından sonra kil çekirdekte oluşacak çatlaklara girebilecek su 3 no.lu kuşağın geçirimsizliği ile sınırlandırılacak ve akış aşağıdaki geniş kaya dolgu kuşak ile denetlenecektir.

Kazı sırasında birkaç em. genişliğinde etkin faylar gözlenmiştir. Bu faylar tektonik bölgelerde gözlenen olağan faylara benzemektedir.

Kesin tasarımda geçirimsin çekirdek için kullanılan kilin aşınmaya karşı dayanımlı olmasına özen gösterilmiştir. Çekirdekte çatlak oluşsa bile kil aşınmayı önleyecek nitelikte seçilmiştir.

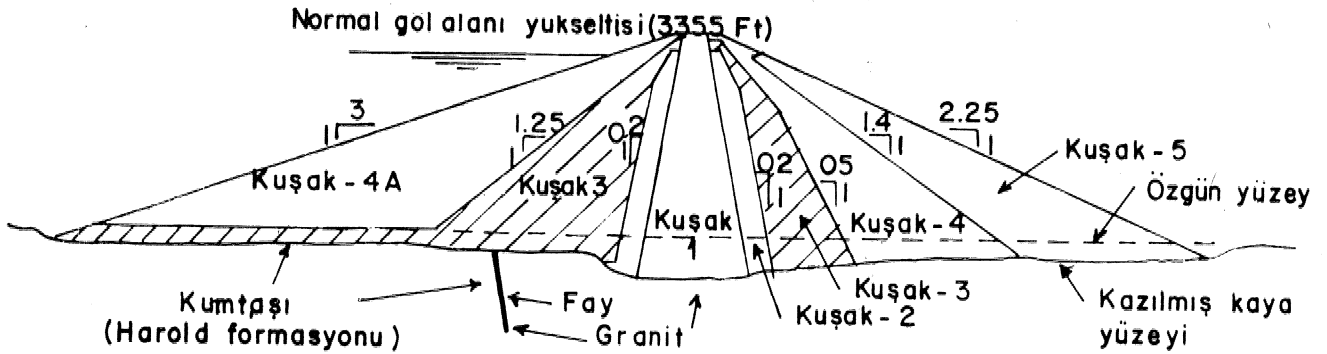
Bent işletmeye açıktır, şu ana kadar hiçbir sorun yaratmamıştır.

FAY KIRIKLARININ AYBOFTILÄRI

Aşağıda, yüzeysel fay kırıkları gözlemlerinden edinilen ve mühendis için önemli olan konular özetlenmiştir. Olayların gelecekteki olasılıkları geçmişteki jeolojik bilgilere ve deneylere dayanmaktadır,

GEÇMİŞTEKİ FAY KIRIKLARI

Son 150 yıl içinde jeoloji mühendisleri tarafından gözlenebilen 100 den fazla fay kırılmış, ancak bunların birçoğu yeterince tanımlanıp belgelenememiştir. Fay kırıklarının çoğunun da son yıllarda belgelendiği gerçektir. Bu nedenle son 150 yıl içinde gözden kaçan kırıkların da niceliği (sayısı) bilinmemektedir. Belgelenmiş fay kırıklarının niceliğine dayanarak tüm fay kırıklarının olasılığını saptamak yanlıştır.



Kuşakların betimlemesi

- Kuşak 1: Göl çökeli gereçli kil çekirdek
- Kuşak 2: Siltli kum (Harold formasyonundan)
- Kuşak 3: İşlenmiş kum çakıl geçişi.
- Kuşak 4-4A: İşlenmiş, sıkıştırılmış kaya dolgu, (Tane boyu 3-30 inç)
- Kuşak 5: Kaya dolgu (En az 18 inç boyutlu)

Çizim 3: Cedar Spring bendi AA enine kesiti.

Birkaç yıl öncesine kadar faylanmanın kimi depremlerle bağımlı olduğu sanılıyordu. Ancak son yularda yapılan yoğun çalışmalar fay ve deprem oluşumunun içice olduğunu kanıtlamıştır. Yeryüzünün birçok bölgesinde ana fayların atım ve enerji özgürlenmesinden oluşan depremlerin kilometrelerce ötelere ikincil faylara neden olduğu bilinmektedir.

Kimi faylar boyunca gözlenen kırıkların depremlerden önce oluştuğu ve bu fayların etkinliklerinin jeoloji mühendislerince gözlemlendiği de doğrulanmıştır. Paylanmalar çoğun fay şevleri üzerinde gelişmektedir. Fay kırılmasının özdeş faydaki önceki kırılma noktasında olacağı düşünülürse de, bu yargıya kesin doğrulukla varılamaz. Temel olan gerilimlerin en yoğun olduğu kesimlere öaen göstermektedir.

Tüm faylar jeolojik zaman içinde yeni bir fay olarak belirir. Ancak faylanmanın yinelenme olasılığı mühendislik yapısının Ömrü içinde azdır. Çok özel koşullar dışında kalan faylar (Örneğin itki faylarında çıkan blok üzerindeki ikincil faylar) yapıyı çok etkilemez, Kimi faylar ise çimentolanma ve metamorfik işlemlere doğal olarak onarıldıkları için faylanma uzun aralıklı devirlerle olasıdır.

FAY TÜBLEEÎ VB KUHKLÄBIN DOĞASI

Enerji özgürlenmesi sırasında fay bloklarının bağıl devinimleri yer kabuğundaki gerilimlerin yerael konumlarına göre eğim atımlı (dip-slip) ve doğrultu atımlı (strike-slip.) belirir. Me* kanik işlemlere ve blokların bağıl devinimleri* ne göre fayları Uç bölümde incelemek gerekir.

1) Doğrultu atımlı (strike-slip) faylar: Bu tür faylarda birincil atım yatay doğrultudadır. Fay düzlemleri kuş bakışında düşeye yakın görünür, ana faylar hava fotoğraflarında çizgisel şevler olarak belirir,

2) İtkî (thrust) fayları: Bu faylar yatay baskılama (compression) ile düşey atım içerirler. Fay düzlemleri az eğimlidir (20° * 40°), bundan ötürü dağlık alanda itki fayının izleri kuş bakışında kıvrımlı görünür. Yeryüzünün birçok ana faylanma bu türdendir. Büyük depremlerin çoğu da okyanus hendeklerinin okyanus dibini kı-

ta altlarına itmesiyle oluşmaktadır. 1981 Alaska depremi ile 1960 Çin depremi bu tür fay kırılmalarının örnekleridir,

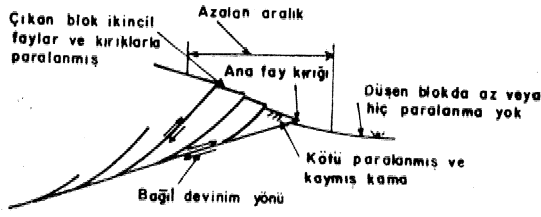
3) Normal faylar: Bu tür faylar yatay çekme (tension) kuvvetlerinin oluşturduğu düşey atımları içerirler. Eğimleri genellikle 60° dir, fay düzleminin kuşbakışı izleri oldukça karmaşıktır, Orta Okyanus sırtlan boyunca, yerkaşığı çekmelerinin fazla olduğu olanlarda daha sık gözlenirler.

Kırıkların doğası her üç fay türünde de ayırıcıdır ve mühendislik açısından son derece Önem* lidir, Doğrultu-atımlı faylarda birincil atım yatay yönde olduğundan, yüzeyin bağıl alçalması veya yükselmesi söz konusu değildir. Bundan ötürü akarsular çoğun doğrultu-atımlı fayları izlerler. Normal ve itki faylarında bağıl alçalma ve yükselme (karşıt bloklarda) olduğu için fay dağ yamacının eş" yükselti eğrisini izler. Akarsular normal ve itki faylarına ya koşut (paralel) akarlar, ya da bu fayları düşük yükseltilerde keserler Hebgen bendi yöresindeki normal fay akarsu vadMne 300-600 m, yükseltide koşut uzanmaktadır,

Doğrultu-atımlı faylardaki kırıklar oldukça basit ve iyi tanımlıdır. Diğer iki fay türüne (itki ve normal) göre daha az ikincil ve dallanma (branching) kırıkları içerirler. Bu faylarda, daha önce oluşan kırıkların fizyografik durumları* nı inceleyerek gelecekteki kırılmaların nerelerde oluşacağı saptanabilir. Çünkü bu tür faylarda kırılmalar özdeş doğrular üzerinde yinelenir.

İtki fayları çok daha karmaşık mühendislik sorunları sunarlar. Bu fayların gözlenmesi, çoğun toprak kaymaları ile Örtülü olmasından ötürü güçtür. Ayrıca, fay şevlerinin jeolojik zaman içinde aşınması, çıkan blok üzerinde oluşan ikincil faylar, etkinlik ve edilgenlik konusunda yargıya varmayı güçleştirir,

Normal faylar, tanımlamaları ve mühendislik sorunları bakımından itki fayları ile doğrultu-atımlı faylar arasında yer alırlar. Fay şevleri itki faylarına göre daha iyi korunmuştur. İtki faylarının tersine, normal faylarda düşen blok kırılma eğilimi gösterir. Faylanma yüzeyi itki faylanmasında olduğu gibi fazla kırılmaz ve kırılma ana faydan uzakta değildir (pzim 4).



Çizim 4: İtki ve normal fayların özgül nitelikleri.

ANA FAY StSTEIOJHBİ

Yeryüzünde milyonlarca yıldan beri devinen, büyük boyutlu, yüzlerce mil atımlanmış kimi ana faylar vardır, Doğrultu-atımlı olan bu fayların devinimi topografyayı o denli etkilemiştir ki, hava fotoğraflarından bile kolayca ayırtlanabilirler. Genel anlamda, en şiddetli depremleri oluşturan anılan fayların atımlarıdır,

Kauforniya'daki San Andres fayı bunların en tipik ve ürerinde en yoğun araştırma yapılanıdır. Jeolojik olgular bu fayın en az 100 milyon yıldır yatay doğrultuda devindiğini ve bu etre içinde 300 milden fazla atımlandığını kanıtlamaktadır.

Kuzey Anadolu fayı da doğrultu atımlı faylara ilginç bir Örnektir. Yaklaşık 100 km. uzunluğundaki bu fayın konumu batıda çok belirgin değildir, nedenleri de henüz anlaşılammıştır.

Ana fayların birçoğu da günümüze dek ayırtlanamamıştı\ Çünkü jeolojik çalışmalar ya bunların saptanmasına yönelik olmamış, ya göl alanı veya bent yerindeki çalışmalar bu faylara kadar uzanmamıştır. Gerçekte, bilinen belli başlı ana faylara büe son yıllarda özen gösterilmeye başlanmıştır* Yakın geçmişte bu fayların kimileri kırılma geçirmemesine karşın etkin olarak nitelenmektedirler.

Ana faylarda çoğun kırılmalar belirli noktalarda yoğunlaşmaktadır, (Örneğin San Andres fayı). Böyle koşullarda fayı ve niteliğini saptamak kolaydır. Bent yeri seçimlerinde bu kuşaklardan kaçınmak, zorunlu olmadıkça bu«ralarda bent yapmamak gerekir*

YEBKABmtJNUN BİÇİM DEĞİŞTİRMESİ (BEFOBMASYONIJ), İKİNCİL VE wnsxumm FAYLAM

Büyük fay kırıklarına ve şiddetli depremlere yerkabuğunun biçim değiştirmesi neden olmaktadır, Biçim değiştiren kuşak çoğun faydan birkaç mil veya yüzlerce mil ötelere uzanmakta, bu uzaklık, ana faylarda daha da artmaktadır* 19ü Büyük Alaska depreminde 200,000 km² lik alan-düşen ve çıkan blok olarak-devinmiştir. Çıkan blok 12 m* atımlanmıştır,

ikincil ve etkileme fayları üzerindeki kırılmalar kabuksal biçim değiştirmelerin en yoğun olduğu alanlarda oluşur, normal ve itki faylarının kırıkları ile ilintilidir. Normal ve itki faylarının ana kırıkları ikincil faylar üzerinde de kırıklar oluş tararlar, ancak doğrultu-atımlı faylar için özdeş durum söz konusu değildir.

Kuzey Amerika'da bilinen fay kırılmalarının yarısından fazlası ikincil faylar üzerindedir, itki ve ikincil faylardaki kırıklar çıkan (upthrown) blokta gözlenmekte, düşen (downthrown) blokta fazla kırılma olmamaktadır, 1071 de Fernando itki fayının kırılmasında çıkan blokta 2 m, den fazla yükselim gözlenmiştir.

Normal faylarda kabuksal değişim ve kırılmalar düşen blokta oluşur. Bu olgu Hebgen bendi yakınında oluşan depremde çok iyi kanıtlanmıştır,

Kabuksal biçim değiştirmelerin yoğun olduğu kimi alanlarda fay atımı gözlenmemesinin karşın yapıların kabuksal gerinim (strain) ile eğildiği gözlenmiştir. Eylül 1954 depreminde (Orleansville yakınında) kabuksal biçim değiştirme kaya tünellerini 1.5 m yükseltmiştir. Deprem odağmdan 4 km, uzakta olan Ponteba bendi 20 m. yükseklikte, 80 m. uzunlukta beton bent düşey doğrultuda döndürülmüş, depremden sonra yapılan araştırmalarda bir ucunun diğer

ucuna göre 0,55 m . yükseldiği görülmüştür. Olay sırasında bent temeli sağlam kalmış» sadece temelin oturduğu anakaya meyillenmiştir. İnceleme sonunda ana kayayı kırılmadan döndüren etkenin çok sık aralıklı ikincil faylar olduğu sonucuna varılmıştır.

Benzer Örnek San Fernando fayının kırılması ile (1971) Les Angeles bent yerinde görülmüştür. Tasarım evresindeki bent yerinde faylanma Öncesi ve sonrası denştirildiğinde, sol payanda duvarının 0,55 m, sağ payanda duvarının da 0.32 m. meyillendiği saptanmıştır, 400 m, lik yatay aralıkta ortalama 0.28 m. meyilenme gözlenmiştir. İkincil faylar üzerindeki kırıklar, ana fay üzerindeki kırıklardan 25 km. uzakta oluşmuş, ancak uzaklıkla doğru orantılı olarak yeğlilik azalmıştır. Bu tür faylanmalar beton bent mühendisliği yönünden son derece önemlidir. Beton bentlerin duyarlı kesimlerinde kimi kez 1 cm. lik farklı devinim istenilen güvenlik sınırlarını aşabilmektedir.

FAY-ZAMAN İUŞKtSt: PAYLANMANIN YİNELENMESİ

Geçmişteki faylanmaların belgeleri mühendis© çok az yararlı bilgi sallamaktadır. Oysa tasarım evresi faylanma olayının gözlenmesi için çok kısa bir süredir.

Ana fayların jeolojik zaman içinde binlerce kez yineleniği yadsınmaz bir gerçektir. Kabuksal germimin (strain) jeodetik ölçümleri bu olguyu doğrulamaktadır. Örneğin; San Andres fayının batısındaki kütle, doğusundaki kütleyle göre yılda 3 cm, devinmektedir .Bu gerininin devirli kırılmalarda değıseceğı varaayılırsa 100-200 yıl aralıklı ve 3-6 m atımlı kırılmalar olasıdır. Geçmişte fayın yinelenmesi bu aralıklarla olmuştur.

Daha önce devinimi belgelenemiyen ikincil faylarda yinelenme olasılığını belirlemek tüm varsayımlara karşın olanaksızdır. Bu tür fayların jeolojik ve C¹⁴ tekniğı ile yapılan araştırmaları, Holosen alüvyonlarını atımladığını kanıtlamış, ancak ayrıntılı bilgi edinilememiştir.

Geçmişteki faylanma olaylarının incelenmesi bir anlamda çok önemlidir. Belgeler etkin fay-

ların uzun süre (50 yıl veya daha fazla) kırılma göstermediğini kanıtlamıştır. Bu olgu duyarlı aygıtlarla yapılan ölçümlerde doğrulanmıştır.

Mühendisin ilgisini çeken soru baylanma ne zaman olacak" tır. Bu soruyu ne aygıtsal ölçümlerle ne de jeolojik verilerle kesin olarak yanıtlamak olanaksızdır. Ancak faylanmanın ani olmadığı, sadece gerilimin yoğun olduğu noktalardaki atımlanmanın ani olması mühendisin özen göstermesi gereken bir konudur, Birçok durumlarda» kalıcı gerilimlerin neden olduğu hızlı yığışımalar (rapid creep) depremden sonra günlerce sürmektedir.

FAYLANMA OLAWNIN^EOLOJm ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Genel

Faylanma olayının ayrıntılı değerlendirilmesi geniş kapsamlı bir konudur* Burada, yakın geçmişteki deneylerin ışığında faylanmanın ana kavramları vurgulanacaktır.

Bend yerlerindeki faylanma olayı araştırılırken genellikle bölgenin depremliliğı çalışmaları ile birlikte yürütülür. Araştırmalar bölgedeki bütün etkin fayları (tent yerinden veya göl alanından geçmese bile) kapsamalıdır* Deprem sırasında etkin faylar boyunca büyük yer kaymaları olağandır. Bu nedenle fay araştırmaları sürdürülürken bendi etkileyecek olasıyer kaymalarına da özen gösterilmelidir.

Faylanma olayının en güvenilir kanıtları jeolojik araştırmalarla elde edilir. Kimi kez bölgenin depremliliğı konusunda yapılan aygıtsal ölçümler, germim (strain) ve yığışım göllemle-ri de gereklidir. Ancak geçmişte faylanmanın olup olmadığını kanıtlayacak verilerin yüzey jeolojisi ile derlenmesi birincil amaçtır.

Son yularda nükleer enerji santralleri ve büyük bentlerin güvenliğı bakımından faylanma konusu önem kazanmış, araştırmalar artmıştır. Geçmişin deney birikimi ve gelişen bilgilenme ile geniş kapsamlı, ayrıntılı çalışmalar faylanma olayını aydınlatacak konularda derişmektedir. Çalışmaların tüm amacı derlenen jeolojik verilerin yardımıyla fayların etkin veya edilgenliğı-

ni saptamaktadır. Ayrıntılı ve bütünlenmiş araştırmalar sonucu fayların niteliklerini saptayamamak olasılığı çok azdır. Etkin fayların devinimleri yüzey jeolojisi ve topografyada ayrışma ve aşınma işlemi ile kolay kolay silinemeyecek izler bırakmaktadır.

FAY ARAŞTIRMALARININ DOĞASI

Fayların jeolojik değerlendirilmesi temel olarak şu varsayıma dayanmaktadır. Fayın yakın jeolojik geçmişte kırılmaya gelecekte kırılma olasılığı var, tersi durumunda kırılma olasılığı yoktur. Son faylanma zamanı jeolojik-jeomorfolojik ilişkilerle saptanmaktadır. Fayın niteliği, deviniminin konumu geçmiş jeolojik olaylardan derlenir.

Jeolojik çalışmada ilk sorun, tasarlanan bent yerinden fay geçip geçmediğini saptamaktır. Bu sorun çalışmaların ilk aşamasında çözülür veya çözülmez. Fayların varlığı gözlemlendikten sonra, fayların niteliklerini (etkin-edilgen) belirleme çalışmaları sürdürülür.

Çalışmalar ilk aşamada yapılır. Birinci aşama, jeoloji, bölgesel tektonik ve genel depremlilik konularını içerir, 200-300 km. yarı-çaplı bir alanı kapsar. Bu aşamada bent yerine etkiyecek birincil jeolojik yapıların niteliği, depremliliğe yönelik olarak irdelenir. Diğer bir deyişle ayrıntılı alan çalışması için bilgi derleme ve düzenleme bu aşamada yapılır.

İkinci aşama ayrıntılı jeolojik haritayı içerir. Yüzeyde ve yeraltı çalışmalarında gözlenebilen fayların nitelikleri, türleri ve davranışları irdelenir. Özel hava fotoğrafları çalışmalara yardımcı olur. Ek olarak, bütünleyici çalışmaların Örneğin araştırma çukurları ve delikleri, jeofizik bu aşamaya özgüdür.

Fayın varlığını kanıtlayan veriler, fay deviniminden sonra korunmuş yapıların yüzeyden gözlenmesiyle elde edilebilir. Fayların yüzeyden gözlenebilen kimi ayrıntı özellikleri şunlardır:

- Önceki faylanmada oluşan, aşınma işlemi ve daha genç çökellerce bozulmamış şevler (scarp)
- Vadi değiştirmiş akarsular

- Yakın aralıklı özdeş formasyonlarda farklı yeraltı düzeyleri
- Farklı bitki örtüsü
- Yer kaymaları
- Terkedilmiş alüvyon taraçaları

Öncelikle hava fotoğraflarından ayrıntılanan bu özelliklerin kimilerine başka jeolojik olaylarda neden olabilir, örneğin; sert kaya katmanları hava fotoğraflarında fay seviyesi olarak gözlenebilir. Yanlışlar alan çalışmalarında giderilmelidir.

GENİŞ ALANDA YAPILMASI GEBEKEN ÇALIŞMALARI

Fayın en son devinimini kanıtlayan olgular fayın belirli kesitlerinde görülür. Bu nedenle bent yeri çevresinde yapılan araştırmalardan sağlanan veriler kesin yargılar için yeterli değildir. Çalışmalar fay boyunca yeterli bir uzaklığa kadar yapılmalıdır. Çalışma sonuçlarının güvenilirliği harcanan emeğe ve çalışma alanının boyutlarına bağlıdır. Söz konusu araştırma bent yerinin 100 km, uzağına kadar sürdürülmelidir.

En önemli sorun, vadi boyunca alüvyon altında bulunan ve bent yerini kesen faylardır, Akarsuların aşınması ile fay kanıtları silindikten, kuşku duyulan bu tür fayların araştırmaları bent yerinin uzağına da kapsmalıdır.

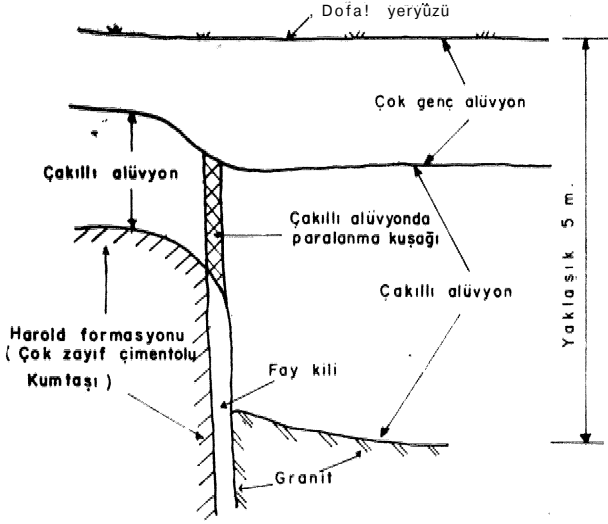
Su bölüm çizgileri fayın bir akarsu vadisinden diğerine geçiş alanlarıdır. Faylanmanın jeomorfolojik olguları buralarda iyi korunmuştur. İpuçları için en uygun yerlerdir.

Geçmiş dönemlerde deprem bölgelerinde kurulan birçok bentin ayrıntılı jeolojik araştırması sadece bent yerinde yapılmış, güvenlik açısından istenilen sınırlara ulaşmamıştır. Bu tür uygulamalar artık geçerli değildir, araştırmalar jeolojik koşullara göre bent yerinin belirli uzaklığına kadar yapılmalıdır.

ARAŞTIRMA HENBEĞİ (Test trendies)

Çağdaş araştırmalarda istenilen yöntemlerden biri de kuşku alanlarda araştırma henbeği olarak fay izlerini gözlemektir. Bu yöntem

özellikle son yıllarda önem kazanmıştır* Yüze-
den gözlenemeyen kimi fayların etkin veya edil-
genliği araştırma hendeklerinden elde edilen ve-
rilerle doğrulanabilmektedir, örneğin ; Cedar
Spring bent yerindeki çalışmalar (Çizim 5).



Çizim 5 Cedar bendi araştırma hendeklerinde yüzeklenen küçük bir etkin fayın görünüşü

Araştırma hendeklerinde yapılan çalışmaların ana amacı yüzey çökellerinin fayla atım» lamp atımlanmadığını saptamaktadır. Ayrıca hendeklerden alınacak karbonlu gereçler üzerinde radiometrik yaş saptaması yapmak olanağı vardır. Hendeklerin çok derin olması zorunlu değildir, yüzey jeolojisi ile iyi belirlenen bir yerde 2-4 m. derinlik yeterlidir. Araştırma hendeklerindeki olguların iyi gözlenmesi için duvarlar özenle temizlenmeli, en küçük ayrıntıyı görebilecek nitelikte olmalıdır.

Hendeklerde fayın jeolojik zaman içinde birkaç kez yinelenmiş olduğunu gözlemek olasıdır. Derinlerdeki yaşlı çökellerin genç çökellere göre daha fazla atımlanmış olması böyle bir olgunun kanıtıdır. Coyote Creek fayı, araştırma çukurlarından edinilen bilgilere göre son 3000 yılda 150-200 yıl aralıklarla yinelenmiştir.

Araştırma çukurlarında yüzeklenen fay killeri temel altında uzanan fay boyunca oluşan aşınma konusunda yargıya varmayı kolaylaştırır* Ancak fay kilinin niteliği fayın etkinliğini kanıtlamak için yeterli değildir. Fay kümündeki cilalı yüzlerin ve kayma çizgilerinin yönü, faylanma yönünü saptarken çoğu kez yanlışlara

neden olur. Yüzeeye yakın yerlerde fay kilinin sıkışıp, yukarıya doğru devinme eğilimi vardır. Bu devinme fayın atımından bağımsız olmasına karşın cilalı yüz ve kayma çizgileri içerebilir.

FAY ATIMINI OLASILAMAK (Tahmili etmek)

Jeoloji mühendisi, etkin fayların gelecekteki olası kırılma boyutlarını birkaç yöntemle saptamağa çalışır. Bu çalışmasında aygıtsal ölçümlerden, geçmişteki kırılmaların sayısal verilerinden ve araştırma hendeklerinden yararlanır, Fayı izleyerek uzunluğunu saptamak, olası atımların niceliklerini daha iyi belirler, Atımlamada fay türünün de Önemli etken olduğu unutulmamalıdır. Kilometrelerce uzunluktaki doğrultu atımlı bir fayın atımı bir kırılma veya bir deprem süresince 1 m. den fazla değildir. Buna karşın 10 km. uzunluktaki itki fayının atımı bir kırılmada 2-3 m. olabilir. Örneğin, Kaliforniya depreminde (1971) San Fernando fayında kırılma uzunluğu 15 km. olmasına karşın atım 2 m. olmuştur.

Olasılama yöntemlerinden biri de; kırılmanın fay uzunluğunun %60 kadarı olacağı, atımın ise özdeş faylarda geçmişteki atım niceliğini aşmayacağı biçimindedir.

BENT TASARIMLAKİNBA ETKEN FAYLABIN YOBÜMU

Fay etkinliğini değerlendirilmesi

Jeolojik çalışmalar tamamlandıktan sonra tasarımcı yapının ömrü boyunca fayın kırılıp kırılmayacağı konusunda karar vermelidir. Jeoloji mühendisinin kuşkulu olduğu kimi faylar için tasarımcı "evet" veya "hayır" demek zorundadır. Ancak jeoloji mühendisinin kesinlikle etkinliğini veya edilgenliğini saptadığı faylar konusunda tasarımcı jeoloji mühendisine güvenmelidir.

Fayların bağıl etkinliği

Alan çalışmalarında jeoloji mühendisi, bendin ömrü boyunca fayların kırılma olasılığı konusunda belirli düşünceler geliştirir. Bağıl etkinliğin sınıflandırılması ilk çalışmalarda çok ya-

rarlı veriler sunar. Bent yeri seçenekleri buna bağımlıdır. Ancak bağıl etkinlik sınıflandırması bent türü seçimi ve tasarımına fazla etkimez.

Bu konu bir örnekle açıklanabilir. Bent yeri için birbirinden kilometrelerce aralıkta iki seçenek vardır. Her iki seçenekten de fay geçmektedir. A bent yerindeki faym son 10,000 yıl içinde birkaç kez kırıldığı kanıtlanmış, bu nedenle faym etkinliği kesinlik kazanmış, bendin ömrü boyunca yinelenme olasılığı fazla. Öte yanda B bent yerindeki fay genç sökellerle örtülmüş, son 10,000 yıl içinde kırılmadığı, ancak son 35.000 yıl içinde kırıldığı saptanmış, tanımlamalara göre bu fayda etkin olarak nitelenir, fakat A bent yerindeki fay derecesinde değil.

Diğer koşulların özde olduğu varsayılırsa ; B bent yeri A bent yerine yeğ tutulur. Jeolojik veriler A bent yerindeki faym kırılma olasılığının B bent yerine göre fazla olduğunu göstermektedir. Ancak bina tasarımı —her iki fayda etkin olduğu için— özde olacaktır.

Kuşkulu etken faylar

Kimi kez, ya araştırmaların yetersizliğinden, yada sınırlı alan çalışmalarından ötürü fayın niteliği konusunda yargıya varılamaz. Örneğin; araştırmacı Orta Pliosen yaşlı bir çökelin faylandığını gözleyebilir, fakat son 85.000 yıl için faylandığını kanıtlayacak verilerden yoksundur. Bu nedenle faym etkinliği kuşkuludur. Tüm bunlara karşın jeoloji mühendisi, yine de fayın niteliği konusunda esnek yorumlar getirmek durumundadır. Yerel jeolojik verilerin yetersiz olduğu durumlarda, bölgesel jeoloji, jeomorfoloji ve bölgesel depremliliğin aygıtsal ölçümleri ile yargıya varılabilir. En azından son 35*000 yıl içinde kırılma olasılığı %50 olarak düşünülebilir. Bent tasarımcısı, jeoloji mühendisinin sunduğu tüm verilere özen gösterecek çalışmalarını sürdürür ve bendin kurulup kurulmayacağı konusunda son sözü söyler.

Şiddetli deprem bölgelerindeki tüm faylar« karşıtı kamlanmadıkça-etkin olarak nitelenir. Bu denli kararlı olmak, bendlerin çok duyarlı yapılar olması ve yenilmeleri durumunda ekonomiyi jinsan yaşamını çok fazla etkiliyeceğinden ötürüdür.

Depremsk bölgelerdeki faylar

Yakın jeolojik geçmişte faylanmanın kamlanmadığı bölgeler depremsiz olarak onanır* Bu bölgelerdeki bent yerinde bulunan fayların kırılma olasılığı deprem bölgelerine göre çok azdır. Bununla beraber tasarımılanan bent yerinde yine de ayrıntılı çalışma yapmak zorunludur.

Sismoloji biliminin gelişmesi ile birlikte, yeryüzünde depremsiz olarak nitelenebilecek ve deprem geçirmeyeceği konusunda güven duyulabilecek çok az alanların bulunduğu ortaya çıkmıştır. Depremsiz alanlarda fayların edilgenliğini kanıtlayacak veriler hemen gözlenebilir, ancak bu gözlemlerin belgelenmesi zorunludur. Özellikle bendin ve göl alanının büyük olması durumunda, bölgesel jeolojisi az bilinen alanlarda, depremsiz olmasına karşın fayların çok iyi araştırılması gerekmektedir.

Göl alanın m oluşturduğu depremler

Geçmiş yıllarda göl alanının dolmasından oluşan birçok deprem gözlenmiştir. Üstelik bu depremler, depremsiz olarak nitelenen alanlarda oluşmuştur. Olayların irdelenmesi göl alanlarının dolmasının büyük depremlere bile neden olabileceğini göstermiştir. Bu olgular özellikle depremsiz bölgelerde —büyük bent tasarımlarına sismik yönden yeni sorunlar getirmiştir* Bu nedenle depremsiz bölgelerde tasarımılanan bentler için aşağıdaki sorunların yanıtları gereklidir.

1) Edilgenliği saptanan 10-20 km, uzunluğundaki bir faym göl alanından geçmesi durumunda olası faylanmalara karşın bent yapılmalı mı?

2) Göl alanının dolması ile etkinlik kazanan faylara karşın alınacak önlemler nelerdir,,?

Bu koşullarda oluşan yüzeysel faylanma aşağıdaki nitelikleri içermektedir. Tartışmalara ışık tutacak olan bu niteliklere özen gösterilmelidir:

1) Göl alanının oluşturduğu depremler en fazla $M = 6.4$ şiddetinde olmuştur. Bu şiddetdeki depremlerin belirli atımlara neden olması olağandır.

2) Göl alanının oluşturduğu depremler faylar üzerindedir.

3) Bu tür depremler sığdır.

4) Birçok alanlarda yapılan odak mekanizması çalışmaları, anılan depremlerin suyun direk etkisinden çok, tektonik gerilim özgürleşmesinden ötürü oluştuğunu kanıtlamıştır. Bu nedenle, depremsiz bölgede bile olsa, göl alanının oluşturduğu depremler normal tektonik devinimlerdir, diğer depremler gibi yüzey faylanması neden olabilirler. Ancak bu tür depremlerin çok seyrek olduğu da gerçektir.

ETKİN FAYLARA KABŞI ÖNLEMLEE

Beton bentler© karp dolgu bentler

Etkin fayların bent temellerini kestiği alanlarda beton bentlerden kaçınılmalıdır. Bu anlayış endüstride genel bir olgudur. Etkin fayların oluşturduğu biçim değiştirmelere (deformasyon) dolgu bentler genellikle karşı koyabilirler, öte yanda beton bentlerin durumu tartışma konusudur,

Dolgu bentler için en Önemli sorun faydalanma sırasında oluşacak çatlaklardan suyun kaçmasıdır. Ancak böyle bir tehlike iyi tasarımılanacak bir çekirdek ile denetlenebilir. Dolgu bentlerde, olası fay atımlarına karşı bendenin boyutlarına da (doruk uzunluğu ve genişliği, vb,,î özen gösterilmelidir.

Beton bentler doğaları gereği katı ve kırılıgandır. Birkaç örneğin dışında (beton ağırlık,,) bendenin güvenliği ana kaya ve çimento arasındaki bağlama (bond) kuvvetlerine bağlıdır. Düşey bileşenli bir fay atımı bu kuvvetleri ortadan kaldırır. Beton ağırlık bentlerdeki faylanma da, bent ile temel arasındaki kuvvetleri kopararak kaldırma (uplift) basıncını arttırır. Basınç temeldeki makaslama (kayma) direncini azaltarak bendenin yenilmesine neden olur. 1928 de Kafuf orniya'daki St.Franeis bendinde bu olaylar gözlenmiştir. Beton kemer bentlerde toe herhangi bir yönde oluşacak 0.25 - 0,50 m.lik bağil devimin bendi bütünüyle yener.

Uzmanlar deprem bölgelerinde bulunan, etkmMfi tam olarak santanamamış faylar üzerinde beton bentleri önermemektedirler. Ana neden, azda olsa faylanmış, olasılığının bulunmasıdır. Bent yenilmesinin sonuçlarının Önemli ilk evrede beton bentlerin tasarımlarda yeralmasını öngörmektedir.

Tasarımlarda dolgu bent seçiminin önemli yararları vardır. Temel kazısı sırasında fayların etkinliğini kanıtlayacak veriler gözlenmesi durumunda, tasarımda kolayca değişiklik yapılabilir. Beton bent için koşullar çok değişiktir, ya bendenin yapımı sürdürülür, ya da vazgeçilir. Birçok beton bent kazı sırasında gözlenen faylar nedeniyle dolgu bent olarak değiştirilmişlerdir. Buna karşın dolgu olarak tasarımılanıp sonradan beton bent olarak değiştirilen örnek yoktur.

İtki faylarında çıkan blokun (upthrowa blok) ve normal faylardaki düşen blakun (downthrown blok) birkaç kilometre Ötesinde tasarımılanan beton güvenliği çok kuşkuludur. Böyle bent yerleri ana faylar üzerindeki depremlerden etkilenirler ve en küçük devinimlere karşı bile önlem almak olanaksızdır.

Baylanmanın şiddeti ve atım türü

Bent tasarımcısı, faylanmanın olası şiddetini ve yönünü bilmek zorundadır. Dolgu bendi ve koruyucu çekirdeğini bu verilere göre tasarım layacaktır. Olasılıklarda jeoloji mühendisinin alan çalışmaları ve tarihsel deneylerden edinilen bilgiler temel olmaktadır. Kimi kez de genel gözlemlerle koşullar olasüamr.

Fay atımının bendenin uzun ekâesine göre olan yönü, faydalanmanın şiddeti kadar önemlidir, özellikle vadiye koşut uzanan normal fayların atımlanması, bent üzerinde diğer faylardan daha geniş çatlaklar ve kırıklar oluşturur,

İtki faylarının ve kimi doğrultu atımlı fayların atımlanması makaslama düzlemlerini basıklar (Compression), Buna karşın bent eksenini ile dar açı yapan düşey eğim-atımlı faylar bendenin ufalmasına ve büyük çatlakların oluşmasına neden olur,

Faylanmanın olasılanmasında "bağil etkinlik" temel alınamaz, karşıt durumda yanlış sonuçlara varılır,

DOLGU BENT TASAEİMLÂBI

Güvenlik için temel veriler

Coyote, Cedar Spring ve Palmdale bentleri, temel mühendislerine, faylanma olasılığına karşın dolgu bentlerin güvenle faylar üzerinde inşa

edilebileceğini kamtlamıştır. Güvenilirliğin iki ana temeli vardır; etkin faylar boyunca en fazla atımın 5 - 7 m, ortalama atımın 1 m, veya daha az olacağı geçmiş yıllardaki gözlemlerle saptanmıştır. Sadece belli başlı ana faylar üzerinde 10 m.lik atımlar gelişmiştir. İkincisi, deprem şiddeti ne olursa olsun» dolgu bentler istenilen nitelikte tasarımlanabilir,

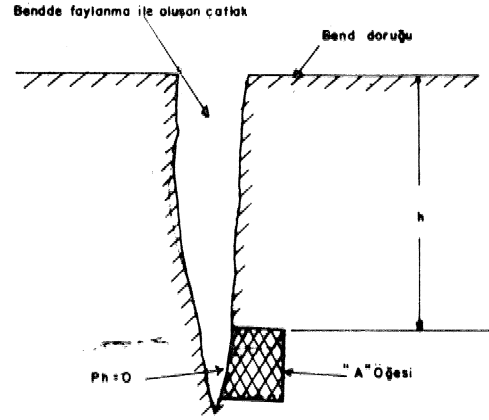
Kitişimsiz (rohesionlesK) gereçlerde çallak oluşmaz

Kum, çakıl, Kum-çakıl karışımı ve sert kayalar parçaları çok ince taneli (kil, süt) gereçlerden arınmış durumda bitişimsizdirler, çimentolaşma olmaz. Bundan ötürü anılan türdeki gereçler, belirli bir yükseklikte düşey olarak desteklenmeden durayızdırlar ve bu kütlelerde çatlak oluşması olanaksızdır. Paylanma ile oluşacak herhangi bir çatlak anında çeperlerin çökmesi ile kapanır. Bu özellik dolgu bentlerde kırılmaya karşı olumlu biçimde kullanılır.

Deneyler, yüksek dolgu bentlerde farklı oturmalardan dolayı çatlak oluştuğunu doğrulamıştır. Bu tür olumsuzluklar bitişimsiz geçiş kuşakları ile önlenmektedir, Faylanma ve farklı oturmalara karşı özdeş önlemler alınır, sadece faylanma durumu için geçiş kuşakları daha kalın olur.

Dolgu bentde kırık oluşabilmesi için, dolgu gerecinde kırıkların kapanmasını önleyecek yeterli baskılama direnci olması gerekir. Olayın mekanizması Çizim,6 da gösterilmiştir. Belirli h derinliğinde bir çatlak varsayılırsa, düşey düzlemdeki "a" ögesindeki Pv düşey gerilimi örtü kalınlığı ile Örtünün özgül ağırlığına eşittir, ($P_v = h \cdot \gamma$), Çatlak açık olduğu için yatay gerilim (P_h) yoktur. Bu nedenle çatlakın açık kalabilmesi için "a" ögesi üzerindeki tutuksuz (unconfined) baskılama (compressive) direncinin (u), düşey gerilimden fazla olması gerekir, Karşın durumda "a" Ögesi baskılama ile yenilir ve çatlak kapanır, Kırığın kapanmadan dayanabi-

leceği en fazla derinlik $h_{max} = \frac{u}{\gamma}$ dir. Bitişimsiz kuşaklarda $u = 0$ olduğundan çatlak oluşmaz* Dolgu bentlerde geçirimsiz çekirdek gereci olarak kullanılan sıkıştırılmış ince tanelile-



γ : Dolgu gerecinin özgül ağırlığı (2 ton/m³)
 u : Dolgu gerecinin tutuksuz (unconfined) baskılama direnci (Ton/m²)

Eğer $u > P_v = \gamma h$ ise çatlak açık kalır

Çatlakın oluşabileceği max. derinlik : $h_{max} = \frac{u}{\gamma}$

Bitişimsiz zemin için $u < 5 \text{ ton/m}^2$ ve $h_{max} < 5/2$

Sıkıştırılmış kil çekirdek için $20 < u < 40 \text{ ton/m}^2$

Çizim 6: Dolgu bentlerde açık çatlakların kuramsal derinliği.

rin tutuksuz baskılama direnci 20 — 40 ton/m² ve özgül ağırlıkları 2 ton/m³ dür. Bu verilerden

($h_{max} = \frac{u}{\gamma}$ formülünden) çatlakların 10 — 20

m* derinlikte kapanmadan durabileceği görülür, daha derinlerde ise akışkan basıncının yokluğu varsayılırsa-çatlakların kapanacağı sonucu çıkar. Yüksek toprak dolgu bentlerde doruğun 30 m. altında sızma kanallarının oluşması olanaksız görülmektedir.

Doğadaki kum ve çakü gökelleri kimi zaman yer yer gimentoludur, nehir yataklarında bu olgu gözlenir. Doğal çimentolaşma olayı kimi kez, geçirimsiz kuşaktaki kum-çakıl gereçlerinin de umm süre içinde çeşitli nedenlerle çimentoiaşacağı kuşkusunu yaratmaktadır, Doğal kü ve çakıllarda çimentolaşma killi gereçlerin veya yeralı suyunun kimyasal çökelleri aracılığı ile olmaktadır, Bu nedenle temiz doğal kum ve çaküların-sıkıştırılmış olsa bile-çimentoiiaşmasından kuşulanmak yersizdir, 100-200 yıl gibi sürede, basmçda olsa, bu gereçler doğal özelliklerini korurlar. Bu olgu ana kayanın en az aşman ve en sert parçalarından oluşan alüvyon kum ve

çakılları içinde doğrudur. Kimi çok ayrılmış eski alüvyon tarağa çökelleri ve ocaktan alınmış yumuşak kayalarda yeniden çimentolaşma beklenebilir. Bu tür gereçlerin bitişimsiz geçiş kuşağı olarak (cohesionless transition zone) kullanmasından kaçınılmalıdır,

Büyük kaçaklar genellikle denetlenebilir

"Çatlak önleyici" olarak kullanılan bitişimsiz geçiş kuşakları, geçirimsiz çekirdekte kimi nedenlerle çok büyük çatlaklar oluşsa bile, kaçakları istenilen güvenlik sınırları içinde tutacak nitelikte tasarlanabilir. Kaçakların denetimi, akış aşığıda iri taneli ve geçirimsiz gereçlerden oluşan bir geçiş kuşağı ile olanaklıdır. Böylece kaçak su geçiş kuşağından kaya dolgu kuşağına, buradan da akışaşağı gider.

Geçiş kuşağının (Transition Zone) geçirimsizliği kaya dolgu kuşağın geçirimsizliğinden birkaç kat az olacağından, kaçak suyun niceliği (miktarı) her zaman kaya dolgu kuşağın hidrolik yetisinin (kapasitesinin) altında kalacaktır. Geçiş kuşağının ve kaya dolgu kuşağın bağıl derecelenmesi öyle olmalı ki, geçiş kuşağı gereçleri kaya dolgu kuşaktaki boşluklara girmemeli. Bu tasarım uygulanırsa olası kaçak niceliği, akışaşağı kaya dolgu geçişin topuğundan denetimle akaçlanabilir.

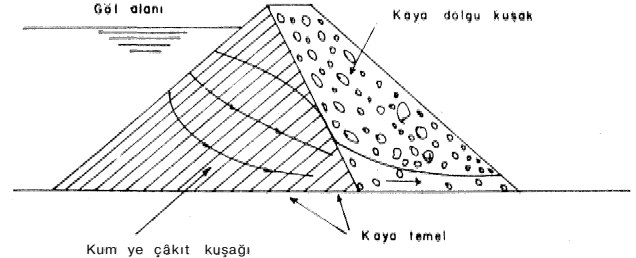
Yukarıda özetlenen kuramsal olguların yanı sıra, uygulamada akışaşağı kaya dolgu kuşağın görevini yaptığı birçok örnekler vardır. Bu örneklerde, kaya dolgu kuşaktan geçecek suyun bütünüyle, akış yukarıda bulunan ince taneli kuşağın geçirimsizliği ile iyi denetlenmesi durumunda kaya dolgu kuşağın duraylılığının etkinlenmeyeceği doğrulanmıştır,

1964 Hell Köle bendinin yenilmesine sık sık kaya dolgu kuşağın yenilmesi neden olarak gösterilmektedir. Hell Hole bendi, yapım sırasında göl alanının fırtına ile yükselmesi ve tamamlanmamış bendi aşması ile yenilmiştir, Fırtınanın akış yukarı geçiş kuşağı tamamlanmadığı için su doğrudan doğruya kaya dolgu kuşaktan geçmiştir.

Basitleştirilmiş bir güvenli bent örneği

Temel faylarının atımlanmasının neden olduğu kırılmalara karşı dolgu bendin iki güvenli

ögesi vardır; bitifimsiz geçiş kuşağı ve kaya dolgu akışaşağı kuşağı*. Çizim 7.*. de bu ögeleri içeren bir dolgu bent gösterilmiştir. Bu bentde kaçakların bağı niceliği diğerlerine göre fazladır, ancak bütünüyle güvenli olduğu bir gerçektir.



Çizim 1: Dolgu bentlerde faylanmaya karşı güvenliliğini sağlayan iki ana ögesini gösteren basit bir örnek çizim.

Örnek olarak akışyukarı kuşağın iri, iyi bağlanmış kum-çakıl içerdiği varsayalım (Çizim 7). Derecelenmeye bağımlı olarak, bu tür gereçten oluşmuş bir dolgu kuşağının geçirimsizlik katsayısı $10^{-2} - 10^{-4}$ cm/sn arasında değişir. Akış yukarı kuşakta hidrolik eğim 1.0'ten 100 m yüksekliğindeki dolgu bendin anılan kuşağına su kaçağı :

$$k = 10^{-4} \text{ em}/10^4 \text{ m/sn}$$

$$i = 1,0$$

$$Q = kiA = (10^{-4} \text{ m/sn}) (1) (100 \text{ m})$$

$$Q = 10 \text{ litre/an/m}$$

Açıkça görüldüğü gibi bu nicelikteki su kaçakları kaya dolgu kuşakla kolaylıkla ve güven içinde akaçlanır. Eğer bent ani faylanma ile kırılırsa akışyukardaki kum-çakıl gerecinin makaslanarak gevşemesi geçirimsizliği arttırır. Buna karşın kaya dolgu gerecin kütsel hidrolik yetisi böyle durumlar için yeterli olacak biçimde tasarlanır.

Büyük nicelikteki su kaçaklarının kaya dolgu kuşaktan güvenle geçebileceğini doğrulamak için laboratuvar ve matematiksel deneyler yapılmıştır. Leps (1071) yaptığı deneylerle kaya dolgu kuşaktan yüzlerce m^3/sn suyun akması durumunda bile dolgu bendin yenilmeyeceğini kanıtlamıştır. Bu gerçekten yararlanarak dolusavak sularının akışaşağı kaya dolgu kuşaktan akaçlandığı bentlerde kurulmuştur. Kimi bentlerde de geçirimsiz kuşağın bitirilmemesinden önce gelişen su baskınları zarar vermeden kaya dolgu kuşaktan akaçlanmıştır,

Başka bir örnek

Dix River bendi 85 m. yükseklikte beton kaplamalı ve kayadolgu olarak kurulmuştur, Kuruluş sırasında (1925) beton kaplamadan önce büyük bir taşkın meydana gelmiş ve gol alanı 18 m, yükselmiştir. Su, bende zarar vermeden 85 m³/sn debi ile 6 günde akaçlanmıştır*

TASARIM YÖNTEBİLEBİ

Faydalanma olasılığı bulunan herhangi bir bent yerinde, tasarımlar büyük deprem olasılığına da özen göstererek, depreme dayanacak nitelikte yapılmalıdır. Deprem sırasında dolgu bendin çekirdeğinde oluşacak çatlaklara karşı alınacak önlemler faylanmaya karşı da güvenliği arttırmaktadır. Dolgu bentlerin tasarımları oldukça yoğun bir konudur, burada önemli birkaç konu vurgulanacaktır*

Deprem alanlarındaki bentlerin kazısı ve kuruluşu sırasında ikincil faylarla karşılaşılması olağandır. Önemsiz görünmesine karşın bu faylar etkinlikleri yönünden ve yaratabileceği sorunlar açısından irdelenmelidirler* Bu nedenle deprem bölgelerindeki bentler ve göl alanları kazı ve kuruluş sırasında yüzieklenen fayların en küçük olası atımlarına bile özenerek tasarımılanmalıdır.

Bendin güvenliğini sağlayan ana öğelerin (doruk genişliği, bîtişimsiz geçiş kaynağı,*) seçimi, olası faylanmaları gözonüne alarak yapılmalıdır. Kuşkusuz olasiliklarâa güvenilir sayısal değerler vermek zordur, ancak deprem bölgelerinde ve nüfus yoğunluğunun fazla olduğu alanlarda kurulacak bentlerin tasarımları daha

ayrıntılı olmalı, olasılık sınırları daha geniş tutulmalıdır* Bu, özellikle büyük göl alanı bentler için zorunludur.

Bendin doruğu en duyarlı öğedir* İnce olması nedeniyle, oluşacak çatlakları kapatacak içsel basıncı çok azdır. Bütün bentlerde güvenlik sorununun doruklarda yoğunlaştığı düşünülerek, dorukda iyi bir kuşaklama oluşturmak, genişliğini ve dalga payını çok ayrıntılı tasarımılamak gerekir*

Paylanmanın sonuçları temelin aşınma direncine bağlıdır. Sert kayaya oturtulmayan, özellikle aşınma direnci düşük olan temellerde, suyun temelin altından geçerken uzun yol katedmesini sağlayacak biçimde tasarımılanmalıdır*

Bitişimsiz geçiş kuşakları her zaman kullanılmalıdır, Bendin faylanmaya karşı güvenliği geçiş kuşaklarının kalınlığı ile doğru orantılıdır. Geçiş kuşakları için bitevil ve güvenilir nitelikteki gereçler kullanılmadan önce elekten geçirilmeli ve yıkanmalıdır. Gereçlerin bol olduğu yerlerde, yıkama ve elekten geçirme işlemlerinden ekonomik yönden kaçınmak zorunlu ise, geçiş kuşakları daha geniş tutularak gereçlerin bitevilsizliğinin olumsuz sonuçları giderilir, tnce taneli gereç içeren kuşak bitişimsiz olmalıdır. Bu küfâk "çatlak önleyici*" görevi ile birlikte doğal filtre gibi davranarak içsel borulanmalara karşı duyarlılığı sağlamaktadır. Anılan kuşakta kullanılacak gereç, öteki kuşaklardaki boşluklara yıkanmayacak boyutlarda olmalıdır.

Geçirimsiz çekirdek gereçlerinin nitelikleri o denli önemli değildir, her tür çekirdek gereci Dİâbilir. Çok uzaklardan getirmek için yapılacak harcamanın, geçiş kuşaklarının geliştirilmesi için harcanması yeğ tutulur*