

TÜRKİYE'DE YÜZEY FAYLANMASI TEHLİKESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE FAY SAKINIM BANTLARININ OLUŞTURULMASI

Şule GÜRBOĞA*, Oktay GÖKÇE** ve Mustafa Kemal TÜFEKÇİ**

ÖZET

Yüzeysel faylanma tehlikesi ve bu tehlikeye bağlı olarak fay sakinim bantlarının (tampon bölgelerin) oluşturulması, özellikle sınırları içinde yıkıcı deprem oluşturmuş birçok aktif fay bulunan ülkelerin üzerinde titizlikle çalıştığı ve hala çalışmaya devam ettiği önemli ve bir o kadar da bilinmeyen mevcut olan bir konudur. Bazı ülkeler tarafından detaylı olarak çalışılıp kanunlar çerçevesinde kurallara bağlanan fay sakinim bantlarının oluşturulması, maalesef ki aktif faylar ve yıkıcı depremler bakımından büyük bir potansiyele sahip olan ülkemizde hiçbir yasal temele dayanmamakta ve yapılan çok sınırlı sayıda uygulamalarda yeterince kabul görememektedir. İşte bu ihtiyaç nedeniyle 2008 yılında başlayan ve Kalkınma Bakanlığı tarafından desteklenen 2008K140040 proje numaralı "Aktif Faylar Çevresinde Tampon Bölge Oluşturma Kriterlerinin Belirlenmesi" başlıklı bu çalışma 2013 yılında tamamlanmıştır. Proje sonuç raporu kitap haline getirilerek ülkemizde bu konuda yayımlanan ilk basılı kaynak niteliği taşımaktadır.

Özetle, bu çalışmanın temel amacı yüzey faylanma tehlikesinin oluşumunu, ortaya

çıkardığı yeryuvarındaki deformasyon ve potansiyel sonuçlarını, fay haritalarının kullanımına ilişkin hususları ortaya koymaktır. Bunun sonucunda ise meydana gelecek tehlikenin arazi kullanımı, yerleşime uygunluk ve ilgili mevzuatta nasıl tanımlanması ve yönetilmesine ilişkin ihtimallerin tartışılmasını amaçlamaktadır. Ayrıca, ilerde yasal olarak bir düzenleme yapılması öngörülerek örnek rapor formatı da çalışmanın asıl kopyasında ek olarak sunulmuştur. Başta planlamadan sorumlu yerel yönetimler olmak üzere ilgili kişiler için bir kılavuz niteliğinde hazırlanan bu çalışma; şehir bölge plancılar, afet ve acil durum yöneticileri, yer bilimciler ve inşaat sektöründe çalışan kişilere yüzey faylanma tehlikesinin dünyada nasıl değerlendirildiği bilgisini ve ülkemizde nasıl olması konusunda öneriler sunan bilimsel bir durum raporu niteliği taşımaktadır. Bu makalede, 384 sayfalık kitabımızın önemli bazı bölümleri seçilerek özetlenmiştir.

Yüzeysel Faylanma Tehlikesi Nedir ve Neden Önemlidir?

Yüzeysel faylanma, bir faydan kaynaklanacak orta büyüklük ($M \geq 6$) veya üzerindeki bir deprem sonucunda yer yüzeyinde ortaya çıkabilecek deformasyondur. Bu deformasyon kısaca yer yüzeyinin ilksel görünümünün kaybolması ve fayın türüne bağlı olarak ta gelişen yer değiştirme miktarı olarak özetlenebilir. Örneğin doğrultu atımlı faylarda yanıl hareket veya yanıl yer değiştirmeler gözlenirken (Şekil 1), normal faylarda düşey yönlü yer değiştirmeler ortaya çıkmaktadır (Şekil 2).



Şekil 1- 12 Kasım 1999 Düzce Depremi yüzey kırığı sağ yanıl doğrultu atımlı fay örneği.

* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü,

** Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı,



Şekil 2- 1970 Gediz depreminde Erdoğmuş Köyü yakın batısında meydana gelen yüzey kırığı (yaklaşık D-B gidişli), BGB'ya bakış (Gürboğa, 2011).

Yüzey faylanmasının meydana gelebilmesi ve oluşacak yer değiştirimin miktarı; depremin büyüklüğü, odak derinliği, fay geometrisi, kırılma süreci ve yayılımı, fayın etkilediği ve yüzeye yakın birimlerin içsel özellikleri (rheology) ile doğrudan ilişkilidir. Bilinen bu parametreler dışında henüz birikim oranı tam olarak tespit edilemeyen ve depreme sebep olan enerji miktarı da önemli bir faktördür. Hasar verici depremler, yüzey faylanması oluştursun veya oluşturmasını ortaya çıkaracağı güçlü yer sarsıntısı, zemin sıvılaşması, tsunami, kaya düşmesi ve heyelanlar gibi ikincil tehlikelere de yol açabilmektedir. Bu nedenle, mümkün olduğu kadarıyla bina ve mühendislik yapılarının uygun zemin koşulları olan yerlere inşa edilmesi, bu koşullar mevcut değil ise gerekli önlemler alınarak yapılaşmanın yapılması gerekmektedir. Ancak, yüzey faylanmasının gerçekleştiği hatlar ve alanlar boyunca zemine bağlı olmaksızın ağır hasarların oluşması olasılığı oldukça yüksektir. Bu yüzden yüzey faylanması riskinin dikkatle incelenmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Yüzey faylanması hem yerleşim yerlerindeki binalara hem de büyük mühendislik

yapılarına (yollar, demiryolları, kanallar ve su, doğalgaz, petrol boru hatları, köprüler, tüneller ve viyadükler gibi) büyük hasarlar vermekte ve önemli kesintilere neden olmaktadır. Bu nedenle, yüzey faylanması özellikle büyük depremlerin gerçekleştiği zamanlarda hayati sonuçlar doğurması nedeniyle yüksek risklerin ortaya çıkmasında başlıca kriterler arasında yer almaktadır. Birçok durumda, yüzey faylanması riskini azaltmanın en kolay ve hesaplı yolu, ondan kaçınmak olarak değerlendirilse de bazen bu mümkün olamamaktadır. Bu yüzden, yüzey faylanmasının bir yerde varlığını ya da yokluğunu saptamak ve varsa konumunu, fay geometrisini, yer değiştirme miktarını, yüzeydeki yer biriminin (toprak ya da kaya) içsel özelliğini ve faylanmanın üzerinde yer alacak yapılara etkisini raporlamak gereklidir (Rathje vd., 2010). Bu tür çalışmaların yapılabilmesi için direk olarak aktif fay araştırmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu noktada sorulması ve cevaplanması gereken bazı önemli sorular ortaya çıkmaktadır. Aktif fay çalışmalarının yüzey faylanması konusunda tehlikesini ortaya koymadan önce dünyada yapılan uygulamalar ve yasal düzenlemeler hakkında bilgi vermek gerekmektedir.

Diğer Ülkelerde Yüzey Faylanması Hakkındaki Mevzuatlar

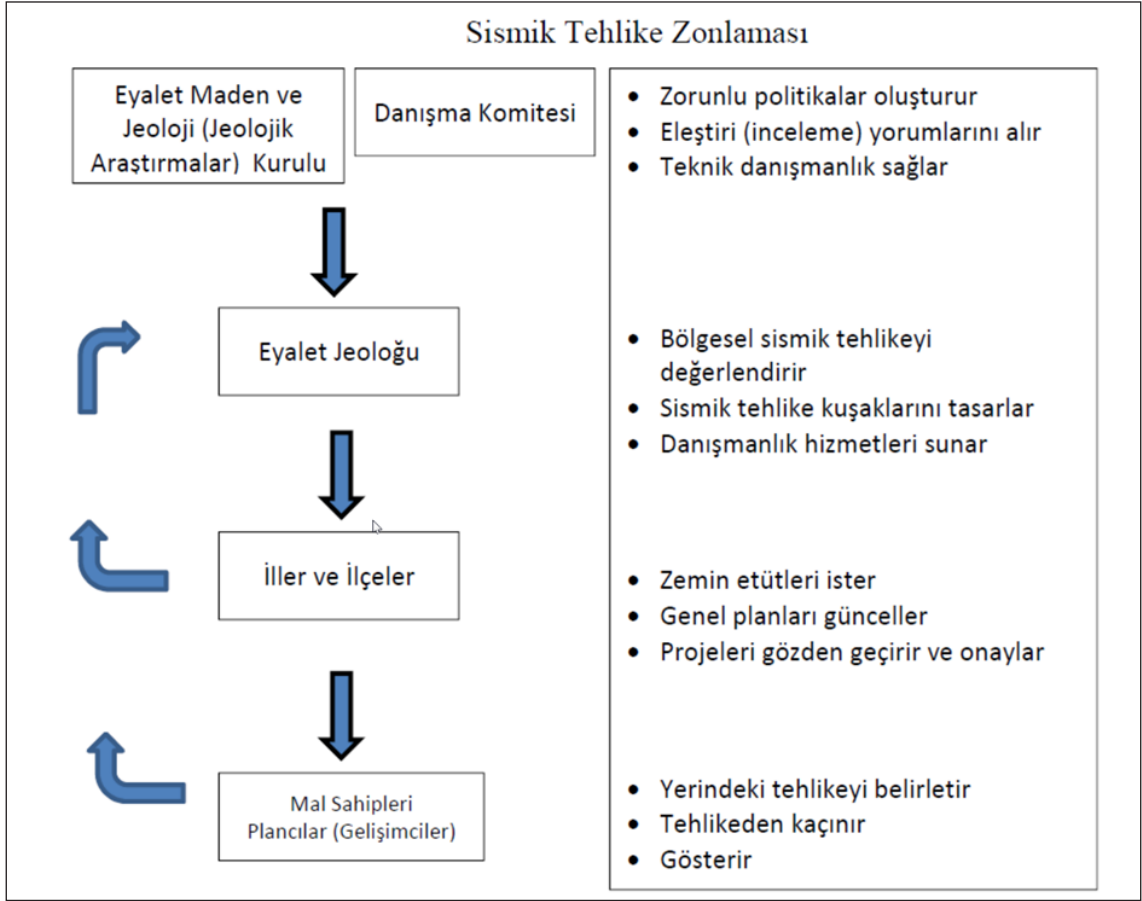
Dünya üzerinde yüzey faylanması tehlikesi konusunu yasal mevzuatla uygulamaya çalışan az sayıda yönetim bulunmaktadır. Bunlar, ABD’de Utah ve Kaliforniya eyaletlerinde yasal düzenlemeler yapılmış; Tayvan, Yeni Zelanda, İtalya ve Japonya ise bazı düzenleme ve yaklaşımlar yer almaktadır.

ABD bünyesinde bulunan ve yıkıcı deprem üreten diri faylar nedeniyle yüzey kırığı oluşumu bakımında dünyada önde gelen ülkelerden biridir. Bu faylardan en önemlisi büyük bir kısmı Kaliforniya eyaletinde bulunan San Andreas fayıdır ve bu yapı KB-GD yöneline sahip doğrultu atımlı bir faydır. Bu nedenle, diri faylar özellikle halkın hayatını ciddi oranda tehdit ettiği için uygulamaya yönelik alanlarda daha ciddi çalışılmış ve kanunlarla güvence altına alınmıştır. İlgili kanun Alquist-Priolo Deprem Fay Kuşakları Kanunu (The Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act) olarak adlandırılmış ve 1972’ de yürürlüğe girmiştir. Zaman içinde değişiklikler ve iyileştirmeler yapılarak bugünkü halini almıştır. Bu yasaya göre zemin etüt çalışmaları da dahil yayınlanmış ve yayınlanmamış tüm mevcut literatür değerlendirilmeli, ötelenmiş en genç birimler ile ötelenmemiş en yaşlı birimler tespit edilmeli ve diğer çalışmacılar tarafından haritalanmış fay konumlarının doğruluğu değerlendirilmelidir. Genç faylar tarafından şekillendirilmiş yapılar araştırılmalı, jeomorfolojik fay belirteçleri incelenmelidir. Genç jeomorfolojik yapıların ötelenmiş olup olmadıkları belirlenmeli ve 1/25.000 ölçekli altlık topoğrafik haritalar üzerine fay izleri haritalanmalıdır. Kanuna göre bu aşamadan sonra, “Eyalet Jeoloğunun” kontrol edip oluşturduğu haritalara basılan faylar ve çevresindeki kuşaklar içinde yapılaşmaya gidilmek istenirse, detaylı yüzey faylanması tehlikesi çalışması istenir ve bunlar belediye tarafından (city/county geologist) onaylanır. Yasa gereği, diri faylar üzerinde “proje (yerleşim amaçlı yapı)” olarak tanımlanan insan barınması için gerekli hiç bir yapıya izin verilmez. Ayrıntılı jeolojik çalışmalar yapılmadıkça ve yapılıncaya kadar, bir diri fay izinin her iki tarafından onbeşer metrelik uzaklık içerisinde yer alan

kuşakta fayın diri kollarının uzanabileceği varsayılır. Elbette bu 15 metre ölçütü, faydan en düşük uzaklığı ifade etmektedir. Buna karşılık yasa, gökdelenler, hastaneler ya da okullar gibi kritik yapılar için çok daha sıkı ölçütler içermektedir. Önceki haritalarda kuşak sınırları, kesin olarak belirlenmemiş fay izleri ve diri fay kollarından itibaren iki yüz metre uzaklıklardan geçirilmiştir. 1977 yılından itibaren Kuşaklama Sınırları ana faylardan itibaren yüz elliser metre; kesin olarak belirlenmiş küçük faylardan itibaren altmış ila doksana metre uzaklıklardan geçirilmiştir. Ancak, yerel olarak karmaşık olan faylar ve düşey atımlı faylar (ters ve normal faylar) için bu kriterler geçerli değildir. Bu konunun detayı ve nedenleri tartışma kısmında verilecektir. Sismik Tehlikelerin Haritalanması Kanunu (Seismic Hazard Mapping Act-SHMA), Alquist-Priolo Kanunu (AP)’ndan sonra modellenmiştir. Esasen, SHMA’ nın uygulanması, AP’ninkiyle aynıdır. İki kanun arasındaki en büyük fark, AP Kanun’unun yüzey faylanması tehlikesinden doğrudan kaçınarak risk azaltmayı amaçlaması, SHMA’ nın ise mühendislik tasarımları vasıtasıyla risk azaltma yoluna gitmesidir (Bryant, 2006). Özetle, uzaklaşılması gereken alanlarda yapılaşma yapmamak ve başka çözüm olmayan riskli alanlarda ise yapılaşmayı çok sıkı kurallara bağlamak amaçlanmıştır. Sismik risk çalışmalarında izlenmesi gereken akış şeması şekil 3’te özetlenmiştir.

ABD’de yüzey faylanmalarıyla ilgili görebileceğimiz diğer bir örnek Utah Eyaleti’ndendir. Christenson vd. (2003), “Utah’ da Yüzey Faylanması Değerlendirmesi Rehberi” adlı çalışmalarında bu hususu detaylıca anlatmaktadırlar. Bu rehberin öne çıkan kısımları kısaca özetlenirse:

Yüzey faylanması tehlikesi değerlendirilirken ilk yapılması gereken fayın aktivite düzeyinin belirlenmesidir. Böylelikle, geçmiş depremler incelenip ancak bu sayede fayın gelecekte üretmesi muhtemel depremlerin boyutu hakkında bilgi sahibi olunabilir. Bu çalışma kapsamında üç grup fay tanımı yapılmış ve bu sınıflama üzerinden çalışmaların yürütülmesi uygun görülmüştür:



Şekil 3- Sismik tehlike zonlama çalışmalarını karakterize eden basitleştirilmiş akış şeması.

- Holosen Fayı – Son 10.000 yıl içinde hareket etmiş fay

- Geç Kuvaterner Fayı – Son 130.000 yıl içinde hareket etmiş fay

- Kuvaterner Fayı – Son 1.600.000 yıl içinde hareket etmiş fay

UGS, tersi detaylı çalışmalarla belirlenmedikçe, tüm fayların holosen fay aktivite sınıfına sokulması gerektiğini tavsiye eder. En son yüzey faylanmasının belirlenmesi için yapılması gereken tipik paleosismik çalışmalar McCalpin (1996) da ana hatlarıyla belirtilmiştir. Bu sınıflamanın yanı sıra, diri faylar ayrıca yüzeyde gözlenen veya gözlenmeyen olarakta iki gruba ayrılmıştır. Bu sınıflama da fay çekme mesafesi olarak ta adlandırabileceğimiz tampon bölge (yapılaşmaya kapalı bölge) çalışmalarında farklılaşmaya neden olmaktadır.

İyi Tanımlı Fay: Yüzey faylanması çalışmalarını yürütebilme yeteneklerine sahip bir jeoloji mühendisi tarafından, yüzeyde ya da hemen yüzeyin altında fiziksel bir yapı olarak açık bir şekilde takip edilebilir fay izine sahip faylar (jeolojik haritalarda kesintisiz bir çizgi ile gösterilirler). Tavsiye edilen çalışma alanı, yatayda haritalanmış fay izinin ya da bir fay kuşağının en dıştaki fayından düşen blokta ~150 m (500 feet) ve yükselen blokta ~75 m (250 feet) genişliğe ulaşmalıdır. Yüksek dikliğe ya da yar bulunan yerlerde 75 metrelik mesafe yükselen blokta yarın en üst noktasına erişmiyorsa, bu blokta da 150 m genişliğe arttırılabilir (Robison, 1993).

Gömülü (gizli) ya da yaklaşık konumlandırılmış fay: Genellikle iyi tanımlı fay izlerinin arasında bulunan, belirli bir mesafe için fay izinin belirgin olmadığı ya da yer yüzeyinin hemen altında olduğu kısımlar (jeolojik haritalarda gömülü faylar noktalardan oluşan çizgi ve yaklaşık konumlandırılmış fay)

kesikli çizgi ile gösterilir. Tavsiye edilen çalışma alanı genişliği yatayda tahmin edilen fay izinin her iki tarafında 300 m dir.

Çekme mesafesi hesaplamasında kullanılan farklı uygulamaları standart hale Batatian ve Nelson (1999) özellikle normal faylarda çekme mesafe hesabı ile ilgili detaylı bir öneride bulunmuşlardır. Minimum çekme mesafeleri aşağıdaki gibi hesaplanır ve yine aşağıda verilen tablodaki çekme mesafeleri ile karşılaştırılır. Yüzey faylanması çekme mesafeleri (sakinim bandı) hem tavan hem de taban blok için uygulanır. Aşağı düşen blok - tavan blok (Hanging Wall Block) mesafesi aşağıdaki formülle bulunur:

$$S = U (2D + F/\tan \theta)$$

Burada: S= İkamete ve yapılaşmaya yasaklı çekme mesafesi;

U= Kritiklik Faktörü (Yapısal öneme göre tablodan (ICC, 2000; 2003) belirlenir)

D= Olay başına beklenen fay yer değiştirmesi (geçmişteki her bir olay için ölçülmüş net dikey yer değiştirmeye eşit olduğu varsayılır)

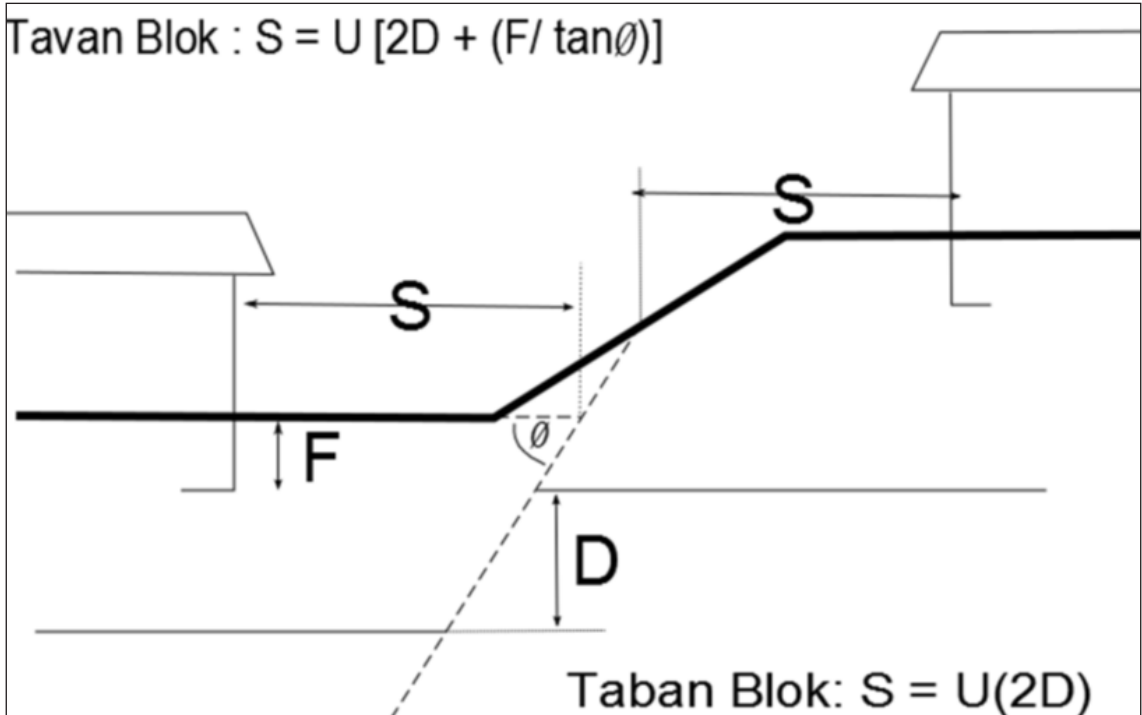
F= Binanın temelinin ya da yüzey altında kalan kısmının derinliği

θ = Fayın eğim derecesini belirtir.

Tüm birimler "feet" şeklindedir. Şekil 4 eşitlikteki değişkenleri göstermektedir. Yükselen blok – taban blok (Footwall Block): Fayın eğimi ve binanın yüzeyin altında kalan kısmı taban blok için yapılan hesaplamalarda ilişkisiz parametrelerdir. Bu yüzden, formül aşağıdaki gibi değişir: $S = U \times 2D$

Formülde de görüleceği gibi sakinim bantlarının diğer adıyla çekme mesafelerinin oluşturulması için faya ait tüm parametrelerin ve ürettiği önceki yıkıcı depremlere ilişkin bazı bilgilerin biliniyor olması gerekmektedir.

Japonya'da yüzey faylanmasına yönelik olarak doğrudan bir yasal düzenleme olmasına rağmen özellikle mekânsal düzenleme politikalarının hedefinde afet zararlarının azaltılması için planlama süreçleri birçok önemli kritere tabi tutulmaktadır. Özellikle deprem ve sonucunda meydana gelen yangın olaylarından oluşacak risklerin en aza indirilmesi için kentsel planlama alanları "kentsel gelişmenin özendirileceği alanlar" ve "kentsel gelişmenin denetleneceği alanlar" olarak ayrılmıştır. Bu kapsamda maksimum önlemler alınarak yapılaşma süreci



Şekil 4- Çekme mesafelerini belirlemek için kullanılan formüller ve şematik diyagram (Christenson vd., 2003)

yönetilmektedir. Bunun yanında, son yıllarda Matsumoto, Yokosuka ve Nishinomiya Belediyeleri yüzey faylanması tehlikesi için lokal olarak kendi mevzuatlarını oluşturmuşlardır.

Yeni Zelanda, yerel yönetimlere verdiği yetkiyle fay zonlarının ve taşkın alanlarının belirlenmesi, geçmişteki afet istatistikleri ve hasar verilerinin toplanması, mikrobölgeleme çalışmalarının yapılması veya yaptırılması, afetler konusunda halkın bilgilendirilmesi ve bilinçlendirilmesi faaliyetlerini başarıyla yürütmektedir. Bu kapsamda yer bilimsel çalışmaların yürütülmesi büyük bir hızla devam etmektedir.

Avrupa birliği kapsamında yürütülen Eurocode 8 çalışmalarında aşağıdaki ilgili bölüm yer almaktadır:

Yer seçimi kistası olarak Eurocode 8, inşaat mahallinin iyice etüt edilerek deprem sırasında faylanma, şev stabilitesi, sıvılaşma, zemin göçmesi gibi etkilerin asgariye indirilmesi için tedbir alınmasını şart koşmaktadır. Bu tür istenmeyen durumların ortaya çıkmasıyla ilgili olarak yapılması istenen etütler şunlardır:

Aktif faylara olan yakınlık; (1) Önem kat sayısı bakımından Eurocode 8 Bölüm 4.2.5' te tarif edilen II, III veya IV grubuna giren binalar, ilgili milli kurumlarca aktif fay olarak nitelendirilen alanların hemen yakınında inşa edilmeyecektir. (2) Geç Kuvaternerde herhangi bir harekete maruz kalmamış faylar kamunun güvenliği için kritik öneme sahip olmayan binaların hesabında aktif olarak adlandırılmayacaktır. (3) Nazım kent planlamasında ve yüksek deprem faaliyetindeki bölgelerde aktif faylara yakın mesafelerde inşa edilecek önemli yapıların hesabında yer yarılmaları ve yer hareketinin şiddetinin tayini açısından özel jeolojik etütler yapılmalıdır. Böylelikle Avrupa Birliği kapsamındaki ülkeler benzer çalışmaları yürütmek zorunluluğu ile karşı karşıyadır. Nitekim İtalya mikrobölgeleme çalışmalarına dayanarak belirgin fay izleri için 15 metrelik bir çekme mesafesinin, belirsiz fay izleri için ise 75 metrelik bir çekme mesafesinin kullanımını tavsiye eder.

Son olarak Tayvan 1999 yılında yaşadığı Chi-Chi depreminden sonra aşağıda listelenmiş önemli kararları uygulamaya almıştır:

1. Aktif fayların geçtiği alanlardaki kamusal binaların kullanımı yasaklanmıştır.

2. "Kentsel Olmayan Arazi Kullanımı Planlaması" mevzuatı tarafından yapılaşmaya izin verilen alanlar için (ülkemizdeki plansız alanlar yönetmeliği benzeri bir mevzuat), en fazla 2 katlı ya da 7 metreden kısa çiftlik evleri ve konutlara izin verilir.

3. Diğer alanlarda (Kentsel Olmayan Arazi Kullanımı Planlaması içeriği dışındaki), en fazla 2 katlı ya da 7 metreden kısa çiftlik evleri inşa edilebilir.

Ayrıca, aktif faylar 1/25.000 ölçekte haritalanmış ve 1/1.000 ölçekli haritalarda kesin haritalananlar için 15 metrelik çekme mesafesi uygulanmış ve yasalarla belirlenmiştir.

Sonuç olarak, tüm yasal uygulaması olan ülkelere bakıldığında ve çekme mesafesi konseptine uygun olarak diri fayların olduğu alanlarda mümkün olan en yüksek detaydaki yerbilimleri çalışmalarının yapılması gerekliliği ve zorunluluğu ortaya çıkmaktadır.

Çekme Mesafesi Oluşturmak İçin İhtiyaç Duyulan Veri Özellikleri

Büyük depremler sonucu oluşan yüzey faylanması tehlikesi, genellikle, oluşan sismik dalgaların neden olduğu tehlikeler kadar yaygın değildir. Yüzey faylanmasından kaynaklanan yapısal hasarlar, mevcut faylar boyunca birkaç on metrelik ya da daha dar bir kuşak boyunca sınırlıdır. Ancak, güçlü sismik dalgaların kaynak konumlarını tam ve doğru olarak belirleme zorluğu ile karşılaştırıldığında, jeolojik bilgileri kullanarak yüzey faylanması gerçekleştirilecek konumları tam ve doğru olarak belirlemek daha kolaydır. Bu nedenle, yüzey faylanması tehlikesinin bir risk oluşturmaması için gereken tüm jeolojik çalışmaların yapılarak önlemlerin alınması gerekmektedir. Kayaç(lar)ın bir düzlem boyunca gözle görülebilecek şekilde kayma göstermesi olayına faylanma, bu olay sonucu

oluşan kırığa ise fay kırığı adı verilir. Faylar, fay düzleminin doğrultusu, eğimi ya da her iki yönünde hareket veya atım gösterebilirler. Bu hareketin yönüne ve miktarına göre çeşitli fay sınıflamaları yapılmaktadır. Bir başka deyişle; bir fay düzleminin iki tarafında yer alan ve fay tarafından birbirine göre ötelenen kayalar fay bloklarını oluştururlar. Faylara ait tüm parametrelerin ortaya konması çekme mesafesi hesabının yapılabilmesine imkân sağlar. Aşağıda, çekme mesafesi hesabının yapılabilmesi için gereken bazı jeolojik bilgiler kısaca özetlenmiştir.

Fayların Belirlenmesi ve Haritalanması: Güncel çökelleri deformasyona uğratmış ve bazı jeolojik veriler veya güncel deprem kayıtları ışığında aktif olduğu bilinen ve yıkıcı deprem oluşturma potansiyeline sahip faylar, detaylı olarak incelenmeli ve belirlenmelidir. Bu sayede, diri olan ve olmayan faylar ayırt edilmeli ve bu doğrultuda çalışmalar yürütülmelidir. Yapılacak detaylı arazi çalışması sonucunda diri fayların yerleri mümkün olan en hassas şekilde tespit edilerek haritalanmalıdır. Böylelikle çekme mesafesinin kurgulanması mümkün olabilecektir.

Fay Türleri: Fayın her iki tarafında bulunan blokların yatay veya düşey hareket miktarları göz önüne alınarak yapılan değerlendirmede farklı fay türleri ortaya çıkmaktadır; (1) yanal atımlı faylar (doğrultu atımlı faylar), (2) düşey atımlı faylar (normal ve ters faylar). Ayrıca, ana hareket ile birlikte ikincil harekete sahip faylarda literatürde verev faylar olarak adlanır. Fay türleri ile ilgili daha detaylı bilgiler yapısal jeoloji kitaplarından elde edilebilir. Burada önemli olan konu fayın türüne bağlı olarak oluşturulacak çekme mesafesinin boyutlarıdır. Örneğin doğrultu atımlı bir fay sıçrama yaptığı alanlar dışında neredeyse çizgisellik özelliği gösterirken düşey atımlı faylarda yüzey kırığı daha geniş bir alanı kaplayabilmekte hatta bazen fayın yüzeyde tespit edilen izinden çok daha uzak mesafelerde yüzey deformasyonu şeklinde ortaya çıkabilmektedir. Bu durumda doğrultu atımlı faylarda göreceli olarak daha dar çekme mesafesi oluşturulurken, düşey atımlı faylar daha geniş ve bazen çekme mesafesi oluşturmaya imkân olamayacak genişlikte alanları

kapsayabilmektedir. Bu durumda çekme mesafesinin yapılması mümkün olmayacaktır.

Yerel Deformasyon ve Yer Değiştirme Miktarları: Faylar ve yakın civarında, yavaş (krip) ya da aniden gerçekleşebilen makaslama etkileri ve düşey ya da yatay bükülmeler gözlenebilir. Yüzey faylanması genellikle, birkaç metreden birkaç yüz metreye kadar değişebilen yatay ve düşey deformasyonlarla karakterize edilir. Deformasyonlar, esnemelerden, bükülmelerden, sürüklenmelerden ve birbirine yakın çatlaklardan ve/veya kırıklardan kaynaklanabilirler. Bu deformasyon oranı ve şekli bölgedeki tektonik durum hakkında bilgi vereceği için önemli bir kriterdir.

Jeolojik Zamanda Fayların Davranışı ve Tekrarlanma Aralığı: Tarihsel depremlerle ilişkili yüzey faylanmalarının jeolojik gözlemleri, yüzey faylanmalarının tamamına yakınının zaten mevcut olan faylar üzerinde gerçekleştiğini göstermektedir. Daha da ötesi, orta-büyük ölçekli fayların jeolojik geçmişte art arda hareket ettiklerini gösteren kanıtlar mevcuttur. Bunun sebebi, bir fayın her kaydığı zaman diğer faylar ve çatlakların uç kısımlarıyla birleşmesi ve sonucunda da zamanla daha büyük hale gelmesidir. Faylanmanın tekrarlanmalı doğası, jeolojik bilgiyi kullanarak, fayın gelecekteki aktivitesini tahmin etmek adına önemli bir temel sağlar. Son jeolojik dönemde aktif bir fayda meydana gelen her bir faylanmanın tarihlendirilmesi, gelecekteki aktivitesini değerlendirmede bir anahtardır. 1970'lerin sonunda, Sieh(1978), San Andreas Fayı boyunca genç alüvyon tortullarda küçük hendek kazıları gerçekleştirmiş ve büyük depremlerin tarihlendirilmesini yapmıştır. Faylanmaların yaşlandırılmasıyla ilgili bu çalışmalar "paleosismoloji" dalı altında incelenmektedir. Paleosismolojik veri, depremlerin uzun vadede önceden kestirimine olanak sağlayabilir. Eğer tekrarlanma aralığı ve son yüzey faylanmasının tarihi biliniyorsa, bir sonraki depremin ne zaman olacağı hakkında kestirimde bulunulabilir. Ancak, örneğin, levha içi faylarda deprem tekrarlanma aralıkları uzadıkça, belirsizlik miktarı artar ve önceden kestirimde daha büyük hata payları ortaya çıkar. Belirsizliğin boyutu sadece paleosismik çalışmalardaki eksiklik ya da

verinin güvenilirliğinin düşüklüğünden değil aynı zamanda faylanma sürecinin olasılıklı (stokastik/değişken/rastlantısal) doğasından da kaynaklanmaktadır. Bu tür geniş aralıklı bir bilgi, levha içi faylarda meydana gelen depremlerin tekrarlanma aralıkları ve insan ömrü göz önüne alındığında yetersiz olarak düşünülebilir ancak paleosismolojik veriler, özellikle her bir fayın deprem risk potansiyellerini değerlendirebilmek ve afet riski kültürünü yerleştirebilmek için gereklidir.

Ortalama Kayma Miktarı/Hızı: Dünyada bilinen hemen hemen bütün aktif faylar değişik suskunluk aralıklarıyla aniden ve dönemsel olarak hareket ederler. Çok nadir istisnalar, tektonik krip (tectonic creep) adı verilen, sürekli olarak hareket eden fayların biriktirmeden enerjisini salıvermesi olarak ortaya çıkar (Örneğin, Bolu – Gerede yakınlarındaki İsmetpaşa İstasyonu civarında olduğu gibi). Böylece, fay üzerinde, deprem olmadan yer değiştirme, atım gerçekleşmektedir. Bu veride fayın yeri hakkında önemli bilgi sunacak ve çekme mesafesinin oluşturulması için büyük önem taşıyacaktır. Ortalama kayma hızı güncel olarak jeofizik yöntemlerle, eski depremler sonucu oluşan yer değiştirmeler de paleosismolojik yöntemlerle tespit edilebilmektedir.

Paleosismoloji Çalışmaları

Paleosismoloji, aletsel dönem öncesi, başka bir deyişle tarihsel ve tarih öncesi dönemlerde oluşmuş ve yüzey kırığı oluşturmuş depremlerin sayısını, büyüklüğünü, atım miktarını (düşey, yatay ya da her iki yönde) ve yinelenme aralığını saptamak için yapılan çalışmaların tümüdür (Solonenko, 1973; Wallace, 1981; McCalpin, 1996). Paleosismolojinin uygulanmasında kullanılan etkin yöntem "Hendek" çalışmalarıdır. Yapılacak hendek çalışmaları çok titizlikle yürütülmesi gereken ve çalışma alanının tüm jeolojik özelliklerinin detaylı olarak incelenmesini gerektiren zorlu bir süreçtir. Hendek yerinin tespiti kadar buradan elde edilen verilerin değerlendirilmesi de büyük önem taşımaktadır.

Paleosismolojinin ana amacı tarihsel dönemde meydana gelmiş olan büyük depremlerin saptanmasıdır. Bu depremlerin saptanmasından sonra ise elde edilecek veriler;

(a) oluşan yer değiştirme hakkında bilgi edinmek,

(b) bir ya da birden fazla yıkıcı deprem oluşması durumunda faya ait deprem potansiyelinin ortaya konarak tekrarlanma aralığının elde edilmesi,

(c) oluşmuş olan bu yıkıcı deprem sonucunda meydana gelen deformasyonlar kullanılarak bölgenin tehlike ve risk haritalarına altılık oluşturacak verinin tespiti,

(d) çalışma alanı içinde inşa edilecek mühendislik yapılarının inşaatı aşamasında alınması gereken tedbirler hakkında veri sağlamak olarak özetlenebilir.

Paleosismolojik veriler birincil ve ikincil olarak sınıflanmış (McCalpin, 1996) ve oluşan yüzey şekilleri bu doğrultuda gruplanmıştır (Çizelge 1). Bunun yanında, bir diğer sınıflama Allen (1986) tarafından önerilmiş ve paleosismik verileri 4 ana başlıkta toplamıştır,

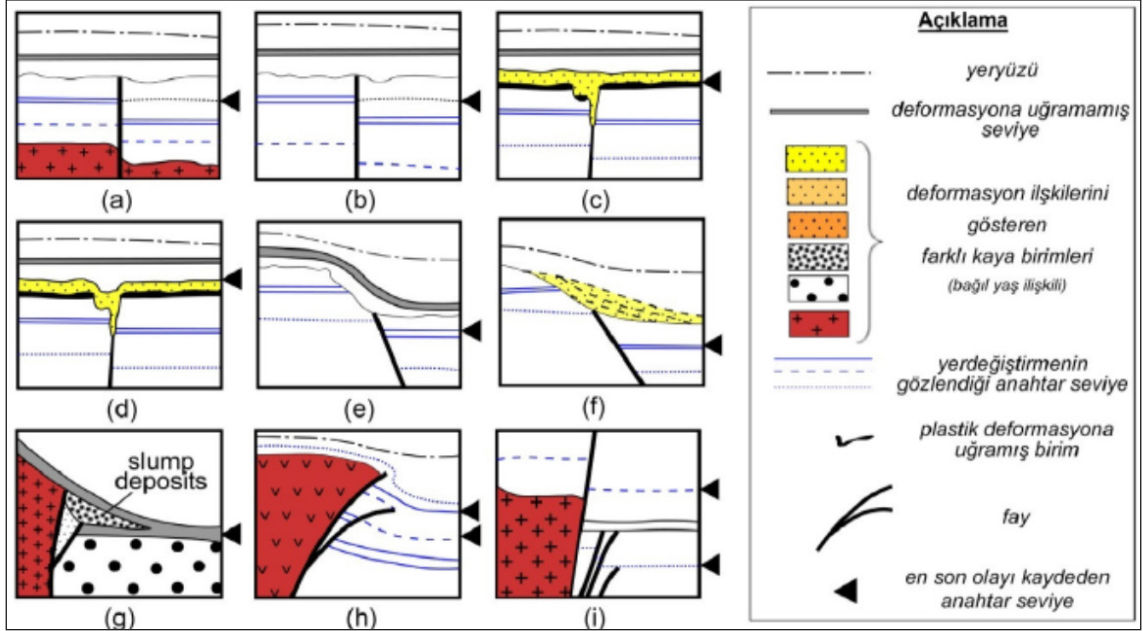
1. Faylanma (Şekil 5)
2. Deformasyon şekilleri (Şekil 6)
3. Sarsıntı ilişkili yapılar (Şekil 7)
4. Sondaj verileri (Şekil 8)

Tüm bu veriler ışığında yapılan değerlendirmeler fay davranışı hakkında önemli bilgiler vermekte ve çekme mesafesi hesabında doğrudan kullanılmaktadır.

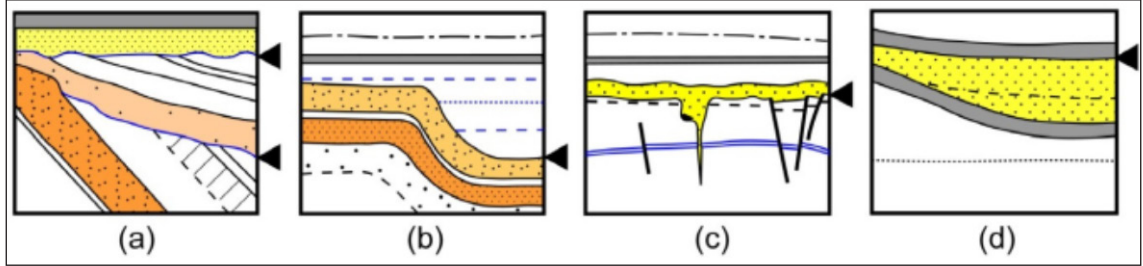
Paleosismoloji uygulamalarının en önemli temelini hendek çalışmaları oluşturmaktadır. Bu nedenle, diri fayların tam olarak tespit edilmesinin asıl amacı hendek noktalarının belirlenmesi ve geçmiş depremlere ait bilgi toplamaktır. Bu çoğu zaman karada son yıllarda karotlar vasıtasıyla da denizlerde de yürütülen çalışmaları kapsar. Karada yapılan çalışmaların temelinde hendek uygulaması yer alır. Açılan hendekler sayesinde fay düzleminin yakından araştırılması ve faylanmaya bağlı oluşmuş yapıların tüm detaylarıyla incelenmesi sağlanmaktadır. Özellikle faylanma ile ilişkili deformasyon ve sonrasında gelişen güncel sediman depolanmaları hendek çalışmasının ana hedefini oluşturmaktadır.

Çizelge 1- Paleosismolojik verilerin sınıflaması (McCalpin, 1987).

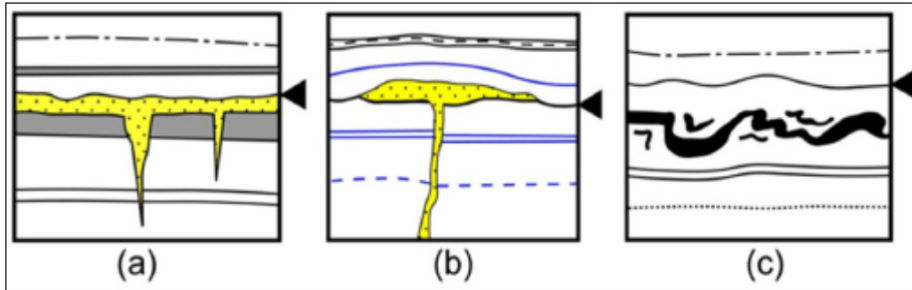
PALEOSİSMİK VERİLERİN SINIFLAMASI			
Birinci: Tektonik Deformasyon sonucu oluşan veriler			
Seviye 1: Türü	Fay üzerinde	Faydan uzakta	Faylanmadan sonra
Seviye 2: Lokasyon	Faylanma ile ilişkili	Faylanma ile ilişkili	Faylanmadan sonra
Seviye 3: Zamani Jeomorfolojik veriler	1. Fay sarplığı Çatlaklar Kıvrımlar Fay çizikleri Basınç sırtları	2. Fay öntü çökeltileri	3. Eğimli seviyeler Yükselmiş deniz-kara çizgisi Çekilmiş deniz seviyesi
Stratigrafik veriler	5. Faylanmış tabakalar Kıvrılmış tabakalar	6. Fay öntü çökeltileri Çatlak dolgusu Uyumsuzluk (olay seviyesinde)	7. Tsunami çökeltileri
Sismik olmayan yapıların sayısındaki fazlalık	Nadiren	Nadiren	Bazen
8. Erozyona bağlı uyumsuzluklar, yükselme, çökme ve eğilmeye bağlı depolanmalar genellikle			
İkinci: Sismik sarsıntı sonucu oluşan veriler			
Seviye 1: Türü	Fay üzerinde	Faydan uzakta	Faylanmadan sonra
Seviye 2: Lokasyon	Faylanma ile ilişkili	Faylanma ile ilişkili	Faylanmadan sonra
Seviye 3: Zamani Jeomorfolojik veriler	9. Kum çökeltileri Heyelanlar Zarar görmüş ağaçlar	10. İlerlemeli heyelanlar	11. Kum çökeltileri Heyelanlar Çatlaklar Sedimanları çökmeye bağlı sıkışması
Stratigrafik veriler	13. Kum daykları	14. Hızlı depolanmış göl veya nehir ağzı çökeltileri	15. Kum daykları Dolmuş kraterler Geçek sediman deformasyonu Türbidit çökeltileri
Sismik olmayan yapıların sayısındaki fazlalık	Bazen	Çok muhtemel	Bazen
8. Erozyona bağlı uyumsuzluklar, yükselme, çökme ve eğilmeye bağlı depolanmalar Çok muhtemel			



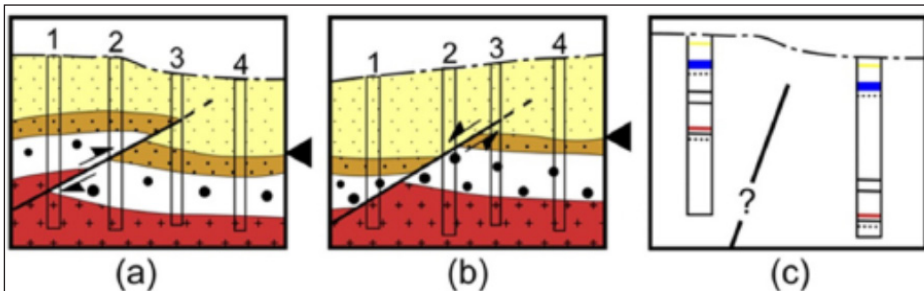
Şekil 5- Faylanma ile ilişkili birincil yapılar (Allen, 1986; Toda, 1998; Gürboğa, 2009). Mavi birim anahtar seviyedir.



Şekil 6- Birim deformasyonları ile ilişkili yapılar (Allen, 1986; Toda, 1998; Gürboğa, 2009).



Şekil 7- Sarsıntı ile ilgili yapılar (Allen, 1986; Toda, 1998; Gürboğa, 2009).



Şekil 8- Sondaj verisi ile ilgili yapılar (Allen, 1986; Toda, 1998; Gürboğa, 2009).

Fakat yapılan bazı arařtırmalarda faylanma sonucu oluřmuř ilksel yapılara ulařılmaz. Bu durumda veriler bulunabildiđi sūrece ikincil yapılar arařtırılır. Hendek alıřmaları sonucunda elde edilecek veriler dūřūnūldūđūnde; Geç Pleyistosen-Holosen yařlı fay aktivitesi, her olayda meydana gelen yer deđiřtirme miktarı, deprem būyūklūđū ve atımdan faydalanarak deprem boyunca açıđa çıkan enerji, yatay ve dūřey yer deđiřtirme, būyūklūk, tekrarlanma aralıđı gibi sorulara cevap verebilme imkânı sunmaktadır. Bir fay neotektonik dōnemde yıkıcı deprem oluřturmuřsa ilerleyen zamanlarda da benzer būyūklūkteki deprem ūretme potansiyeline sahiptir. Bu bilgi ūzellikle yerleřim bōlgelerinin planlanması konusunda tehlike ve risk hariatalarının oluřturulmasında kullanılmaktadır. Bu makalenin konusu hendek açma tekniklerini içermemektedir. Hendeklerin açılma sūreleri hakkında bilgi almak için proje kitabında yeterli bilgiyi bulmak mūmkūndūr. Fakat ūrnek oluřturması amacıyla dođrultu atımlı (Őekil 9), normal (Őekil 10) ve ters (Őekil 11) faylarda açılmıř birer hendek ūrneđi ařađıda sunulmuřtur.

Tūm bu bilgiler iřıđında yūzey faylanması tehlikesinin yerleřim yerleri ve mūhendislik yapıları açısından ne kadar būyūk ūnem tařıdıđı gōrūlmektedir.

Ūnerilen ekme Mesafesi (Sakınım Bandı) Hesaplama Yōntemleri

Daha ūnceden de belirtildiđi ūzere belirli bir yerde meydana gelecek yūzey faylanmasının karakteristikleri; fayın tūrūne, fay dūzleminin eđimine, faydaki yer deđiřtirme miktarına, yūzeye yakın birimlerin tūrū ve kalınlıđına ve yūzeydeki yapıya bađlıdır. Yūzeye yakın birimler ne kadar sertse-kırılgansa fayın tūrū ūncelikli belirleyici faktōr olmak kořuluyla o kadar dar bir deformasyon kuřađı oluřur, tersine ne kadar sūnūmlū (ductile) ise o kadar geniř bir deformasyon kuřađı oluřur.

Dūnya literatūrūndeki uygulamalar ve yapılan çalıřmalar iřıđında en ūnemli kriterin fay tūrū olması nedeniyle fay tūrūne bađlı sakınım bandı oluřturma hesaplamaları ařađıda ūzetlenmiřtir.

Doğrultu Atımlı Faylarda ekme Mesafesi (Sakınım Bandı) Hesaplanması

Dođrultu atımlı faylarda, sıçrama ve būkūlme meydana gelen kısımlar hariç, deformasyon kuşağı genellikle dardır. Yapılan son çalışmalarda elde edilen bulgular da bunu desteklemektedir. Deformasyon kuşağının darlığı, sakınım bandı oluşturma işini kolaylaştırmaktadır. Elbette, oldukça karmaşık faylanma ūrnekleri gōzlenen yūzey kırılmaları da mevcuttur. Dođrultu atımlı faylarda fay sakınım bantları, fay karmaşıklığı sınıflamasını yansıtacak ūekilde; "yatay konum belirsizliğini" ve "gūvenlik bandı" mesafelerini içererek belirlenmelidir (Őekil 12).

Ūzetlenecek olursa dođrultu atımlı faylarda sakınım bandı, fayın her iki tarafında ařađıdaki formūlasyona gōre oluřturulur:

		0 - 1 m		
		5 m		
SB	=	10 - 15 m	+	20 m
		25 - 30 m		

Dolayısıyla, doğrultu atımlı faylarda oluşturulacak sakınım bantları en az 40 metre (20 + 20), en fazla ise 100 metre (30 + 20) olabilir.

Ters Faylarda ve Ters Bileřeni Yūksek Dođrultu Atımlı Faylarda ekme Mesafesi (Sakınım Bandı) Hesaplanması

Ters faylarda, deformasyon kuşağı, tavan blokta artan bir ūekilde asimetriktir. Beklendiđinden daha da sık olarak, ters faylarda ve bindirmelerde sarplığın ortasına ya da tabanına yakın yūzey faylanmaları oluşur. Gerçekte, sarplık iyi konumlandırılmışsa ya da iyi tanımlanmışsa, sōz konusu belirsizlik oldukça kūūktūr. Kısaca, fay izi ve sarplığının belirlenmesindeki doğruluk sakınım bandının oluşturulmasındaki doğruluğu doğrudan etkileyecektir. Bunun yanında ters ve doğrultu atım bileşenli ters faylarda tavan ve taban blokta gerçekleşecek deformasyon miktarı farklı olacağından, iki farklı blok farklı hesaplamalara tabii tutulmalıdır.



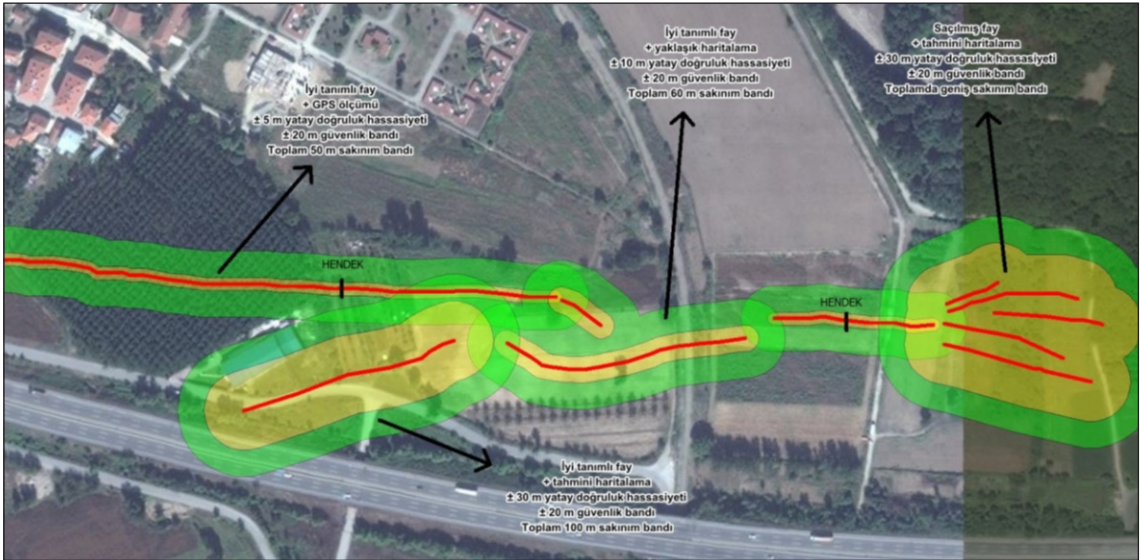
Şekil 9 - Doğrultu atımlı bir fayda açılmış 3 boyutlu hendek çalışması (Pantosti vd., 1996) Kırmızı oklar fayın yüzeydeki izini göstermektedir.



Şekil 10- 1970 Gediz depremi yüzey kırığı üzerinde açılmış hendek duvarı (Gürboğa, 2011)



Şekil 11- Japonya'da gerçekleşen birden çok deprem üreten ters fay üzerinde açılmış hendek duvarı (Maruyama vd., 2007).



Şekil 12- Örnek sakınım bandı çalışmasında, kırmızı renkli çizgi haritalanmış fay izini, sarı renkli kuşak tahmini ya da yaklaşık yatay doğruluk hassasiyetini en dıştaki yeşil kuşak ise güvenlik bandını göstermektedir. Sakınım bandı toplamda 50 metre (batıda) ile 160 metre (doğuda) arasında değişmektedir.

Özetlenecek olursa ters faylarda ya da ters bileşeni yüksek doğrultu atımlı faylarda sakinim bandı, tavan ve taban blokta aşağıdaki formüle göre oluşturulur:

$$\text{Sakinim Bandı (SB)} = \text{Yatay Konum Belirsizliği (YKB)} + \text{Tavan Blokta Yatay Konum Belirsizliği (TBYKB)} + \text{Güvenlik Bandı (GB)}$$

SB	=	0 - 1 m 5 m 10 - 15 m 25 - 30 m	+	0 - 1 m 5 m 10 - 15 m 25 - 30 m	+	20 m	Tavan Blok için
SB	=	0 - 1 m 5 m 10 - 15 m 25 - 30 m	+	20 m			Taban Blok için

Normal Faylarda Çekme Mesafesi (Sakinim Bandı) Hesaplanması

Normal faylar oluşturdukları deformasyon yapısı nedeniyle sakinim bandı oluşturulmakta en çok zorlanılan ve dünyada tek uygulaması Utah eyaletinde olan kritik bir konudur. Normal faylarda “güvenli uzaklığa çekme mesafesi” önerisi McCalpin (1987) tarafından yapılmıştır (Şekil 13).

Normal faylarda sakinim bandı oluşturulması konusunda yaşanan güçlük tamamen tavan blokta ve ana fayın önünde gerçekleşecek deformasyon şeklinin tahmin edilememesinden kaynaklıdır. Yüzeysel faylanma kuşağının genişliği, 1 metreden 1350 metreye kadar değişmesine rağmen, deformasyon kuşağı, önemli bir yapısal ya da geometrik karmaşıklık olmaksızın genellikle 120 – 150 metreden daha dar, basit bir fay izidir. Genelde, kilometre ölçeğindeki geometrik karmaşıklıklar söz konusu olduğunda deformasyon kuşağı 150 metreden fazladır. Bu tür geometrik karmaşıklıklar; a) önemli en echelon segmentler arasındaki sıçramalar, b) belirgin sıçramalar, c) keskin bükülmeler ve d) tavan blok grabeni gibi diğer yapısal özelliklerdir.

Özetlenecek olursa normal faylarda sakinim bandı aşağıdaki formüle göre oluşturulur:

$$\text{Sakinim Bandı (SB)} = 40 \text{ m (Tavan Blokta)} + 15 \text{ m (Taban Blokta)}$$

Dolayısıyla, normal faylarda oluşturulacak sakinim bantları 55 metre (40 + 15) olabilir. Çalışmacı yatay durum belirsizliğini kendi verileri ve gözlemlerine göre arttırmak isterse, buna artı olarak alacağı güvenli çekme mesafeleri taban blokta 10 metre, tavan blokta ise 35 metre olmalıdır.

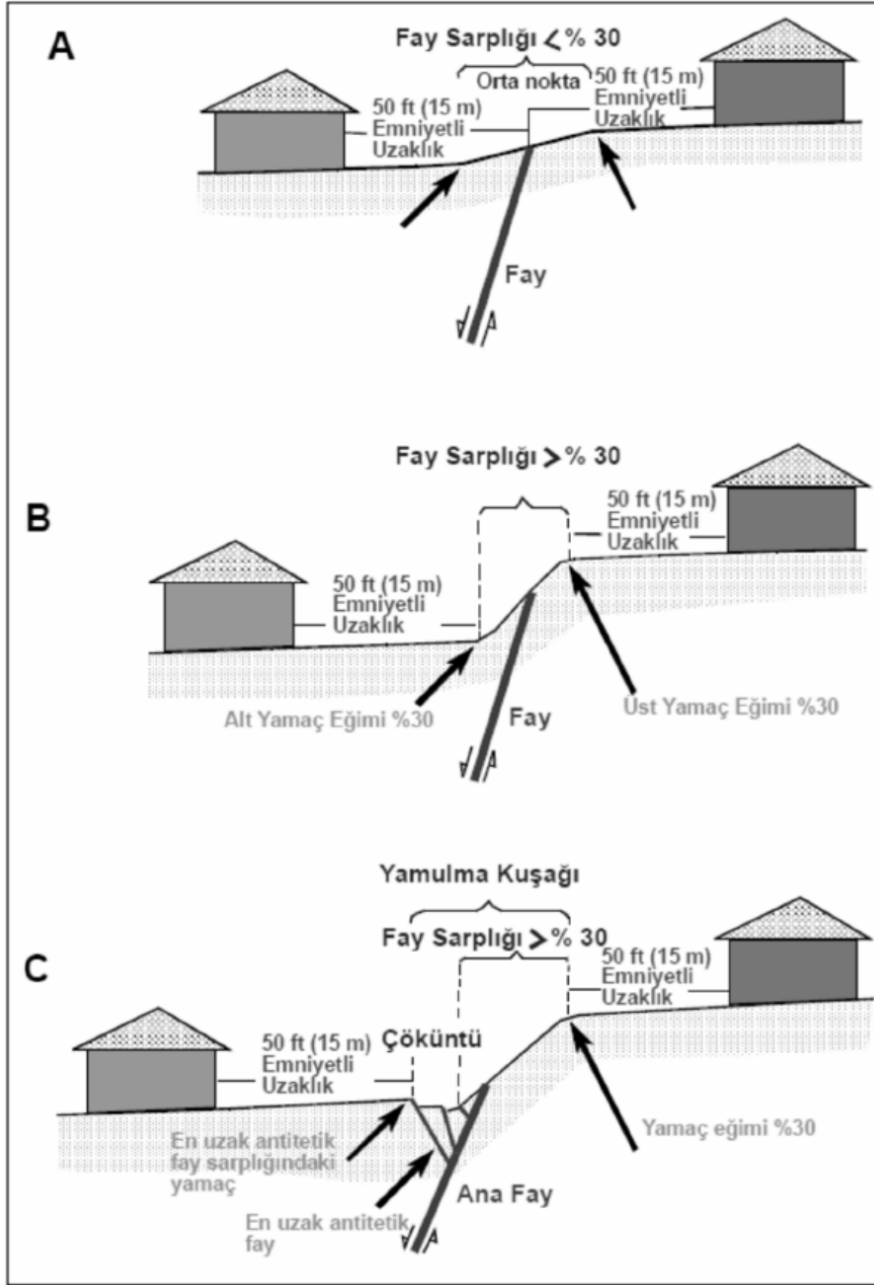
Oluşturulacak tüm bu çekme mesafelerinin tamamı ortaya çıkacak risklerin azaltılması amacını hedeflemektedir.

Yüzeysel Faylanma Tehlikesinin Değerlendirilmesinde Risk Temelli Yaklaşım

Risk temelli yaklaşım açısından fayların iki karakteristik özelliği önemlidir. Bunlar; (a) fayın ortalama yüzeysel faylanma oluşturacak deprem tekrarlanma aralığı (tekrarlanma aralığı sınıfını bulmak için) ve (b) yüzeysel faylanma izinin karmaşıklığı. “Yüzeysel faylanma izinin karmaşıklığı” konusunun risk temelli olmayan, deterministik yaklaşımlarda önem taşımaktadır. Diğer yandan, yüzeysel faylanma tehlikesi “fay tekrarlanma aralığı” na bağlı olan ve yüksek risk içerebilecek sonuçlar doğuracak önemli bir parametredir. Genel olarak yüzeysel faylanma, bir önceki yırtılmanın olduğu yerde tekrar ortaya çıkar. Ayrıca yüzeysel faylanmasının karakteristikleri, gelecekte meydana gelecek olayları karakterize etmek için geçerli bir yol olarak değerlendirildiği için ortaya çıkacak risklerin tespitinde büyük önem arz eder. Tekrarlanma aralığının tespiti için de paleosismolojik çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Detaylı risk hesaplanması için proje kitabından bulunan bilgiler kullanılabilir.

Tartışma ve Sonuçlar

Yüzeysel faylanma, bir deprem esnasında oluşabilen, yer yüzeyinde gözlenen fay düzlemi ile ilgili yer değiştirmedir. Eğer bir mühendislik yapısının (konut, köprü, köprüyol, fabrika vb.) altında yüzeysel faylanma gerçekleşirse, belirgin hasar ve yıkım ortaya çıkar, can ve mal kaybına yol açar. Yüzeysel faylanma tehlikesinden kaynaklanan riski düşürmek amacıyla, Kuvaterner faylarının özelliklerine, fay aktivitesine ve öngörülmesi



Şekil 13- Fay Sarplığına göre en düşük (minimum) emniyetli uzaklık sınırının belirlenmesi (McCalpin, 1987).

kriterlere bağlı olarak incelendiği yere özel “yüzeysel faylanma tehlikesinin değerlendirilmesi için jeolojik etüt” gerekir.

Fakat faylanma süreci ve öncesinde enerji birikimi çok fazla bilinmeyen yer dinamiklerine bağlı olduğu için tam olarak tahmin edilememektedir. Bu nedenle, çekme mesafesi oluşturulması sırasında bu belirsizlikler büyük

önem taşır. Örneğin, aynı faydan kaynaklanan yıkıcı depremlerin oluşturacağı yüzeysel faylanma farklı yerlerde ortaya çıkabilmektedir. Bir diğer belirsizlik ise güncel izi bilinen bir fayın yan kollarında gerçekleşecek depremlerden kaynaklanan yüzeysel kırığı geometrisinin oluşması sonucunda beklenmeyen hasarların ortaya çıkabilmesidir. Varlığı haritalarda yer alamayan bir faydan kaynaklanacak yüzeysel

kırığının oluşumu ne kadar risk içeriyorsa varlığı bilindiği halde yerleşimi devam eden faylardan kaynaklanacak ve önlem alınmamış durumlardaki kayıplar da o derece risk oluşturmaktadır. Diğer bir bakış açısıyla çekme mesafesinin oluşturulmasının mümkün olmadığı durumlarda ortaya çıkacak hasarlarında önüne geçmek güçleşecektir. Böyle durumlarda mümkün olan en üst düzey korunma koşulları sağlanarak izin verilmesi can ve mal kaybının önüne geçilmesine engel olunabilir.

Sonuç olarak, çekme mesafesinin (sakınım bantları) uygulanması ve yasal süreçlere bağlanması, günümüzde yüzey kırığı oluşturmuş pek çok diri fayı bünyesinde bulunduran bizim gibi ülkeler için büyük önem taşımaktadır. Yapılacak uygulamanın keyfi ve gereksiz sonuçlarının ortaya çıkmaması için değerlendirme ve onaylama süreci uzman jeoloji mühendisleri tarafından arazi bazlı olarak yürütülmelidir. Aksi taktirde ortaya çıkacak uygulama istenmeyen sonuçlar doğuracaktır.

DEĞİNİLEN BELGELER

Allen C.R. 1986. Active Faulting in Northern Turkey, Division of Geological Science, *California Institute of Technology Contribution No. 1577*.

Batatian, L.D., Nelson, C.V. 1999. Fault Setback Requirements to Reduce Fault Rupture Hazards in Salt Lake County, AEG Abstracts with Programs, *42nd Annual Meeting, Salt Lake City*, pg. 59.

Bryant, W.,A. 2006. Seismically Induced Ground Failure: 100th Anniversary Earthquake Conference Commemorating the 1906 San Francisco Earthquake, *California Geological Survey*.

Christenson, G.E., Batatian, L.D., Nelson, C.V. 2003. Guidelines for evaluating surface fault rupture hazards in Utah: Utah Geological Survey Miscellaneous Publication 03-6, 14 p.

Gürboğa, Ş. 2009. Geological Indicators Associated with Paleoearthquakes: Focusing on the Geomorphological Evidences (Eski depremleri gösteren Jeolojik veriler: Jeomorfolojik veriler kullanılarak). *Bulletin of the International Institute of Seismology and Earthquake Engineering* 43, 49-54.

Gürboğa, Ş. 2011. Neo- and Seismo-Tectonic Characteristics of the Yenigediz (Kütahya) Area. *PhD Thesis*.

Maruyama, T., Iemura, K., Azuma, T., Yoshioka, T., Sato, M., Miyawaki, R. 2007. Paleoseismological evidence for non-characteristic behavior of surface rupture associated with the 2004 Mid-Niigata Prefecture earthquake, central Japan. *Tectonophysics* 429, 45–60.

McCalpin, J.P. 1987. Recommended setbacks from active normal faults, in McCalpin, J.P., editor, *Proceedings of the 23rd Annual Symposium on Engineering Geology and Soils Engineering*: Logan, Utah State University, April 6-8, 1987, p. 35-56.

McCalpin, J.P., Nishenko, S.P. 1996. Holocene paleoseismicity, temporal clustering, and probabilities of future large ($M > 7$) earthquakes on the Wasatch fault zone, Utah: *Journal of Geophysical Research*, v. 101, no. 3, p. 6233-6253.

Pantosti, D., D'Addezio, G., Cinti, F. R. 1996. Paleoseismicity of the Ovindoli-Pezza fault, central Apennines, Italy: A history including a large, previously unrecorded earthquake in the Middle Ages (860–1300 A.D.), *J. Geophys. Res.*, 101(B3), 5937–5959, doi:10.1029/95JB03213.

Rathje, E.M., Bachuber, J., Cox, B., French, J., Green, R., Olson, S., Rix, G., Wells, D., Suncar, O. 2010. Geotechnical Engineering Reconnaissance of the 2010 Haiti Earthquake, *Geoengineering Extreme Events Reconnaissance Report*.

Robison, R.M. 1993. Surface fault rupture a guide for land use planning, Utah and Juab Counties, Utah, in Gori, P.L., editor, *Applications of research from the U.S. Geological Survey program, Assessment of Regional Earthquake Hazards and Risk along the Wasatch Front, Utah: U.S. Geological Survey Professional Paper 1519*, p.121-128.

Sieh, K. R. 1978. Slip along the San Andreas fault associated with the great 1857 earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 68, 1731-1749.

Solonenko, V.P. 1973. Paleoseismogeology: Izvestia Akademia Nauk SSSR, *Solid Earth*, v.9, p.3-16 (in Russian).

Toda, S. 1998. A strategy for Earthquake Hazard Assessment Incorporating Fault Interaction by Earthquake Stress Transfer. *PhD Thesis*. 205 pages.

Wallace, R. E. 1981. Active faults, paleoseismology and earthquake hazards in the western United States: in Simpson, David W., and Richards, Paul G., eds., *Earthquake Prediction –An International Review*, Maurice Ewing Series 4: *American Geophysical Union*, p. 209-216.