

ZEMİN – ZEMİN PARAMETRELERİ – JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

YAPI – DEPREM – DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

MEVCUT BİNALARIN DEPREME DAYANIKLILIĞI

GENEL VE TEMEL KAVRAMLAR

Konularımız :

1. Mikrobölgeleme Nedir, Nasıl Yapılır ve Dünyadan Örnekler
2. Yapı lar Hakkında Genel Bilgilendirme (çeşitleri)
3. Depremle İlgili Genel Tanımlar (kuvvet, ivme, spektral ivme)
4. Nehrp Yönetmeliği
5. Bedrock Çalışmaları (önemi, deprem kuvvetlerine etkisi)
6. Zemin Dinamik Analizi Çalışmaları
7. Deprem Kuvveti-Yapı –Zemin-Jeofizik İlişkisi
8. Zemin İle İlgili Genel Bilgiler (tipleri, araştırma şekilleri)
9. Vs Hızları Nasıl Bulunur
10. Zemin İle İlgili Jeofizik Yöntemler ve Çalışmalar
11. Zemin Parametreleri
12. Deprem Kuvvetlerine Karşı Yapı Tasarımı Kuramsal Kavramlar
13. Zeminlerde Deprem Etkisi Sonucu Etkilenecek Fiziksel Parametreler
14. Sismik, MASW, Mikrotremor, SPAC Yöntemleri Genel Kavramlar
15. Deprem Kuvvetleri Karşısında Yapı Davranışlarına Ait Örnekler
16. İnşaat Mühendisleri İçin Geoteknik Bilgiler
17. Kentsel Dönüşüm İle İlgili Genel Bilgiler
18. Zemin Raporları İçin Örnekler

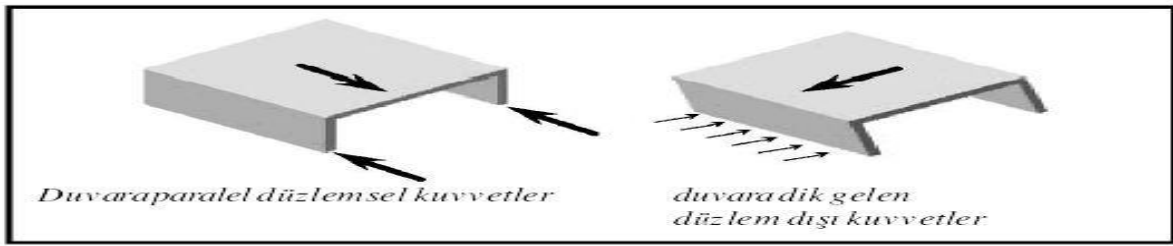
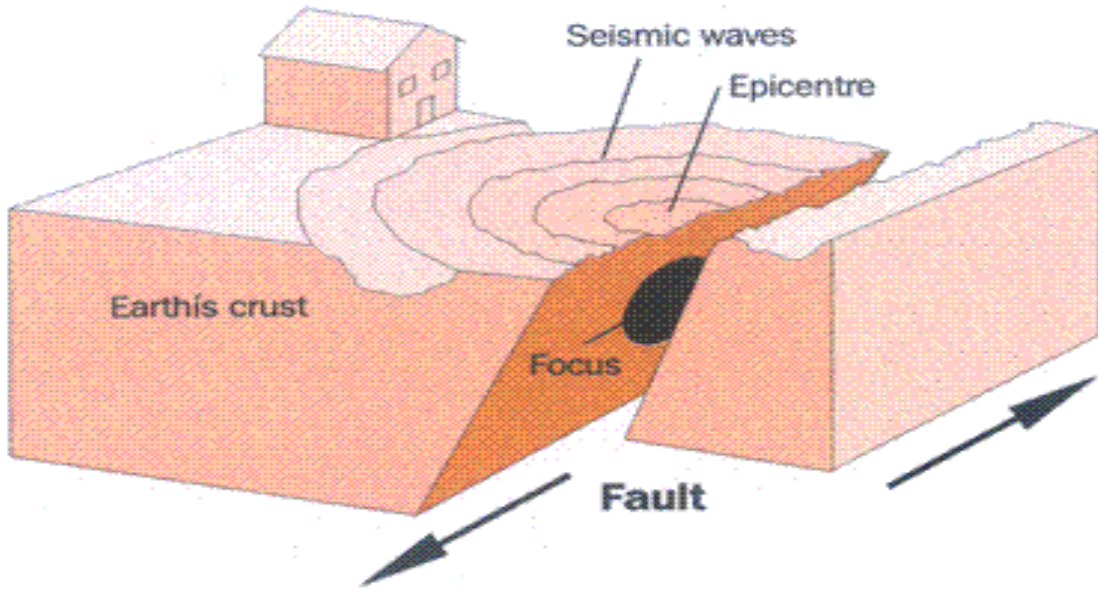
ZEMİN – YAPI – DEPREM – JEOFİZİK

ARASINDAKİ İLİŞKİNİN

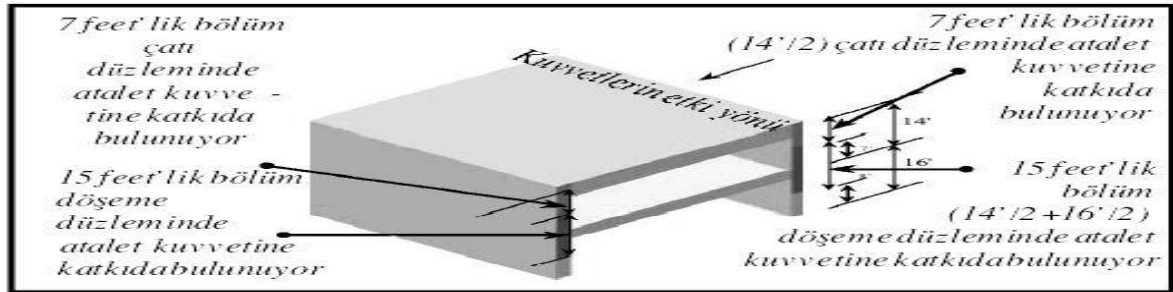
ÖNEMİNİ

VURGULAYABİLECEK

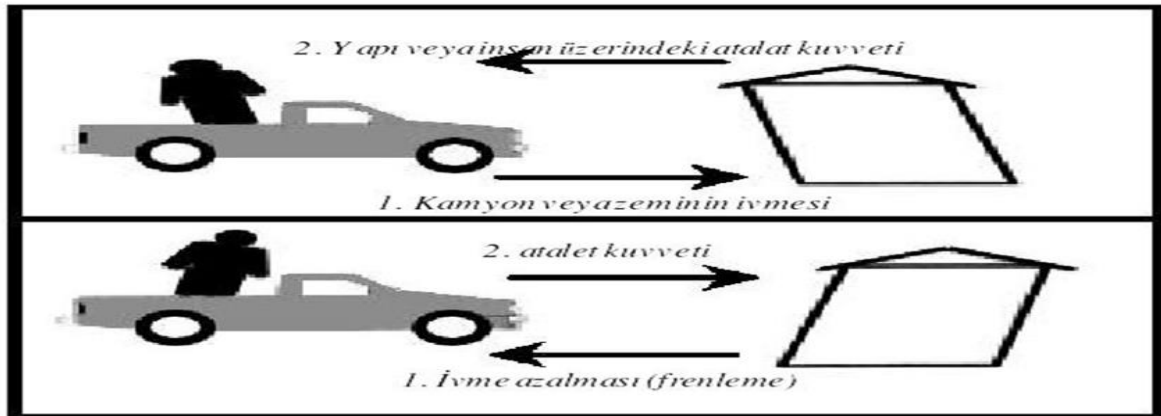
ŞEKİLLER



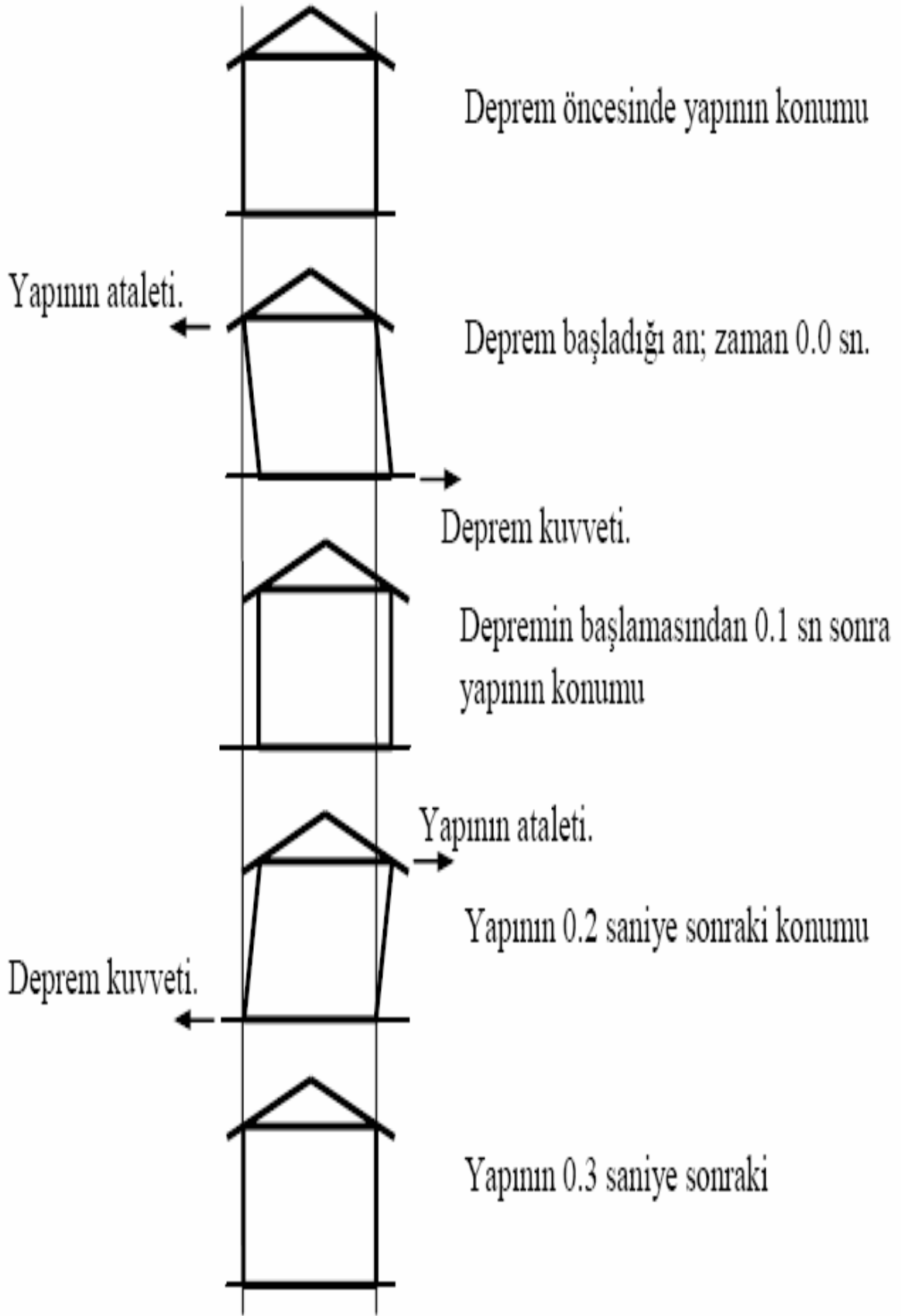
Şekil 2. Düzlemsel ve düzlem dışı kuvvetler



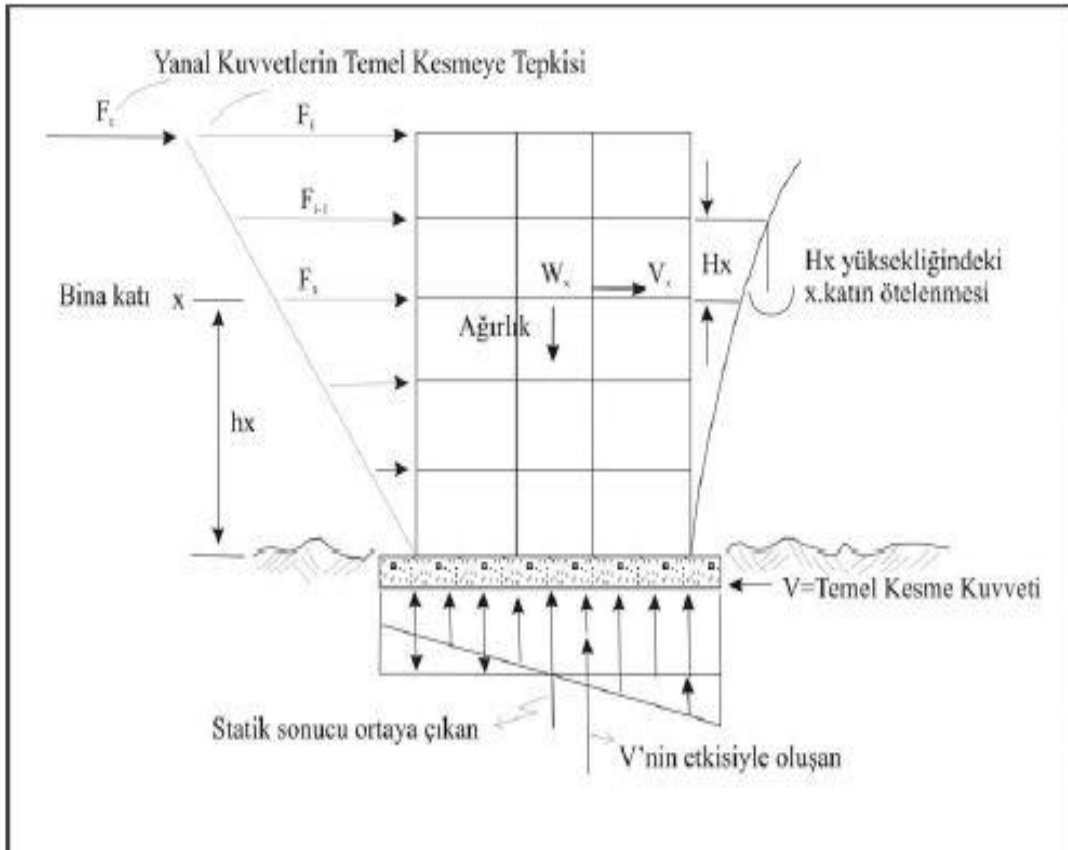
Şekil 3. Çatı ve ikinci kat döşemelerinde kuvvet dağılımı



Şekil 1. Atalet kuvvetleri ivmeye karşı bir tepkidir



Şekil . Deprem Yapı ilişkisi
4



Yukarıdaki süreçler aşağıdaki şekilde devam eder:

1. Sismik temel kesme kuvvetinin (V) değeri belirlenir.
2. Yapının en üstündeki toplam tepki kuvveti (F) her bir kata uygulanan yanal kuvvetler (F_x) biçiminde temel kesme kuvvetine (V) dağıtılır.

$$F_T = 0.07 TV$$

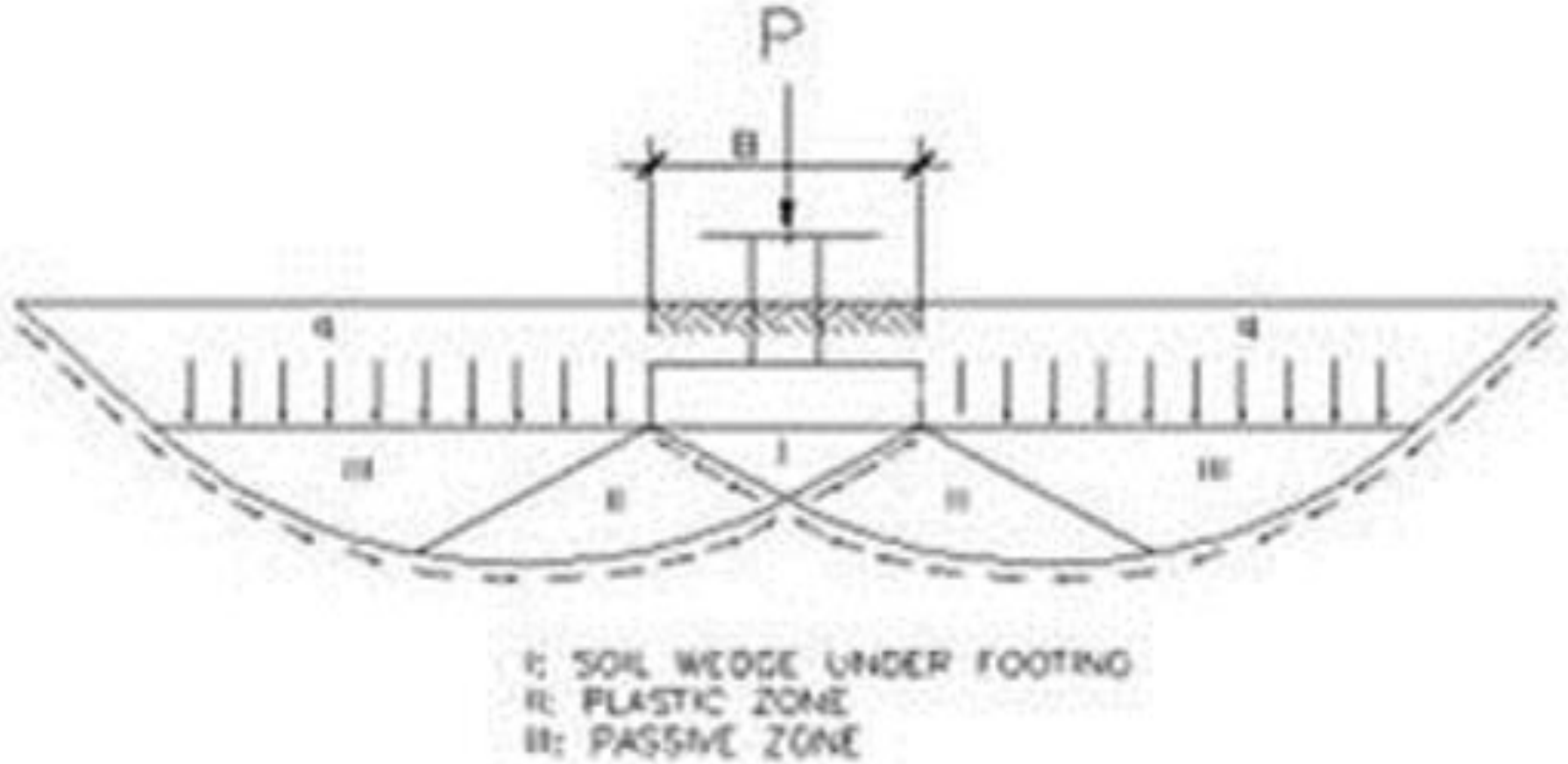
$$F_x, V \text{ den çıkarılır ve geriye kalan kuvvet binanın yanal yüksekliği } (W_x h_x) \text{ oranında dağıtılır.}$$
3. Katları etkileyen kuvvetlerin toplamında ($F_1 + F_2 + F_{3,1}$, vb.) olduğu gibi dizayn kat kesmesi (V_x) tanımlanır. X katında direnç elemanlarının rijitliği oranına göre V_x dağıtılır. Kesmenin dağıtımında her bir katta kütlelerin besaplanan merkezden % 5'lik yer değiştirmesi kabul edilebilir.
4. Katların üzerindeki yanal kuvvetler ve direnç elemanları arasındaki dış merkezden dizayn burulma momenti tanımlanır. Kütlelerin % 5'lik yer değiştirmesi öngörülerek tesadüfi burulma eklenir.
5. Herhangi bir seviyedeki devrilme momenti yanal kuvvetler ($F_1 + F_2 + F_{3,1}$) kullanılarak direnç göstermesi belirlenir ki bu da her bir seviyenin üzerinde etkilidir. Sıradan binalar için F_1 kuvveti zemin-temel ara yüzünde ihmal edilebilir. İzin verilebilir gerilme ve zeminin taşıma gücü değeri 1/3 oranında artabilir.
6. Yönergeye uygun yanal kuvvetlerden hesaplanan kat ötelenmesi değerleri genellikle aşılmamalıdır.
 - $0.04/R_w$ ya da $0.005H_x$ } binalar < 65' yükseklik
 - $0.03/R_w$ ya da $0.004H_x$ } binalar > 65' yükseklik
7. P-delta etkilerinin oluşturduğu üye kuvvetlerin, momentlerin ve kat ötelenmelerinin sonucu aşağıdaki oran göz önüne alınmadan değerlendirilir.

$$(((DL + x \text{ katının üzerindeki LL})(x \text{ katındaki ötelenme}))/V_x(H_x)) \leq 0.10$$

Burada:

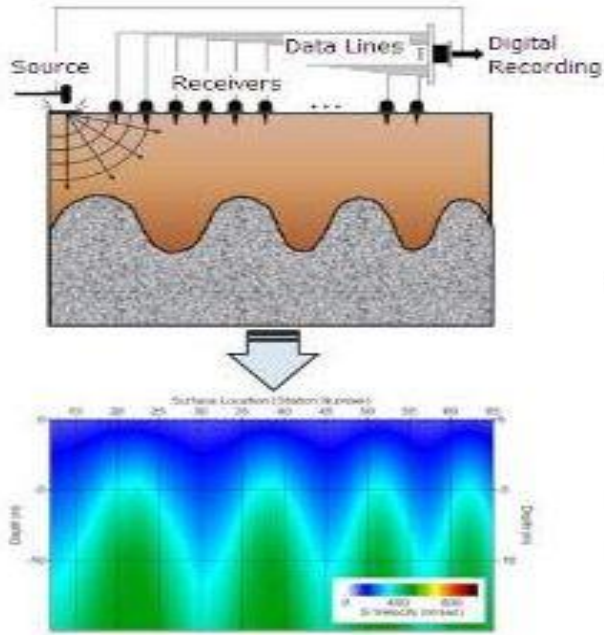
- | | |
|--|---|
| V : Temel kesme kuvveti, | W_x : x. katın ağırlığı, |
| h_x : x. katın zeminden yüksekliği, | H_x : x. katın kat yüksekliği, |
| F_x : x. kata etki eden yanal (teпки) kuvvet, | F_1 : en üst kata etki eden kuvvet, |
| F_T : yapının en üstündeki toplam tepki kuvveti ve | T : yapının doğal periyodu, |
| D : ortalama statik yer değiştirme, | R_w : yapısal sistem için tepki değişiklik katsayısı. |

Şekil 1.1. UBC (Uniform Building Code) 1988 eşdeğer yanal kuvvet dizayn işlemleri (UBC 1988)

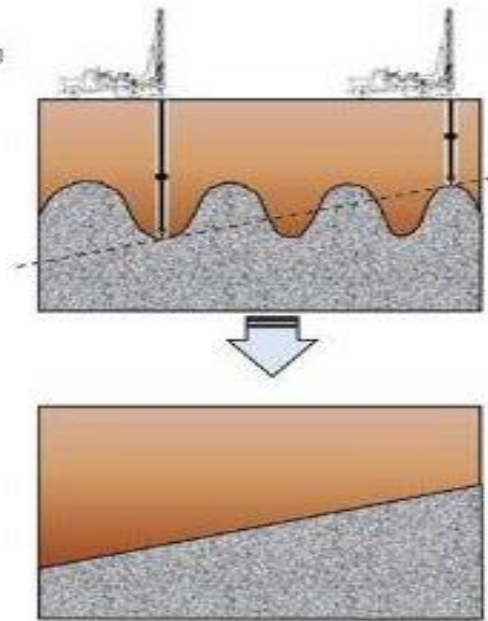


Şekil: Yapı Temeli Zemin İlişkisi

SEISMIC SURVEY

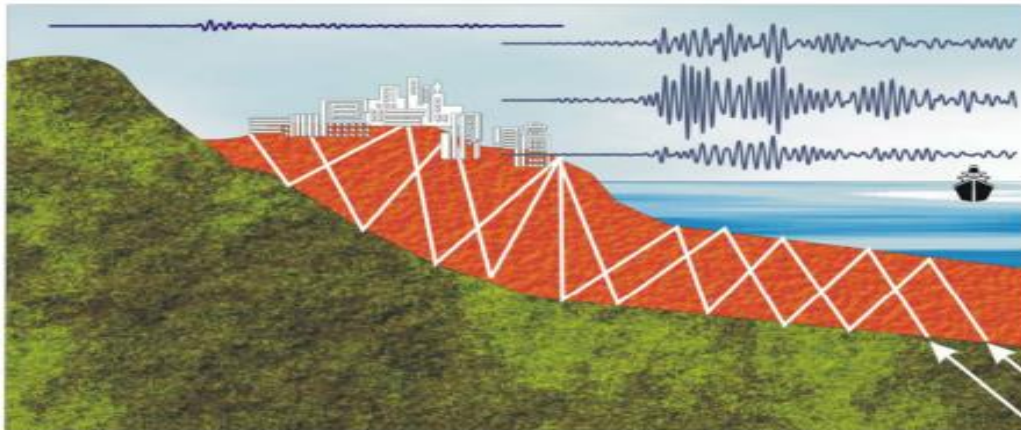


DRILLING



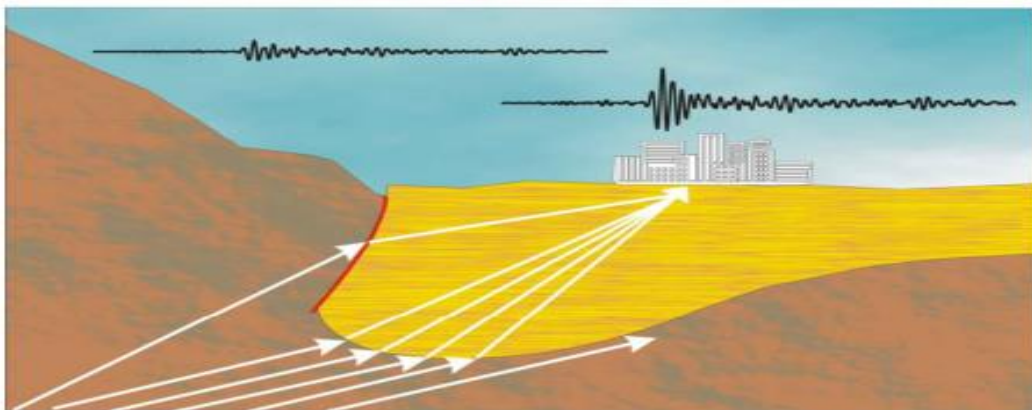
a-)

REZONANS ETKİSİ



b-)

ODAKLANMA ETKİSİ



MİKROBÖLGELEME

NEDİR

Tanımı nedir

Nasıl yapılır

Çalışma örnekleri

Mikro Bölgeleme Nedir?

Mikro bölgeleme, yerel zemin şartlarının etkisini göz önüne alarak depreme dayanıklı tasarım için sismik tehlike tahminlerinin geliştirilmesi çalışmalarını kapsar (**Finn, W.D. L. and Ventura, C. E. "Challenging issues in local microzonation", 5 th International Conference on Seismic Zonation, Nice, France, (1995).**

Mikro bölgelemenin diğer bir tanımı; olası deprem özellikleri ile mevcut zemin özellikleri arasındaki karşılıklı etkileşimi göz önüne alarak, zemin yüzeyinde seçilen deprem özelliklerini ve bunlarla ilişkili yapı tasarım parametrelerinin değişimini belirlemek olarak verilebilir. Bu çalışmalarda amaç;

1. Zeminin tabakalarının olası bir depremdeki davranışlarını tahmin etmek
2. Zemin tabakalarının deprem hareketi üzerindeki hareketini belirlemektir

Mikro bölgeleme çalışmaları ve afet senaryoları yerel ölçekte afet tehlikesi ve risklerini belirlemeyi amaçlayan çalışmalardır. Bu çalışmalar, bir ilin gelişme planı veya çevre düzeni ile ilgili planların hazırlanmasına esas olmak üzere hazırlanabileceği gibi, imar planlaması amacıyla da, daha büyük ölçekte ve daha detaylı olarak hazırlanabilirler.

İl ölçeğinde yapılan çalışmalar, ilin sahip olduğu afet tehlikesi ve riskini, çalışmanın ölçeği nedeniyle, ana hatlarıyla belirleyen çalışmalar olduğu için illerin gelişme planları, zarar azaltma stratejik planları ve il kurtarma ve yardım planlarının hazırlanmasına kullanılırlar.

Ülkemiz gerçeklerinde ve pratiğinde mikro bölgeleme, mikro bölgeleme yaklaşımında geçerli olan ilkeler;

- a. İmar planlaması ölçeklerinde (1/10.000, 1/ 5000, 1/1000 gibi) ve arazilerin fonksiyonel kullanımı amacıyla tanımlanan bölgeleme (zoning) pratiğine esas oluşturması amacıyla yapılmalı
- b. Yapılaşmamış alanlardaki deprem ve diğer doğal tehlikelerini belirleyip, bu tehlikelerin olası zararlarını, uygun bölgeleme ve yapılaşma kararlarıyla, azaltmak için başlatılmış çalışmalar olmalıdır.

Ancak yapılaşmış alanlardaki gelişme ihtiyaçları, meydana gelen deprem ve diğer doğal afetlerin sonuçlarından elde edilen dersler, yapılaşmış ve yapılaşmamış alanların birlikte incelenmesi gereğini ortaya çıkarmıştır. Bu tür bir yaklaşımla, bölge, il, ilçe ve belediye ölçeklerinde doğal afet tehlikesi ve risklerini belirleyerek, zarar azaltma, kentsel yenileme ve dönüşüm planlarını hazırlamak ve uygulama faaliyetlerinin (eylem planları) önceliklerini belirlemek mümkün olmaktadır.

Mikro bölgeleme çalışmalarının teknik detayları, **Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü. Belediyeler için sismik mikro bölgeleme el kitabı. DRM.2000.** te geniş olarak verilmektedir.

Çalışmalara il ölçeğinde ve ilin gelişme ve çevre düzeni planlarına esas olmak üzere il özel idarelerince başlanmalı ve ilin deprem tehlikesi ve riski öncelikle belirlenmelidir. Bu temel çalışma, belediyelerin nazım ve uygulama imar planlarının hazırlanması aşamalarında yapacakları mikro bölgeleme çalışmaları içinde ana girdi olacaktır.

Mikro bölgeleme çalışmaları yalnızca 1 inci ve 2 inci derece deprem bölgeleri içerisinde yer alan ve nüfusu 30.000 üzerindeki yerleşmeler için değil, her yerleşme için yapılmalıdır. Ancak, yapılacak teknik çalışmaların detayı, yerleşmenin ve yapılaşmanın önemi, büyüklüğü, mevcut deprem tehlikesi, yerel zemin koşullarına bağlı olarak belirlenmelidir. Bu verilerde, il Ölçeğinde yapılan 1/25000 ölçekli çalışmalarda ana hatlarıyla belirlenmiş olacaktır.

Böylece, sahip olduğu tehlike ve risk ana hatlarıyla bilinmeden, her yerde aynı standart uygulamanın yapılması gibi ekonomik olmayan ve çoğu zamanda uygulanması olanaksız olan çözümlerden vazgeçilebilecektir

A.1. Mikro bölgeleme için yapay ve gerçek ivme kayıtlarının kullanımı

Mikro bölgelemenin bir tanımı; olası deprem özellikleri ile mevcut zemin özellikleri arasındaki karşılıklı etkileşimi göz önüne alarak, zemin yüzeyinde seçilen deprem özelliklerini ve bunlarla ilişkili yapı tasarım parametrelerinin değişimini belirlemek olarak verilebilir.

Bunun için mikro bölgeleme amaçlı zemin davranış analizlerinde yapay ve ölçeklenmiş gerçek kayıtlar kullanılarak farklı deprem ve yapı tasarımı parametrelerinin zemin yüzeyindeki değişimi incelenmelidir.

Çalışmanın ilk aşamasında, gerçek deprem kayıtları kullanılarak en büyük ivme ölçekleme yöntemi ve RASCAL yapay kayıt programı yardımıyla iki farklı şekilde ivme zaman kayıtları üretilmelidir.

Bunun için seçilen bölge temel alınarak oluşturulan tasarım depremi için üretilen bu kayıtlar, zemin profilinin davranış analizlerinde kullanılarak yüzeydeki yer hareketi parametrelerinin frekans dağılımları hesaplanır.

En büyük yatay ivme, Arias şiddeti ve spektral ivme olarak seçilen parametrelere ait frekans dağılımlarında, kullanılan gerçek kayıtların önemli bir faktör olduğu göz önüne alınmalıdır.

Balıkesir bölgesi için yapılan çalışma sonuçlarında, özellikle en büyük ivme ölçekleme yöntemi için kullanılan gerçek kayıtlara dayalı olarak frekans dağılımlarının önemli oranda değişebileceğini göstermiştir. Diğer taraftan bu etki tasarım parametresine göre de farklılık gösterebilmektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında RASCAL programı ile üretilen kayıtların kullanıldığı davranış analizleri için, NEHRP kriterlerinin sağlandığı bir optimizasyon yaklaşımına dayalı olarak spektral ivmeler belirlenmiş ve bu ivmeler aynı tehlike seviyesi için NEHRP yaklaşık yöntemine göre bulunan spektral ivmelerle karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar tasarım depremi ve zemin özellikleri arasındaki karşılıklı etkileşime dayalı farklılıkların D grubu zeminler için daha yüksek olduğunu ve bu etkileşimde yüzeydeki yer hareketi özelliklerinin zemin davranış analizleri ile bulunmasının önemli olduğunu göstermektedir.

Dünyanın birçok bölgesinde orta şiddetli ve büyük depremler için farklı uzaklıklar ve farklı faylanma mekanizmalarında alınmış ivme zaman kayıtları sınırlıdır. Bu nedenle mühendislik yapılarının dinamik analizleri için olası depremin ivme zaman kayıtları cinsinden tanımlanması gerektiği durumlarda, gerçek kayıtlar dışında iki tip yer hareketi kaydı yaygın

bir şekilde kullanılmaktadır (Carballo ve Cornell, 2000, Steward vd. 2001, Steward vd. 2002, Acevedo 2003, Erdik vd. 2003).

Bunlar sismolojik modellerden deterministik ya da stokastik yaklaşımlar ile üretilen teorik sentetik kayıtlar (Erdik ve Durukal, 2001, Boore, 2003) ve tasarım davranış spektrumu ile uyumlu yapay kayıtlar olmaktadır. Spektral uyuşum metotlarından bazıları aynı zamanda gerçek yer hareketi kayıtlarının kullanıldığı yöntemlerdir (Silva ve Lee, 1987, Carballo ve Cornell, 2000). Bu tür yaklaşımlarda gerçek kayıtların kullanımı, Fourier faz spektrumu ve davranış spektrumunun düzleştirilmemiş karakteristiği gibi doğrusal olmayan dinamik analizler için önemli olan bazı özelliklerin korunması amacını taşımaktadır (Carballo ve Cornell, 2000, Steward vd., 2001, Erdik vd., 2003).

Diğer taraftan son zamanlarda geoteknik ve yapı mühendisliğindeki analizlerde, ölçekleme yöntemlerinin uygulandığı gerçek kayıtların kullanımı tercih edilen bir alternatif durumundadır (Kappos ve Kyriakakis, 2000, Acevedo 2003, Naeim vd., 2004, Durukal vd., 2005, Ansal vd., 2006, Watson ve Abrahamson, 2006).

Ölçekleme yöntemi farklı yer hareketi parametreleri için gerçek kaydın zaman tanım alanında yalnızca genliğini düzenleyen bir yaklaşım olarak tanımlanabilir. Bu durumun bir nedeni de zamana bağlı olarak kaydedilen gerçek yer hareketlerinin artması ve sentetik ya da yapay kayıtların elde edilmesi ile karşılaştırıldığında, ölçekleme yönteminin rölatif bir kolaylığa sahip olmasıdır (Bommer ve Acevedo, 2004).

Bu çalışmada, yapay ve gerçek olmak üzere 2 tip yer hareketi kayıt grubu oluşturulmuştur. Yapay kayıtlar frekans tanım alanındaki spektral uyuşum yöntemlerinden biri olan RASCAL (Response Spectra and Acceleration Scaling) programı (Silva ve Lee, 1987) kullanılarak üretilmiştir. RASCAL gerçek yer hareketi kaydına ait Fourier faz spektrumunun kullanımıyla birlikte rassal titreşim teorisine dayalı geliştirilen yarı-deneysel bir yöntemdir. Basit fonksiyonel formdaki kaynak özellikleri ve dalga yayılım ortamı için stokastik bir yaklaşımla (Boore, 2003), hedeflenen davranış spektrumlarıyla uyumlu yer hareketi kayıtları üretmektedir. Gerçek kayıtlar için ise en büyük ivme ölçekleme yöntemi uygulanmış ve yöntemde orantı faktörü (hedeflenen genlik ile gerçek kaydın genliği arasındaki oran) 0.25 ile 4 arasında seçilmiştir (Krinitszky ve Chang, 1979).

Bu kayıt grupları Ansal (2001) tarafından hesaplanmış olan Balıkesir tasarım depremi göz önüne alınarak farklı iki yaklaşım ile üretilmiştir. Ansal (2001) çalışmasına göre 50 yılda % 10 aşılma olasılığına karşı gelen tasarım depremi büyüklüğü $M_s=7.5$, kaynak uzaklığı $R=40$ km. dir. Tehlike analizlerinde Balıkesir etrafında seçilen 100 km yarıçapındaki alan içinde kalan sismotektonik bölge göz önüne alınmış ve bu alan içinde sismik etkinliklerin olduğu fayların, geçmiş depremlerde genel olarak yanal atım bileşeni olan normal faylanma özelliği gösterdikleri saptanmıştır. Bu fay tipi özelliği de göz önüne alınarak, RASCAL ile yapılan simülasyonlarda, bölgesel olarak uyumlu olan farklı spektral azalım ilişkileri kullanılmıştır. Ölçekleme yönteminde de yine bölgesel olarak uyumu dikkate alan farklı bir yaklaşım ile Türkiye'deki kayıtlara dayalı bir azalım ilişkisinin kullanılması tercih edilmiştir. Her iki yaklaşım için kullanılan gerçek kayıtlar da Türkiye'de olmuş depremler arasından seçilmiştir.

Farklı iki yaklaşıma dayalı olarak elde edilen kayıtlar Balıkesir yerleşim alanı sınırları içinde modellenmiş 105 temsili zemin profilinin (Yağcı, 2005) davranış analizlerinde kullanılmıştır. Analizler SHAKE 91 programı (Idriss ve Sun, 1992) ile yapılmış ve sonuçlar mikro

bölgeleme amacı ile değerlendirilmiştir. Son yıllarda mikro bölgeleme çalışmalarında tercih edilen yaklaşım, yüzeydeki yer hareketi parametrelerinin inceleme alanındaki frekans dağılımlarına dayalı olarak yorumlanmasıdır (DRM, 2004, Ansal vd., 2003, Ansal vd., 2004, Ansal vd., 2005). Analiz sonuçları bu yaklaşım doğrultusunda, en büyük ivme, Arias şiddeti ve spektral ivme cinsinden değerlendirilmiştir. Sonuçlar yüzeydeki yer hareketi parametrelerinin frekans dağılımları üzerinde, simülasyon ve ölçekleme yöntemlerinde kullanılan gerçek yer hareketi kayıtlarının önemli ve her iki yaklaşım için de farklı etkilere sahip olduğunu göstermektedir.

Çalışmada ayrıca yapay kayıtların kullanılması durumunda yüzeydeki değişim, NEHRP (2000) kriterlerinin sağlandığı bir optimizasyon yaklaşımına dayalı olarak belirlenen tasarım spektrumu değerleri cinsinden incelenmiştir.

Çalışma Örnekleri :

1. Memet Güzel; (2009); MİKROBÖLGELEME ÇALIŞMALARINDA JEOLojİK, JEOFİZİK, JEOTEKNİK VERİLERİN BİRLİKTE KULLANIMI (KUZEY ADANA ÖRNEĞİ) Doktora Tezi Cukurova Ün., Fen Bil. Enst.
2. Banu YAĞCI (2006); Mikrobölgelemede Ampirik Bir Yaklaşım; Sismik Yönetmelikler. Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 441-2006/1.
3. Banu YAĞCI, Atilla ANSAL, (2008); Mikrobölgeleme için yapay ve gerçek ivme kayıtlarının kullanımı itüdergisi/d Cilt 7 Sayı 2, 3-14, Nisan 2008.
4. Atilla ANSAL ve Vd. (2003); Adapazarı ve Gölcük için Mikrobölgeleme Çalışmaları, 5.ulusal deprem müh. Konferansı 26-30 mayıs 2003.
5. Banu YAĞCI, Atilla ANSAL, (2009); Balıkesir’de Mikrobölgeleme Uygulaması İMO Teknik Dergisi 2009 4583-4607, yazı 303.
6. Özlem KEPÇEOĞLU, 2008; Bursa ili Güzelyalı Beldesi için Mikrotremor Ölçümlerine Dayanan Bir Mikrobölgeleme Uygulaması. Yük. Lis. Tezi. İstanbul tek. Üniv. Fen Bil. Enst.

YAPILARLA İLGİLİ

GENEL

TANIMLAR

Tanımı

Genel Özellikleri

Yapı Çeşitleri

B.. Yapı Nedir ? Canlıların beslenmek ve barınmak gibi doğal ihtiyaçlarını karşılamak üzere, çeşitli yapı gereçleriyle ve yapım teknikleri de uygulanarak oluşturulan yer üstü, yer altı ve su tesislerine yapı denir.

B.1. Yapıların Genel Özellikleri Ne Olmalıdır ?Bir yapı, beklentileri en uygun şekilde karşılayabilmesi için, aşağıda sıralı özellikleri taşımalıdır:

a) Planlanan amaca uygun olmalı, b) Gereçler, yapının özelliklerine ve yapım tekniklerine uygun olarak kullanılmalı, c) Yük, yağmur, kar, rüzgâr, deprem, yangın, vb. iç ve dış etkilere dayanabilecek sağlamlıkta olmalı, d) Estetik (güzel görünümlü) olmalı, e) Ekonomik olmalı.

B.2. Yapıların Sınıflandırılması Yapılar çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılabilirler:

A. Gereçlerine Göre Sınıflandırma

- (1.) Kerpiç yapılar (2.) Ahşap yapılar (3.) Hımsı yapılar (4.) Yarım kâgir yapılar
- (5.) Kâgir yapılar (6.) Betonarme yapılar (7.) Çelik yapılar

B. Buldukları Yere Göre Sınıflandırma

- (1.) Alt yapılar yol su kanalizasyon köprü ve diğer zemin seviyesi altında kalan yapılar
- (2.) Üst yapılar zemin seviyesi üzerinde kalan tüm yapı kesimleri

C. Sürekliliğine Göre Sınıflandırma

- (1.) Geçici yapılar kısa süreyle ve hizmet için yapılan şantiye baraka depo vs. yapılar
- (2.) Sürekli yapılar kalıcı olarak yapılan ve kendisinden hizmet eklenen yapılar

D. Hizmet Amaçlarına Göre Sınıflandırma

- (1.) Konutlar müstakil ev apartman köşk ve benzerleri. (2.) Konaklama yapıları otel motel kamp vb. (3.) Kültür yapıları okul müze kütüphane vb. (4.) Sağlık yapıları hastane dispanser sanatoryum revir sağlık ocağı vb. (5.) Dini yapılar Cami mescit kilise vb. (6.) Sosyal yapılar sinema tiyatro kulüp vb. (7.) Ticaret yapıları banka dükkân İşhanı vb. (8.) Endüstri yapıları atölye işlik fabrika vb. (9.) Anıtlar ve tarihi yapılar (10.) Ulaştırma yapıları terminal gar deniz ve hava limanları vb.. (11.) Spor yapıları stadyum yüzme havuzu hipodrom vb. (12.) Su yapıları baraj su kanalı su tasfiye yapıları vb...

E. Mülkiyetlerine Göre Sınıflandırma

- (1.) Resmi yapılar (2.) Vakıf yapıları (3.) Özel yapılar

F. Taşıyıcı Elemanları Yönünden Sınıflandırma

- (1.) Yığma yapılar masif yapılar
- (2.) Karkas yapılar iskelet yapılar

1.1.Ahşap yığma yapılar 1.2.Kargir yığma yapılar 2.1.Ahşap karkas yapılar

2.2.Betonarme karkas yapılar 2.3.Çelik karkas yapılar

(3.) Prefabrik yapılar..

G. İnşaat Aşamalarına Göre Sınıflandırma

(1.) Kaba inşaat temel duvar merdiven vb. taşıyıcı sistemler

(2.) İnce inşaat kaplama boya badana yalıtım tesisat vb

H. Yapının Elemanlarına Göre Sınıflandırma

(1.) Taşıyıcı elemanlar (kaba yapı)

1.1.Temeller 1.2.Döşemeler 1.3.Duvarlar 1.4.Merdivenler 1.5.Kolonlar
1.6.Çatılar 1.7.Kirişler lentolar

(2.) Tamamlayıcı elemanlar (ince yapı)

2.1.Kapı ve pencere doğramaları 2.2.Döşeme duvar tavan merdiven ve çatı kaplamaları 2.3.Merdiven balkon ve teras korkulukları 2.4.Su nem ses ve ısı yalıtımları 2.5.Boya ve badanalar

(3.) Tesisatlar

3.1.Temiz pis ve sıcak su tesisatları 3.2.Elektrik tesisatları 3.3.Isıtma kalorifer tesisatı 3.4.Havalandırma tesisatı 3.5.Klima tesisatı 3.6.Asansör tesisatı 3.7.Kanalizasyon tesisatı



DEPREMLE İLGİLİ

GENEL

TANIMLAR

Tanımı

Deprem Kuvveti

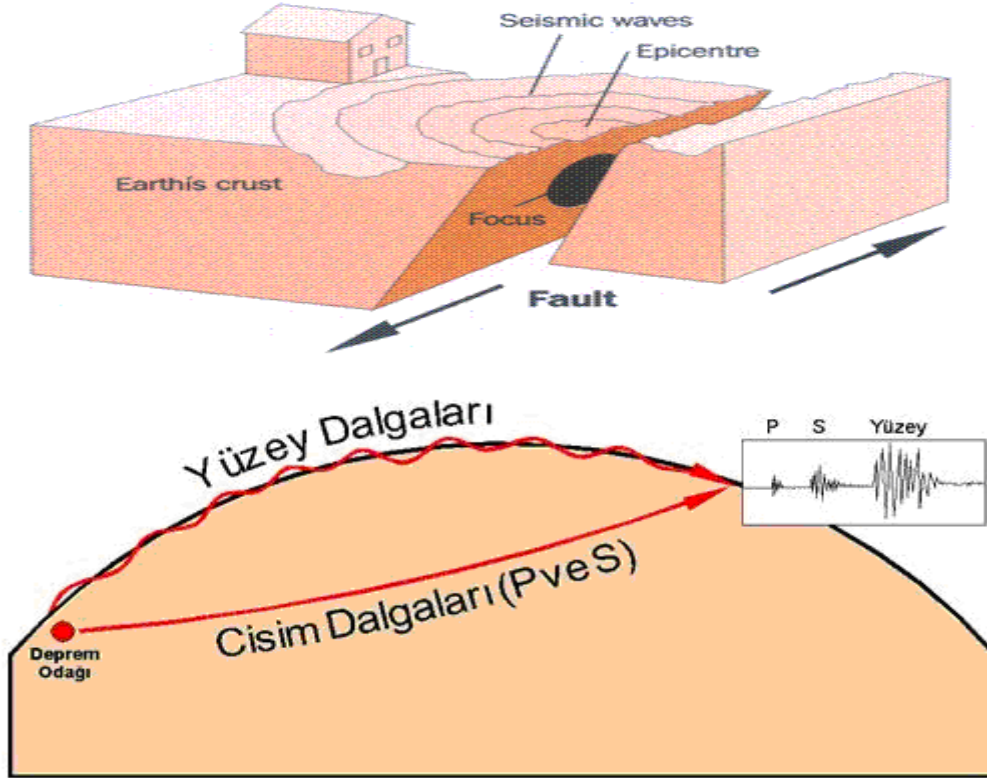
Deprem İvmesi

İvme Hesapları

Nedenİvme Önemlidir

C. Deprem İle İlgili genel Tanımlar

Deprem, bir elastik enerji kaynağından yayılan sismik dalgaların yeryüzünde yaptığı sarsıntı olarak tarif edilebilir. Depremlerin çoğu dünya kabuğunu meydana getiren levhaların birleştiği yerlerde meydana gelir. Levhalar devamlı hareket eder, gerilmelere ve şekil değişimlerine neden olur. Gerilme kabuğun mukavemetinden fazlaysa enerjii salıveren ve yeryüzünde sismik dalgalar meydana getiren ani bir kayma olur. Enerjinin bırakıldığı yere depremin merkezi denir ve yeryüzünde deprem merkezinin üzerindeki noktaya da merkez üssü denir. Yapısında deprem etkisi altındaki davranışı alttaki şekilde tanımlanmıştır.



(Şekil-1: sismik dalgalar, <http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/dalga-yayilma.gif>)

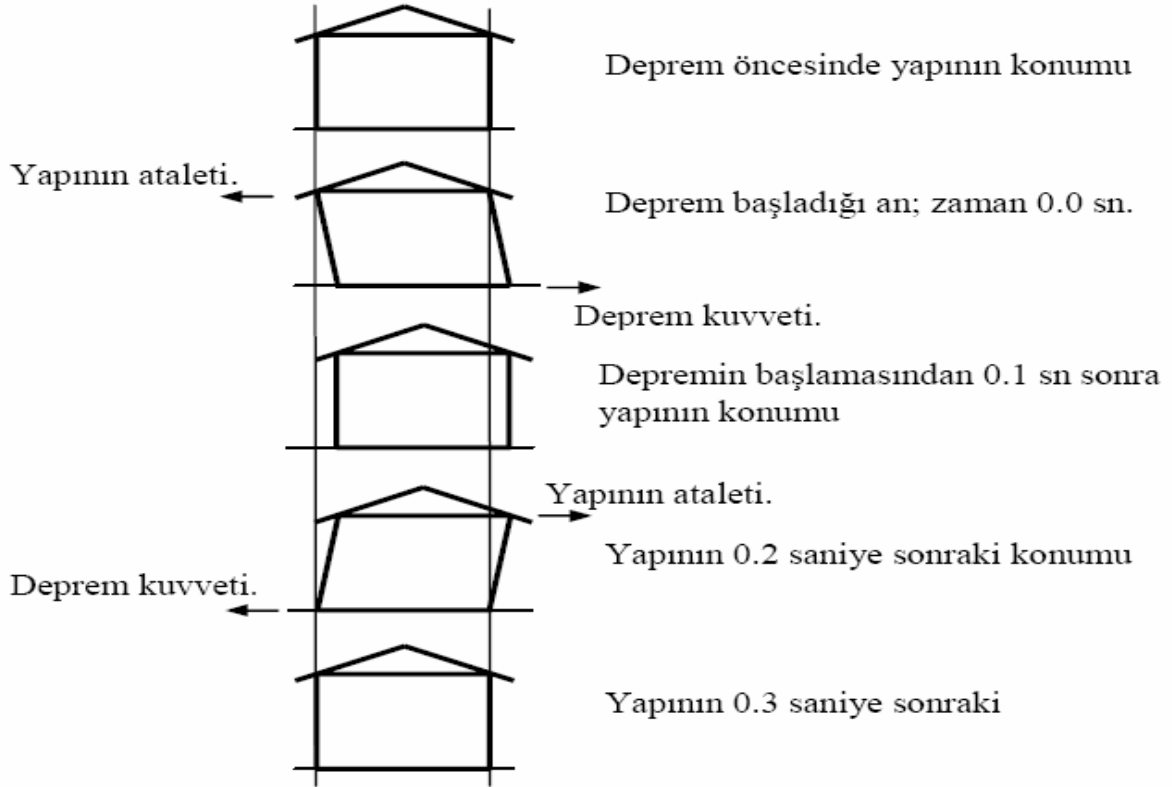
C. 1. Deprem Kuvvetleri: Deprem sırasında yapıyı etki eden yanal ve düşey kuvvetler oluşur.

C.1.1. Düşey kuvvetler: Deprem sırasında yapıya etkiyen düşey kuvvetlerin yapı ağırlığı ile dengelendiği kabul edilir ve bu nedenle bu yöndeki kuvvetler için yapı tasarım yönünden ek hesaplar yapılmayabilir. Bu düşey yöndeki kuvvetler yapı tasarımında ancak özel durumlarda hesaba katılır.

C.1.2. Yanal Kuvvetler: Deprem kuvvetleri yapıya yatay yönde baskın yük olarak etkidiği için yanal kuvvetler olarak adlandırılır ve toplam yanal deprem kuvvetini saptamak için

$$F = m a$$

Bağıntısı kullanılır (Newton bağıntısı). Depremın yapıya uyguladığı F kuvveti ile yapının toplam kütlesi (m) ve deprem sırasında oluşan sarsıntının yatay ivmesi a (a değeri yer çekim ivmesi g 'nin kesri cinsinde ifade edilir) arasındaki ilişkiyi tanımlar.



Şekil : Deprem Oluş Mekanizması ve Yapı-Zemin-Deprem İlişkisi

C.2. Depremın İvmesi (Acceleration)

Sözlükte "ivme" ne demek?

1. Devinen bir nesnenin hızının birim zamandaki değişimi.
2. İvmek eylemi.

İvme kelimesinin İngilizcesi = Acceleration (noun)

İvme, hızın birim zamandaki (bir saniyedeki) değişme miktarı. İlk defa İtalyan Fizikçisi Galileo tarafından tanımlanmıştır. Galileo, eğik düzlemde, aşağı yuvarlanan bir top ile yaptığı deneylerde, bütün cisimlerin aynı ivme ile düştüklerini tespit etmiştir. Yaptığı bu deneyler ve daha sonra ivmenin sabit olduğunu ispat etmesi, o zamana kadar gelmiş olan eski Yunan felsefecilerinden Aristo'nun bu konudaki varsayımına son vermiştir.

Aristo, ağır cisimlerin, hafif cisimlere nazaran daha hızlı düştüğünü kabul etmiştir. Ortalama ivme, ani ivme, çizgisel ivme ve açısal ivme şeklinde ivme türleri mevcuttur. Yol ve hız çizgisel ise ivme çizgisel; açısal ise açısaldır. Fizikte ivme sembolü (a) dır.

Ortalama ivme: Eğer cismin hızı zamanla değişiyorsa, ortalama ivme hızdaki değişimin geçen zamana bۆlümü ile hesaplanabilir. İvme için cm/s^2 ve m/s^2 yaygın kullanılan birimlerdenidir.

Deprem in ivmesi, deprem anında zeminin ne kadar miktarda ve ne hızla sarsıldığının bir ölçüsüdür. Binaların üzerinde sabit durduğu zemin, deprem dalgaları tarafından harekete geerilmektedir. Yapılar, zeminden ayrı bir kütleyle sahip olduğu için zeminin hareketine direnmekte ve sonuçta bina içinde yer hareketine ters yönde atalet (cisimlerin harekete karşı direnci) kuvvetleri oluşmaktadır. Bu durum sabit hızla giden bir aracın ani hızlanmasına veya yavaşlamasına benzer. Araç içindeki yolcular nasıl ani fren sonucu yıkılabiliyorlarsa, deprem sonucu ortaya çıkan atalet kuvvetleri tarafından da binalar yıkılabilmektedir.

İvmenin Vikipedi Tanımı :

Fizikte ivme, hızın zamana göre değişim hızı veya zamana göre türevi olarak tanımlanır. Büyüklüğü uzaklık/zaman² olan bir vektörel niceliktir ve cismin hem hızının hem de yönünün şiddetlerindeki değişimini gösterir.

İvmeölçer yardımıyla ölçülen ivmenin SI birimi metre/saniye²'dir. Genel olarak ivme terimi hızdaki (hız vektörünün şiddetindeki) artış olarak kullanılır; hızdaki azalışa ise yavaşlama denir.

Fizikte, hız vektöründeki bir değişim ivme olarak kabul edilir: dairesel harekette, hız vektörünün yönündeki değişim merkezci (merkeze doğru) ivme'ye yol açar. Klasik mekanikte sabit kütleli bir cismin ivmesi, cisme etki eden net kuvvetle orantılıdır (Newton'un ikinci yasası):

Formölde F cisme etki eden net kuvvet, m cismin kütlesi ve a da cismin ivmesini temsil eder.

Ortalama ivme kavramı hız vektöründeki değişimin (Δv) geçen süreye (Δt) bۆlümüdür.

Anlık ivme de, Δt sıfıra yaklaşırken, çok kısa zaman aralıklarında, belirli bir noktanın ivmesidir.

Deprem in ivmesi, deprem anında zeminin ne kadar miktarda ve ne hızla sarsıldığının bir ölçüsüdür. Binaların üzerinde sabit durduğu zemin, deprem dalgaları tarafından harekete geerilmektedir. Yapılar, zeminden ayrı bir kütleyle sahip olduğu için zeminin hareketine direnmekte ve sonuçta bina içinde yer hareketine ters yönde atalet (cisimlerin harekete karşı direnci) kuvvetleri oluşmaktadır. Bu durum sabit hızla giden bir aracın ani hızlanmasına veya yavaşlamasına benzer. Araç içindeki yolcular nasıl ani fren sonucu yıkılabiliyorlarsa, deprem sonucu ortaya çıkan atalet kuvvetleri tarafından da binalar yıkılabilmektedir. Deprem sırasında yerin sarsılması aynı zamanda ivme olayıdır. Maksimum (Pik) ivme, deprem sırasında kaydedilen en büyük ivme değeridir.

İvme Değişiminin Etkisi İle İlgili Van depreminden Örnek:

"İkinci depremin aletsel büyüklüğüne baktığımız zaman yanlış oluşturuyor. İkinci depremin aletsel büyüklüğü birincisinin altında kaldığı için sanki büyük bir deprem olmadığı yanlışlığı oluştu. Ama yarattığı ivme değerine baktığımız zaman birinci depremin iki katı yıkıcı etkisi olduğunu görüyoruz AFAD ulusal Deprem Gözlem Ağı ve AFAD Başkanlığı ulusal kuvvetli yer hareketi tarafından yapılan ölçümlerde Van merkezdeki kayıt istasyonunda kuzey güney yönünde 148 gal, doğu batı yönünde 246 gal ve düşey yönde 150 gal olarak ölçülmüştür.

İlk depremin kaydı ise kuzey güney yönünde 178.5 gal, doğu batı yönünde 168.5 gal düşey yönde ise 75.5 gal olarak ölçülmüştür. Elde edilen ivme değerleri açısından birinci depremde en yüksek değer kuzey güney yönünde 178.5 gal, ikinci depremde ise doğu batı yönünde 246 gal en yüksek değer olarak ölçülmüştür. İkinci depremdeki her üç yöndeki ivme değerleri daha yüksektir. Bu nedenden dolayı büyüklüğü 5.6 olmasına rağmen birinci depremden daha şiddetli hissedilmiştir.

Deprem İvmesi Neden İhtiyacımız Var ?

Deprem sırasında zemin yüzeyinde yatay ve düşey yer ivmeleri meydana gelir. Yapılar için önemli olan zemin yüzeyindeki deprem yatay hareketlerin ivmeleridir. Bu ivmeler yapılarda yatay atalet kuvvetlerinin oluşmasına neden olur. Bu atalet kuvvetleri, ayakta duran bir kişinin bastığı halının aniden çekilmesi nedeniyle bu kişiyi yana deviren kuvvetler gibidir. Yapıların depremde hasar görmemesi için bu atalet kuvvetlerine dayanıklı olması gerekir.

Bilindiği gibi deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşan yer hareketlerinin yatay ve düşey bileşen hareketleri yapılara da yansımaktadır. Düşey yöndeki hareketler, yapının düşey statik yüklere karşı dayanıklı olarak boyutlandırılması sebebi ile ihmal edilmektedirler.

Çünkü kolonlar düşey yükler etkisi ile önemli deformasyonlar yapmamaktadırlar. Fakat yatay yöndeki hareketler kolonlarda kesme etkileri oluşturarak yapıların üst kısımlarında önemli ötelenmelere (deplasmanlara) neden olmaktadır. Depremde yapılara kendi ağırlıkları ve kullanım yüklerinden başka yanal yükler gelmektedir. Bu durumda yapı sistemine deprem sırasında etkiyen yanal yükleri taşıyabilecek ve bu yanal yüklerin yaratacağı kesme ve eğilme etkilerini fazla ötelenmeden, bükülmeden ve kırılıp kopmadan taşıyabilecek elemanlar olmalıdır. Bir diğer deyişle yapı ve yapı elemanları deprem yüklerine karşı tasarlanmış olmalıdır.

İvme Kaydı (Accelerogram): Bir deprem sırasında kaydedilen yer ivmesine denir. Maksimum (Pik) ivme, deprem sırasında kaydedilen en büyük ivme değeridir.

İvme Ölçer (Accelerograph): Deprem anında yer hareketinin ivmesini kaydeden cihazlardır. Ayrıca kuvvetli yer hareketi sismografi olarak da adlandırılırlar. Aletin ölçtüğü değer birimi cm/sn^2 (gal) dir. Yerçekimi ivmesinin ($g=981 \text{ cm/sn}^2$) kesri olarak kayıt alırlar.

Spektral ivme katsayısı Basitçe Fizikteki $F=m.a$ ile tanımlanan Newton bağıntısındaki ivmeyi (a) bulmamızı sağlar. Bu bağıntıya göre yapının m kütlesi, a ivmeli bir deprem hareketinde F kuvvetinin oluşmasına neden olur. Spektral yer ivme katsayısı adından anlaşılacağı gibi yer ivmesinin bir çarpanıdır. Yani yapıya etkiyecek olan yatay ivmenin yerçekimi ivmesinin ne kadarı olduğunu ifade eder. Eşdeğer deprem yükünü tayin ederken 1.deprem bölgesinde yerçekimi ivmesinin (9,81) %40 ı (0,40) yatay ivme olarak hesaba katılır.

C.2.1. En Büyük yatay Yer İvmesinin Hesaplanması

Sıvılaşma analizinde kullanılan en büyük yatay deprem ivmesi göz önüne alınan bölge için ya deprem riski analizlerinden hesaplanır veya o bölgedeki sismik özellikler dikkate alınarak azalım ilişkilerinden yararlanılıp o bölgede bir deprem sırasında olabilecek en büyük yatay yer ivmesi bulunur. Yaygın olarak kullanılan ivme hesaplama yöntemlerinden bazıları aşağıda verilmektedir

Joyner ve Boore (1981) Yöntemi Joyner ve Boore (1981) tarafından geliştirilen bağıntı aşağıda verilmektedir.

$$\log(A) = -1.02 + 0.249 * M_w - \log r - 0.00255 * r \mp 0.26$$

$$r = \sqrt{d^2 + 7.3^2}$$

Burada A, en büyük yatay yer ivmesi (g) dir. M_w moment büyüklüğü olup, $5.0 \leq M_w \leq 7.7$ arasında değişir. d ise fay kırığının yüzey yansımasına en yakın mesafesi olup km cinsindedir.

Fukushima ve Tanaka (1990, 1999) Yöntemi Bu yöntemde aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$\log A = 0.41 * M_s - \log(R + 0.032 * 10^{0.41M_s}) - 0.0034 * R - 1.69 \mp 0.21$$

Burada A, en büyük ivme değeri (g); R, faya olan en kısa mesafe (km); M_s : yüzey dalgası büyüklüğü ($6.0 \leq M_s \leq 7.9$) olmaktadır.

Ansal (1999) Yöntemi Bu yöntem Türkiye deprem verilerine göre Ansal (1999) tarafından elde edilmiştir. Bağıntı aşağıda verilmektedir.

$$\log(A_p) = 0.33 * M - 0.00327 * R - 0.79 * \log R + 1.177$$

$$R = \sqrt{R_{epc}^2 + h^2}$$

Burada A_p , en büyük yatay yer ivmesi; R_{epc} , faya olan mesafe; h, odak derinliği (km) ve M, moment büyüklüğüdür.

C.3. Niçin Kuvvetli Yer Hareketi Ölçümleri Yapılmalı ? Kuvvetli yer hareketi ölçümlerindeki amaç, deprem sırasında oluşan yer ivmesini ölçmektir. İvme kayıtları mühendislik uygulamaların ve bilimsel çalışmalar için önemli veri tabanı oluşturmaktadır. Önemli mühendislik bilgileri içeren bu ivme değerleri, depreme dayanıklı yapı tasarımı konusunda, depremin uzaklıkla olan azalım ilişkileri geliştirilmesinde kullanılmaktadır.

Herhangi bir istasyonda kaydedilmiş bir depremin, istasyondan değişik uzaklıklardaki yerleşim birimlerinde beklenen hasar tahmini ve şiddet dağılımı belirlenebilmektedir. Bir deprem anında ivme kayıtlarına erişim sağlandığı zaman deprem bölgesindeki hasar durumu hızlı bir şekilde tahmin edilebilir.

Deprem tehlikesi belirlemede, en önemli dinamik parametreyi depremin ivmesi teşkil etmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan taban kesme kuvvetinin iki önemli ögesinden biri, zemin yüzeyindeki yatay yer ivmesidir.

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınan parametrelerden, “Etkin Yer İvmesi Katsayısı”nın sağlıklı olarak belirlenmesi, inşaat yerinde temel kayada beklenen maksimum yatay yer ivmesinin doğru bir şekilde tahmin edilmesine bağlıdır.

Yakın aralıklarla konumlandırılmış ivme-ölçer dizilerinden sağlanan kayıtlarla, deprem dalgasının yayılımı, fayın karakteristiği, depremin odak mekanizması ve zemin büyütmesi belirlenebilir.

Ayrıca ivme-ölçerler, depremin S ve P dalgalarının faz farkı sürelerinden yararlanarak yangınlar, nükleer sızıntılar ve gaz emisyonu gibi ikincil hasar yapıcı, insan sağlığına ve büyük ekonomik kayıplara neden olan etkenlere karşı erken uyarı amaçlı kullanılabilir. İvme-ölçerlerin duyarlıklarının artması sonucu mikrotremorlar, ivme olarak kaydedilebilir.

Sonuç 1. Depreme dayanıklı yapı tasarımındaki en önemli parametrelerden biri, yatay deprem yer ivmesi değeridir. Bu parametre, tasarım alanında ana kaya üzerinde ölçülmüş olan sismik enerjinin mesafeye göre azalmasını ifade eden sönüm denklemleri yardımıyla hesaplanmaktadır.

Sonuç 2. Türkiye’de ölçülmüş kuvvetli yer hareketi kayıtları, kuyu içi sismik verileri, ProShake bilgisayar programı ve SPSS yazılımı; sondaj kuyusu açılması, kuyu içi sismik deneyi, ters evrişim (deconvolution), magnitüd dönüşümü, regresyon ve korelasyon analizi bu çalışmalarda kullanılan başlıca materyal ve yöntemlerdir.

Sonuç 3. Yatay deprem yer ivmesinin hesabında iki yol izlenir.

Birinci yol: Yapının yapılacağı bölge için tanımlanmış olan azalım ilişkileri kullanılarak ve yine yapı yapılacak noktaya en yakın olan ve ana kaya üzerinde kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi kayıtlarını yapının yapılacağı noktaya taşımaktır.

Bu taşıma işleminde yapının yapılacağı noktanın altındaki ana kayaya kadar olan zeminin Vs hız değerlerinin ayrıntılı tanımlanması gerekir. Bunun için yüzey sismik yöntemleri (sismik kırılma, yansıma ve MASW) ile kuyu içi sismik yöntemler (down-hole, up-hole, cross-hole) kullanılır.

Deprem yer yatay ivme değerine ulaşma işlemi uygulanırken, yapıcılar tarafından kabul edilen var sayıma göre, Vs hız değerleri yapı yapılacak yüzey ile jeolojik ana kaya arasındaki zemin tabakalarının özelliğini yansıtacak biçimde seçilmelidir. Bu aşamada göz ardı edilen olay (veya yapılan hata) 600 veya 750 m/sn. Vs hız değerinin ana kaya kabul edilmesidir

(aşağıda EERA program kullanma kılavuzundan alınmış olan orijinal şekilde kabul açıklanmıştır).

Bir diğer kabul ise yapının yapılacağı noktaya ana kaya ivmesi taşınırken ana kaya ile zemin yüzeyi arasında yer alan zemin tabakalarının yatay yarı-sonsuz ve homojen yapıda kabul edilmesidir (Doğa homojen değildir ve metre ölçeğinde yatay ve düşey yönde değişimler ve süreksizlikler ve kapanımlar gösterebilir). Bu durum EERA programı kullanma kılavuzunda yer alan şekil 6 ile açıklanmıştır.

Bu kabullerin en az hata ile gerçekleşmesi için yerinde (in-situ) jeofizik çalışmalar yapılması gerekir. Bu ölçümlerdeki hedef; iki ve üç boyutlu jeofizik çalışmalarla (sismik kırılma, sismik yansıma, MASW ve öz direnç tomografi) ve kuyu içi sismik ölçümlerle alanın yanal ve düşey yönde tabakalanma özelliklerinin deprem yer yanal ivme değerlerini nasıl etkilediğinin saptanmasıdır.

3.1 Free surface, bedrock outcropping and rock outcropping motions

Figure 7 defines four terms used in site response analysis. The *free surface motion* is the motion at the surface of a soil deposit. The *bedrock motion* is the motion at the base of the soil deposit. The *rock outcropping motion* is the motion at a location where bedrock is exposed at the ground surface.

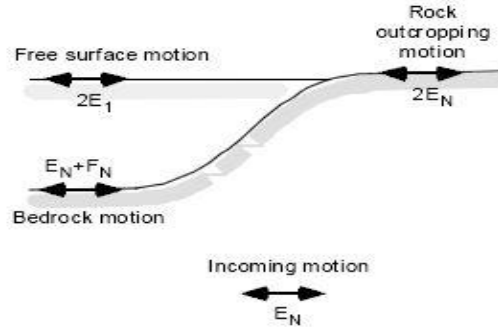


Figure 7. Terminology used in site response analysis.

Layer	Coordinate	Properties	Thickness
1	z_1	$G_1 \xi_1 \rho_1$	h_1
2	z_2	•	
•		•	
m	z_m	$G_m \xi_m \rho_m$	h_m
m+1	z_{m+1}	$G_{m+1} \xi_{m+1} \rho_{m+1}$	h_{m+1}
m+2	z_{m+2}	•	
•		•	
N	z_N	$G_N \xi_N \rho_N$	$h_N = \infty$

Figure 6. One-dimensional layered soil deposit system (after Schnabel et al., 1972).

Şekil C1. Ana Kaya İvmesinin Zemin Yüzeyine Taşınması

ZEMİN
ARAŞTIRMALARINDA
KULLANILAN
VE
SİSMİĞE DAYALI
YÖNETMELİKLER

Nehrp Deprem Yönetmeliği İle İlgili Genel Tanımlar

Nehrp Deprem Yönetmeliği İle İlgili Spektrum- İyeme Hesapları

NEHRP' de Zemin Sınıflandırma Sistemi

D. Zemin Araştırmalarında Kullanılan ve Sismiğe Dayalı Yönetmelikler

Sayırsız değerli verinin toplandığı, Amerika, Avrupa, Japonya ve dünyadaki son büyük depremlerden sonra, ortaya çıkan modern sismik yönetmelikler (IBC2000, UBC97, NEHRP, EC8), tamamen pratik nedenler için gerekli düzeltme ve basitleştirmelerle birlikte çok önemli deneysel ve teorik sonuçları içermektedir (**Pitilakis, K., "Site effects", Recent Advances in earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, ed. by A. Ansal, (2004), Kluwe Academic Publishers, p.139.**)

Modern sismik yönetmeliklerdeki ana gelişme, spektral değerlerdeki büyütme faktörünün sismik şiddete dayalı olarak değişmesidir. Bu değişim;

1. Düşük şiddetli depremler lineer elastik zemin davranışı nedeniyle daha yüksek büyütme faktörlerinin üretilmesi
2. bunun tersinde zeminlerin lineer olmayan davranışı ile sonuçlanan yüksek şiddetli sarsıntılarda pik spektral değerlerinin düşmesidir.

Diğer bir gelişme, ortalama kayma dalgası hızına ve standart geometrik parametrelerin (PI, Su) kullanıldığı daha iyi zemin tanımlamalarına dayalı sınıflandırmaların geliştirilmiş olmasıdır.

Ayrıca yüksek empedans kontrastı gösteren ince zemin tabakaları için, yönetmeliklerin yeni versiyonu teori ve gözlemlerle uyumlu olarak yüksek büyütme oranları atamaktadır (**Pitilakis, K., "Site effects", Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, ed. by A. Ansal, (2004), Kluwe Academic Publishers, p.139.**) Avrupa sismik yönetmeliği (EC-8) (**Eurocode 8, Design of Structures for Earthquake Resistance, prEN1998-1, Draft 4, (2001)**) ve NEHRP yönetmeliğinde (**NEHRP 2003 Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, (Fema 450), (2003)**) zemin sınıflandırmaları, üst 30 metredeki kayma dalgası hızlarına dayanmaktadır.

Spektral büyütme, Avrupa Sismik Yönetmeliğinde (EC-8) zemin gruplarının fonksiyonu olarak Tip-1 ($M_s > 5.5$) ve Tip-2 ($M_s < 5.5$) olmak üzere deprem büyüklüğünü dikkate alan iki farklı durum için tanımlanmaktadır. Spektral büyütme, zayıf ve kuvvetli yer hareketi durumunda zemin grubuna dayalı olarak değişmesi, zeminlerin lineer ve lineer olmayan davranışlarını yansıtmaktadır.

NEHRP yönetmeliğinde ise zemin büyütme faktörleri, ana kayadaki düşük (0.2 sn) ve yüksek (1 sn) periyota sahip spektral ivme değerleri için yerel zemin sınıfı ve beklenen yer hareketi şiddetinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır (**NEHRP 2000 Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, (Fema 369), (2000)**).

Diğer taraftan NEHRP yönetmeliğinin istatistiksel geçmişi göz önüne alındığında, Amerika'daki farklı jeolojik ve tektonik özelliklere sahip bölgelerin tamamı için ortak bir yönetmelik ihtiyacı doğmuş ve UBC ve NEHRP yönetmeliklerinin birleşimine dayalı olarak IBC 2000 uluslararası yönetmeliği, geliştirilmiştir (**Pitilakis, K., "Site effects", Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, ed. by A. Ansal, (2004), Kluwe Academic Publishers, p.139.**)

Dolayısıyla gelişen yaklaşımlar açısından benzer olan modern yönetmelikler, jeolojik ve tektonik özellikler açısından farklı veri tabanlarına dayanmaktadır. Türkiye, aktif tektonik bölgelerdeki sığ yer kabuğu hareketleri olarak tanımlanan tektonik oluşum grubunda yer

almaktadır. Bu tektonik oluşum grubundaki diğer bir bölge Kaliforniya'dır. Bu jeolojik ve tektonik benzerlik ile yapılmış karşılaştırmalı çalışmalar göz önüne alındığında, Türkiye'deki mikro bölgeleme çalışmaları kapsamında uygulanacak ampirik yaklaşımlar için Batı Amerika'daki yer hareketi veri tabanına dayalı azalım ilişkilerinin ve Türkiye Deprem Yönetmeliği dışında, NEHRP yönetmeliğinin kullanılması önerilmektedir (**Belediyeler için Sismik Mikrobölgeleme, World Institute for Disaster Risk Management (DRM), Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, (2004).**

D.1.NEHRP (A.B.D) Deprem Yönetmeliği

NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program); Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılacak olan yeni binalar ve diğer yapıların depreme dayanıklı tasarım ve inşaatı için uyulması gereken koşulları belirleyen ve BSSC (Building Seismic Safety Council) tarafından FEMA (Federal Emergency Management Agency) için hazırlanmış bir yönetmeliktir. Hazırlanan bu yönetmelikle, özellikle deprem riski yüksek olan bölgelerde inşa edilecek yapıların ve inşa edilmiş olan yapıların maruz kalabilecekleri tehlikeleri en aza indirerek, önemli binaların herhangi bir deprem sırasında veya sonrasında beklenen performanslarını arttırmak amaçlanmaktadır.

D.1.1. NEHRP' e Göre Davranış Spektrumlarının Belirlenmesi

Depreme karşı güvenli bir yapı tasarımı için gerekli olan spektral ivme değerlerinin belirlenebilmesi için kullanılan davranış spektrumlarının oluşturulabilmesi amacı ile Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde benimsenen yaklaşımda olduğu gibi önce o bölgedeki zemin sınıflarının belirlenmesi gerekmektedir. Başlangıç versiyonu 1970'lerin sonunda ATC tarafından hazırlanmış olan NEHRP yönetmeliğinde, yerel zemin koşullarının etkisi, tartışılan çok sayıdaki ampirik ve analitik çalışma sonuçlarına dayalı olarak düzenlenmektedir. Dolayısıyla yönetmeliğin bu günkü koşulları, mikro bölgelemedeki gelişen yaklaşımları da yansıtmaktadır. 1994 NEHRP yönetmeliği, zemin faktörünü de içine alan tasarım kontrol faktörleri ile mikro bölgelemeye dayalı tasarımda ilk adım olarak **yorumlanabilir (Todd, D., Harris J.R., "De facto Microzonation Through The Use of Soils Factors in Design Triggers", 5.th International Conference on Seismic Zonation, Nice, France, (1995)).**

Amerika'nın yapı yönetmeliğindeki deprem tasarım yönetmelikleri, geniş bölgeleri kapsayan makro bölgelemeden, farklı tasarım gerekleri olan sismik bölgeler içeren mikro bölgelemeye doğru gelişim göstermiştir. Bugünkü yönetmeliklerde bölgeleme, uygulanabilecek yapısal sistemin, izin verilebilir yapı tipinin ve tasarımda kullanılacak analitik prosedürün belirlenmesinde önemli bir faktör olarak görülmektedir (**Hamburger, R., O., "Application and Impacts of Seismic Zonation" Earthquake Engineering Abstracts, www.nisee.berkeley.edu, (2000).**

1994 yönetmeliği, yüksek ve düşük periyotlardaki yer hareketi büyütmesi üzerinde, ana kaya rijitliği, yer hareketi şiddeti seviyesi, zemin tipi, rijitliği ve derinliğinin etkisini gösteren çalışmalar ile 1985 Mexico City ve 1989 Loma Prieta depremlerine ait deneyimleri kapsamaktadır (**NEHRP 2000 Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, (Fema 369), (2000)**

1989 Loma Prieta depremi kuvvetli yer hareketi kayıtları, depreme dayanıklı tasarım için yerel zeminlerin davranışının belirlenmesinde önemli bir veri seti sağlamıştır. Bu aşamada, araziye bağımlı davranış spektrumlarının tahmini için geliştirilen metodoloji, kayma dalgası

hızına dayalı zemin sınıflandırma sistemini ve kayma dalgası hızı ile yer hareketi seviyesinin fonksiyonu olarak ampirik büyütme katsayılarını tanımlamaktadır (**Borcherdt, R.D., “Estimates of Site Dependent Response Spectra for Design Methodology and Justification” Earthquake Spectra, (1994), 11, p.173..**

Araştırma ve gözlem sonuçlarını yansıtan bu metodoloji ile yerel zemin şartları ve beklenen yer hareketi seviyesi arasındaki karşılıklı etkileşim göz önüne alınmaktadır. Zeminler genel olarak ana kayadaki yüksek periyota sahip spektral ivmeyi, düşük periyota sahip spektral ivmeye göre daha fazla büyütmektedir ve büyük yer hareketi seviyeleri için (düşük periyot değerleri için $S_s > 1g$ ve 1 sn için $S_1 > 0.4g$) düşük periyotlardaki büyüme veya azalma daha düşüktür. Bu durum, mevcut zemin tipleri için maksimum spektral büyütme değerinin sabit ($SA=2.5$) olduğu, yönetmeliğin bir önceki versiyonunun temelini oluşturmaktadır.

Aynı zamanda, özellikle düşük seviyedeki yer hareketine maruz yumuşak zeminlerde, düşük periyotlardaki pik ivmelerin birkaç kat büyütülebildiğine ait kanıtlar, normalize spektrum yaklaşımının yerine iki faktörlü yaklaşımın almasını gerektirmiştir. Bu yaklaşım doğrultusunda 2000 NEHRP Yönetmeliği, ulusal haritalardan elde edilen olası maksimum spektral ivmeleri (S_s ve S_1), zemin katsayısı F_a ve F_v değerleri ile düzenlemektedir. Bu katsayılar zemin sınıfı ve maksimum spektral ivmenin (S_s ve S_1) fonksiyonudur (**NEHRP 2000 Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, (Fema 369), (2000)**) Tanımlanan zemin sınıflandırma sistemi ve katsayıları, yönetmeliğin 2003 versiyonunda da değişmemiştir, ancak literatürde farklı görüşler ve yaklaşımlar doğrultusunda incelenmektedir (**NEHRP 2003 Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, (Fema 450), (2003).**

Borcherdt (1994) (Borcherdt, R.D., “Estimates of Site Dependent Response Spectra for Design Methodology and Justification” Earthquake Spectra, (1994), 11, p.173.. tarafından önerilen ve daha sonra birçok modern yönetmeliğe adapte edilmiş olan, zemin yüzeyinden itibaren üst 30 m'deki eşdeğer kayma dalgası hızına dayalı olarak belirlenen zemin sınıflandırması literatürde tartışılan konulardan biridir. Bu sınıflandırmanın ana avantajı, nadiren 30-40 m'yi aşan geleneksel geoteknik incelemelere dayalı olarak zemin şartlarının değerlendirilmesindeki kolaylıktır.

Diğer taraftan, 30 m sınırlı derinlik için kayma dalgası hızının, zemin büyütme karakteristiklerinin tahmininde doğru bir parametre olup olmadığı sorusu araştırılmaya devam etmektedir. Kuyu içi ölçüm ağı çalışmaları, yatay heterojenliğin olduğu şartlarda yüzey dalgaları nedeniyle, ya da sıvılaşma ve güçlü in-elastik davranış nedenli olarak, büyütme için üst 30 m ile sınırlı olmadığını kanıtlamaktadır. Dolayısıyla bu parametrenin zemin sınıflandırmasında kullanılmasının yanıltıcı olabileceği ve örneğin sadece ana kaya derinliğinin relatif olarak sığ olduğu, yatay tabakalı zeminler için uygun bir parametre olabileceği görüşleri mevcuttur (**Pitilakis, K., “Site effects”, Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, ed. by A. Ansal, (2004), Kluwer Academic Publishers, p.139)**

Diğer taraftan yönetmelikteki 1989 Loma Prieta depremi gözlemlerine dayalı zemin katsayılarının, Doğu Amerika'daki yer hareketi karakteristiklerinin, Kaliforniya'dakilerden oldukça farklı olduğu görüşü doğrultusunda yeniden değerlendirildiği bir **çalışmada (Hwang, H.M., Lin, H. and Huo, J., “Site Coefficients for Dizayn of Buildings in Eastern United States” Soil Dynamics and Earthquake Engineering, (1997), 16, p.29)**, sonuçlar tektonik yapı ve sismik etkinlik farklılıklarının etkisini doğrulamıştır. Olasılıksal yaklaşımın kullanıldığı çalışmada,

Doğu Amerika'da olması muhtemel yer hareketi için üretilen yapay kayıtlar kullanılmıştır. Yeniden hesaplanan zemin katsayıları, yönetmeliktekilerle karşılaştırıldığında, bazı zemin sınıflarında, artan spektral ivme değerlerine karşılık, yönetmelikteki katsayılarda lineer olmayan bir davranış ile azalma söz konusu iken, elde edilen yeni katsayılarda lineer bir davranış sonucu artış gözlenmiştir.

Farklı bir çalışma Rodriguez-Marek, A., Bray, J.D., Abrahamson, N.A., "An empirical Geotechnical seismic site response procedure" Earthquake Spectra, (2001) ise, yönetmelikteki sınıflandırmanın zemin derinliğini ihmal ediyor olmasının, yer hareketinin tahmin edilmesinde arzu edilmeyen bir belirsizlik seviyesi yaratabileceğini göstermektedir.

Aynı çalışmada, Borcherdt (Borcherdt, R.D., "Estimates of Site Dependent Response Spectra for Design Methodology and Justification" Earthquake Spectra, (1994), 11, p.173) zemin büyütme faktörlerinin öncelikli olarak önemli oranda lineer olmayan zemin davranışının gözlemlendiği 1989 Loma Prieta depremi verilerine dayandığı ve buna karşılık 1994 Northridge depreminde artan yer hareketi seviyesi ile zemin büyütme faktörlerinde bir azalmanın gözlenmemiş olmasının, yönetmelikteki mevcut zemin faktörlerinin güvensiz tarafta olabileceğini düşündüğü belirtilmiştir. Mevcut zemin sınıflandırma sistemi ve büyütme katsayılarıyla ilgili bu iki noktayı vurgulayan çalışma, zemin rijitliği ve derinliğine dayalı basitleştirilmiş yeni bir sınıflandırma sistemi ve spektral büyütme faktörleri önermiştir.

Çalışmada, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremi yer hareketi verileri kullanılmış ve önerilen sistemin geçerliliğinin değerlendirilmesi amacıyla azalım ilişkilerindeki basit sınıflandırma sistemi ve kayma dalgası hızına dayalı yönetmeliklerdeki sınıflandırma sistemi ile performanslar karşılaştırılmıştır. Aktif tektonik bölgelerdeki sığ yer kabuğu hareketi olarak tanımlanan yalnızca iki depreme ait veri setine dayalı çalışma sonuçlarının, yer hareketinin tahminindeki belirsizliği azalttığı görülmüştür.

Bir diğer araştırma (Rathje, E.M., Lauro, F.J., "Incorporating frequency content into simplified site response procedures", XV ICSMGE TC4 Satellite Conference on "Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes", İstanbul, Turkey, (2001)), yönetmeliklerdeki ve azalım ilişkilerindeki basit arazi davranış modellerinde, ana kayadaki yer hareketi frekans içeriğinin ihmal edilmemesi gerektiğini analitik bir çalışma ile desteklemektedir. Çalışmada, magnitüd (M_w), ortalama periyot (T_m) ve 1 sn periyota sahip normalize spektral ivme ($NSa1=Sa/MHA$) gibi frekans içeriği göstergelerinin katılımıyla, zeminler için yer hareketi tahminindeki belirsizliğin azalıp azalmayacağı değerlendirilmiştir. Veri seti, değişen şiddet ve frekans içeriklerindeki 20 yer hareketinin girdi olarak kullanıldığı, 60 m derinliğindeki zemin tabakasının (başlangıç periyodu 1 sn) ProShake programı ile yapılan davranış analizlerine dayanmaktadır. Deprem kaynağı ve yol etkileri nedeniyle gerçek kayıtlar tercih edilmemiştir. Regresyon analizi sonuçları, frekans içeriği göstergelerinin dâhil edildiği her üç davranış modelinin de arazi davranış modellerinin tahminindeki standart hataları önemli oranda azalttığını göstermiştir. Ancak çalışmada ortaya konan ilişkinin tek bir zemin tabakasının eşdeğer-lineer analizine dayalı olması nedeniyle, prosedürün geliştirilmesi gerekmektedir.

Bölgedeki zemin sınıflarının elde edilmesinden sonra ise NEHRP tarafından o bölgenin depremselliğine göre hazırlanmış olan spektral ivme haritalarından o bölge için geçerli olan kısa periyotlarda öngörülen maksimum ana kaya spektral ivme değeri (S_s) ve 1 saniyelik periyotta öngörülen maksimum ana kaya spektral ivme değeri (S_1) elde edilmelidir. (S_s) ve

(S1) deprem spektral ivme değerleri deterministik veya 50 yıllık bir periyotta %2 aşıma olasılığı göz önüne alınarak olasılıksal bir yaklaşımla elde edilmiş değerlerdir.

D.1.2. NEHRP' de Zemin Sınıflandırma Sistemi

NEHRP tarafından hazırlanan yönetmelikte daha önceki yıllarda üç olan zemin sınıfı sayısı, 1985 Mexico City Depremi'nden sonra yerel zemin koşullarının etkisinin daha iyi anlaşılması ile birlikte dört 'e çıkarılmıştır. Daha sonra meydana gelen Loma Prieta Depremi'nden elde edilen ölçümler ve yapılan çalışmalardan sonra ise yerel zemin koşullarının deprem davranışı üzerindeki etkisini göz önüne alabilmek için A 'dan F' e kadar değişen altı zemin sınıfının gerekliliğine karar verilmiştir. Bu zemin sınıfları Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1 'deki zemin sınıfı tanımları, zemin profilinin ilk 30 m'lik derinliği için geçerli olmaktadır. Bu derinlik içerisinde birbirinden kesin olarak ayrılan zemin tabakaları varsa, bunların her biri için zemin parametreleri dikkate alınarak ortalama değerler hesaplanmaktadır. Tablo 1' de verilen zemin sınıfı tanımlamaları için kullanılan ve zemin özelliklerini yansıtan kayma dalgası hızı, V_s , standart penetrasyon darbe sayısı N , ve drenajsız kayma mukavemeti S_u parametrelerinin ağırlıklı ortalamaları aşığıdaki şekilde hesaplanarak sınıflandırma yapılmaktadır.

$$V_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{V_{si}}}$$

$$N = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (3 \text{ ve } 4)$$

Yukarıdaki ifadelerde (d_i) zemin yüzeyinden itibaren 30 m içerisindeki herhangi bir tabaka kalınlığı, (N_i), 100 darbe/ft değerini aşmamak üzere her bir tabakada ölçülen standart penetrasyon direncidir.

Kohezyonlu zemin tabakalarının sınıflandırılmasında ise plastisite indeksine (PI) göre bir değerlendirme yapılarak $PI < 20$ olan kohezyonlu zeminlerde ortalama N_{ch} değeri ve $PI > 20$ olan kohezyonlu zeminlerde ise S_u hesaplanabilmektedir. Buna göre $PI < 20$ olan kohezyonlu zeminlerde ilk 30 m içerisinde N_{ch} aşığıdaki şekilde verilmektedir.

$$N_{ch} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \quad \sum_{i=1}^m d_i = d_s \quad (5)$$

Yukarıdaki ifadeye N_{ch} , kohezyonlu zemin tabakalarının Standart Penetrasyon Darbe sayısı, (d_s) ise zemin yüzeyinden itibaren 30 m içerisindeki toplam kohezyonsuz zemin tabakası kalınlığıdır. $PI > 20$ olan kohezyonlu zemin tabakalarının sınıflandırılmasında ise ortalama drenajsız kayma mukavemeti değeri göz önüne alınmakta ve aşığıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$S_U = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} \quad \sum_{i=1}^k d_i = d_c \quad (6)$$

Burada, Sui 250 kPa'ı aşmamak üzere o tabakaya ait drenajsız kayma mukavemeti değeri, dc ise zemin yüzeyinden itibaren 30 m içerisindeki toplam kohezyonlu zemin tabakası kalınlığıdır (BSSC-Building Seismic Safety Council (2001), "NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures", 2000 Edition, Part I: Provisions FEMA 302.)

D.1.3.NEHRP' de kullanılan Arazi Katsayıları ve Öngörülen Maksimum Deprem için Düzeltmiş Spektral İvme Parametreleri,

FEMA için hazırlanan NEHRP, tasarım davranış spektral ivme değerlerini elde edebilmek için farklı geoteknik özelliklere sahip bölgeler için maksimum deprem spektral ivme (Ss ve S1) değerlerinde yerel arazi koşullarını dikkate alacak şekilde bir düzeltme yapılmasını önermektedir.

Bu düzeltme ise sismik arazi katsayıları olarak adlandırılan Fa ve Fv katsayıları kullanılarak yapılmaktadır. Böylece, arazi zemin sınıflarına göre düzeltilmiş, kısa periyotlar ve 1 sn'lik periyotlarda öngörülen maksimum deprem spektral ivme (SMS ve SM1) değerleri aşağıdaki eşitlikler ile bulunur.

$$SMS = F_a \times S_s$$

(7a)

$$M1 = F_v \times S1$$

(7b)

Fa ve Fv sismik arazi katsayıları A, B, C, D zeminleri için Ss ve S1' e bağlı olarak Tablo 2 ve Tablo 3' de belirtilmiştir.

Diğer taraftan, Tablo 6 ve Tablo 7' de de görüleceği gibi E ve F zemin sınıfları için tasarım davranış spektrumlarının oluşturulması için bu katsayılar verilmemekte ve sahaya özel dinamik davranış analizinin yapılması önerilmektedir (BSSC-Building Seismic Safety Council (2001), "NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures", 2000 Edition, Part I: Provisions F

D.1.4. Tasarım Spektral İvme Parametreleri ve Deprem Davranış Spektrumlarının Oluşturulması

NEHRP 'de deneyimler ışığında, tasarım spektral ivme parametrelerinin arazi katsayılarına göre düzeltilmiş maksimum deprem spektral ivme değerinin 2/3 ile çarpılması ile elde edilmesi öngörülmüştür. Buna göre kısa periyotlar için tasarım deprem spektral ivmesi (SDS) ve 1sn'lik periyot için tasarım deprem spektral ivmesi SD1 aşağıdaki denklemlerle tanımlanmıştır.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (8a)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \quad (8b)$$

Kısa periyotlar ve 1 saniyelik periyotlar için tasarım deprem spektral ivme değerlerinin belirlenmesinden sonra deprem davranış spektrum eğrileri (Şekil 1) oluşturulması için aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmaktadır.

$$S_a = 0,6 \times \frac{S_{DS}}{T_0} \times T + 0,4 \times S_{DS} \quad (0 < T < T_0) \quad (9a)$$

$$S_a = S_{DS} \quad (T_0 < T < T_s) \quad (9b)$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T > T_s) \quad (9c)$$

Burada, T_0 ve T_s periyot değerleri $T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$, $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$ şeklinde verilmiştir. S_{DS} ; kısa periyotlar için tasarım spektral ivmesi, S_{D1} ; 1 sn'lik periyot için tasarım spektral ivmesi ve T ise yapının periyodudur.

Öngörülen maksimum deprem için kısa periyotlarda spektral ivme değerinin ve zemin sınıfının bir fonksiyonu olarak F_a değerleri

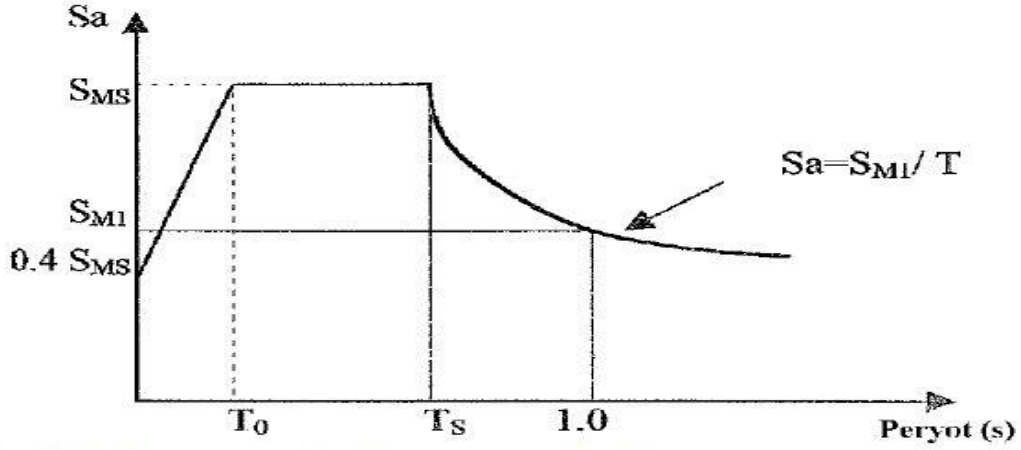
Zemin Sınıfı	Kısa periyotlarda öngörülen maksimum deprem spektral ivmeleri				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s \geq 1,25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	a
F	a	a	a	a	a

Öngörülen maksimum deprem için 1 sn'lik periyotta spektral ivme değerinin ve zemin sınıfının bir fonksiyonu olarak F_v değerleri

Zemin Sınıfı	1 sn'lik periyotlarda öngörülen maksimum deprem spektral ivmeleri				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1:3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1,5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	a
F	a	a	a	a	a

a: sahaya özel dinamik davranış analizlerinden belirlenmelidir.

Zemin Sınıfı	Zemin Özellikleri
A	Kayma dalgası hızı $V_s > 1500$ m/s olan sert kayalar
B	Kayma dalgası hızı $760 \text{ m/s} < V_s \leq 1500$ m/s olan kayalar
C	Çok sert zeminler ile kayma dalgası hızı $360 \text{ m/s} < V_s \leq 760$ m/s olan veya standart penetrasyon değeri $N > 50$ olan veya drenajsız kayma mukavemeti $S_u > 100$ kPa olan yumuşak kayalar.
D	Kayma dalgası hızı $180 \text{ m/sn} < V_s \leq 360$ m/s olan veya standart penetrasyon değeri $15 < N \leq 50$ olan veya drenajsız kayma mukavemeti $50 \text{ kPa} < S_u \leq 100$ kPa olan katı zeminler.
E	Kayma dalgası hızı $V_s < 180$ m/s olan veya standart penetrasyon değeri $N < 15$ drenajsız kayma mukavemeti $S_u < 50 \text{ kPa}$ olan veya 3 m'den kalın yumuşak kil tabakası bulunduran zemin profilleri. Yumuşak kil Plastisite indeksi $PI > 20$, su muhtevası $w \geq \%40$ ve drenajsız kayma mukavemeti $S_u < 25 \text{ kPa}$ olan zeminler olarak tanımlanır.
F	Saha araştırma ve değerlendirmeleri gerektiren zeminler 1. Sismik yükler altında çökme veya Potansiyel göçme riskine sahip zeminler (Sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek hassasiyetli killer, göçebilir zayıf bağlayıcılı zeminler vs.) 2. Turbalar ve/veya yüksek oranda organik killer ($H > 3$ m olan turba veya yüksek oranda organik killer $H =$ zemin tabakası kalınlığı) 3. Çok yüksek plastisiteli killer ($H > 8$ m ve plastisite indeksi $PI > 75$) 4. Çok kalın yumuşak/orta katı kil tabakaları ($H > 36$ m)



NEHRP 'de tasarım spektral ivme parametrelerinin spektrum eğrisi üzerinde gösterimi

Sekil D.1

Eurocode 8, Design of Structures for Earthquake Resistance, prEN1998-1, Draft 4, (2001).

NEHRP 2003 Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, (Fema 450), (2003).

NEHRP 2000 Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings, (Fema 369), (2000)

Belediyeler için Sismik Mikrobölgeleme, World İnstitute for Disaster Risk Management (DRM), Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, (2004).

ANA KAYA EĞİMİNİN
ZEMİN DİNAMİK DAVRANIŞINA
ETKİSİ
(FREE SURFACE, BEDROCK
OUT CROPPING AND
ROCK OUT CROPPING MOTIONS)

Yapı- Deprem- Ana Kaya Zemin İlişkisinin Genel Tanımı

Deprem Spektrumunu Etkileyebilecek Anakaya-Zemin ile ilgili parametreler

E. Ana kaya Eğiminin Zemin Dinamik Davranışına Etkisi (Free surface, bedrock outcropping and rock outcropping motions)

Figure 1 defines four terms used in site response analysis. The *free surface motion* is the motion at the surface of a soil deposit. The *bedrock motion* is the motion at the base of the soil deposit. The *rock outcropping motion* is the motion at a location where bedrock is exposed at the ground surface.

As shown in Fig. 1, the incoming shear wave that propagates vertically upward has for amplitude E_N through the bedrock. The bedrock motion has for amplitude $E_N + F_N$ at the top of the bedrock under the soil layers. The bedrock outcropping motion is $2E_N$, because there is no shear stress (i.e., $E_N = F_N$) on free surfaces. Therefore the transfer function relating the bedrock motion and bedrock outcropping motion is:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N}$$

When it is assumed that $E_1 = F_1 = 1$ on free surface, then the transfer function relating the free surface motion and rock outcropping motion is:

$$A'_{1N}(\omega) = \frac{1}{E_N}$$

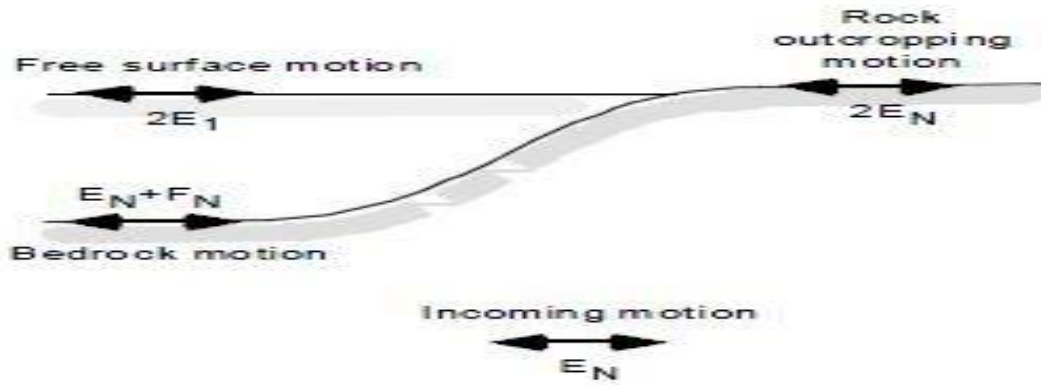


Figure E.1. Terminology used in site response analysis.

Layer	Coordinate	Properties	Thickness
1	z_1	$G_1 \xi_1 \rho_1$	h_1
2	z_2	•	
•		•	
•		•	
m	z_m	$G_m \xi_m \rho_m$	h_m
m+1	z_{m+1}	$G_{m+1} \xi_{m+1} \rho_{m+1}$	h_{m+1}
m+2	z_{m+2}	•	
•		•	
•		•	
N	z_N	$G_N \xi_N \rho_N$	$h_N = \infty$

Figure E.2. One-dimensional layered soil deposit system (after Schnabel et al., 1972).

Bir bölgede oluşabilecek deprem hareketini tanımlayan temel özellikleri;

*) tektonik yapı, *) kırılma mekanizması, *) odak derinliği gibi deprem kaynak özelliklerinin yanında jeolojik yapı ve yerel zemin koşullarına da bağlıdır.

Ayrıca, yerel zemin koşulları, deprem sırasında, deprem hareketinin bazı özelliklerini değiştirirken aynı zamanda kendi özelliklerinin bazıları da değişebilmektedir. Diğer bir deyişle, yerel zemin özellikleri kuvvetli yer hareketinin

*) genlik, *) frekans içeriği ve *) süresi gibi

Özelliklerini önemli derecede etkileyebileceği gibi deprem dalgaları da ürettikleri tekrarlı şekil değiştirme seviyelerine bağlı olarak

*) geçtikleri tabakaların özelliklerini değiştirebilmektedir [1].

[1] Chin-Hsiung, L., Jeng-Yaw, H. and Tzay-Chyn, S.,. Observed variation of earthquake motion across a basin-Taipei city, Earthquake Spectra, Vol. 14, No. 1, 115-134, 1998.

E.1. Tanım 1: Deprem dalgalarının yüzeye yakın zemin tabakalarından geçerken genliklerinde meydana gelen artış zemin büyütmesi olarak ifade edilmektedir. Zemin büyütmesini etkileyen temel kavramlar;

*) ana kaya derinliği, *) Ana kaya üzerindeki zemin tabakalarının -) kalınlığı, -) cinsleri, -) özellikleri, -) yatay doğrultudaki süreksizliği -) topoğrafi özellikler gibi Yerel zemin ve bölgesel özelliklerdir [2,3].

[2] Athanasopoulos, G.A., Pelekis, P.C. and Leonidou, E.A., Effects of Surface Topography on Seismic Ground Response in the Egion (Greece) 15 June 1995 Earthquake, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 18, 135-149, 1999.

[3] Şafak, E., Local Site Effects And Dynamic Soil Behaviour, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21, 453-458, 2001.

Sonuç 1.1. Topoğrafi özelliklerinin tanımı yüzeydeki morfolojik özellikleri ve yeraltındaki yanal ve dikey yönlü süreksizlikleri kapsamaktadır. Özet olarak;

1. Yüzeydeki ova ve vadi gibi oluşumları
2. Yüzey altındaki zemin tabakalarının iki veya üç boyutlu geometrisi

Deprem hareketinin özellikleri üzerinde etkilidir.

Sonuç 1.2. Bu yerel etkiler, depremler sırasında meydana gelecek hasarın dağılımını etkilemekte ve depreme dayanıklı yapıların tasarımında önemli rol oynamaktadır.

Kuvvetli yer hareketi üzerinde etkili olabilecek tüm bu olayları etkisini araştırmanın amacı;

***) Zemin üzerindeki bir yapıya etkileyebilecek dinamik kuvvetlerin önceden hesaplanabilmesi**

***) Olası tasarım deprem hareketinin genliğini, frekans içeriğinin, süresinin ve ivmesinin belirlenmesidir.**

E.2. Tanım 2: Ana kayadan yüzeye doğru ilerleyen deprem dalgalarının özelliklerinde yerel zemin koşullarına bağlı olarak meydana gelen değişimlerin başlıca nedeni, yüzeydeki zemin tabakalarıyla daha altta yer alan ana kaya arasındaki özgül direnç (yoğunluk, sismik hız) farklılığıdır.

Sonuç 2.1. Tabakaların özellikleri saptanmalı.

E.3 . Tanım 3: Bir Boyutlu Dinamik Analiz Nedir : Ana kaya üzerinde bulunan zeminlerde Rijitlik azalımı ve sönüm artışına bağlı olarak lineer olmayan zemin davranışları oluşabilir. Oluşan bu karmaşık ve yerel etkilerin araştırılmasında **Bir Boyutlu Dinamik Analiz Yöntemi kullanılır.** Yöntemin ayrıntıları ve kabulleri

1. Uygulama kolaylığı yönünden tercih edilir
2. Tabakaların yatay ve yarı sonsuza uzandığı kabul edilir
3. Bu tabakalar içinde cisim dalgaları aşağı ve yukarı doğru yayılır [4]

[4] Kramer, S. L., *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, USA, 1996.

Sonuç 3.1. bu kabuller, zemin tabakalarının yarı genişliğinin, maksimum derinliğinden çok daha büyük olduğu durumlarda yani sığ ve geniş ova - vadi modellerinde geçerli olmaktadır.

Bununla beraber çökeller, farklı kalınlıkta tabakalara sahip iki veya üç boyutlu modeller yardımıyla tanımlanabilecek ortamlar meydana getirirler [5].

[5] Olsen, K.B., *Site Amplification in the Los Angeles Basin from Three Dimensional Modeling of Ground Motion*, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 90, No. 6, 77-94, 2000.

Yanal süreksizliklere sahip ortamlarda ise, deprem dalgalarının yeryüzü ile zemin ve ana kaya ara yüzeyi arasında tekrarlı özellikte oluşabilecek yüzey dalgalarını da etkiler. Yankılanan bu dalgaların birbiriyle aynı fazda olması durumunda etki en büyük değerine ulaşmaktadır [6].

[6] Pitilakis,., *Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation*, A. Ansal (ed.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 139-193, 2004.

Zemin tabakalarının yarı genişliğinin kalınlığıyla karşılaştırılabilir mertebede olduğu dar ve derin ovalarda, zemin tabakaları yatay yönde sınırlı genişliğe sahiptir ve genelde kenarlarda eğimli bir ana kaya ile son bulmaktadır. Bu koşullarda ova kenarlarında dalga dönüşümleri yani yüzey dalgasına dönüşen cisim dalgaları oluşmakta, iki boyutlu rezonans modelleri ortaya çıkmakta, yer hareketinin frekans içeriği ve genliği kenardan ova ortasına doğru uzaklığa bağlı olarak değişmektedir

[7]. [7] Haşal, M.E. ve İyisan, R., *Yerel Zemin Koşullarının Zemin Büyütmesine Etkisi: Bir ve İki Boyutlu Analiz, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, 16-17 Eylül, İ.T.Ü., İstanbul. 2004.*

E.4. Tanım 4: Deprem hareketi sırasında yeryüzünde deprem hareketini tanımlayan dalgaların özelliklerinde oluşabilecek ve buna bağlı olarak ta parametre (genlik, frekans ve süre) değişimlerini etkileyebilecek olaylar

- 1) Morfolojik şekiller (tepe, ova ve vadiler ile bu yapıların derinliği, genişliği gibi)
- 2) Yer altındaki olaylar;
 - a. Ana kaya ile üstteki zemin arasındaki ara yüzeyin geometrik yapısı
 - b. zemin içindeki yanal ve düşey yönlü tabakalanma özellikleri
 - c. Ana kayada içindeki deprem hareketinin özellikleri Olarak tanımlanabilir.

Sonuç 4.1. Bir yerleşim yerinin olası bir depremde nasıl etkileneceğini önceden araştırmak ve tanımlamak için yukarıdaki özelliklerin araştırılması ve modellenmesi gerekir.

Vadi ve ova kenarında kurulmuş yerleşim bölgelerinde oluşabilecek deprem hasar dağılımını etkileyebilecek en önemli faktörlerden biri de ova veya vadi kenarındaki ana kaya eğimidir. Bu bağlamda, ova ve vadilerde zemin büyütmesi, zemin cinsi ve dinamik özellikleri ile deprem dalgasının hakim periyodu ve genliğine bağlı olmakla birlikte davranışı bulunacak yerin vadi veya ova içindeki konumu bu konuda önemli rol oynamaktadır [8,9].

[8] Rassem, M., Ghobarah, A. and Heidebrecht, A.C., Engineering Perspective for the Seismic Site Response of Alluvial Valleys, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 26, 477-493, 1997.

[9] İyisan, R. and Hasal, M.E., The Effect of Ground Motion Characteristics to the Dynamic Response of Alluvial Valley Models, 13th Asian Regional Conference of Soil & Geotechnical Engineering, Theme-7 Dam Engineering, Paper Code 7.1-8, Koklata, India, 2007.

Ana kayadaki deprem verisine ulaşmak için yüzeyde kaydedilen kuvvetli yer hareketi, yüzeyde yapılan kapsamlı incelemelerden elde edilen zemin kesitleri kullanılarak bir boyutlu geri dönüşümle ana kayaya taşınabilir ve bu haliyle dinamik analizlerde ana kaya ivmesi olarak kullanılabilir [10,11].

[10] Ansal, A., İyisan, R., Özkan M., A Preliminary Microzonation Study for the Town of Dinar, Seismic Behav. of Ground and Geotech. Structures, Proc. of Discussion Special Tech. Session on Eart. Geotec. Eng. During 14th Int. Conf. on Soil Mech. And Found. Eng., Hamburg, 1997.

[11] Ansal, M.A., İyisan, R. and Güllü, H., Microtremor measurements for the microzonation of Dinar, Pure and Applied Geophysics, 158, 2525-2541, 2001.

Seçilen bu ivme kayıtlarına uygun filtreleme işlemleri, (0.10 Hz ile 25 Hz sınırları içerisinde bant filtre uygulanabilir), doğrusal taban düzeltmeleri işlemleri ile en yakın değerine ölçeklendirilme işlemleri yapılarak en büyük ivmeler (amaks) belirlenebilir [12].

[12] Haşal, M.E., (2008), Topografik Düzensizliklerin Zemin Büyütmesine Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.

Ayrıca, tekil noktalarda yapılan mikrotremor ölçümleri geoteknik deprem mühendisliğinde zemin hakim periyodu ve zemin büyütmesinin belirlenmesi ile mikrobölgeleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [13,14,15].

[13] Teves-Costa, P. and Bard, P.Y., Seismic Behaviour Estimation of thin Alluvium Layers using Microtremor Recordings, Soil Dynamics and Earthq. Engineering, Vol. 15, pp. 201-209, 1996.

[14] İyisan, R. ve Ansal, A., Yerel Zemin Koşullarının Mikrotremor ile Belirlenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Müh. 7. Ulusal Kongresi, YTÜ, İstanbul, 542-549. 1998

[15] Kepçeoğlu Ö., Bursa-Güzelyalı Beldesi için Mikrotremor Ölçümlerine Dayanan Bir Mikrobölgeleme Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008

Sonuç 4.2. Ana Kayadan başlayarak zemine ulaşan deprem dalgalarında, ana kaya ve zemin koşullarından etkilenme olayları (deprem büyütmesi, frekans, periyot ve deprem süresinde oluşan değişimler)

***) yerel zemin özelliklerine**

***) zemin tabakalarındaki yanal ve düşey yönlü süreksizliklere**

***) Ana kaya üzerindeki toplam zemin kalınlığına**

***) Ana kayanın üst yüzey topoğrafyasına**

***) zeminin yanal ve düşey yönlü kalınlık ve genişlik oranlarına**

***) Yüzeydeki jeomorfolojik yapılara (vadi, ova) ve bu yapıların geometrisine**

Bağlı olarak değişim gösterir.

E.5. Tanım 5: Yukarıda tanımlanan özelliklerin araştırılması için nasıl bir yol izlenmelidir ? Bu yolu tanımlamak için yeraltı ve yer üstü ile ilgili olarak hangi parametrelere ihtiyacımız olabilir ? Bu parametrelere ulaşmak için hangi çalışmalar yapılmalı ?

1. Ana kayanın üst yüz topoğrafyası ve derinliğini araştırmak için
 - a. Sismik tomografi Özdirenç tomografi Gravite
2. Ana kayanın Vs ve Vp hızlarını araştırmak için
 - a. MASW SPAC Sismik yansıma Sismik kırılma
3. Ana kaya üzerindeki zeminin özelliklerini (yanal ve düşey yönlü tabaka özellikleri, kalınlık, derinlik) araştırmak için
 - a. Özdirenç tomografi
4. Ana kaya üzerindeki zeminin yanal ve düşey sismik özelliklerini (Vp ve Vs hız dağılım haritaları) araştırmak için
 - a. MASW Sismik kırılma Sismik yansıma Kuyu içi sismik
5. Yüzeyde kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi kayıtlarından spektrum elde edilmesi için
 - a. Geçmiş Deprem kayıtları
6. Ana kayadaki ivme, frekans ve periyot değerlerine ulaşmak için
 - a. Geçmiş deprem kayıtları
7. Bir, iki boyutlu model İvme, frekans dağılım grafiklerinin oluşturulmasında
 - a. Geçmiş deprem kayıtları ile dinamik analiz programları kullanılmalı

Sonuç 5.1: Olası deprem spektrumuna ulaşmak için kullanılan zemin tabakalarının bir boyutlu dinamik analizinde;

***) yüzey topoğrafyası**

***) tabakaların eğimi**

***) tabakaların sınırlı enine genişliğinin etkisi ihmal edilmektedir.**

Buna karşın

***) zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı genişliğe sahip olması, vadi kenarlarında dalga hareketi dönüşümlerine sebep olmakta, dolayısıyla yer**

hareketinin frekans içeriği ve yüzeydeki etkisi vadilerin ortasından kenarlarına doğru değişebilmektedir.

Sonuç 5.2. Zemin tabakalarının dinamik analizi için iki ve üç boyutlu yaklaşımlarda zemin tabakalarının ve ana kayanın iki veya üç boyutlu geometrisi gerektiği için, bir boyutlu yaklaşım diğerlerine göre çok daha fazla tercih edilmektedir. Bu durumda ise tabakaların yatay doğrultuda sınırlı genişliğe sahip olmasının etkisi ihmal edilmektedir.

E.6. Tanım 6. Bu kapsamdaki çalışmalarda hedef nedir?

Yüzeyde hesaplanan en büyük ivme değerleri, ana kaya ivmelerine oranlanarak zaman ortamındaki zemin büyütme ve uzaklığa bağlı değişimlere ulaşmaktadır.

Sonuç 6.1. Ana kayadaki ivme değeri bilinmesi gerekiyor.

Sonuç 6.2. Ana kaya tanımı yapılmalı (jeolojimi yoksa Vs hızı mı geçerli olacak) ?

E.7. Tanım 7. Zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı olması etkileri nelerdir ?

Zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı olması, vadi kenarlarında dalga hareketi dönüşümlerine ve yüzey dalgalarının oluşmasına neden olmakta, iki boyutlu rezonans modelleri ortaya çıkmaktadır.

Sonuç 7.1. Yer hareketinin frekans içeriği vadilerin ortasından kenarlarına doğru değişmekte, kuvvetli yer hareketinin süresi ve genliği de artmaktadır.

Sonuç 7.2. vadilerde zemin büyütmesi, zemin cinsi ve dinamik özellikleri ile deprem dalgasının hakim periyodu ve genliğine bağlı olmakla birlikte deprem hareketine karşı davranışta bulunacak olan araştırma noktasının vadi içindeki konumu da önemli olmaktadır (Psarropoulos vd., 1999; Pitalakis, 2004).

Sonuç 7.3 Eğimli ana kaya yüzeyinin üstünde oluşan tekrarlı deprem dalgası yansımaları sonucunda vadi merkezine doğru ilerleyen yüzey dalgaları oluşmaktadır (Şafak, 2001). Bu dalgalar, zemin tabakalarının düşey ilerleyen kayma dalgaları karşısındaki dinamik davranışına dayanan bir boyutlu analizlerle tahmin edilemeyecek kadar kuvvetli ve uzun süreli yer hareketleri üretmektedirler.

Sonuç 7.4 Vadinin kenarından ortasına doğru spektral büyütme artmakta, kritik konumlarda iki boyutlu büyütmenin maksimum etkisi ortaya çıkmaktadır (Rassem vd., 1997). Yüzey ve yüzey altı topoğrafyası ile eğimli ana kayanın yer hareketine etkisi son 30 yılda birçok çalışmaya konu olmuştur (Aki ve Larner, 1970; Bard ve Bouchon, 1985; Athanasopoulos vd., 1999; Chávez-García ve Faccioli, 2000).

E.8. Tanım 8. Olası bir depremde oluşabilecek Yerel Zemin etkilerinin belirlenmesi için dinamik analizi uygulamasından başka hangi yöntemler kullanılabilir ? Zemin koşullarının deprem kayıtları üzerindeki etkisini doğrudan görmek için temel olarak iki yaklaşım göz önüne alınır.

8.1 Klasik İzgel Oramı (KSO):

Bu yöntemde (Borcherdt, 1970), yerel zemin etkileri araştırılacak noktanın özellikleri ile bu noktanın yakınında olan ve zemin etkilerinden etkilenmediği kabul edilen

noktanın (ana kaya) özelliklerinin karşılaştırılması yapılır. Bunun için her iki noktada aynı deprem için kaydedilmiş kayıtlar kullanılır.

Yöntemin kabulleri :

*) Her iki kayıt üzerinde aynı kaynak ve ortam etkileri olmalı *) jeolojik olarak iki noktanın da tanımlı olması gerekir. *) Karşılaştırma yapılan iki nokta arasındaki uzaklık deprem kaynağına uzaklıktan çok küçük olması gerekir (Steidl vd. 1996)..

Yöntemin Kısıtlamaları (Steidl vd. 1996. Ve Lachet vd. 1996). :

- *) Ana kaya üzerinde kabul edilen noktanın özellikleri
- *) Ana kaya tanımı
- *) İstasyon sayısının sınırlı olması

8.2 Yatay Düşey İzgel Oranı (YDSO):

Referans istasyonu gerektirmeyen bu yöntemde (Nakamura, 1989, Lermo ve Chavez-Garcia, 1993) aşağıdaki kabuller yapılır. Uygulamada yerel zemin koşulları etkilerinin belirlenmesinde genellikle birden çok veri kullanılarak ortalama bir zemin etkisi fonksiyonu belirlenir. Bu koşulda yöne bağlı etkilerin ortalandığı kabul edilir. Havza tipi ortamlarda yüzeyde oluşan deprem hareketi üzerinde ana kaya üst yüzey topoğrafyası, havza kenarlarındaki ortam geçişleri etkiler (Field, 1996; Yalçınaya ve Alptekin 2003b). Havza tabanında oluşan saçılmalar ve odaklanmalar yeryüzünde farklı bölgelerde farklı genliklerin oluşmasına neden olabilir. Ayrıca deprem dalgalarının geliş yönüne bağlı olarak bu bölgeler de değişebilir (Gao vd., 1996; Field, 1996).

Yöntemin kabulleri:

- *) Ana kaya içindeki hareketin yatay ve düşey bileşeni eşittir.
- *) Düşey bileşen zemin koşullarından etkilenmez.
- *) Yatay / düşey bileşene oranı yerel zemin koşullarının etkisini tanımlar.
- *) Bu yöntemde zemin hakim periyot değerleri bulunabilir (Lachet and Bard, 1994; Lachet vd., 1996; Coutel ve Mora, 1998; Dimitriu vd., 1998; Yalçınkaya ve Alptekin, 2000a, Yalçınkaya ve Alptekin, 2003a).

Yöntemin uygulanışı:

- *) Yerel zemin etkilerini hesaplamak için sadece S dalga fazı kullanılır.
- *) Bu amaçla tüm verilerden uygun pencere kullanımı ile S dalgaları seçilir.
- *) Uçları %10 kesilmiş kosinüs pencereleri kullanılarak veri pencerelenir.
- *) Fast Fourier Transformu ile genlik spektrumu elde edilir.
- *) Veriler kayan Parzen pencere ile yuvarlatılır.
- *) Yatay bileşenler düşey bileşene ayrı ayrı oranlanarak büyütme değeri bulunur

DEPREM KUVVETİ YAPI-ZEMİN VE JEOFİZİK

Yapı – Zemin Dinamik Etkileşimi Temel İlkeler

Zemin Türleri:

Zeminlerin Fiziksel Özellikleri

Zemin Sınıfları

Konsolidasyon

Kompaksiyon

Zeminlerde yatay İtki etkisi

Zeminle yapı temeli Arasındaki İlişki

Zemin Kazıları

Zemin Tanımlaması Nasıl yapılır

Jeofizik Çalışmalar Yapılması Ssonucunda Zemini Tanımlamaya Yönelik Bulunan Parametreler

İçsel Sürtünme Açısı İle Deprem Arasındaki İlişki

Zemin Yüzeyindeki Deprem Kuvvet Bileşenlerinin Araştırılması

Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımının Genel İlkeleri

PGA, PSA Tanımları

Tasarım Spektrumu ve Hesabı

Tasarım Deprem Yükü ve Hesabı

F. Deprem kuvveti-Yapı-Zemin-Jeofizik

Depreme dayanıklı yapı tasarımlarında yer hareketlerinin hem yapıyı etkileyen kuvvetlerin etkileri hem de yapı tarafından bu kuvvetlerin dengelenmesi koşulları araştırılır. Bu kavramları tasarlamadan önce yapı temelini oturacağı zemini, yapıyı, yapıda tasarlanacak iç kuvvetleri, yapıyı etkileyecek olan depremin yanal ve düşey kuvvetleri ile yapıya etkiyecek olan depremin yanal kuvvetlerinin araştırılması ve tanınması gerekir.

F.1.Yapı – Zemin Dinamik Etkileşimi Temel İlkeler

- 1. Deprem kayıtları çok sayıda olmalı**
- 2. $V_s < 300$ m/sn yumuşak zeminler uzun periyotlarda ana kaya hareketini büyütür.**
- 3. $V_s > 750$ m/sn sert zeminler kısa periyotlarda ana kaya hareketini büyütür.**
- 4. Killi zeminlerde plastisite indisi arttıkça deprem etkisi artar**
- 5. Kumlu zeminlerde deprem artıs etkisi kile göre çok çok azdır**
- 6. Ana kaya ile zemin yüzeyi arasında kalan katmanların V_s hızları ve tabaka kalınlıkları zemin yüzeyinde oluşabilecek deprem ivmesinin yatay bileşenini etkiler.**
- 7. Ayrıca 6. Maddede tanımlanan durum deprem süresinide etkiler.**

F.2. Bu bağlamda yapılacak çalışmalar iki ana başlık altında toplanmalıdır.

F.2.1. .Binanın yapılacak zeminin bina temeli yönünden araştırılması çalışmaları.

F.2.2.Binan yapılacak zeminin deprem kuvvetleri ve deprem yükü yönünden araştırılması.

F.2.1...Zemin (Bina Temelinin Yapılacağı Zemin) çalışmaları : Üzerine gelen bina yükünü emniyetle taşıyan zemine "temel zemini" denir. Temel zemini yapının kendi ağırlığı ile sonradan yapıya gelecek yükleri taşıyabilmelidir. Zemin çok değişken özellikler gösterebilir. Bu nedenle temel zemininin önceden çok iyi etüt edilmesi gereklidir (Şekil altta).

F.2.2.Zemin Türleri:

1. Sağlam yapı zemini.

Sıkışmaya uygun olmayan 2-3 m. kalınlığındaki tabakalar halinde oluşmuş zeminlerdir. Püskürük zeminler granit bazalt kalker vb., Tortul zeminler ve Metamorfik zeminler Ayrıca çakıllı zeminler kil kist killi topraklar da bu sınıfa girerler. Taşıma güçleri 5-30 kg / cm² arasındadır.

2.Orta yapı zemini:

Sıkışabilen 3 - 4 m. kalınlığındaki zemin tabakalarından oluşur. kumlu ve killi zeminler bu guruptandır. Taşıma güçleri 0.4 - 5 kg / cm² arasındadır.

3.Cürük yapı zemini:

Sıkışmaya uygun ve yük altında kayabilen zeminlerdir ince kum ıslak kil killi toprak bataklıklar dolgu zeminler bu guruba girerler. Taşıma güçleri 0.2 - 0.8 kg / cm² arasındadır.

F.2.3.Zemin Grubu Özellikleri

I Zemin , kaya , set kumlu çakıl vb. içeren tersiyer ya da daha yaşlı Tabakalardan oluşur.

II Zemin , kumlu çakıl , sert kumu kil vb. içerir sel gerilimli ya da çakıllı alüvyon olarak 5m ya da daha çok kalınlıktaki katmanlardır

III Zemin , kalınlığı 5m ya da daha fazla olan alüvyon içermektedir.

IV Zemin, yumuşak

ZEMİNLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ:

a-Zeminin Öğeleri: Bilindiği üzere maddenin 3 fiziksel hali vardır. Bunlar katı, sıvı, gaz halidir. Birçok malzemede olduğu gibi zeminlerde de bu 3 hal bir arada bulunmaktadır.

Katı hal: Bu tanım zeminlerin esas yapısını teşkil eder, ve buna zemin daneleri denir (kil, kum silt daneleri gibi). Daneler zeminin keline has yapısını belirler. Örneğin killerin permeabilitesinin düşük olması kil danelerinin kendi özelliklerine bağlıdır.

Sıvı hal: tanım olarak zeminde bulunan su muhtevasıdır. Bu muhteva yapılacak deneylerle bulunabilir. Örnek olarak su muhtevasının bulunmasında yapacağımız işlem şu olabilir. Öncelikle eldeki numunenin kütlesi ölçülür ve kaydedilir daha sonra eldeki numune yüksek sıcaklıkta kurutularak tekrar kütlesi ölçülür. Aradaki fark zemindeki su muhtevasını verir.

Gaz hal: bu durum zemindeki hava muhtevasıdır. Zeminlerde yapılacak sayısal işlemlerde havanın ağırlığı 0 kabul edilir.

b-Zeminlerin Blok Diyagramda Gösterimi:

c-Zeminde Boşluk Oranı (e)= Zeminde boşluk oranı zemindeki hava boşluğunun zemin tanelerine oranı olarak tarif edilebilir.

$$e = V_h / V_k \quad \text{ve}$$

d-Zeminde Porozite (n)=Zemindeki hava boşluğunun tüm zemin hacmine oranıdır.

$$n = V_h / (V_k + V_s)$$

e-Zeminde Su Muhtevası (w)= Zeminlerdeki su miktarının kütlesi şu şekilde bulunur. İlk önce zeminin toplam kütlesi bulunur. Daha sonra eldeki numune kurutulur. Tekrar kütlesi ölçülür. Aradaki fark bize numunenin ihtiva ettiği su miktarını verir.

$$w = [(M - M_k) / M_k] * 100$$

$$m = \text{Toplam Kütle} \quad m_k = \text{Kuru Kütle}$$

f-Zeminde Doygunluk Derecesi (Sr)= $Sr = (M_s / V_h) * 100$

g-Bazı Zeminlerin Özkütles=

$$\text{KİL} = 2,65 - 2,76 \text{ gr / cm}^3$$

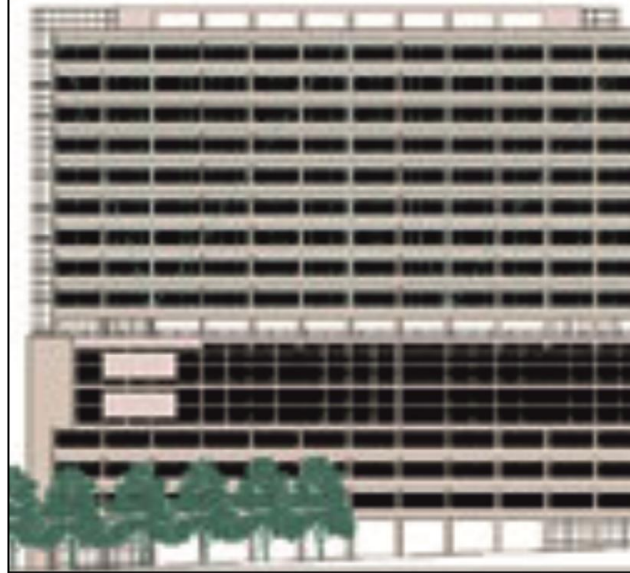
$$\text{SİLT} = 2,62 - 2,68 \text{ gr / cm}^3$$

$$\text{KUM ÇAKIL} = 2,65 - 2,68 \text{ gr / cm}^3$$

h-Zeminlerin Öz kütlesinin Bulunması=Bir katının birim hacim ağırlığını ölçmek için en basit yol numuneyi tartmak daha sonra öz kütlesi bilinen sıvı dolu bir kaba koyarak taşırdığı sıvı hacminden hacmini bularak öz kütlesinin bulunmasıdır.

A bölgesinin Depremle İlişkisi

1. Bu bölge için önemli olan bina temeli zemin ilişkisinde yapı ağırlığından dolayı zemine düşey yönlü kuvvet uygular.
2. Bu kuvvet uygulandığında zeminin bu yüke karşı davranışı araştırılır.
3. Zemine uygulanan bu kuvvet bina taban alanı ile ilişkilidir.
4. Depreme dayalı bina tasarımında zemin taşıma gücünün depremle ilişkisi ayrıca irdelenmelidir.
5. Bu bağlamda zemin taşıma gücü, zemin emniyet gerilmesi, kesme modülü, poisson oranı



Bina Temeli

A

Bina temelinden etkilenen alan

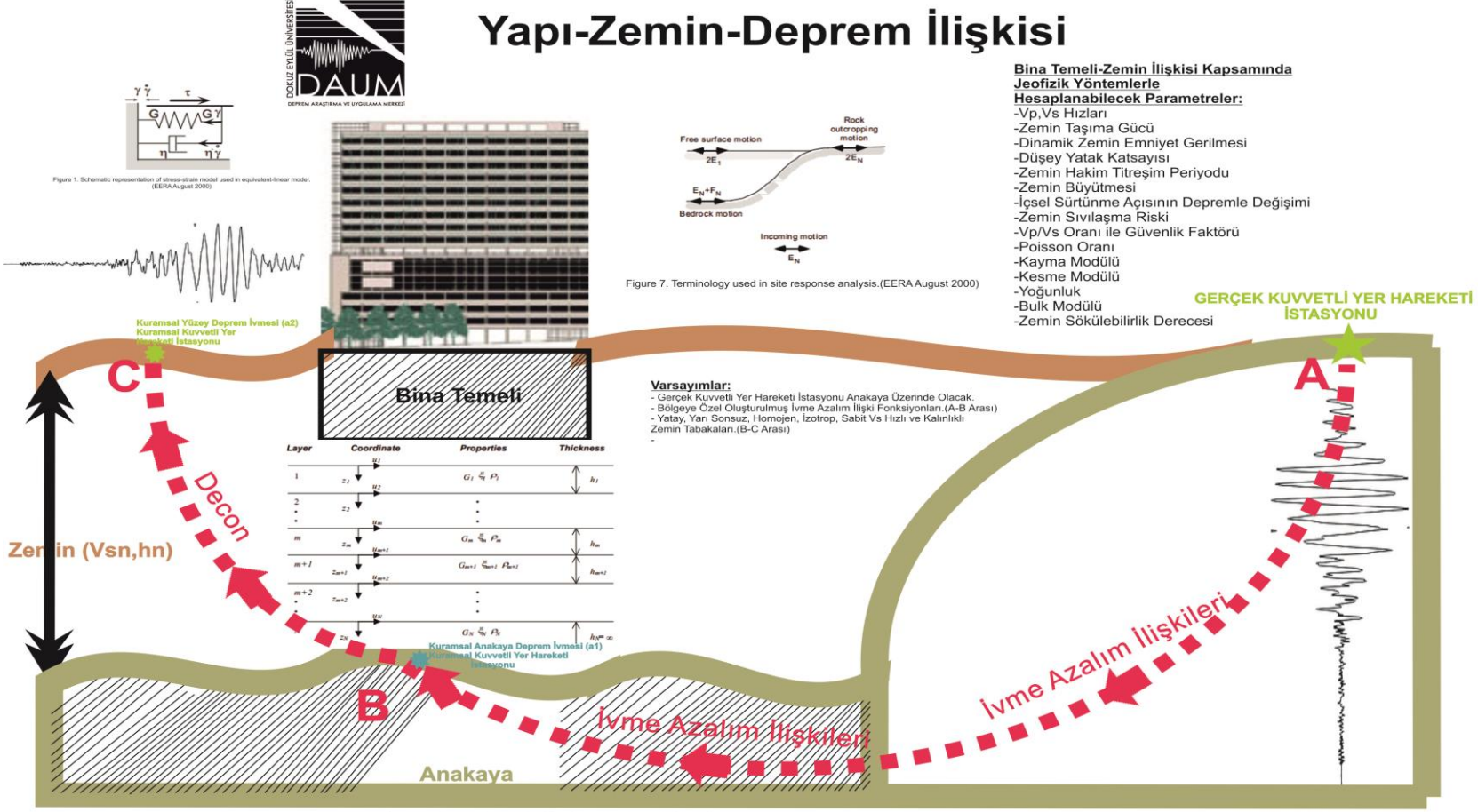
A bölgesinde

Jeofizikle İlgili Temel Kavramlar

1. V_p ve V_s hızları
2. V_p/V_s oranı
3. Zemin taşıma gücü
4. Zemin emniyet gerilmesi
5. Zemin hakim periyodu
6. Zemin büyütmesi
7. İçsel Sürtünme açısının depremle değişimi
8. Zemin sıvılaşma riski
9. Poisson oranı
10. Kayma modülü
11. Kesme modülü
12. Bulık modülü
13. Zemin sökülebilirlik derecesi

Şekil F1. Bina Temeli – Zemin İlişkisi

Yapı-Zemin-Deprem İlişkisi



Depreme Dayanıklı Bina Tasarımı (PGA, PSA, a0, Ta, Tb)
Hedef = Olası Deprem İvmesinin Yüzeydeki Değerinin Bulunması
 Tasarım Depremi Hazırlanması

İstenilen= Vs Hız Değerleri ve Tabaka Kalınlıkları
Nedeni= Anakaya İvme değerinden Yüzey İvme Değeri Elde Edilmesi

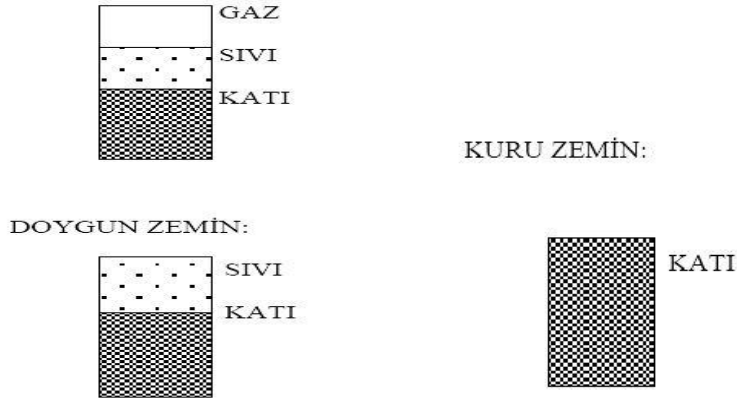
-Kuyu İçi Sismik
 -Mikrotremör
 -Mikrogravite
 -Spatial Auto-correlation Method (SPAC)

Sismik Kırılma (P-S)
 -Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)
 -Sismik Yansıma
 -Özdirenç Yöntemi

Doç.Dr. Mustafa AĞÜN
 Hz:Özkan Cevdet ÖZDAĞ

Şekil F.2.

GENEL ZEMİN TANIMLARI:



l-Likit Limit (WL)= Likit limit kil-su karışımının sıvı halden plastik hale dönüştüğü andaki su muhtevası olarak tanımlanır. Laboratuvar da yapılacak deneylerle bulunur.

j-Plastik Limit (WP)= Kil-su karışımının çatlamadan aldığı ve şeklini değiştirmedığı en düşük su muhtevası olarak tanımlanabilir. Tıpkı likit limit gibi plastik limit de laboratuvar deneyleriyle bulunur.

k-Plastiste İndisi (IP)= Likit limitle plastik limit arasındaki fark plastiste indisi verir. Örneğin plastiste indisi yüksek olan bir kil çamur hale gelebilmek için fazla suya ihtiyaç duyar.

$$IP = WL - WP$$

ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI:

Zeminler bir çok standarda göre sınıflandırılmıştır. Örnek olarak A.B.D. Britanya ve benzeri İngilizce konuşan ülkeler FPS (foot pound second) birim sistemi kullandığından farklı sınıflandırma sistemleri ortaya çıkmıştır. Biz burada zemin sınıflandırılmasında kanımızca en uygun gördüğümüz TS1500/1987 İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması sistemine göre sınıflandırma yapacağız.

a-Zeminlerin Dane Boyutuna Göre Ayrılması:

BLOK	= 200 mm den büyük
TAŞ	= 200 mm ile 60 mm arasında
ÇAKIL	= 60 mm ile 2 mm arasında
KUM	= 2 mm ile 0,080 mm arasında
SİLT	= 0,080 mm ile 0,002 mm arasında
KİL	= 0,002 mm den küçük
BLOK>200mm>TAŞ>60mm>ÇAKIL>2mm>KUM>0,080mm>SİLT>0,002mm>KİL	

b-TS1500/1987 İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması:

Zeminlerde sınıflandırma yapabilmek için öncelikle laboratuvar da;

-Elek analizi

-Kıvam limitleri (WL, WP)

deneylerinin yapılması gerekmektedir.

Daha sonra zemin sınıflandırmalarında kullanacağımız Üniformaluluk katsayısı C_u ve Süreklilik Katsayısı C_r değerlerinin bulunması gerekir.

$$C_u = D_{60} / D_{10} \quad C_r = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$$

D_{60} = Elek analizinde en küçük %60 lık zeminin en büyük dane çapı

D_{30} = Elek analizinde en küçük %30 luk zeminin en büyük dane çapı

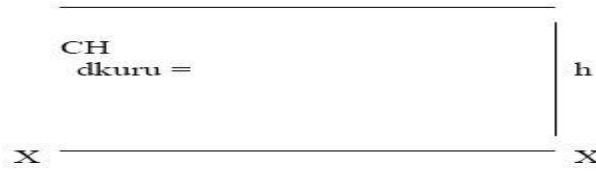
D_{10} = Elek analizinde en küçük %10 luk zeminin en büyük dane çapı

Deneylerden elde edeceğimiz sonuçlara göre aşağıdaki tabloya göre sınıflandırma yapabiliriz

GERİLME:

a-Zeminlerde Efektif Gerilme Kavramı: Zeminlerde efektif gerilme bir düzlemdeki bütün pozitif ve negatif gerilmelerin toplamından oluşan net gerilme olarak düşünülebilir.

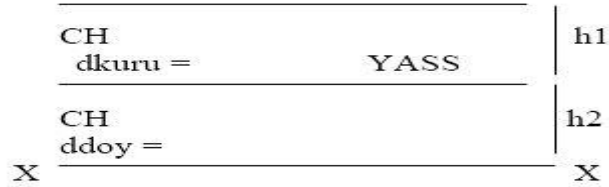
b-Kuru Durumda Efektif Gerilme:



$$\sigma_{ef} = d_{CH} * h$$

d_{CH} = Kuru durumdaki CH kilin özkütlesi (d_{kuru})

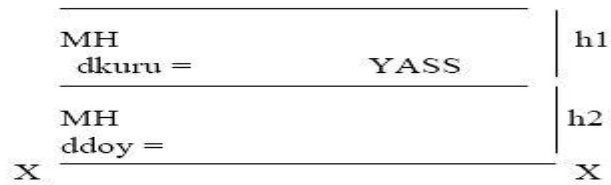
c-YASS (Yer Altı Su Seviyesi) Ve Efektif Gerilme:



$$\sigma_{(x-x)ef} = d_{CHkuru} * h_1 + d_{CHdoygun} * h_2 - d_{su} * h_2$$

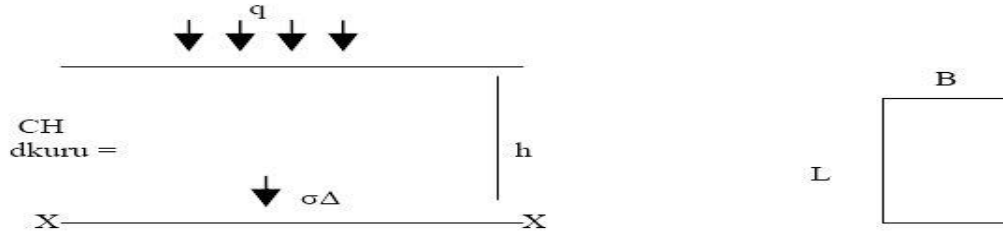
Suyun kaldırma kuvvetinden dolayı doygun zeminde negatif basınç alınarak yukarıdaki gerilmeyi buluruz.

d-Siltlerdeki Durum: Siltler ince taneli ve killer gibi kohezyonu olmayan malzeme olduğu için yer altı su seviyesinin üzerinde su kılcallık nedeniyle ilerler. Bu efektif gerilmeye ek negatif gerilme oluşturacağından bu bağlamda efektif gerilme aşağıdaki gibi olur.



$$\sigma_{(x-x)ef} = D_{mh} kuru * h_1 + d_{MH} doygun * h_2 - d_{su} * h_2 - d_{su} * h_1$$

e-Dış Yük Altındaki Durum(Yük Dörtgen İse):



Eğer zeminde dış yük etkisi söz konusu ise bu durumda elbette bir efektif gerilme artışı olacağı söz konusudur. Bu artış yükün etki edeceği derinlik, yükün şekli v.b kriterlere göre değişiklik gösterir basit olarak yükün efektif gerilmeye yapacağı artışı hesaplırsa “m” ve “n” katsayılarına ihtiyaç duyarız bu katsayılardan ve aşağıdaki tablodan yararlanırsak “k” katsayısına geçiş yapabiliriz. Buradan da;

$$m = L / h$$
$$n = B / h$$

B = Dörtgenin kısa kenarı
L = Dörtgenin uzun kenarı
h = Yükün etki edeceği derinlik

$$\sigma\Delta = q * k$$

Formülünden gerilme artışını hesap edebiliriz. Yükün sadece dörtgen olduğu zamanlarda bu sistem kullanılabilir. Eğer yük dörtgen değilse yükü eşdeğer bir dörtgen yüke çevirerek işlem yapabiliriz.

“k” Katsayısının bulunması için tablo

m = 0,1 iken alınabilecek değerler

n	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	0,0047	0,0091	0,0132	0,0167	0,0197	0,0222	0,0242	0,02576
	0	7	3	8	8	3	0	

0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,5	3
0,0269	0,0279	0,0292	0,0300	0,0305	0,0309	0,0311	0,0313	0,03150
8	4	6	7	8	0	1	8	

4	5	6	8	10	Sonsuz
0,0315	0,0316	0,0316	0,0316	0,0316	0,03162
8	0	1	2	2	

“m” katsayısının değişmesi durumunda ise değişim oranına göre katsayı aynı oranda değiştirilir.

Örneğin m = 0,2 olursa katsayılar 2 ile çarpılarak “k” katsayısı bulunabilir.

KONSOLIDASYON NEDİR ?

a-Konsolidasyonun Tanımı:

Bir zemine dışarıdan yükleme yapıldığında zeminin yapısında değişimler olacaktır. Bunlarında başında zeminin yapacağı oturma gelir. Kimi yerlerde yapılan binaların belli bir zaman sonra çatladığı görülmektedir.

Bunun sebebi binanın zamanla oturmasıdır. Hatta bazı eski çeşmelerin yol kotundan bazı yerlerde 1m kadar oturduğu gözlemlenebilir. Konsolidasyon hesaplamalarında Karl Von TERZAGHI te boyutta konsolidasyon teoremini geliştirmiştir. Konsolidasyonun hesaplanabilmesi için bazı laboratuvar sonuçları gereklidir. Laboratuvarda yapılacak bir yükleme deneyinden sonra elimizde;

- hacim değişimi
- boşluk oranı değişimi
- ilk boşluk oranı
- k (geçirimsizlik katsayısı) Darcy Yasasından ($V = k * i$)

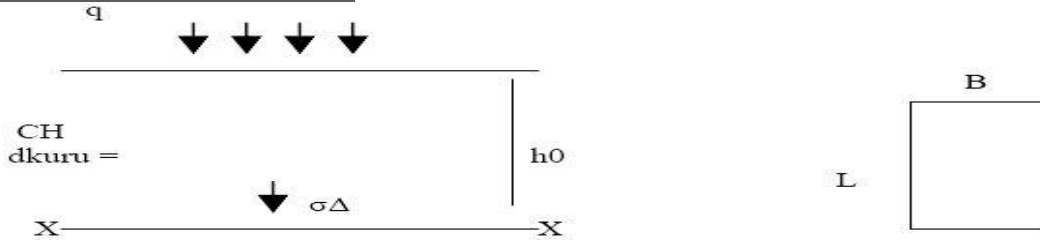
Değerleri bulunur. Biz burada tek boyutta konsolidasyonu irdedeceğimiz için hacim olarak yükseklik alacağız.

Konsolidasyon teoremini uygulayabilmemiz için aşağıdaki kabulleri yapacağız.

- Zemin homojendir.
- Tüm boşluklar sıvıyla doludur.
- Sıvılar sıkışmaz.
- Darcy Yasası geçerlidir. $V = k * i$
- Sıkışmalar ve suyun zeminde hareketi tek yönde oluşur.
- Danelerin sıkışabilirliği ihmal edilebilir.
- Boşluk oranı efektif gerilmenin fonksiyonu olup zamanla değişmez.
- Gerilme artışları ani olarak uygulanır.
- Sünme oluşmaz
- Oluşan sıkışmalar kilin ilk kalınlığına oranla küçük olduğundan ortalama özellikler ve ortalama boyutlar kullanılır.

Şimdi bu kabullere göre konsolidasyon teoremini inceleyelim.

b-Bakir Kilerde Konsolidasyon:



Yukarıdaki profili verilen zemine sağdaki şekildeki gibi bir yük etki ettiğini varsayalım. Zemine etki eden dış yük altındaki gerilme değişimi ($\sigma\Delta$) öncelikle hesap edilmelidir.

Daha sonra laboratuvardan alacağımız sonuçlardan;

- İlk boşluk oranı e_0
- Boşluk oranı değişimi Δe

Değerleri kullanılarak sıkışma katsayısı olarak tarif edeceğimiz A_v değerini hesaplarız.

$$A_v = \Delta e / \sigma\Delta$$

Daha sonra tek boyutta konsolidasyon teoremi formülünden;

$$S = h_0 * [(A_v) / (1 + e_0)] * \sigma_{\Delta}$$
$$S = (\text{Oluşacak konsolidasyon}) \text{ hesaplanır.}$$
$$[(A_v) / (1 + e_0)] = M_v$$

Dersek $M_v =$ hacimsel Sıkışma Katsayısı oluşturmuş oluruz böylelikle formül

$$S = A_v * M_v * \sigma_{\Delta}$$

Şeklini almış olur. Buraya kadar bakir killer için konsolidasyon teoremini irdelemiş olduk. Buradan sonra öncelikle aşırı konsolide killerin ne demek olduğunu anlatacak ve aşırı konsolide killerde konsolidasyonu irdeleyeceğiz.

c-Aşırı Konsolide Killer: Killerin mineralojisi incelenirse killerin elastik değil daha çok plastik yapıda olduğu görülür. Bu yüzden bir kil eğer daha önceden konsolide olmuşsa bir daha asla eski durumuna dönemez. Daha önce bir yük altında konsolide olmuş killere aşırı konsolide kil ismi verilir. Aşırı konsolide killerde konsolidasyon formülü daha değişiktir. Ve bakir killer için uygulanacak formül bu tür killerdeki konsolidasyon hesabında kullanılamaz.

d-Aşırı Konsolide Kilerde Konsolidasyon: Öncelikle aşırı konsolide killerin konsolidasyon hesabında kullanılacak formülü yazalım.

$$S = C_r * [h_0 / (1 + e_0)] * \log (\sigma_c / \sigma_0) + C_r * [h_0 / (1 + e_0)] * \log [(\sigma_0 + \sigma_{\Delta}) / \sigma_c]$$

Şimdi bu formülde bir önceki formülde olmayan değerlerin açıklamasını yapalım.

$C_c = 0,009 * (W_L - 10)$ formülünden hesaplanan katsayı

$C_r = 0,0017 + 0,102 * C_c$ formülünden hesaplanan katsayı

$\sigma_c =$ Ön konsolidasyon basıncı

e-Ön Konsolidasyon Basıncı: Bakir killere aşırı konsolide killerin yapı olarak birbirinden farklı olduğundan söz etmiştik. Aşırı konsolide killer daha önce aldıkları maksimum gerilmeye kadar aşırı konsolide kil gibi davranacaktır. Peki eğer bir aşırı konsolide kile daha önce aldığından fazla bir gerilme yüklersek ne olur sorusuna cevap vermemiz lazımdır. Aşağıdaki bakir killer için ve aşırı konsolide killer için verilmiş olan gerilme deformasyon diyagramlarını inceleyelim.

Aşağıdaki grafikler incelenirse aşırı konsolide killerin belli bir gerilmeden sonra bakir kil eğrisine sahip olduğu görülecektir. Eğrinin kırılma anındaki gerilmeye ön konsolidasyon basıncı denir. Laboratuvar şartlarında hesaplanabilir.

f-Konsolidasyon ve Zaman faktörü: Buraya kadar ne kadar zeminin ne kadar konsolide olacağını hesap ettik fakat burada sorulması gereken soru hangi zamanda ne kadar konsolidasyon olacağıdır. Çünkü yapılacak olan yapının kullanım ömrünün belirlenmesinde hangi zamanda ne kadar konsolidasyon olacağını önemi büyüktür. Hatta hangi zamanda hangi önlemlerin alınacağını da zaman faktörüne göre belirlenmesi büyük önem teşkil eder.

Konsolidasyonun oluşması için gerekli zaman faktörü aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$T_x = [T_{vx} * (H_0 / n)^2] / C_v$$

Şimdi formülde daha önce görmediğimiz değerleri irdeleyelim.

T_x = Oluşacak konsolidasyon için geçecek süre

$$T_{vx} = [0,25 \Pi (U_v^2 / 100)^2] / [1 - (U_v^2 / 100) \exp 5,6] \exp 0,357$$

exp = Üzeri

U_v = Belirli bir andaki konsolidasyon oranının tam konsolidasyona oranı
(laboratuvardan alınabilir)

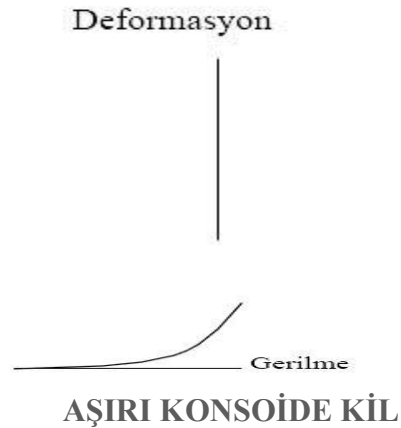
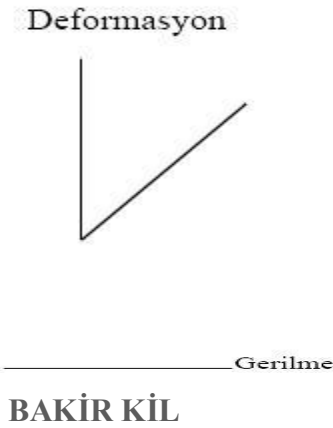
n = Drenaj süresi (Laboratuvardan alınabilir)

$$C_v = k / (M_v * ds_u)$$

k = Geçirimsizlik katsayısı (Laboratuvardan alınabilir.)

M_v = Hacimsel sıkışma katsayısı [(A_v) / (1 + e_0)] = M_v (daha önce tanımlandı)

Bu formüllerden yapacağımız hesaplarla hangi zamanda ne kadar konsolidasyon olacağını veya beklediğimiz konsolidasyonun ne kadar zamanda gerçekleşeceğini hesap edebiliriz. Yapacağımız hesaplar sonucunda da karşılaşılabileceğimiz problemleri belirleyerek önlemlerimizi alabiliriz.

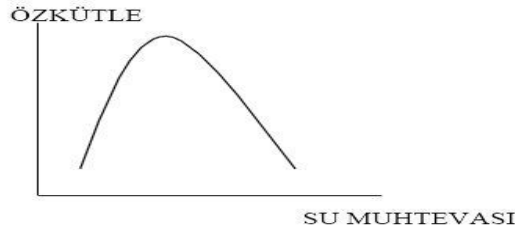


KOMPAKSİYON NEDİR ?

Gevşek zeminlerde yapacağımız yapılarda zemini bir şekilde sağlamlaştırmaya ihtiyaç duyarız. Bunlardan en ucuz ve ne yaygın olanı Kompaksiyon yani zeminin yapay yolla sıkıştırılmasıdır. Zeminin sıkıştırılmasındaki amaçlar zeminin ilerde yapacağı oturmaları engellemek ve zeminin özgül ağırlığını en yüksek seviyeye getirmektir. Bilindiği üzere zemin danelerinden oluşur zemini ne kadar sıkıştırırsanız sıkıştırın zemin danelerinin arasında mutlaka boşluk kalacaktır. Bu boşlukları eğer suyla doldurursak zemin daha yüksek bir özgül kütleyle sahip olacaktır. Fakat su miktarını gerekenden fazla artırırsak bu seferde zeminin Öz kütlesi düşecektir ki bu da istenmeyen bir durumdur.

Basit bir yolla açıklarsak diyelim ki elde bir numune var. Bu numuneyi bir miktar su verip sıkıştırdık öz kütlesini ölçtük. Daha sonra tekrar biraz daha fazla su vererek bir daha öz kütlesini ölçeriz. Bu işlem en yüksek öz kütleyi bulana kadar devam eder. Burada dikkat

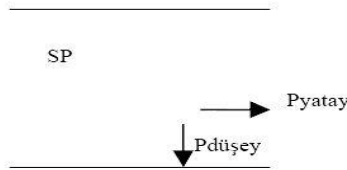
etmemiz gereken önemli bir konuda verdiğimiz suyun zemin stabilitesine olan etkisidir. Bu hususta ayrıca göz önüne alınmalıdır.



Yukarıdaki grafikte görüldüğü üzere verilen suya ve sıkıştırmaya bağlı olarak özkütle belli bir ana kadar yükselip daha sonra düşmektedir. İşte eğrinin kırıldığı an bizim istediğimiz optimum su muhtevasını verir verir.

ZEMİNLERDE YATAY İTKİ NE DEMEKTİR ?

Buraya kadar gerilme açısından zeminlerin sadece düşey eksenindeki hareketlerini ve gerilmelerini inceledik. Fakat zeminler sadece düşey yönde gerilmelere sahip değildir. Elbetteki zeminlerin de bir yatay itkisi olacaktır.



Düşey kuvvetin bulunmasını biliyoruz fakat yatak kuvveti nasıl bulabiliriz. Bu konuya geçmeden önce zeminlerin iki özelliğinden daha bahsetmemiz gerekmektedir.

a-Kohezyon (c):

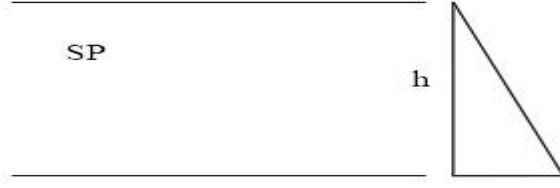
Killerden bahsederken killerin mineralojisinin diğer zemin türlerine göre daha farklı olduğundan bahsetmiştik. Killerde çamurlaşma ve yapışma özelliği bulunmaktadır. Örneğin bir kilde belli yüksekliğe kadar kazı yapabilirsiniz. Bunun sebebi kil danelerinin arasında diğer zeminlerden farklı olan bağların bulunmasıdır. İş bu bağlara kohezyon diyoruz.

b-“Ø” Açısı:

Bir miktar kumu ani şekilde bir yere boşalttığımızda ne olur?

Bu soruya cevap verecek olursak. Cevabımız elbette kum kayacaktır olacaktır. Peki nasıl kayacaktır. Kumun kayma açısı bize yaklaşık olarak kumun yatay itkisini verecek olan “Ø” açısını verecektir.

Yatay itkiye etki eden iki değer vardır bunlar “c” (kohezyon) ve “Ø” değerleridir. Bu değerler laboratuarda yapılacak deneyler sonucunda rahatlıkla bulunabilir. Öncelikle efektif gerilmeye bağlı basınç diyagramını çizelim



$$P_{sp} = dsp * h$$

Görüldüğü üzere basınç derinlikle değiştiğinden üçgen bir basınç diyagramı elde etmiş olduk. Yatay itkide efektif gerilmeye bağlı olarak değişeceğinden efektif gerilmenin basınç diyagramı da aynı şekilde üçgen olacaktır. Üçgen basınç diyagramında ise kuvvet bileşkesi üçgenin tabanında $1 / 3 * h$ kadar yükseklikte (üçgenin ağırlık merkezinde) etki eder. Şekli tekrar yatay itkiye göre çizersek. Bulacağımız formüller.



$$P_{sp(yatay)} = dsp * h * K_a$$

$$F_{sp} = (1 / 2) * dsp * K_a * h^2$$

c-Ka (aktif basınç katsayısı): Zeminlerin efektif gerilmelerinin yatay gerilmeye çevrilmesinde kullanılan bir katsayı olarak tariflenebilir. Aktif basınç katsayısının bulunmasında değişik yöntemler mevcuttur. Ancak biz burada bu yöntemlerden en pratik ve akılda kalıcı olanı olan “Rankin Teoremine Göre Aktif Basınç Katsayısı” yöntemini kullanacağız.

$$K_a = \text{Tan}^2(45 - \emptyset / 2)$$

Formülünden aktif basınç katsayısını bulabiliriz.

d-Kp (pasif basınç katsayısı): Eğer zemini biz itersek zemin bize Newtonun “Etki = Tepki” prensibine bir tepki verecektir. Bu tepkiyi hesap etmek istersek tekrar Rankin Teoremine başvururuz.

$$K_p = \text{Tan}^2(45 + \emptyset / 2)$$

Formülünden de pasif basınç katsayısını bulabiliriz. Ne zaman aktif, ne zaman pasif basınç katsayısını kullanacağız sorusuna gelince ise; eğer zeminin kendi doğal itkisini tutmak istersek aktif basınç katsayısının kullanmamız gerekmektedir. Fakat zemini yatay yönde itmek istiyorsak o zaman pasif basınç katsayısını kullanmamız gerekir.

e-“Ø” Zeminlerinde Yatay İtki:



$$P_{sp(yatay)} = dsp * h * K_a$$

$$F_{sp} = (1 / 2) * dsp * K_a * h^2$$

Formüllerini kullanabiliriz.

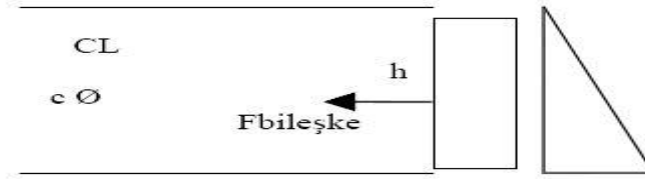
f-Killerde Yatay İtki: Eğer kil bir bakir kil ise zemin sadece bir “c” zeminidir. “c” zeminlerinde efektif gerilme derinlikle değişmez ve sürekli sabit kalır.



$$P_{sp}(yatay) = c$$

$$F_{sp} = c$$

Formüllerini kullanabiliriz. Eğer kil aşırı konsolide bir kil ise bu sefer zemin bir “c” “Ø” zeminidir. Bu durumda ise;



$$P_{sp}(yatay) = c + dsp * h * K_a$$

$$F_{sp} = c + (1 / 2) * dsp * K_a * h^2$$

Formüllerini kullanabiliriz.

ZEMİN İLE YAPI TEMELLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ:

Burada anlatılacak olan konu mühendisler arasında daha çok zemin emniyet gerilmesi olarak bilinmektedir. Fakat unutulmamalıdır ki zeminlerin taşıma gücü yoktur. Temellerin taşıma gücü vardır. Bu yüzden zemin emniyet gerilmesi kavramı yerine daha çok temel taşıma gücü denmesi daha yerinde olacaktır. Çünkü temelin taşıma gücü temelin şekline temeli gömdüğünüz derinliğe hatta temelin alt yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dahi değişmektedir. Yani temel taşıma gücünde zemin faktörlerinin önemi ne kadar büyükse aynı şekilde temel faktörlerinin de önemi o derece büyüktür.

a-Yüzeysel Temeller Temel taşıma gücü hesabında bir çok metod mevcuttur. Fakat biz burada Karl Von Terzaghi’ nin yapmış olduğu temel taşıma gücü bağıntısından yararlanacağız.

$$q_d = K_1 * c * N_c + D_f * N_q + K_2 * B * N_\gamma$$

K_1 = Şekil katsayısı

c = Kohezyon

N_c = Katsayı (tablodan alınacaktır)

D_f = Temel gömme derinliği

N_q = Katsayı (tablodan alınacaktır)

K_2 = Şekil katsayısı

B = Temel genişliği

N_γ = Katsayı (tablodan alınacaktır)

Formülde ki $K_1 = 1$ $K_2 = 0,5$ diyerek formülü basitleştirirsek formül;

$$q_d = c * N_c + D_f * N_q + 0,5 * B * N_\gamma$$

Şeklini alır.

N_c , N_q ve N_γ değerlerini aşağıdaki tablodan yaklaşık olarak alabiliriz.

Nc, Nq ve N_γ Yaklaşık Değerleri İçin Tablo:

YAKLAŞIK DEĞER	Ø = 0	Ø = 10	Ø = 20	Ø = 30	Ø = 40
N _c	5,7	9	12	37	90
N _q	1	2,8	7,6	23	70
N _γ	0	1,2	2,4	4,9	50

b-Kazık Temeller: Kazık temel hesaplarında iki kazığın iki kuvveti vardır bunlar kazık uç direnci “qu” ve kazığın çevresel sürtünmesinden doğan kazık sürtünme kuvveti “qs” tir. Buradan yola çıkıp denklemi oluşturursak:

$$Q_d + W = q_u + q_s$$

Formülü elde edilecektir. Bu formül de; W = Kazığın kendi ağırlığıdır.

Kazığın uç direncini bulmak için ihtiyaç duyacağımız formül;

$$q_u = L * A * N_q * d$$

Bu formül de; L = Kazığın zemin içerisindeki boyu A = Kazığın en kesit alanı N_q = Tablodan alınacak değer d = Zeminin özkütlesi

Kazığın sürtünme direnci ise kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlere göre değişim göstermektedir.

Kohezyonsuz durumda kazık sürtünme direnci;

$$q_s = 0,25 * P * L^2 * d * \tan (2 * Ø / 3)$$

Bu formül de;

P = Kazık çevre uzunluğu

L = Kazığın Zemin içerisindeki boyu

d = Zeminin özkütlesi

Kohezyonlu durum için sürtünme direnci;

$$q_s = P * L * (c / 2)$$

“c” “Ø” zeminleri için ise;

$$q_s = 0,25 * P * L^2 * d * \tan (2 * Ø / 3) + P * L * (c / 2)$$

Olmaktadır. N_q değerleri yukarıdaki tablodan alınacaktır.

ZEMİN KAZILARI NEDİR ?

İnşaat Mühendisliğindeki temel uygulamalardan bir tanesi kazıdır. Hemen hemen bütün imalatlarda kazı yapılmaktadır. Hatta kazılar bazı imalatların maliyet olarak yüksek bir kısmını teşkil eder. Örnek olarak barajlarda gövde altındaki Cut-Off kazısı çok yüksek miktarda bir kazıdır. Su yapılarında genelde alüvyon tabakada çalışıldığı için kritik yapılarda alüvyon tabakasının tamamen kaldırılması gerekebilir. Bu da çok yüksek kazı çıkarmaktadır. Kazı imalatların da dikkat çekilecek bir hususta kazı klaslarıdır.

Kazı Klası: Kazı klasını kısaca kazılacak zeminin cins ve oranlarıdır şeklinde tanımlayabiliriz. Kazı için DSİ, TCK, Bayındırlık vb kuruluşların ayrı pozları vardır. Biz burada genel bir sınıflandırma yapmaya çalışacağız.

Kazılacak Zeminin Cinsi: Kazılacak zemin cinsleri kazı zorluğu bakımından 6 sınıfa ayrılır.

a-Toprak Zeminler: Bel küreği veya kürekle kazılabilen gevşek toprak, bitkisel toprak, gevşek kum ve benzeri zeminlerdir.

b-Küskülük Zeminler: Kazmanın sivri ucu ile kazılabilen içerisinde el ile atılabilen 0,100 m³ ile 0,400 m³ arası blok taşlar bulunabilen kazı güçlüğünden dolayı çamur ve benzeri zeminlerdir.

c-Yumuşak Kaya Zeminler: Kırıcı tabanca veya patlayıcı madde kullanılarak kazılabilen içerisinde 0,400m³ ten büyük blok taşlar bulunabilen zeminlerdir.

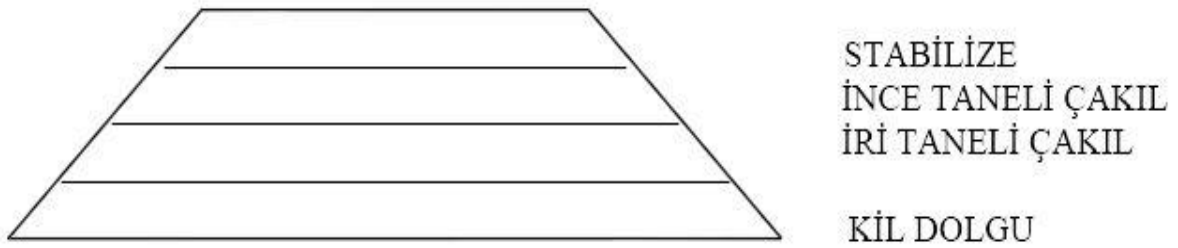
d-Sert Kaya Zeminler: Patlayıcı madde kullanılarak kazılabilen kırıcı tabanca ile sökülebilen tabaka halindeki zeminlerdir.

e-Cok Sert Kaya Zeminler: Patlayıcı madde kullanılarak kazılabilen bütün halindeki kaya zeminlerdir.

f-Batak Balçık Zeminler: Su muhtevası yüksek ve suyu kolay bırakmayan yapışkan nitelikteki zeminlerdir.

DOLGULAR YAPILIRKEN KULLANILAN TEMEL TANIMLAR

İnşaat mühendisliğinde yapılacak olan yapılar genellikle doğal araziye yapılır. Doğal arazinin topoğrafik yapısı ise bizim istediğimiz standartlara uygun değildir. Bu sebeple inşaat mühendisliğinde yapılacak bir imalat da dolgudur. Dolgular yardımcı imalatlar olabildiği gibi kendileri başlı başına da imalat olabilirler. Yapılan bir dolgunun kalitesi bizim istediğimiz kriterleri ne kadar sağlayıp sağlamadığıyla ölçülür. Yapılacak olan dolgudan ne istendiğini bilip ona göre dolgunun yapılacağı zemin cinsi yapılacak artı uygulamalar belirlenmelidir. Örnek olarak bir baraj gövdesinde yapılacak dolgudan geçirimsizlik bekleneceği için permeabilitesi düşük zeminlerden dolgu yapılmalıdır. Aynı zamanda da gövde stabilitesinin sağlanması için kohezyon çok önemlidir. İşin özelliğine göre dolgulardan beklenebilecek özellikleri kısaca sayarsak. Stabilitate, geçirimsizlik, sürtünme katsayısı, suya ve dona karşı dayanıklılık, vb. Örnek olarak bir yolun katmanlarını inceleyelim.



Bir baraj gövdesinin kısımlarını inceleyelim.



Bu Aşamada; zemin cinsleri ve kullanılacak dolgu yerlerini özetleyelim.

a- Çakıl (Kırmataş):

İri taneli bir malzeme olan çakıl yüksek yüklere sürüklenmeye karşı dayanıklıdır. Bu sebeple yüke maruz kalan dolgularda kullanılabilir. Boşluk oranı çok yüksek olduğu için geçirimli bir malzemedir. Dolgu olarak kullanılabilmesi için alanlar; yol alt temelleri, barajlarda filtre, temel altlarında donatının korozyonunu önlemek amacıyla izolasyonu sağlamak için vb.

b- Kum:

Çakıla göre daha ince taneli olan kum da yüksek yüklere karşı dayanıklıdır. İnce taneli olmasının yanı sıra konsolide olmadığı için yüklere karşı dayanıklıdır. Boşluk oranı yüksek bir malzeme olduğundan geçirimli bir malzemedir. Kumda çakıl kadar yüksek yükler altında kullanılabilir. Fakat burada önemli bir ayrımı kum taneleri çakıl tanelerine göre çok küçük olduğundan sürüklenmeye bozulmaya karşı dayanıklı değildir. Dış etkilere karşı kum daha çabuk bozulur. Dolgu olarak kullanılabilmesi için alanlar; filtre malzemesi, yer altında kalan hassas yapılara yastık dolgu, vb.

c- Kil:

Kil ince taneli ve kohezyonu yüksek bir malzemedir. Permeabilitesi çok düşük olduğundan geçirimsiz bir tabaka elde edilebilir. Fakat kil dolgularda çakıl ve kumdan farklı olarak sulama ve sıkıştırma gerekmektedir. Aksi halde kil dolgu yapılamaz. Örnek olarak kilin bünyesinde olan geçirimsizlik özelliğini elde edebilmek için kili yeterli derecede sulamalı ve sıkıştırmalısınız. Kil için kumdan ve çakıldan farklı olarak şunu söyleyebiliriz. Diğer malzemelerin özellikleri doğuştan vardır. Fakat kil özelliklerini sonradan kazanır. Dolgu olarak kullanılabilmesi için alanlar; baraj gövdesi, kanal banketi, zemin tesviyesi, vb.

d- Stabilize:

Stabilize malzemeyi kısaca uygun granülometri de kum, çakıl, az miktarda kil karışımı olarak tanımlayabiliriz. Stabilizenin en önemli özelliği suya karşı dayanıklı olmasıdır. Dolgu olarak kullanılabilmesi için alanlar; yol üst kaplamalarında asfalt altında, asfalt kaplamaya ucuz bir alternatif vb.

KAYNAKÇA:

1-Geoteknik Bilgisi 1 Zeminler ve Mekaniği SAÜ Yayınları A. ÖNALP

2-İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği Çağlayan Kitabevi P. L. CAPPER- W. F. CASSIE Ceviri F. KİP V.KUMBASAR

F.2.4. Zeminin Özelliklerini Tanınmak İçin Ne Yapılır?

Yapının tabandaki taşıyıcı elemanı olan temel, binanın tüm yükünü zemine yaymak durumundadır. Dolayısıyla bu yükü zemin karşılayacaktır. Bu nedenle arsanın seçiminde, zemin bilgisinin önemi de büyüktür. İyi ve sağlam bir zemin seçimi ise, bilinçli ve sağlıklı bir zemin etüdüyle mümkündür. Zeminin tanınması yani zemin etüdü, genellikle aşağıdaki bilgileri elde etmek için yapılır:

- a. Zemin tabakalarının cinsi, kalınlığı ve derinliği. b. Zeminin taşıma gücü.
- c. Zemin suyunun en yüksek düzeyi. d. Kayma ve donma tehlikesi durumu.
- e. Yeraltı suyu etkisi ile zemin tabakalarında ayrışma ve erime olup olmadığı.
- f. Zeminde, betonu bozucu kimyasal ve organik maddelerin durumu.

Bu bilgilerin elde edilebilmesi için ise, binanın önem ve büyüklüğüne göre zemin etütlerinin bir ya da birkaçı birlikte yapılır.

F.2.5. Başlıca zemin Etüt Çeşitleri nelerdir ?

1. Çevre Verilerini Soruşturma yapmak. Benzer ve çevredeki diğer binalardan sorarak gerekli yöresel bilgiler derlenmelidir.

2. Muayene çukuru ya da çukurları açmak. Zeminin durumuna göre gevşek zeminlerde şevli veya kademeli kendini tutamayan zeminlerde "İKSA"lı muayene çukurları açılır. Ayrıca numune silindiri ile çukur tabanından numune alınır. Zemine dik olarak sokulan iki ucu açık çelik silindir boru aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi daha sonra üst ucu kapatılarak zeminden dik durumda çıkartılır (Şekil I.1-a,b).

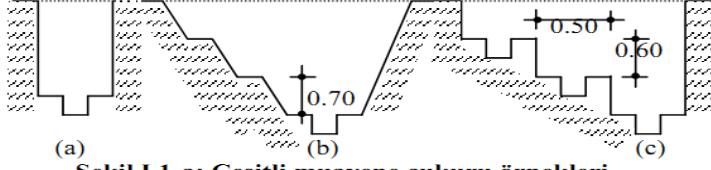
3. Sondalama yapmak. Küçük alanlar üzerinde çapı 2–4 cm. uzunluğu 3–5 m. olan "Deney Mili" ile sondalama yapılır. Mil zemine batırılır her 5 vuruşta bir milin zemine batma miktarları ölçülüp bir grafiğe işlenir. Böylece zeminin dayanımı hakkında ve mil ucuna yapışan zemin parçacıklarına bakılarak tabakalar hakkında fikir edinilir. Daha iyi bir sondalama işlemi de yaklaşık 10 m. uzunluğundaki uzatma çubuklarına 2 m.lik sonda ucu takılıp çevirmek suretiyle zemine sokulması şeklinde uygulanan "Sondalama Aleti" kullanılmaktadır (Şekil I.2).

4. Sondaj yapmak. Çok derinlerdeki zemin parçalarını örselemeden çıkartmak ve alt tabakalar hakkında bilgi sahibi olmak için yapılır. Bir sondajı gerçekleştirebilmek için aşağıda şekilleri verilen

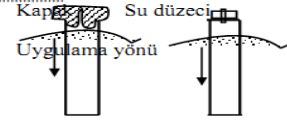
-Sondaj çubuklar -Sondaj boruları -Sondaj uçları kullanılır

Genellikle sondaj döndürerek çakarak ya da delerek uygulanır.

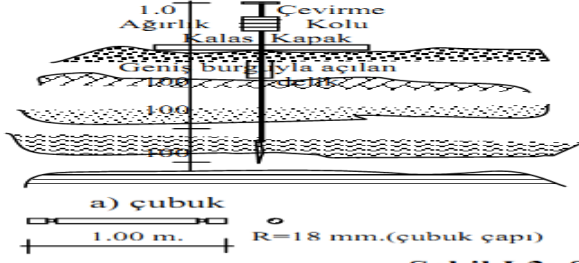
5. Sondaj Kazığı kullanmak. Şekli aşağıda verilen bu yöntem 10 m. derinliğe kadar zeminden örselenmemiş örnek alma yoluyla yapılan kullanışlı bir uygulamadır. Burada kullanılan sondaj kazığı "Burhard Kazığı" olarak adlandırılan çelikten yapılmış ve iç içe geçme çift borudan oluşan ahşap başlıklı bir borunun şahmerdanla zemine çakılması şeklinde uygulanır (Şekil I.3).



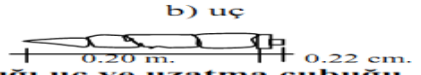
Şekil I.1-a: Çeşitli muayene çukuru örnekleri



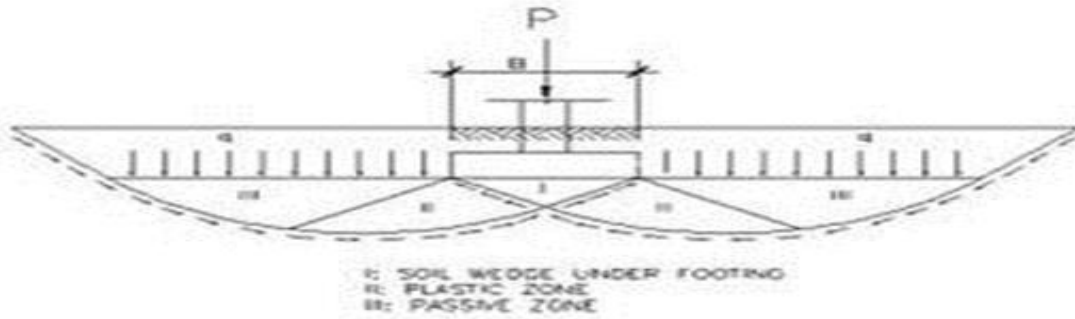
Şekil I.1-b: Numune silindirleri



Şekil I.2: Sondalama aleti



Şekil I.3: Sondaj kazığı uç ve uzatma çubuğu



F.2.6. Jeofizik Çalışmalar Yapılması Sonucunda Zemini tanımlamaya Yönelik Aşağıda Açıklanan Parametreler Elde Edilir

Geoteknik Amaçlı Çalışmalarda Jeofizik çalışmalar olarak çoğunlukla sismik kırılma ve masw çalışmaları yapılır. Sismik kırılma ve MASW çalışmaları sonucunda elde edilebilen parametrelerden ulaşılabilen geoteknik parametreler arasındaki ilişki irdelenirken göz önünde bulunması gereken ilkeler aşağıda tanımlanmıştır.

1. Sadece sismik kırılma çalışması yapıлып V_p hızı elde edilmişse verilebilecek zemin parametrelerine dikkat etmek gerekir. Bu durumda ilk aşamada kazılabilirlik, sökülebilirlik ile ilişkili parametre verilebilir.
2. Sadece V_p hız değerleri varsa ve ortam kaya zemine V_p hızından yoğunluk hesaplanabilir.
3. Sadece V_p hızı var ve zemin yumuşaksa yoğunluk değeri de verilemez.
4. V_p ve V_s değerleri varsa araştırma derinliğine bağlı olarak aşağıda tanımlanan zemin dinamik parametreleri 3 boyutlu olarak saptanabilir.

Vp (Boyuna Dalga) hızı =

Tanım ≡ Ortamın yanal ve düşey yönlü yer değiştirme özelliklerini tanımlar.

Katı, sıvı ve gaz her türlü ortamda yayılabilir

yayılma hareketi yayılma doğrultusuna paralel olur

Kayıtçılara ilk gelen dalgadır

Ortamın kazılabilirliği, ve dayanımlılığı hakkında bilgi verir.

Vp hızını etkileyen ortam özellikleri, ortamı oluşturan tanelerin karışım özelliği, gözenek miktarı, gözenek suyunun kıvamı ve sıkışabilme özellikleridir.

$$\text{Formül} \quad \equiv \quad V_p = \{(\lambda + 2\mu) / \rho\}^{(1/2)} \text{ veya } \{k + [(4/3)\mu] / \rho\}^{1/2}$$

λ = Lame sabiti ρ = Yoğunluk (doğal birim hacim ağırlığı)

μ = Poisson oranı k = Sıkışmazlık

Vs (Enine Dalga) hızı = Katı, sıvı ve gaz her türlü ortamda yayılabilir ve yayılma hareketi yayılma doğrultusuna paralel olur.

a.Vs, h ve doğal birim hacim ağırlığı (γn) veya yoğunluk değerlerinin bilinmesi durumunda jeofizik çalışmalar ile elde edilebilecek geoteknik parametreleri;

a.1. Zemin taşıma gücü : **qu**

Tanım : Zeminin düşey yöndeki taşıma gücünü tanımlar. Anlam olarak cm² birim yüzeye düşebilecek kg cinsinden emniyetli yükü tanımlar.

Zemin tanelerinin durumu bozulmadan zeminin birim alandaki taşıyabileceği maksimum yük miktarıdır.

Birimi : kg/cm² dir.

$$\text{Formül} \quad : \quad qu = (\text{yoğunluk} * Vs^2) / 200$$

Açıklama : Zemin taşıma gücü, Vs hızı ve yoğunluk (doğal birim hacim ağırlığı) ile doğru orantılı olarak değişir.

Zemin taşıma kapasitesi kayaların sırasıyla kohezyon içsel ve sürtünme açısı ile hacimsel sıkışma katsayısına bağlı olarak değişir.

Binanın kendi yükü altında zemin tabakalarını sıkıştırması sonucu oturmalar (Tasman) oluşur. Bu oturma miktarı 10-20 mm den fazla olursa bina için tehlikeli olur.

Statik ve dinamik yükleme deneyleri yaparak zeminin taşıma güçleri hesaplanabilir.

a.2. Zemin emniyet gerilmesi : **qe**

Tanım : Zeminin üzerine etkileyen yükleri taşıma kapasitesidir.

Yapı temel tabanında zeminin göçme gerilmelerinden yeterince uzak kalmasının sağlanması

Binanın yapacağı toplam oturmalarda yapı işlevlerinin etkilenmemesi

Yapının tabanında oluşabilecek farklı oturmalara bağlı olarak yapı taşıyıcı sistemlerinde kabul edilebilir zorlanmaların sağlanması

Zeminin dış kuvvetler altında etkisinde kalacağı gerilmelere karşı emniyetli sınırını tanımlar.

Birimi : kg/cm²dir.

Formül : $q_e = g_u / G_s$

Açıklama : Zemin emniyet gerilmesi hesabında kullanılan :G_s değeri güvenlik katsayısı olarak tanımlanır ve genellikle sabit bir değer olup sayısal olarak 3 tanımlanır

G_s değeri 2 ile 5 arasında değişir.

Zayıf zeminlerde 2

İyi zeminlerde 3 ve daha üstü seçilir.

V_s hızı ve yoğunluk(doğal birim hacim ağırlığı) ile doğru orantılı olarak değişir.

Yeraltı su seviyesinin düşük olduğu durumlarda sonucu 0.5 veya 0.6 ile çarpmak gerekir.

a.3. Kayma Modülü : **G_d**

Tanım : Zeminin dış kuvvetler altında etkisinde kalacağı makaslama kuvvetlerine karşı emniyetli sınırını tanımlar.

Birimi : kg/cm²dir.

Formül : $G_d = \text{Yoğunluk} * V_s^2 / 100$

Açıklama :V_s hızı ve yoğunluk(doğal birim hacim ağırlığı) ile doğru orantılı olarak değişir. Kayma modülü özellikle heyelan sahalarında yamaç aşağı etki edebilecek kuvvetin hesaplanmasında Büyük makinaların ve patlama sonucu oluşan titreşim hareketleri ile deprem hareketi sonucunda zemin stabilitesinde ve güvenliğinde oluşabilecek etkilerin araştırılması için gereklidir.

a.4. Kesme Modülü : **G_{max}**

Tanım : Zeminin dış kuvvetler altında etkisinde kalacağı çok küçük ölçekli birim değişikliklerini tanımlamak için kullanılır.

Birimi : kg/cm²dir.

Formül : $G_{max} = (\text{zemin kütle yoğunluğu}) * V_s^2$

Açıklama :V_s hızı ve zemin kütle yoğunluğu (doğal birim hacim ağırlığı) ile doğru orantılı olarak değişir.

a.5. Secant Kesme Modülü : **G_{max}**

Tanım : Zeminin dış kuvvetler altında etkisinde kalacağı çok küçük ölçekli birim değişikliklerini tanımlamak için kullanılır.

Birimi : kg/cm²dir.

Formül : $G_{max} = (\text{zemin kütle yoğunluğu}) * V_s^2$

Açıklama : V_s hızı ve zemin kütle yoğunluğu (doğal birim hacim ağırlığı) ile doğru orantılı olarak değişir.

a.6. Zemin Büyütme Katsayısı : n

Tanım : Zeminin etkisinde kalacağı dış kuvvetlerin etkisini büyütmesi olarak tanımlanabilir..

Birimi : ?

Formül : $n = [\log \{ (V_{sn} * dn) / (V_s * d) \}] * 1.67$

Açıklama :

b. V_p , V_s , h ve doğal birim hacim ağırlığı veya yoğunluk değerlerinin elde edilmesi durumunda elde edilebilecek geoteknik parametreleri;

b.1 Poisson Oranı : μ

Tanım : Kayaç numunesine yük uygulandığında çap değerinde (enine) oluşan birim deformasyonun boyuna yönde oluşan birim deformasyona oranı Normal gerilmelerin etkisi altında etkime düzlemi içinde oluşan boy değişiminin aksel doğrultudaki boy değişimine oranı Enine genişlemenin boyuna kısalmaya oranı

Birimi : Birimsiz

Formül : $\mu = \{ (V_p/V_s)^2 - 2 \} / (2 * (V_p/V_s)^2 - 2)$
 $\mu = (\epsilon_x / \epsilon_y) = (\Delta X / \Delta Y)$

Açıklama : Sayısal değer olarak 0 ile 0.5 arasında değişir.

Negatif değer olabilir ama günümüzde araştırma konusudur.

Katı malzemelerde 0.5

Betonda 0.2

Mantarda 0.0

Poisson oranı statik deneylerle (ISRM 1978, ASTM 1998a)

elastik dalga hızlarının ölçüldüğü dinamik deneylerle (ISRM 1977, ASTM.998b)

Pratikte ise poisson oranı genellikle tek eksenli basma deneyi ile hesaplanır.

Tek eksenli Basma Dayanımı ile Poisson Oranının Belirlenmesi

Tek eksenli basınç dayanımı kayaç numunelerinin kırılmaya karşı gösterdikleri dirençtir. Birimi kg/cm^2 dir. $7x7x7$ boyutlu küp yada L / D oranı 2-2.5 değerinde olan silindir numuneler kullanılır. Kullanılan numunelerin alt üst yüzeyleri mümkün olduğunca pürüzsüz ve düzgün olmalı. Poisson oranını öğrenmek istediğimiz numuneler hidrolik press, çelik plakalar arasına yerleştirilir. Numunenin kırıldığı andaki tatbik edilen yük ile numune yüzey alanının oranı T.E.B dayanımını verir. Deney esnasında numuneye yük uygulandığında oluşan çapsal birim deformasyonun değeri ve aksel birim deformasyonu belirlenir. Bu deformasyon değerleri deney sırasında prese bağlanan elektro balans sayesinde elde edilir. Elektro balans

her P yükünde bir L deformasyon değeri ölçülmesini sağlar. Tek eksenli basınç dayanımıyla ayrıca elastisite modülünde hesaplanabilir. Elastisite modülü elastik davranışlı malzemenin birim boy değişimi için gerekli olan gerilme miktarıdır. Deformasyon elastisite modülündede etkindir.

Kayaçların Poisson Oranı İle ilgili Yapılan Deneysel Sonuçlar

Kaya malzemesiyle ilgili deneysel çalışmalara göre; kayacın Poisson oranının, fiziksel ya da mekanik, diğer bir özellikle ilişkisinin olmadığı anlaşılmaktadır .

Ancak, çevresel unsurların, Poisson oranını bir şekilde etkileyeceği beklenebilir. Bunlardan belki de en kolayca belirlenecek etki sıcaklıkla ilgili olmaktadır.

Yapılan deneylerde kayaçların Poisson oranının nispeten düşük sıcaklıklarda ($300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar) pek fazla değişmediğini gösterirken, oldukça yüksek sıcaklıklarda, bazı kayaçların Poisson oranı dramatik şekilde azaldığı saptanmıştır.

Elastik bir eşyönlü (izotropik) malzeme için bu sabitin kuramsal olarak -1 ile 0.5 arasında değişebileceği bilinmektedir.

Poisson oranı (lastik/kauçuk türü katılarda olduğu gibi) 0.5 değerine yaklaştıkça, hacim modülü rijitlik modülünden çok büyük hale gelir ve malzeme sıkıştırılmaz (incompressible) olarak nitelendirilir. Öte yandan, Poisson oranı -1 değerine yaklaştıkça, malzeme son derece sıkıştırılabilir olurken, kesme gerilmeleri altında şekil değişikliğine karşı direnci aşırı bir şekilde artar.

Poisson oranı, etüt sahasındaki zemin ve kayacın suya doygunluk derecelerini aydınlatma açısından önemlidir. V_p ve V_s dalga hızları yardımıyla bulunur. Poisson oranı kesinlikle 0.5 değerini geçemez. Bu oran 0.5 'e yaklaştıkça suya doygunluk artar.

Kayaçların Poisson oranları için yapılacak bir sınıflamada alt sınırın sıfır ve üst sınırın da 0.5 olması, ya beş aralıklı ya da üç aralıklı sınıflama seçeneklerini meydana getirmiştir.

Üç aralıklı sınıflama

<u>Sınıflar</u>	<u>Poisson Oranı (μ)</u>
Düşük	$0 < \nu < 1/6$
Orta	$1/6 < \nu < 1/3$
Yüksek	$1/3 < \nu < 1/2$

F.2.7. Yukarıda Tanımlanan Parametreler Nasıl Elde Edilir.

Sismik hızlar (birimi m/sn) :

Sismik hızların zemin çalışmalarında zemin dinamik parametre hesaplarında kullanılan en önemlileri V_p ve V_s hızlarıdır.

Bu hızlar arazi çalışmaları sonucu elde edilen yol-zaman grafiklerinin eğiminden aşağıdaki formülle hesaplanır

$$V = x / t = (\text{yol} / \text{zaman})$$

- **Sismik Hız Oranı V_p/V_s ve Sıvılaşma Potansiyeli (Birimsiz):** Sismik hız oranı, kayaçların mineral bileşimine, dokuyu teşkil eden tanelerin büyüklüğüne ve dağılımına, gözenekliliğine, gözenek suyunun cins ve miktarına, sıkışabilirliğine, çimentolanma derecesine ortam hacmine ve sonuç olarak jeolojik geçmişi ve kayacın yaşına önemli ölçüde bağlıdır (Tatham 1982, Willkens ve ark., 1984).

V_p/V_s oranı sayısal olarak Ne Anlama Gelir

0-2 arasında ise sıkı zemin, 2-3 arasında ise az sıkı zemin, 3'ten büyük ise sıkı olmayan zeminler söz konusudur. Bunun anlamı V_p ve V_s hız değerleri birbirine yaklaştıkça zemin sıkılaşır, uzaklaştıkça gevşer. Ayrıca; suya doymuş gevşek kum ortamları için V_p / V_s nin > 3 olması durumunda zemin sıvılaşma potansiyeli taşır.

$[V_p/V_s]$ Oranının Güvenlik Faktörü Olarak Nasıl Kullanılır

lastik özelliklerden Poisson oranı inşaat yapı malzemelerinin gözenek oranını ve gözenek içindeki sıvı doymunluğunu yansıtan ve yaygın olarak beton incelemelerinde kullanılan bir elastisite modülüdür. Poisson oranının değerleri (0 - 0.5) gibi oldukça dar bir aralıkta değişir. Poisson oranı yerine

$$(V_p / V_s) = (0.5 - \sigma) / (1 - \sigma) 1/2$$

sismik hız oranıyla tanımlanan katsayı daha geniş aralıkta (1-8) kontrol edildiğinden (V_p/V_s) oranı aşağıda sözü edilen zemin özelliklerini çeşitli amaçlar için saptanmasında kullanılan önemli bir faktör olmuştur.

Sıkışma dalga hızı (V_p) ortamı oluşturan tanelerin karışım özelliği, gözenek miktarı, gözenek suyunun kıvamı ve sıkışabilme özelliklerine bağlıdır.

Kayma dalga hızı (V_s) de yeraltının katılığına ve sıkılığına duyarlı olması sebebiyle V_p/V_s oranı son yıllarda deprem, yer kabuğu, zemin sıvılaşmasında ön bilgi, zemin büyütmesi, hidrokarbon rezervuarlarının ve akiferlerin incelemelerinde laboratuvar ve arazi uygulamalarıyla kullanılan önemli bir faktör olmuştur. Söz konusu uygulamalardan bazıları şunlardır:

Tatham (1982) V_p/V_s oranının yer altı suyu doygunluğuna ve kırıklılığına duyarlılığını, Prakla-seismos (1986) katmanların V_p/V_s oranlarını ve hidrokarbon rezervuarlarının değerlendirilmesinde kullanılabileceğini ilk gösterenlerdir. Wang (2001) V_p/V_s oranını litolojik gösterge olarak kullanılabileceğini ve direk rezervuar saptamalarında da başarıyla kullanılabileceğini belirtmektedir.

Daha sonraları Ishihara K. ve diğerleri (2004) deneysel sıvılaşma incelemelerinde gözenek basıncı katsayısı ile VP /VS oranı arasındaki ilişkinin deprem anındaki gibi olduğunu, Hamada (2004) V_p/V_s oranı kullanarak rezervuar incelemelerinin başarıyla yapılabileceğini,

Carvalho ve diğerleri (2008) olası bir depremde lokal etkilerini mikro bölgelemede zemin davranışı büyütmesinin belirlenmesinde ve sınıflamasında VP/V_S oranlarının önemli bir parametre olduğu uygulama örnekleri ile göstermiştir.

Bu konularda diğer başlıca çalışmalar Fu ve diğerleri (2006, Moreno ve diğerleri (2003), Hicks (2006) olarak belirtilebilir.

Sismik sıkışma dalga hızının, V_p , kayma dalgası hızına, V_s , oranı, (V_p/V_S), da yeraltı suyuna doygun olmayan çok sıkı, sert ortamlarda 1.5 ile yeraltı suyuna doygun gevşek ortamlarda genelde 8 arasında değişmektedir. Güvenlik sayısı, F_S , ve (V_p/V_S) oranı arasındaki zemin türüne bağlı benzerlik tablo 1. de görülmektedir.

Tablo-1' de $V_p /V_s > F_S$ veya $V_p /V_s \approx 1.5 F_S$ olduğu görülmektedir. Tablo 1. deki güvenlik sayısı değerleri ile V_p /V_s hız oranı değerlerinin benzerliğinden yararlanarak güvenlik faktörü yaklaşık olarak sismik hız oranı cinsinden

$$F_S \approx \frac{V_p}{V_s} \quad (15)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan emniyetli zemin taşıma kapasitesi, q_e , sismik yöntemde (13-14) eşitliğinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$q_e = \frac{\rho V_s^2}{V_p} \quad (\text{kPa}) \quad (16)$$

$$q_e = \frac{1}{100} \frac{\rho V_s^2}{V_p} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (17)$$

Bu durumda, $G = \rho V_s^2$ kayma modülü tanımı ile, 16 eşitliği

$$\begin{aligned} q_e &= \frac{\rho V_s^2}{V_p} = \frac{G}{V_p} = \frac{\text{Makaslanma deformasyonu}}{\text{Boyuna deformasyon}} \\ &= \frac{\text{shear modül}}{\text{compressional wave velocity}} \quad \text{kPa} \end{aligned} \quad (18)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Bu ifade ile sismik hızlardan elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi ifadesinin zemindeki bir yükün sebep olacağı bilinen deformasyon türlerini içerdiği görülmektedir.

V_p / V_s oranı yer altı suyu içeren gözenekli gevşek zeminlerde oranı artar. Çünkü, zeminin yer altı suyu doygunluğu arttıkça, V_S den ziyade, aşağıda yoğunluk bölümünde açıklandığı gibi, V_P hızı önemli miktarda etkilenir. Bu nedenle, V_p / V_s oranı güvenlik faktörü olarak

kullanılması halinde zemin mekaniğinde olduğu gibi suya doymuş zeminlerdeki emniyetli taşıma gücü değerinde herhangi bir indirgeme faktörü kullanmaya gerek kalmamaktadır.

Dolayısı ile, (V_p / V_s) oranı güvenlik sayısına eşdeğer olarak kullanılması halinde kişisel tercihe bağlı olmadığından daha sağlıklı olmaktadır.

Nitekim Pişen S. ve Pekşen E.(2009) farklı yöntemlerden elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerlerinin karşılaştırılmasında “Kullanılan güvenlik sayılarının zeminlerin heterojen olduğunu bildiğimiz halde her tür zemin için 3 kullanılması yerine, $F_S = V_p / V_s$ oranından elde edilerek kullanılmasının ilgili zemin için daha doğru değerler verebileceği sonucuna varılmıştır” denilmektedir.

Tezcan (2006 ve 2009) sadece taneli zeminler için emniyet faktörünü 4 sabit değerinde kabullenip onun tersi 0.25 ile kayma dalgası empedansının çarpımından oluşan fakat deformasyon türlerinden olan kayma modülü ve düşey deformasyonu içermeyen

$$q = 0.25 \gamma PVS$$

şeklinde deneysel bir bağıntı önermiştir. Burada, $\gamma P =$ boyuna dalga hızına bağlı birim ağırlık (kN/m^3).

V_p / V_s oranının kullanılmasının diğer bir yararı, V_s hızının elde edilmesinin titizlik gerektirmesinden kaynaklanmaktadır. Bilindiği gibi elde edilen verinin sağlıklı olması birinci derecede önem taşır. Polaritesi kontrol edilmemiş sadece V_s ölçülmüş olsa V_s ölçülerine V_p dalgasının karışık karışmadığının farkına varılamaz.

Bu nedenle sadece V_s hızını kullanarak işlem yapmak hatalı sonuç verebilir. V_p / V_s oran değeri Tablo 1’deki zemin türüne uygun olup olmadığının kontrolünü sağlar.

Zemin türü	(V_p / V_s)	Güvenlik sayısı(F_S)
Kaya ortamlarda	1.45 - 2	1.5
Çok sıkı sert ortamlarda	1.5 - 2	1.5-2
Sıkı katı ortamlarda	2 - 3	2
Orta sıkı bozmuş ortamlarda	3 - 4	3
Gevşek yumuşak ortamlarda	4 - 6	3-4
Gevşek yer altı suyuna doymuş	5 - 8	4-5

Tablo-1. Zemin türüne göre V_p/V_s ve (F_S) değişimi.

Zemin Sıvılaşması:

İnce kumlu ve siltli zeminler, diğer zeminlere göre; sıkışmamış kumlar sıkı kumlara göre sıvılaşma yönünden daha hassastırlar. Özellikle akarsuların yığıdığı kumlar tane boyu dağılımlarındaki düzensizlik nedeniyle sıvılaşmaya eğilimlidirler. Suyu doymuş gevşek kohezyonsuz zeminlerde sıvılaşmanın en önemli nedeni yer hareketi ile meydana gelen

boşluk suyu basıncının artarak içsel sürtünme açısını yenmesi sonucu silt, kum gibi malzemenin çorba kıvamına gelmesidir.

Zemin sıvılaşması sonucu büyük ve ağır yapılarda batma veya devrilme, küçük ve hafif yapılarda ise yukarı doğru hareket ederek yüzme eğilimi görülmektedir. Bu düşey hareketler ve sıvılaşan malzemenin düşey veya yatay yönde temel altından hareket etmesi ya da yüzeye kum fişkırması gibi olaylar sonucunda yapılar ya batmakta veya devrilmekte ya da binanın iç statik dengesinin bozulması sonucunda dağılarak yıkılmaktadır.

Çizelge: Poisson oranına göre beş aralıklı sınıflama önerisi

<i>SINIFLAR</i>	<i>POISSON ORANI (v)</i>
<i>Çok Düşük</i>	$0.0 \leq v < 0.1$
<i>Düşük</i>	$0.1 \leq v < 0.2$
<i>Orta</i>	$0.2 \leq v < 0.3$
<i>Yüksek</i>	$0.3 \leq v < 0.4$
<i>Çok Yüksek</i>	$0.4 \leq v < 0.5$

Çizelge: Poisson oranı ile V_p/V_s arasındaki İlişki

$(V_p / V_s) = 1.41 \Rightarrow$	$v = 0.0$
$(V_p / V_s) = 1.50 \Rightarrow$	$v = 0.1$
$(V_p / V_s) = 1.63 \Rightarrow$	$v = 0.2$
$(V_p / V_s) = 1.87 \Rightarrow$	$v = 0.3$
$(V_p / V_s) = 2.45 \Rightarrow$	$v = 0.4$
$(V_p / V_s) = \omega \Rightarrow$	$v = 0.5$

- **Yoğunluk (Biri gr/cm^3)³.**

Yoğunluk değeri, zemin ve kaya ortamlarında farklı değerler alır. d ile ifade edilir. Porozitesi yüksek, gözenekli, gevşek ortamlarda değeri düşer. Sağlam çatlaksız ortamlarda ise değeri yüksektir. Tüm bozuşmamış kayaçlar için yoğunluk $2,6 \text{ gr/cm}^3$ tür. $V_p - V_s$ oranı az ise yoğunluk yüksek yani zemin sağlamdır. Ancak oran yüksek ise zeminde ıslaklık vardır. Birimi gr/cm^3 tür.

Hesap bağıntıları

$$d=0.31*V_p^{0.25} \text{ (} V_p \text{ hızına göre) ve}$$

$$d= 0.44 * V_s^{0.25} \text{ (} V_s \text{ hızına göre)}$$

Not: suya doymun taneli zeminlerde $V_p = 500 \text{ m/s}$ iken yer altı suyu $V_p = 1500 \text{ m/s}$ etkisiyle suya doymun aynı taneli zeminlerde $V_p = 1300 \text{ m/s}$ daha yüksek olabilmektedir.

Bu bakımdan taneli gevşek zeminlerde V_p hızından yoğunluk saptamak sağlıklı olmamaktadır.

Aşırı kırıklı ve gözenekli olmayan kaya ortamlarda yer altı suyu miktarı katı kısmına oranla çok az olacağından V_p hızını fazla etkilememektedir. Bu tür kaya ortamlarda V_p hızından yoğunluk saptaması yanıltıcı olmaz.

Bu nedenle, V_s kayma dalgası hızı suya duyarsız olduğundan ve sadece katı ortamın hızını yansıttığından taneli zeminlerin yoğunluklarının saptanmasında V_s hızının kullanılması daha uygun olmaktadır. Ayrıca, burada taşıma kapasitesi saptanmasında V_s hızı esas alındığından zemin yoğunluğunun V_s hızından saptanması gerekmektedir.

• **Zemin Taşıma Gücü (Birimi kg / cm^2 veya MP):** Temelin plastik kayma sonucu göçtüğü basınçtır.

$$q_u = (d * V_s^2) / 200 \text{ formülüyle hesaplanır.}$$

Emniyetli Taşıma Gücü : Plastik kayma göçmesi olmadan taşınabilen basınçtır.

Zemin Emniyet Gerilmesi: Zemine bu gerilmeyi uygulayacak yapı için güvenli taşıma gücü: Yapıya zarar verecek oturmanın oluşmasına izin vermeyecek, konsolidasyon karakteristikleri ve kayma göçmesini de dikkate alan yapı için kullanılan temel taban basıncıdır.

• **Güvenlik Katsayısı**, 3.00 alınmıştır. G_s ile gösterilir.

İçsel Sürtünme Açısı Nedir ?

1. İçsel sürtünme açısı, kaya veya toprak gibi bir malzemenin kayma gerilmesine karşı dayanıklılık yeteneğidir.
2. Kayma eşiğindeki yamaçlarda, yamaç yüzeyindeki eğimin yatay düzlemle yaptığı açısı içsel sürtünme açısı denir.
3. Kaya ve zemini oluşturan tanelerin aralarındaki kenetlenmeden kaynaklanan direnç olup, belirli bir yenilme-gerilme koşulunu temsil eden bir noktadaki Mohr zarfına teğet doğru parçası ve normal gerilim eksenini arasındaki açı şeklinde tanımlanabilir.

4. Kayma direnci açısı, toplam gerilme analizinde kohezyonsuz bir zeminde herhangi bir düzleme uygulanan normal gerilmenin bu düzlemde uyandırdığı kayma direncine oranının hiperbolik tanjantıdır. Kohezyonlu zeminde aynı tarif $\tan\phi=(t-c)/s$ ile verilir.

İçsel Sürtünme Açısı – Deprem - Taşıma Gücü Arasındaki İlişki

Krinitzsk, Gould, Edinger (1993) azalimleri aşağıdaki gibi tanımlamışlardır. (Arioğlu ve diğ. , 2000).

ϕ_1 = Deprem Sonrasında İçsel Sürtünme Açısı.

ϕ = Deprem Öncesinde Sıvılaşır Toprağın İçsel Sürtünme Açısı.

V_s = Temel derinliği ve hemen altında S dalga hızı.

N30 = SPT – (Temel derinliği ve hemen altında).

Kd = Sarsım Katsayısı (Boyutsuz).

g = Yerçekimi İvmesi (= 980 cm / sn²)

a_{enb} = İnceleme alanını etkileyecek depremin, bu alanda yaratacağı en büyük ivme

olmak üzere;

$$Kd = (2/3) \cdot (a_{enb} / g)$$

N30 – SPT değeri rini kullanarak,

$$\phi_1 = \phi - (1.33 - 0.067 \cdot N30) \cdot \tan(Kd)$$

Ve V_s –SPT arası amirik bağıntılar kullanılarak ta, örn.;

$$\phi_1 = \phi - (1.33 - 0.116 V_s^3 \cdot 10^{-6}) \cdot \tan(Kd)$$

Bu durumda Terzaghi bağıntısında N_q ve N_γ gibi toprak taşıma katsayıları ϕ_1 sarsıntı görmüş içsel sürtünme açısına bağlı olarak bulunmalıdır

S Dalga Hızı İle İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) Değişimi

S dalga hızları ile aynı yerde olan sondajlardaki örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan 3 eksenli basınç deneyi sonucu elde edilen içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri arasındaki dağılım incelenmiş olup S dalga hızı ile içsel sürtünme açısı (ϕ), SPT (N) ile aynı şekilde içsel sürtünme açısı (ϕ) verileri arasındaki ilişkiler aşağıdaki bağıntılarla verilmiştir.

$$V_s=128. \phi^{0.194} \text{ (Killer için) (105)}$$

$$\phi=(20.N)^{1/2}+15 \text{ ve } \phi=(12.N)^{1/2}+(15\sim 20)$$

olarak bulunmuştur. Burada, V_s : S dalga hızı (m/sn), ϕ : İçsel sürtünme açısı (derece) olarak verilmektedir. Çalışmada kullanılan veri sayısı 12 dir. S dalga hızı ile (ϕ) arasında orta derece, SPT (N) darbe sayısı ile (ϕ) arasında ise yüksek derece bir ilişki görülmektedir.

Deprem Bölgelerinde Zeminin Taşıma Gücü

Deprem Bölgelerinde sıvılaştırılabilir kumlu kaba siltli zeminlerde, deprem öncesi belirlenen taşıma gücü ve zemin emniyet gerilmesi %50 - %70 oranında düşmektedir. Bunun nedeni, sarsıntıya bağlı olarak zeminlerin içsel sürtünme açısı değerlerinin hızla düşmesidir. Bu düşme aşağıdaki formül yardımıyla ya SPT- N₃₀ değeri ya da kesme dalgası hızı (Vs) değeri kullanılarak hesaplanabilir;

$$K_d = \frac{2}{3} \times \frac{a_{\max}}{g}$$

Kesme dalgası hızı Vs kullanılarak

$$\phi' = \phi - (1.33 - 0.116V_s^3 \times 10^{-6}).ArcTan(K_d)$$

ϕ' : Deprem sırasında içsel sürtünme açısı , ϕ : Deprem öncesinde sıvılaştırılabilir zeminin içsel sürtünme açısı

SPT-N₃₀' : Düzeltilmiş SPT değeri K_d: Sarsım katsayısı (boyutsuz), g: Yerçekimi ivmesi (980 cm/sn²)

a_{max}: incelenecek alanda depremin yaratacağı en büyük ivme değeri.

Sarsıntı sırasında, temelin güvenle taşıyacağı düşey yük azalacağından, ϕ' durumu göz önüne alınmaz ise; temelde oluşacak gömülme sonucu üst yapıda eğilme beklenmelidir.

- **Zemin Emniyet Gerilmesi (Birimi kg / cm² veya MP):**

q_e= q_u / G_s formülüyle hesaplanır. Yeraltı suyu seviyesinin yüzeye yakın olduğu yerlerde (q_u* 0.5veya 0.6) ile çarpılır.

- **Zemin Hakim Titreşim Periyodu**, ile bina öz periyodunun rezonansa girmemesi için kullanılır. Kayaçlarda aldığı değer zeminlerde aldığı değerden düşüktür. T_o ile gösterilir. 0 – 1 arasında değer alır.Bina yüksekliği hakkında bilgi verir. Birimi saniyedir.

T_o= 4*((h₁/V_{s1})+(50-h₁/V_{s2}) formülüyle hesaplanır.

- **Zemin büyütmesi**, zeminin gevşek, sıkı, sulu, gözenekli olmasına göre değişir. n ile gösterilir. Deprem şiddet artış kat sayısı olarak bilinir. Deprem şiddetini artıran fiziksel özelliklerden biridir. Örneğin, zemin büyütmesi 2 ise 6 büyüklüğündeki deprem 8 büyüklüğünde etki gösterir. Ortamda zemin sıvılaşması varsa o da ayrıca hesaplanır.

n= 1.67*log ((V_{sn}*d_n) / (V_s*d)) formülüyle hesaplanır.

V_{sn} = 2700 m/sn d_n =2.5 gr/cm³

- **Poisson oranı (Birimsiz):** Formasyonun enine birim değişmesinin boyuna birim değişmesine oranı olarak tarif edilir. Gevşek kayaçlar, porozitesi yüksek gözenekli, kırıklı çatlaklı ortamlarda değeri 0-0.5 arasındadır. Kayaçlar sertleştikçe değeri düşer. Granit ve

bazalt gibi sert kütlelerde değeri 0.05'e kadar düşer. μ ile gösterilir ve Birimsizdir. Dinamik poisson oranı (μ), sismik dalga hızlarının oranlarına (V_p / V_s) bağlıdır. Bu oran arttıkça, (μ) değeri artar.

$$\mu = ((V_p/V_s)^2 - 2) / (2 * (V_p/V_s)^2) - 2 \quad \text{formülüyle hesaplanır.}$$

- **Kayma modülü (Birimi kg/cm² veya MPa):** Makaslama gerilmelerine karşı formasyonun direncini gösterir. Gd ile gösterilir. Makaslama deformasyonu hacimce değişmesiz meydana gelen yer değiştirmedir. Sıvıların makaslama karşı direnci olmadığından bu modül sıvılar için sıfırdır. Dinamik kayma modülü ne kadar yüksekse formasyonun makaslama gerilmelerine karşı direnci de o kadar fazla demektir. Kısaca kaymaya karşı olan dirençtir. Zeminin su muhtevası arttıkça Gd azalır.

$$Gd = (d * V_s^2) / 100 \quad \text{formülüyle hesaplanır.}$$

- **Elastisite modülü (Birimi N/m² ' veya paskaldır (MPa)):** Bir doğrultuda streslerin strainlere oranı olarak tanımlanır ve inşaat mühendislerince hesaplamalarda dikkate alınır. Elastisite parametresi zeminin sağlamlığını sertliğini, başka bir deyişle zeminin katılığını yansıtır Dinamik Young Modülü olarak ta bilinir. Ed ile gösterilir. Zeminlerin dayanımı, sağlamlığı hakkında bilgi verir. Birimi kg/cm² dir.

$$Ed = Gd * (3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2) \quad \text{formülüyle hesaplanır.}$$

- **Bulk modül (Birimi Kg /cm² veya MPa):** Sıkışmazlık modülü olarak da bilinir. Ortamın sıkışmazlığını gösterir. Belli bir basınç altında sıkışmaya karşı olan dirençtir. Hidrostatik basınç (P) altında kalan bir kayaçtaki gerilme - deformasyon ölçüsüdür. Diğer bir deyişle materyalin hacim değişikliğine karşı mukavemetinin ölçüsüdür. Zeminlerde sıkışma değeri düşük, kayalarda ise yüksektir. Kd ile gösterilir.

$$Kd = d * (V_p^2 - 4/3 V_s^2) / 100 \quad \text{formülüyle hesaplanır.}$$

- **Yatak Katsayısı,** yatak katsayı-zem.emn. gerilmesi abağı“Yeraltı araştırmaYönt.Ahmet Ercan2002”

- **Sıkışıklık modülü,** Bulk Modülünün tersidir (1/ bulk modülü) Birimi cm²/kg dir.

$$mv = 1 / Kd \quad \text{formülüyle hesaplanır.}$$

- **Zemin oturması,** zemin emniyet gerilmesi ve taşıma gücüne bağlı olarak zeminin kaç cm oturacağını belirtir. s ile gösterilir. Birimi cm. dir. Sismik verilerin dinamik düzeltmeleri yapıldıktan sonra değerlendirilmesi sonucunda çalışma alanının kesitleri ortaya çıkarılmıştır.

- **Zemin Sökülebilirlik Derecesi:** Sökülebilirlik ağır iş makinelerinin kayaçları delici uçları ile kazarak kayacın içerisinde ilerleyebilme durumları ile ilgili bir özelliktir. Sağlam ya da masif yapılı kayaçlar, gevşek kayaçlara göre daha zor sökülür. Gevşek yapılı ortam, sağlam ortama göre daha düşük sismik hız değerleri ortaya koyar. Sismik hızlarla sökülebilirlik arasındaki ilişki ağır güçteki sökmeler için Bailey (1974) tarafından verilmiştir.(Tablo) Sedimanter kayaçlar diğer kayaçlara göre daha kolay sökülür. Kayacın yoğunluğu ve

çimentolanma derecesi düşük olduğunda kayaç daha rahat bir şekilde sökülür. Kayaçlardaki boşluk ve süreksizlik yapıları sökülebilirliği etkiler.

Tablo .Poisson Oranı-Zemin Türü İlişkisi

Poisson oranı	Zemin türü
0.00-0.25	gözeneksiz zeminleri,
0.25-0.35	orta dereceli gözenekli zeminleri,
0.35-0.50	gözenekli zeminleri

Tablo .Kayma Modülü-Zemin Türü İlişkisi

Kayma Modülü (G)	Zemin Türü
0-600	gevşek zeminleri,
600-3000	orta sağlam zeminleri,
3000-10000	çok sağlam zeminleri

Tablo .Elastisite Modülü-Zemin Türü İlişkisi

E	Zemin türü
0-2000	gevşek zeminler
2000-10000	orta gevşek zeminler
10000-30000	sağlam zeminler
30000<	çok sağlam zeminler

Tablo .Jeofizik ve Zemin Sökülebilirlik Derecesi

P Dalga Hızı (m/s)	Sökülebilirlik Derecesi	
	No	Tanım
350-670	1-3	Çok Kolay
670-1000	3-4	Kolay
1000-1700	4-6	Orta
1700-2300	6-8	Zor
2300-2700	8-9	Çok Zor
2700-3000	9-10	Aşırı Zor

Tablo. Jeofizik ve Zemin Dinamik Elastik Parametreleri Formülleri

Zemin Dinamik Elastik Parametreleri	Formüller
Yoğunluk	$\rho = 0.31 \times V_p^{0.25}$ (gr/cm ³) (Vp hızına göre) $\rho = 0.44 * V_s^{0.25}$ (Vs hızına göre)
Poisson	$\sigma = (0,5 * (V_p / V_s)^2 - 1) / ((V_p / V_s)^2 - 1)$
Shear(kayma)	$G_d = (\rho * V_s^2) / 100$ (kg/cm ²)
Elastisite(young)	$E_d = G_d * (3 * V_p^2 - 4 * V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)$ (kg/cm ²)
Taşıma Gücü	$Q_u = \rho * V_p / 100$ (kg/cm ²)
Güvenli Taşıma Gücü	$Q_e = \rho * V_s / 100$ (kg/cm ²)
Oturma	$S = ((Q_u + Q_e) / E) * h$ (cm)
Sıkışmazlık (Bulk)	$K = M_c = \rho * (V_p^2 - 4/3 * V_s^2) / 100$ (kg/cm ²)
Zemin Hakim Periyodu	$T_0 = 4 * \sum h_i / V_{si}$ (s) veya $T_0 = 10 / \sqrt{V_s}$ (s)
Sıkışabilirlik	$M_v = (1 / M_c)$ (cm ² /kg)
Zemin Büyütmesi	$A = 68 V^{-0.6}$ (V < 1100 m/sn) $= 1.0$ (V > 1100 m/sn) (Midorikawa 1987)

Tablo Jeofizik ve Deprem yönetmeliğine göre yerel zemin sınıfları

Deprem yönetmeliğine göre yerel zemin sınıfları	V _s (m/sn)	(T _A -T _B) SN	V _p /V _s	G _s kg/cm ²	E _d kg/cm ²	q _s kg/cm ²
Z1 çok sıkı-sert	>700	0.10-0.30	1.5-2	>10000	>3000	100-10
Z2 Sıkı-katı	400-700	0.15-0.4	2-2.5	3000-10000	10000-30000	3-10
Z3 Orta sıkı-bozuşmuş	200-400	0.15-0.60	2.5-3	600-3000	2000-10000	1-3
Z4 Gevşek-yumuşak	<200	0.2-0.90	3-10	<600	<1700	<1

Tablo Jeofizik ve Zemin grupları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar....	—	—	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl.....	> 50	85–100	—	> 700
	3. Sert kil ve siltli kil.....	> 32	—	> 400	> 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar....	—	—	500–1000	700–1000
	2. Sıkı kum, çakıl.....	30–50	65–85	—	400–700
	3. Çok katı kil ve siltli kil...	16–32	—	200–400	300–700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar.....	—	—	< 500	400–700
	2. Orta sıkı kum, çakıl.....	10–30	35–65	—	200–400
	3. Katı kil ve siltli kil.....	8–16	—	100–200	200–300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları....	—	—	—	< 200
	2. Gevşek kum.....	< 10	< 35	—	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil....	< 8	—	< 100	< 200

Tablo Yerel Zemin Sınıflaması

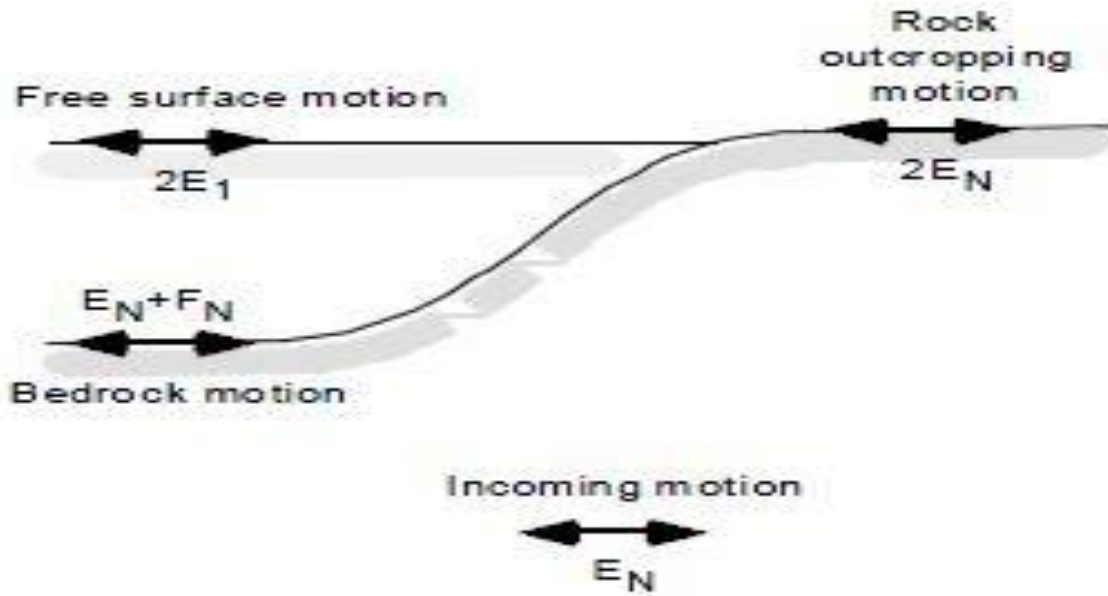
Yerel Zemin Sınıflaması	Zemin Grubu Tablosuna Göre Zemin Grubu Ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h)
Z₁	(A) grubu zeminler h < 15 m olan (B) grubu zeminler
Z₂	h > 15 m olan (B) grubu zeminler h < 15 m olan (C) grubu zeminler
Z₃	15 m < h < 50 m olan (C) grubu zeminler h < 10 m olan (D) grubu zeminler
Z₄	h > 50 m olan (C) grubu zeminler h > 10 m olan (D) grubu zeminler

F.2.2.Bina yapılacak zeminin deprem kuvvetleri ve deprem yükü yönünden araştırılması

Bu çalışmalar, alttaki şekilde tanımlandığı gibi, bina yapılacak zemin yüzeyi, deprem yanal ivmesi, ana kayanın derinliği, ana kayadaki deprem ivmesi, ana kaya ile zemin yüzeyi arasındaki zemin tabaka özellikleri, PGA ve PSA gibi parametreler dikkate alınarak yapılacak çalışmaları kapsamaktadır.

Deprem sırasında binaya etkiyebilecek en büyük yatay ivme değeri, deprem süresi ve binanın bu etkileri karşılamak için sahip olması gerek parametreler bu çalışmalar sonucunda saptanır.

Diğer bir değişle $F = m \cdot a$ formülü temel alınarak çalışmalar yapılır. F deprem kuvveti, m yapı kütlesi ve a da deprem ivmesi olarak tanımlanır.



Şekil Ana Kaya Üzerinde Kaydedilmiş Deprem Kaydının Zemin Yüzeyine Taşıma İlkeleri

Deprem Kuvvetlerine Karşı Yapıda Tasarlanacak Karşı Kuvvetler:

Bu kuvvetler yapının eylemsizliğinden, yapının sönüm ve rijitlik özelliklerinden olmak üzere 3 başlık altında toplanabilir. Bu kuvvetler

1. $m\ddot{u}(t)$ = Hareketin ivmesiyle orantılı eylemsizlik kuvveti. Yapının eylemsizliğini korumak için uyguladığı kuvvet.
2. $c\dot{u}(t)$ = Hareket hızıyla orantılı sönüm kuvveti. Deprem hareketinin hızı ile orantılı
3. $k u(t)$ = Yapının yer değiştirmesi ile orantılı olan yapı iç kuvveti. Deprem hareketi nedeni ile yapıda oluşan yer değiştirme ile orantılı iç kuvvet.

Bu üç kuvvetin aralarında “yer değiştirme – türev – hız – türev – ivme” ilişkisi vardır.

F.2.2.1. Deprem Kuvvetlerine Karşı Yapıda Tasarlama kullanılan Kuramsal Kavramlar

Matematiksel ilişki türev – integral matematiksel dönüşüm işlevleri le açıklanabilir. Diğer bir değişle, depremin hızı, ivmesi ve yer değiştirmesi yapıda deprem hareketine karşı oluşacak iç kuvvetleri hesaplamalarda önemli olur.

Nesneler bulunduğu konum itibariyle düşey yöndeki yer çekim ivmesinin etkisi altındadır (1,0 g lik düşey ivme). Bu nedenle nesnelere düşey yönde yukarı doğru kaldırırken bu kuvvetleri yenmek için kuvvet uygularız.

Diğer bir deyişle, $F = m \cdot a$ kuvvetine zıt yönde kuvvet uygulamak zorunda kalırız. Hareketsiz durumdaki bir nesne herhangi bir yönde harekete zorlandığı durumda bu kuvvete karşı yönde direnç gösterir. Bu durum nesnenin hareketsizliğinden (eylemsizliğinden-ataletinden) kaynaklandığı için eylemsizlik kuvveti olarak tanımlanır (Şekil 1).

Bilindiği gibi, bir araçla seyahat ederken, vücudumuz araç hızlanma yönüne zıt yönde kuvvet etkisinde kalır. (araç ani hızlanırken (ivme kazanırken) vücut geriye doğru yaslanır, ani yavaşlama sırasında (fren yapılması-ivme kaybı) ise vücut öne doğru hareket eder) (Şekil 1).

İnşaat mühendisleri, depremle ilgili bilgileri deprem yönetmenliğinden alırlar. Bu nedenle, depreme dayanıklı yapı tasarımının gelişimini izlemek için en güzel yaklaşım deprem yönetmeliklerinin zamanla evrimini ele almaktır.

Yerkürenin belli bölgelerde bulunan fay hatları kırıldığında, ortaya çıkan güç ne olursa olsun o bölge kendi karakteristiği gereği hep aynı periyot ile sallanır. Bu periyot ege denizinin iki yanında bulunan Yunanistan ve Türkiye için de aynıdır ve aşağı yukarı 0,5 saniyeye karşılık gelir. Diğer yandan binaların da kendi salınım periyotları vardır. Bir bina kendine etkileyen deprem kuvveti ne olursa olsun hep aynı periyotla sallanır ve bunu da yüksekliği belirler. Örneğin 30 katlı bir gökdelen 3,5 saniyede bir salınım periyodunu tamamlarken 5-6 katlı bir bina için bu 0,5 saniyedir.

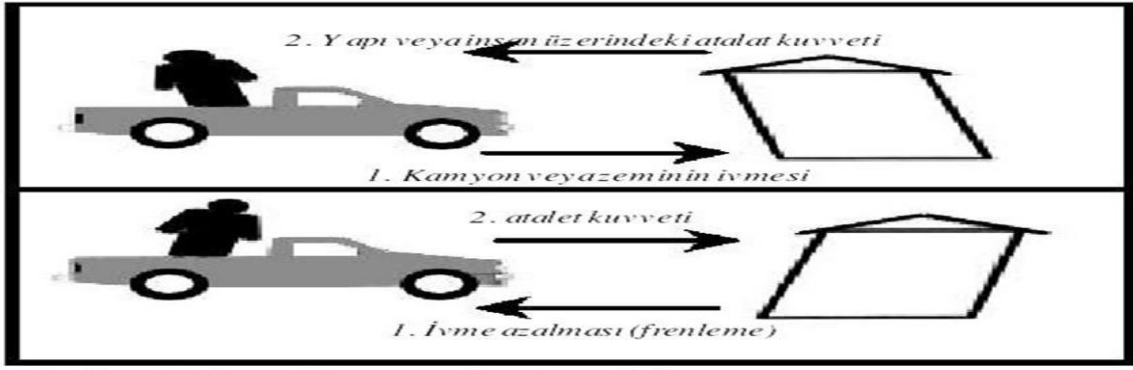
Deprem kuvvetinin ve binanın periyotlarının farklı olması durumunda salınım mesafesi azalarak birbirlerini de ters yönde etkileyeceklerdir.

Yavaş sallanan binayı hızlı periyotlarla vuran deprem yükü durdurucu etki yapar. Bu olayın tam tersi de geçerli. Bu durum şu şekilde sınavabiliriz.

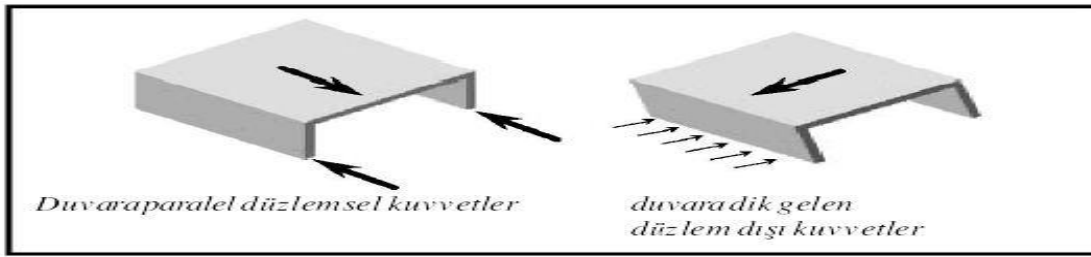
Yerkürenin hiçbir yeri 3,5 saniye ve üstünde bir deprem üretemediği için tarihte depremden yıkılmış bir tane bile gökdelen örneği bulunmamakta. Hatta tam da bu nedenle gökdelenlerin statik hesabında rüzgâr yükleri depremden daha fazla önem arz etmektedir.

Oysa bu periyotların eşitlendiği durumda salıncak etkisi ortaya çıkıp binanın salınım mesafesini bir anda artırmaktadır. Türkiye 'de gerçekleşen depremlerde yıkılan yapıların hemen hepsi bu salıncak etkisine maruz kalıp aynı zamanda sağlıklı inşa edilmediği için çökmüş yapılar.

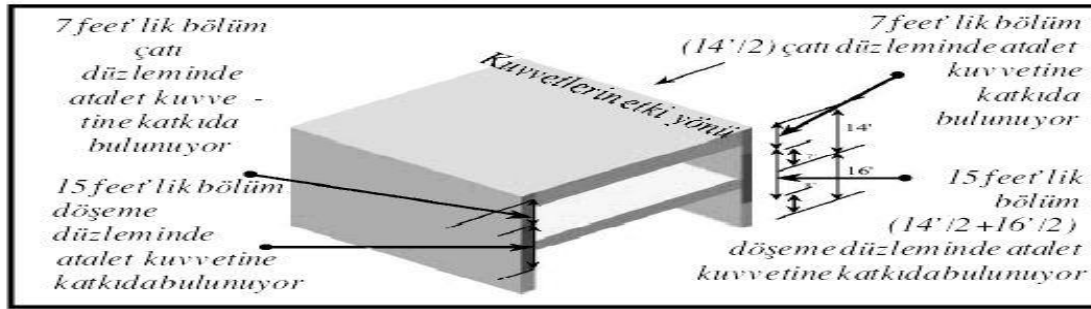
Örneğin Marmara depreminde yıkılmış binalar bu salıncak etkisinin vurduğu binalardır. Özetle deprem ile aynı periyotta sallanan bir bina yaparsanız ve onu da kitabına uygun yapmazsanız yıkılması kaçınılmaz oluyor.



Şekil 1. Atalet kuvvetleri ivmeye karşı bir tepkidir



Şekil 2. Düzlemsel ve düzlem dışı kuvvetler



Şekil 3. Çatı ve ikinci kat döşemelerinde kuvvet dağılımı

Şekil. Deprem yanal Kuvvetleri İle Fiziksel Kavramlar Arasındaki İlişkiler

5-6-7 katlı apartman sistemi Türkiye 'de diğer yükseklikteki binalardan daha fazla tehlike altında ve sistem 70'lerden itibaren böyle kurulduğu için bu konuda bir şey yapılamamaktadır.

Yanlış şehircilik yaklaşımlarının kurbanı sadece bizim ülkemiz değildir. İlginç biçimde bu apartman sisteminin var olduğu ender ülkeler arasında Yunanistan da vardır.

Yirminci yüzyılın başında Japonya 'da inşaat mühendisi bir öğretim üyesi "depremlerde yatay yükler oluşuyor. Biz binalarımızı belirli bir yatay yüke dayanacak şekilde hesaplayalım" diye derse başlıyor. Yatay yük yapı ağırlığının yüzde 10'u olarak hesaplıyor.

1923'de Japonya'da büyük bir deprem oluyor ve ağırlığının yüzde 10'una karşı koyabilecek şekilde hesaplanmış yapıların depremde iyi davrandığını görüyorlar.

Fakat insanlar depremde, gelen ivmenin yapının ağırlığının yüzde kaç olduğunu bilmiyorlar. Ancak ilk defa 1932'de Amerika'da ölçüyorlar. O zaman bir de "acaba yer hareketini değişik periyota ve sönüm oranına sahip yapılara uygularsak, bu yapılarda oluşan maksimum yükler,

ötelenmeler ne kadar olur" diye spektrum kavramı geliştiriyorlar ve bakıyorlar ki çok daha fazla şeyler oluyor. Maksimum yer ivmesi bina ağırlığının yüzde 30'u iken, bunu belli periyotta ve sönümde binalara uyguladığımız zaman üç dört kat büyümüş olduğunu anlıyorlar.

Peki, "binalarımız depreme karşı nasıl duruyor? Biz bina ağırlığının yüzde 10'u gibi bir yatay yüke göre tasarlıyoruz ama gerçekte o depremde yapıya gelen yük bunun beş katı oluyor" diyorlar ve "bu yaptığımız hesaplar elastiki ama bina biraz çatladıktan sonra nitelikleri değişecek, sönümü artacak, periyodu değişecek. Bina depremin enerjisini kalıcı deformasyonlar, biraz çatlayarak tüketecek ve böyle karşılayacak" sonucuna ulaşıyorlar. Bu durumu da süneklik kavramıyla açıklıyorlar.

Sonra 70'lerde San Ferdano depremi oluyor ve sünek yapılmış bir hastane binasının, o kadar çok sünek ki, kolonları zemin katta bir metre kalıcı öteleme yapıyor ve bina kullanılmaz derecede hasar görüyor. "çok süneklik iyi bir şey değil, sünekliği biraz kısıtlamalıyız" diyorlar ve perde duvarlı yapılar ortaya çıkıyor.

F.2.2.2 . Depreme Dayanıklı Bina nasıl tasarlanır?

Deprem olayı zamana bağlı olarak oluşur. Ancak depremle ilgili birçok bilgi deprem hareketinin frekans spektrumunda gizlidir. Bu nedenle deprem-zemin-yapı ilişkisinde olaylar zaman ve frekans ortamında düşünülmelidir.

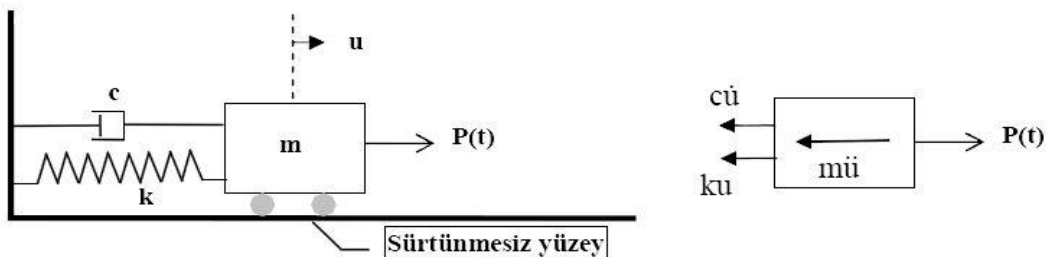
Yapı deprem ile etkileşime girdiği zaman yapıya zamana bağlı olarak değişen kuvvetler etkimeye başlar ve bu olayın devamında yapıda zaman bağlı olarak değişen iç kuvvetler oluşmaya başlar.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında amaç; deprem sırasında yapıda oluşan bu iç kuvvetlerin yapıda oluşturabileceği olası hasarları en aza indirmek veya engellemektir.

Varsayım 1. Deprem sırasında yapı ile deprem ilişkisini irdelemek için basitçe Şekil 1 deki sistem dikkate alınır. Zaman bağlı olarak değişen $P(t)$ kuvveti nedeni ile yapıda oluşacak hareket denklemi;

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = P(t) \quad (1)$$

ile verilir ve m = yapı kütlesi, c =sönüm katsayısı, k =yapı rijitliği olarak tanımlanır.



Şekil 1

Şekil 1. Depreme Dayanıklı Yapı tasarımında Kullanılan Fiziksel Yaklaşımlar

Şekil 2. ile tanımlanan yapıya dışarıdan etkiyen $P(t)$ kuvvetine karşı, yapıda iç kuvvetler oluşur.

Bu iç kuvvetler 3 farklı kuvvet olarak karşımıza çıkar. Bu kuvvetler

1. $m\ddot{u}(t)$ = Hareketin ivmesiyle orantılı eylemsizlik kuvveti. Yapının eylemsizliğini korumak için uyguladığı kuvvet.
2. $c\dot{u}(t)$ = Hareket hızıyla orantılı sönüm kuvveti. Deprem hareketinin hızı ile orantılı
3. $k u(t)$ = Yapının yer değiştirmesi ile orantılı olan yapı iç kuvveti. Deprem hareketi nedeni ile yapıda oluşan yer değiştirme ile orantılı iç kuvvet.

Bu üç kuvveti düşünürsek aralarında

yer değiştirme – türev – hız – türev - ivme

Matematiksel ilişki türev – integral matematiksel dönüşüm işlevleri le açıklanabilir.

Diğer bir deyişle, depremin hızı, ivmesi ve yer değiştirmesi yapıda deprem hareketine karşı oluşacak iç kuvvetleri hesaplamalarda önemli olur.

Yapıda deprem hareketine karşı kütlesi, rijitliği ve sönümlenme katsayısı ile orantılı olarak karşı kuvvetler oluşur. Ayrıca yapı titreşim hareketinin ivmesi, hızı ve yer değiştirmesi bu iç kuvvetlere etki eder.

Sonuç 1. Yapıya deprem sonucu $F=m.a$ kuvveti etki eder.

Yapı bu kuvveti yok etmek için (tekrar dengeye gelmek için) kütlesi, salınım hareketinin ivmesi, hızı ve yer değiştirme miktarı ile rijitliği ve sönüm katsayısına bağlı olarak hesaplanan iç kuvvetleri kullanır. Depreme dayanıklı yapıda oluşacak iç kuvvetler toplamı yapıya etkilecek deprem kuvvetine eşit olmak zorunda.

Sonuç 2. Yapıya deprem sırasında etkiyebilecek kuvvetler ve buna karşı yapıda oluşabilecek kuvvetler kuramsal olarak biliniyor.

Ancak bu kuvvetlerin matematiksel olarak hesaplanabilmesi için hem bazı kabullerin yapılması hem de elimizde var olan deprem kayıtlarından hangi parametrelerin bu hesaplar için kullanılacağı konusunda aşağıda açıklamalar yapılmıştır.

Bu kavramlarla şekil 2 deki sistem şekil 3 deki gibi ifade edilebilir.

Varsayım 2. Şekil 3 deki sistemin zamana bağlı olarak değişen olarak etki eden $P(t)$ kuvveti ile hareket ettiğini kabul etmek yerine yer etkisi altında hareket ettiğini kabul edersek oluşabilecek kavramları aşağıdaki gibi açıklamamız gerekir.

Şekil 1 deki sistem yapıya uygun olarak şekil 3 deki sisteme benzer durumda kabul ediliyor.

Şekil 3 ile bir dış kuvvet etkisi altında m kütesinin yer değiştirmesi ile oluşan olaylar tanımlanmıştır.

Bu harekete ilave olarak deprem sırasında yapı zemininde oluşacak ivme ve yer değiştirme olaylarını eklersek şekil 4 tanımlanır.

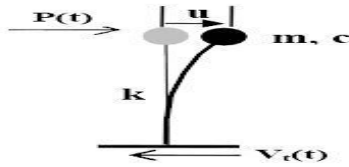
Ulaşılan bu aşamada yapı zemininde deprem hareketi sonucu oluşan hareketin ivme yer değiştirme ve hızı ile ilgili bir varsayıma ulaşılmış olduk.

Şekil 4 bize ne açıklıyor? Şekil 4 deki gibi bir sistemde Yer hareketi etkisi altında oluşacak toplam yer değiştirmenin nasıl hesaplanabileceğini açıklıyor. Ayrıca şekil 4 te sistemin yer değiştirme grafiği de verilmiştir.

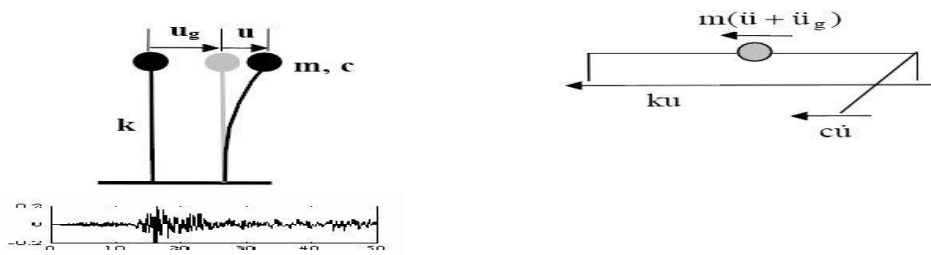
Yer hareketi etkisi ile yapıda oluşacak toplam yer değiştirme; sistemin göreceli yer değiştirmesi ile yerin değiştirmesinin toplamına eşit olur. Diğer bir deyişle, deprem nedeni ile yapıya etkiyecek olan Newton Kanunu ($F=m*a$) ile oluşacak kuvvet yapı içinde bu harekete karşı kuvvetler oluşturur. Etki eden kuvvet ile bu kuvvete karşı oluşan kuvvetler toplamı sıfır olmalıdır.



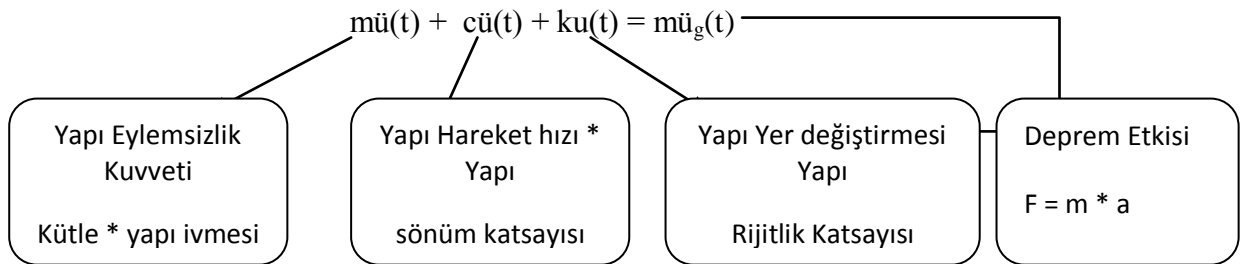
Şekil 2



Şekil 3



Şekil 4



$$m[\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)] + c\dot{u}(t) + ku(t) = 0 \quad (2)$$

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (3)$$

İfade edilir. (2) denkleminde $[\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)]$ toplam ivme olarak tanımlanır.

Bağıntı (3) bize neyi tanımlar? Bağıntı (3) bize tek serbestlik dereceli sistemin, yer hareketi etkisinde yapacağı sönümlü zorlanmış titreşimine ait hareket denklemini tanımlar.

Sonuç 3. Deprem etkisi ile yapının yapacağı hareket tek serbestlik dereceli bir sistemin matematiksel bağıntısı ile tanımlanabilir. Yani yapı hareketi tanımlı bir sisteme dönüşmüş oldu

Bu bağıntı tanımlanırken; sönüm kuvveti ile yapıya geçen kuvvetin hareketin bağıl hızı ve bağıl yer değiştirmesi orantılı olduğu kabul edilir. Bu kabulle c ve k katsayıları bağıl hız ve bağıl yer değiştirme cinsinden tanımlanır.

Burada önemli olan toplam ivme değeridir. Bu değer yani deprem hareketi sırasında oluşan toplam ivme yer ivmesi ile yapının ivmesinin toplamı olur. Bu ivmeler toplamı matematiksel olarak bazı matematiksel dönüşümler sağlandıktan sonra (4a ve 4b)

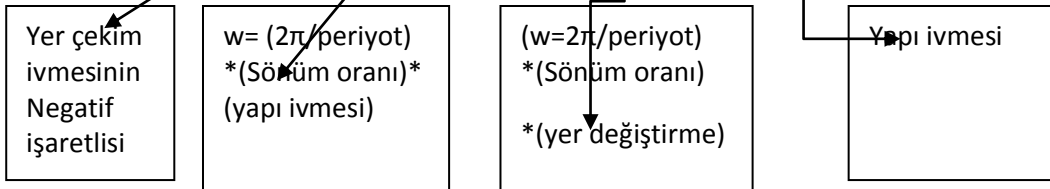
$$c = 2m\omega\xi \quad (4a)$$

$$\omega^2 = k / m \quad (4b)$$

$$\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t) = -2\omega\xi\dot{u}(t) - \omega^2u(t) \quad (5a)$$

$$-\ddot{u}_g(t) = 2\omega\xi\dot{u}(t) + \omega^2u(t) + \ddot{u}(t) \quad (5b)$$

bağıntısı ifade edilir. Bu denklemin çözülebilmesi için denklemin oluşturulan parametreleri bilinmesi gerekir.



Sonuç 4. (5a) ve (5b) denklemlerinin çözümü bize ne verir? Çözüm bize zamana bağlı olarak değişen $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesi etkisinde oluşacak $u(t)$ yer değiştirmenin sabit bir sönüm oran katsayısına bağlı olarak zamana göre değişimini verir (time history analysis.).

Bu aşamada matematiksel çözümler sonucu m kütleli, ξ sönüm katsayılı bir yapıda yer çekim ivmesi etkisinde oluşabilecek yer değiştirme miktarı zamana göre hesaplanmış oldu.

Varsayım 3. Ne yaptık? İvme, hız, periyot ve yer değiştirmeye bağlı olan denklemler elde edildi. Diğer bir değişle deprem kayıtlarından hesaplanabilecek parametreler (ivme-hız-yer değiştirme) kullanılarak yapıda deprem nedeni ile oluşabilecek iç kuvvetler toplamı hesaplanabilir.

Bu sonuçlara bağlı olarak ta ayrıca taban kesme kuvveti ($V_b(t)$)ve iç kuvvetler gibi diğer yapı tasarım parametreleri de hesaplanabilir.

Sonuç 5. Ayrıca bu aşamada Olarak yapı tasarımında önem katsayısı yüksek olan yer değiştirme-hız ve ivmenin zaman göre değişiminden ziyade frekans – genlik spektrumlarının incelenmesi daha doğru olacaktır.

Yer Değiştirme Spektrumu Ne Anlama Gelir?

Belirli bir yer hareketi etkisinde, sabit bir sönüm oranı için, periyotları farklı tek serbestlik dereceli sistemlerin yapacağı en büyük yer değiştirme değerlerini gösterirler. Bu spektrumdan, periyoda bağlı olarak okunacak yer değiştirmeye de **spektral yer değiştirme (spectral displacement - SD)** adı verilir.

Ancak olası bir depremde yapının davranışını önceden kestirebilmek için yapıdaki bu yer değiştirmenin deprem hareketi ile ilişkisinin kurulması gerekir.

Şekil 5 bize ne açıklıyor veya nasıl kullanacağız? En üstteki şekil gerçek bir deprem kaydında işaretlenmiş (yer ivmesi (g) - zaman grafiği (t) grafikten maksimum yer ivmesi diye tanımlanan PGA (Peak Ground Accereration) değerini verir. Değerin – veya + çıkması önemli değildir (grafikteki maksimum veya minimum değer olabilir). Grafikteki değer 0.25 g veya 2,5 m/sn² olarak tanımlanır.

Altteki şekiller ise bize sönüm oranı bilinen bir sistemde periyotları değiştirerek elde edebileceğimiz tek serbestlik dereceli bir sistemin zamana göre yer değiştirme grafiklerini verir. Neden periyotlar farklı alınarak yer değiştirme grafikleri oluşturulmuştur? Çünkü yapının rijitliği ve kütlesi yapının periyotunu doğrudan etkilemektedir. Diğer bir deyişle

$$w^2 = (k/m) \text{ veya } (2\pi/T)^2 * (\text{yapı rijitliği/yapı toplam kütlesi})$$
$$T = 2 \pi (m / k)^{(1/2)}$$

Sonuç 6. Yapının salınım periyodu m kütlesinin karekökü ile doğru orantılı, yapının rijitliğinin karekökü ile ters orantılı olarak değişir.

Varsayım 4. Bu aşamaya kadar varsayımlar ve matematiksel bağıntılar zaman ortamında ifade edildi. Ancak yapı tasarımcıları zamana bağlı olan değişimlerle ilgilenmemektedirler. Yapı tasarımcılarını ilgilendiren tek parametre yapıya etkiyen yüklerin alabileceği maksimum değerdir.

Bu bağlamda Şekil 5 de tanımlanmış olan farklı periyottaki tek serbestlik dereceli sistemin yer değiştirme-zaman grafiklerinin önem katsayısı artmaktadır. Ancak bu grafiklerde önemli olan tek parametre maksimum veya minimum en büyük yer değiştirme değeridir. Bu grafikler kullanılarak tek serbestlik dereceli sistemlerin en büyük yer değiştirme genlik değerlerine karşılık gelen periyot değerleri elde edilmiş olabilir. Bunun için

$$- \ddot{u}_g(t) = 2w \xi \ddot{u}(t) + w^2 u(t) + \ddot{u}(t) \quad (5)$$

Denklemini, bir deprem kaydı temel alınarak, bir zaman aralığında periyodu farklı (örneğin 0.01 s <T<2.5s arasında 0.05 s örnekleme aralığı ile) tek serbestlik dereceli sistemler için çözülür ve sonuçlar en büyük yer değiştirme değerleri – periyot olmak üzere çizilmesi gerekir.

Sonuç 7. Şekil 6 nasıl elde edildi? Bir deprem kaydı alındı ve bu kayıttan elde edilen değerler bağıntı (5) de yerine kondu ve bu bağıntı farklı periyot değerleri için çözülerek her bir periyot için elde edilen en büyük yer değiştirme değerlerinin grafikleri çizilmiş oldu. Bu grafikten elde edilen en büyük yer değiştirme değerine spektral yer değiştirme değeri (spectral displacement – SD) denir.

Yer değistirme en büyük genlik değerine ulaştığı zaman ne olur? Bu değer bize yapıda deprem hareketine karşı oluşacak olan toplam kuvveti oluşturan 3 bileşenden biri olan yapı i kuvveti verir.

Sonuç 8. Bağıntı (6) ile biz ne elde etmiş olduk? Yapının kütlesi ve periyodu ile deprem kaydından elde edilen SD değeri kullanılarak yapı tasarım için gerekli olan parametrelerinden biri olan yapı iç kuvvet bileşeni (ku(t)) bulunmuş oldu. Ayrıca bu denklem yer değistirmenin en büyük olduğu anda yapıya geçecek en büyük kuvvetin eylemsizlik kuvveti cinsinden ifadesini tanımlar.

(6) bağıntısı Newton Kanununa göre kuvvet kütle ile ivme çarpımı olduğundan

$$F = m a \text{ denkleminde göre } F = m * (w^2 SD) \quad (7)$$

Olur. Böylece $(w^2 SD) = \text{ivme}$ olur.

Sonuç 9. Elde edilen (7) bağıntısına göre spektral yer değistirmesi bilinen bir sistem için ivme değeri sistemin spektral yer değistirme değeri ile açısal frekansının karesinin çarpımına eşit olur.

$$F = k (U_{\max}) = k (SD) \text{ veya } F = mw^2(SD) \quad (6)$$

Ancak; bu ivme değeri yer değistirmenin en büyük değere ulaştığı t anı için geçerli olur. Bu durumda tek serbestlik dereceli sistemler için toplam ivme değerinin periyota göre değişimi grafiklenir. Böylece sözde ivme (yalancı ivme- pseudo Acceleration) PSA değeri bulunmuş olur (Sekil7).

$$\underline{PSA = W^2 SD} \quad (11)$$

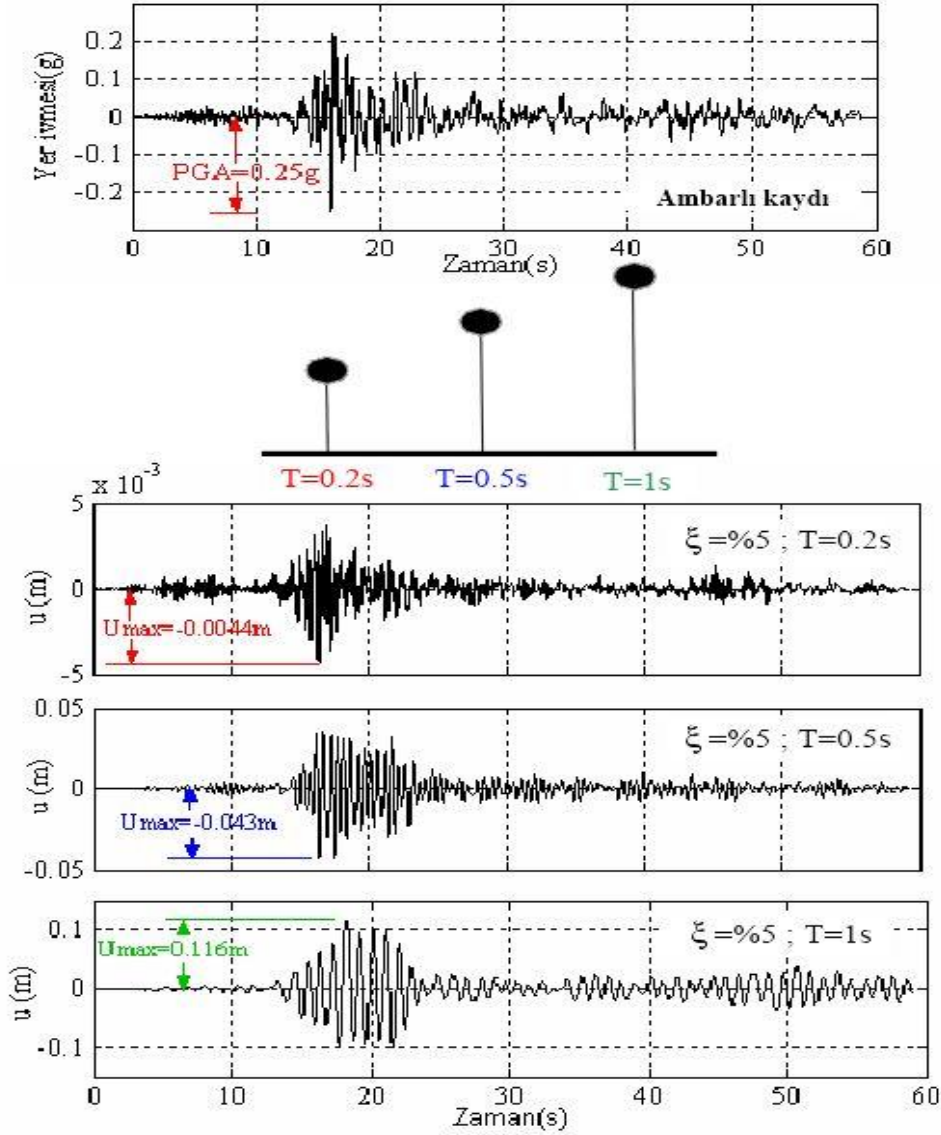
şekil 7 bir tek deprem kaydı kullanılarak elde edilen değerleri göstermektedir. Bu değerlerin deprem kaydından elde edilen PGA değeri ile normalize edilmesi gerekir (şekil 8)

Buraya kadar tanımlanan kavramlar yapının Lineer Elastik olduğu varsayımı ile yapılmıştır (şekil 9). Lineer Elastik Kuram kabul edildiğinde, yapıya etkiyen kuvvet ile yapı yer değistirmesi arasında doğrusal bir ilişki vardır kabul yapılır. Bu kabul kullanılarak oluşturulan frekans spektrumları kullanılarak elde edilen deprem kuvveti elastik deprem yükü olacaktır.

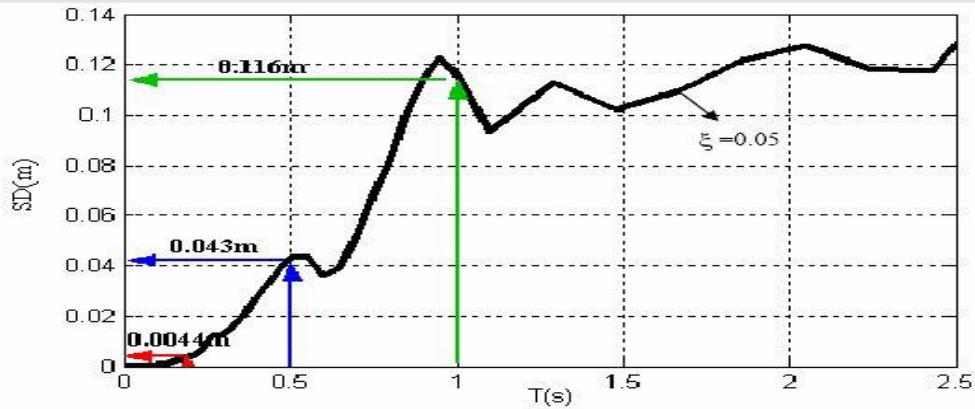
Sonuç 10. Elastik deprem kuvveti sözde ile spektral ivme (PSA) arasında

$$F_{el} = m (PSA) \quad (12)$$

İlişkisi vardır. Deprem kuvvetleri dikkate alınarak yapılan yapı tasarımında ulaşmak istenilen sonuç 12 bağıntısı ile verilir. Bağıntıda m yapı kütlesi, PSA ise deprem yatay ivme kayıtlarından elde edilen katsayı olarak tanımlanır.



Şekil 5



Şekil 6 Yer değiştirme spektrumu (1999-Kocaeli depremi-Ambarlı yer kaydı)

Bu bağıntıya ($F_{el} = m (PSA)$) ulaşmak için uygulanan yol özet olarak aşağıda verilmiştir.

1. Yapıya yanal yönde etki eden olan deprem kuvvet bileşeni

$$F = m * a \quad \text{bağıntısı ile verilir.}$$

2. Yapı bu kuvvete karşı denge durumunu korumak için iç kuvvetler oluşturur. Bu kuvvetler

- a. Eylemsizlik kuvveti ($m * a_y$; yapı kütlesi * yapı salınım ivmesi)
- b. Sönüm kuvveti ($c * v$; sönüm katsayısı * yapı salınım hızı)
- c. Rijitlik kuvveti ($k * l$; yapı rijitlik katsayısı * yapı yer değiştirme miktarı)

3. Sonuçta bu üç kuvvetin toplamı deprem etki kuvvetine eşit olmalıdır.

4. Deprem yanal kuvveti ile yapının yaptığı toplam yer değiştirmeden yola çıkılır ve

$$m a_y(t) + c v(t) + k L(t) = - m a_g(t) \quad \text{bağıntısı elde edilir.}$$

5. Bu bağıntıda m parametresi yok edilir ve değişken dönüşümü yapılırsa (açısal hız, periyot ve sönüm oranları)

$$- a_g(t) = 2w \xi v(t) + w^2 L(t) + a_y(t) \quad \text{Bağıntısı elde edilir.}$$

Bağıntı depremin zamana göre yatay ivmesi ($a_g(t)$) etkisinde belirli sönüm katsayısına (ξ) sahip bir sistemin zaman göre yapacağı yer değiştirmeyi verir.

6. Bu bağıntının çözümü yapılırsa, sabit sönüm oranı için (ξ) farklı periyotlara sahip tek serbestlik dereceli sistemler için maksimum yer değiştirmeler elde edilir.

7. Bu yer değiştirmeler T periyoduna göre elde edildiği için Spektral Yer Değiştirme (SD) olarak tanımlanır.

8. SD-Periyot grafiğinden maksimum SD sayısal değeri elde edilir.

9. SD değeri kullanılarak yer değiştirmeye bağlı olan

$$F = SD * m * w^2 \quad \text{bağıntısı ile } F \text{ kuvveti elde edilmiş olur.}$$

10. Yukarıdaki bağıntıda, yapı kütlesi (m), yapı periyodu (w) ve deprem yatay ivme kaydından elde edilen SD değeri arasındaki ilişki tanımlanmış oldu.

11. Yukarıdaki bağıntı Newton yasasına göre düzenlendiğinde, yapıyı deprem etkisi ile oluşacak maksimum yer değiştirme değerine ulaştıracak kuvvet bağıntısı tanımlanmış olur ve bağıntıda

$$F = m (SD w^2) \quad \text{Olur.}$$

12. Yukarıdaki bağıntıda yapı kütlesi (m) ile yer değiştirmeden oluşacak ivme PSA ($SD w^2$) arasındaki bağıntı tanımlanmış oldu.

$$PSA = SD w^2$$

13. PSA değerine ulaşmak için SD değeri kullanılarak farklı periyotlar için çözümler yapılır ve PSA(T) grafiği el edilir. Yani periyoda göre PSA değişim grafiği elde edilir.
14. Bu grafikten elde edilen maksimum PSA değeri depreme karşı dayanımlı yapı dizaynı için aradığımız ivme değeri olur.

F.2.2.3. Tasarım Spektrumu Nedir ?

Spektrumlar, belirli bir yer hareketi etkisinde, sabit bir sönüm oranı için, tek serbestlik dereceli sistemlerin, o yer hareketine verdiği tepkinin (ivme, hız, yer değiştirme) en büyük değerini gösterir.

Tasarım spektrumları ise yeni yapıların tasarımında kullanılacak deprem yükünü belirlemekte kullanılır. Başka bir deyişle, tasarım spektrumu, kaydedilmiş bir deprem için değil, gelecekte ortaya çıkması olası depremler için belirlenir.

Doğaldır ki, bir bölgede, gelecekte ortaya çıkması olası depremlere ilişkin bir tasarım spektrumu hazırlamak için, aynı bölgede geçmişte ortaya çıkmış depremlerden yararlanır.

Eğer, o bölgede, geçmişte yeteri kadar kayıt elde edilememişse, bu durumda benzer özelliklere sahip (deprem odağının kayıt yerinden olan uzaklığı, fay mekanizması, sismik dalgaların yayıldığı zemin cinsi ve yerel zemin koşulları gibi) başka bir bölgede elde edilmiş kayıtlardan yararlanır.

Şekil 7 ve 8'de görüldüğü gibi, tek bir yer hareketi için çizilmiş ivme spektrumu kırıklı bir yapıya sahiptir. Aynı bölgede, farklı zamanlarda kaydedilmiş yer hareketleri için çizilecek spektrumlarda benzer şekilde kırıklı olacaktır.

Şekil 10'da, Los Angeles Obregon Park istasyonunda, 1987 Whittier ve 1994 Northridge depremlerinde alınmış kayıtlara ait spektrumlar görülmektedir.

Görüldüğü gibi spektrumlar genel karakteristikleri itibarıyla birbirinden farklı ve oldukça kırıklıdır. Bu farklılıklar nedeniyle, örneğin, periyodu 0.5s olan tek serbestlik dereceli sistem için bir birinden çok farklı değerler almaktadırlar. Ayrıca, maksimum değerlerine de farklı periyotlarda ulaşmaktadırlar. Bu durumda, aynı bölgede kaydedilmiş olmalarına rağmen, bu depremlerin hiç biri tek başlarına, gelecekte gerçekleşmesi olası depremleri temsil etmezler.

Zaten gelecekte gerçekleşmesi olası depremler için böylesine kırıklı bir spektrum tahmin etmek olanaklı değildir. Ancak, bu bölge için bir tasarım spektrumu elde etmekte kullanılabilirler. Tasarım spektrumları, genelde, o bölgede kaydedilmiş çok sayıda deprem için çizilmiş spektrumların istatistik yöntemlerle değerlendirilmesi sonucu elde edilirler.

Kimi zaman, her periyot değeri için, farklı spektrumlarda elde edilen değerlerin ortalaması kullanılır. Bazı durumlarda ise ortalama yerine, ortalamaya standart sapmanın eklenmesiyle (ortalama +1 standart sapma) elde edilen spektrum tasarım spektrumu olarak kabul edilir. Bazen de, eldeki bütün spektrumları içine alan zarf spektrumu tasarım spektrumu olarak kullanılabilir.

Şekil 11'de, sözü edilen istasyonda, 1987 Whittier, 1991 Sierra ve 1994 Northridge depremlerinde alınmış 8 farklı kayıt için çizilen spektrumlar, ortalama spektrum ve ortalama +1 standart sapmaya karşılık gelen spektrum gösterilmiştir.

İstatistik değerlendirmenin sonucunda, Şekil 11’de de görüldüğü gibi daha düzgün ve yumuşak spektrumlar elde edilir. Göz önüne alınan yer hareketi sayısı arttıkça, istatistik değerlendirmeyle elde edilen eğrilerin kırıklığı azalır. Bu nedenle, yönetmelikler de verilen spektrumlar, tek bir yer hareketi için çizilmiş spektrumlara göre çok daha düzgündür.

ABYYHY98’de elastik deprem yükünü hesaplamakta kullanılacak, normalize edilmiş elastik tasarım spektrumu, yerel zemin sınıflarına bağlı olarak verilmiştir. Bu spektrum genel haliyle Şekil 12’de gösterilmiştir. Şekil 12’de verilmiş olan spektrumun yatay ekseninde yapı periyodu, düşey ekseninde ise $S(T)$ ile gösterilen yapı periyoduna bağlı spektrum katsayısı verilmiştir.

Spektrum katsayısı terimi, Şekil 8’de verilen normalize edilmiş spektrumda gösterilmiş olan (PSA/PGA) parametresine karşılık gelir. Elastik deprem yükünün hesabı için spektrum katsayısının verilmiş olması yeterli değildir.

Sözde spektral ivmenin belirlenebilmesi için maksimum yer ivmesi (PGA) değerine ihtiyaç vardır. Maksimum yer ivmesi, ABYYHY98’de etkin yer ivmesi katsayısı (A_0)’na bağlı olarak verilmiştir. Tablo 1’de, deprem bölgesine bağlı olarak kullanılması gereken etkin yer ivmesi katsayıları verilmiştir.

Maksimum yer ivmesi ile etkin yer ivmesi katsayısı arasında aşağıdaki ilişki vardır.

$$PGA = A_0 g$$

Böylece, elastik deprem kuvvetini hesaplamak için gerekli olan ve spektrum katsayısı ile etkin yer ivmesi katsayısının ve yer çekimi ivmesinin çarpılması ile bulunacak olan sözde spektral ivme değeri tanımlanmış olmaktadır.

$$PSA = \left(\frac{PSA}{PGA} \right) PGA \rightarrow A_0 g \text{ [Yönetmelikte deprem bölgesine bağlı olarak verilir]}$$

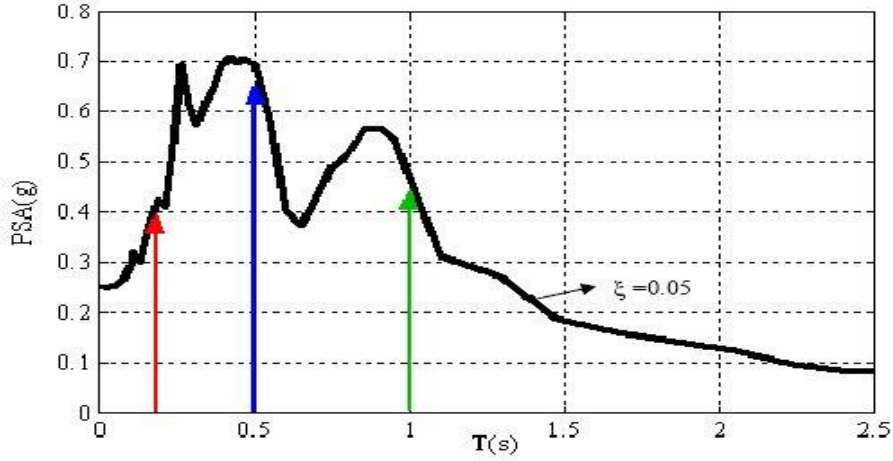
$$\downarrow$$

$$S(T) \text{ [Yönetmelikte yerel zemin sınıfına bağlı olarak verilir]}$$

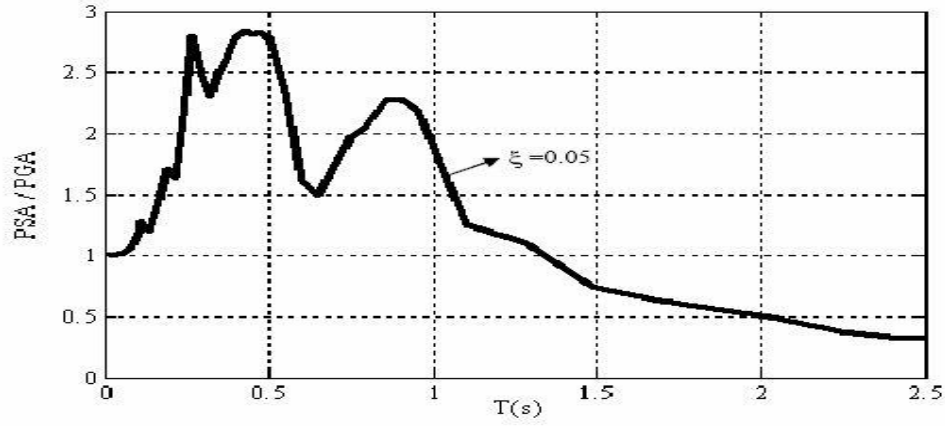
$$PSA = S(T)A_0 g$$

Şekil 12’de verilmiş olan spektrumun yatay ekseninde görülen T_A ve T_B periyotları, spektrum karakteristik periyotları olarak adlandırılırlar. Bu periyotlar, ABYYHY98’de yerel zemin sınıfına bağlı olarak verilmiştir.

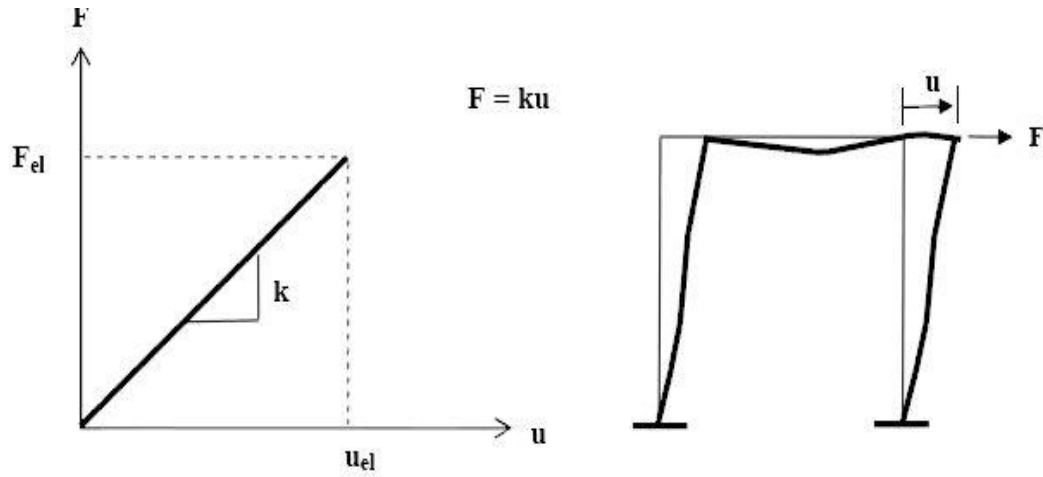
Böylece, her bir yerel zemin sınıfı ve deprem bölgesi için, elastik deprem yükünü hesaplamakta kullanılacak olan sözde ivme spektrumu tanımlanmış olmaktadır. Şekil 13’de her bir yerel zemin sınıfı için spektrum katsayıları gösterilmiştir. Şekil 14’de ise yerel zemin sınıfı 1 için, 1., 2., 3. ve 4. derece deprem bölgelerinde kullanılacak olan sözde ivme spektrumu gösterilmiştir.



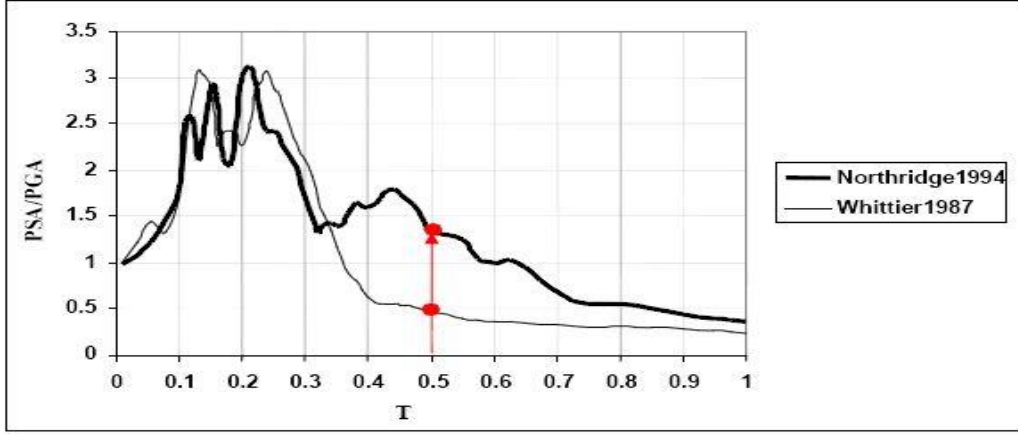
Şekil 7 Sözcü ivme davranış spektrumu (1999-Kocaeli depremi-Ambarlı yer kaydı)



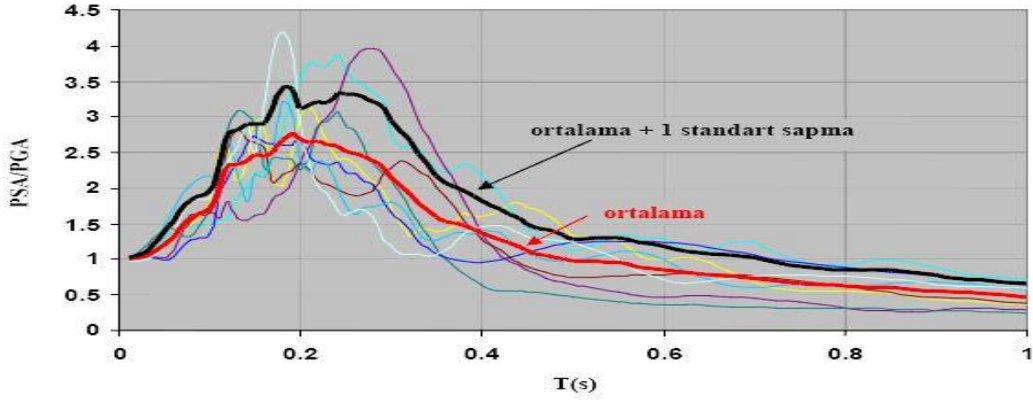
Şekil 8 Normalize edilmiş sözcü ivme davranış spektrumu (1999-Kocaeli depremi-Ambarlı yer kaydı)



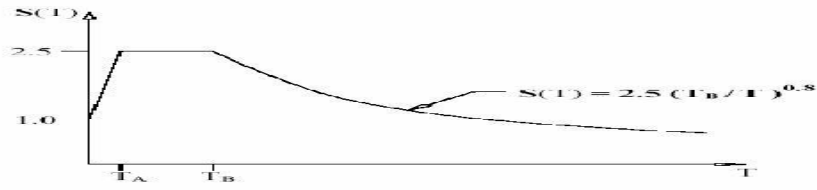
Şekil 9 Doğrusal elastik davranış varsayımı



Şekil 10



Şekil 11



Şekil 12

Tablo 1 Etkin yer ivmesi katsayısı

Deprem Bölgesi	Λ_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Tablo 2 Spektrum karakteristik periyotları

Tablo 12.2'ye göre Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Bir yapının tasarımına esas alınacak elastik deprem yükü, eğer tasarımda kullanılmak üzere hazırlanmış bir sözde ivme spektrumu varsa, (12) denklemiyle bulunabilir. 1. derece deprem bölgesinde, ağırlığı 2000 kN, periyodu 0.5s. Olan bir yapının tasarımında kullanılacak elastik deprem yükünü, zemin sınıfı 4 için hesaplayalım. Yapı 1.derece deprem bölgesinde yer aldığı için etkin yer ivmesi katsayısı (A0) 0.40, başka bir deyişle, en büyük yer ivmesi (PGA) 0.40g olacaktır. (12) denklemi, sözde spektral ivme yerine, maksimum yer ivmesine göre normalize edilmiş ivme cinsinden yeniden yazılacak olursa (13) denklemi elde edilir.

$$F_{el} = m \left(\frac{PSA}{PGA} \right) PGA \quad (13)$$

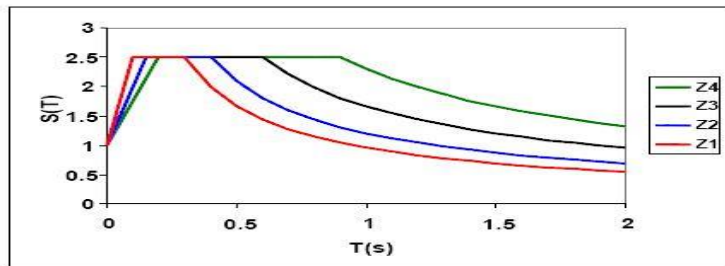
(13) denklemi eldeki veriler yerine konulduğunda aşağıdaki halini alır. PGA/PSA oranı başka bir anlam ifade ettiğinden, bu oranda PGA yerine 0.40g yazılmamıştır.

$$F_{el} = m \left(\frac{PSA}{PGA} \right) 0.4g \quad (14)$$

$$F_{el} = W \left(\frac{PSA}{PGA} \right) 0.4 \quad (15)$$

Etkin yer ivmesi katsayısı(A0)'nın 1. derece deprem bölgesi için 0.40 olduğunu daha önce belirtmiştik. Bu durumda (15) denklemi (16)'daki gibi yazılabilir.

$$F_{el} = W \left(\frac{PSA}{PGA} \right) A_0 \quad (16)$$



Şekil 13 Yerel zemin sınıfına bağlı spektrum katsayıları

Bu aşamada, elastik deprem kuvvetinin hesabı için PGA/PSA oranının belirlenmesi gereklidir. Bu oranın, yönetmelikte spektrum katsayısı (S(T)) olarak tanımlandığı daha önce belirtmiştik. Ayrıca, bu oranın, sözde ivme spektrumu değerinin maksimum yer ivmesiyle normalize edilmesi sonucu elde edilebileceği de açıklanmıştı (Şekil 8). Bu durumda (16) denklemi (17) denklemindeki halini alır.

$$F_{el} = WS(T)A_0 \quad (17)$$

ABYYHY98, yapıların tasarımında kullanılacak olan elastik deprem yükünün (17) denklemiyle hesaplanmasını öngörmektedir. Bununla beraber, bu elastik deprem yükü, konut, işyeri ve oteller gibi yapıların tasarımında kullanılacak deprem yüküdür. Kamu binaları,

okullar, yurtlar, askeri kışlalar, hastaneler, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, depremde hemen sonra kullanılması gereken yapılar ve halkın kısa süreli de olsa yoğun olarak bulunduğu tiyatro, sinema ve spor salonları gibi yapılar için kullanılacak deprem yükü, (17) denklemiyle bulunan deprem yükünün birden büyük bir katsayıyla çarpılması sonucu arttırılır. Bu katsayıya bina önem katsayısı (I) denir (Tablo 3). Bu durumda, (17) denklemi (18) denklemindeki halini alır.

$$F_{el} = WS(T)A_oI \quad (18)$$

Bina önem katsayısı ABYYHY98'de, Tablo3'de gösterildiği gibi verilmiştir. Yerel zemin sınıfı 4 ve deprem yükünü hesapladığımız binanın periyodu 0.5s olduğu için, spektrum katsayısı (S(T)) 2,5 olacaktır (Şekil 13). Bina kullanım amacının da konut olduğunu varsayarsak, bina önem katsayısı 1 olacaktır. Bu durumda (18) denklemi kullanılarak elastik deprem yükü bulunabilir.

$$F_{el} = (2000)(2.5)(0.40)(1) = 2000kN$$

Eğer bina konut yerine okul olsaydı bina önem katsayısı 1,4 olacağından tasarımda kullanılacak elastik deprem yükü de 2800kN olacaktı. (18) denkleminde görüldüğü gibi, elastik deprem yükü, bina ağırlığıyla üç tane katsayının çarpımından oluşmaktadır. Bu katsayıların çarpımına, spektral ivme katsayısı (A(T)) adı verilir.

$$A(T) = S(T)A_o I \quad (19)$$

Tablo 3 Bina önem katsayısı (I)

<i>Binanın Kullanım Amacı veya Türü</i>	<i>Bina Önem Katsayısı (I)</i>
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler,dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
4. Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

F.2.2.4. Tasarım deprem Yükü Nedir

Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesinden anlaşılacağı gibi, tasarımla amaçlanan yapıların şiddetli depremleri hasarsız atlattığını sağlamak değildir. Bu nedenle yapılar, bazı özel durumlar dışında hiçbir zaman elastik deprem yüküne göre tasarlanmazlar. Yani binaların elastik ötesi davranış gösterecekleri (hasar görerek enerji yutacakları) daha tasarımın başında öngörülür.

Bununla beraber, göçmenin önlenmesi ve can güvenliğinin korunması ilkesi her durumda geçerlidir. Bu aşamada, süneklik (ductility) kavramının tanımlanması gerekmektedir. Yer değiştirme sünekliği, bir yapının yük taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan yer

değiştirme yapabilme yeteneği olarak tanımlanır. Şekil 9'da verilmiş olan doğrusal elastik davranış varsayımı Şekil 15'te tekrar gösterilmiştir.

Doğrusal elastik davranışta, yapı, artan yatay yük altında, rijitliğinde her hangi bir azalma olmadan, yükle orantılı olarak yer değiştirme yapmaktadır. Rijitlikte her hangi bir azalma olmaması hasar oluşmadığı anlamına gelir.

Ancak, yukarıda belirtildiği gibi, yapılar doğrusal elastik davranış gösterecek şekilde tasarlanmazlar. Şekil 15'te sünek bir yapının artan yükler altında göstereceği davranış da gösterilmiştir. Sünek yapının başlangıç rijitliği (k), elastik davranış gösteren yapıyla aynıdır. Sisteme etkiyen yatay yük F_y 'ye ulaşmaya kadar, yatay yer değiştirmeler, doğrusal elastik davranış gösteren yapıda olduğu gibi, yükle orantılı olarak artacaktır. Yük bu değere ulaştığında, yer değiştirme değeri de u_y 'ye ulaşacaktır.

Bu noktadan itibaren yapının rijitliği giderek azalmaya başlar. Yapının rijitliğinin azalmaya başladığı bu noktaya ilk akma noktası denir. Yapının akması ve rijitliğinin azalması hasarın göstergesidir. Yapının rijitliğinin giderek azalmasıyla, yapı daha fazla yük taşıyamaz. Ancak yer değiştirmeler, yapının yük taşıma kapasitesinde bir azalma olmadan, sabit yük altında artmaya devam eder.

Yani yapı elemanları şekil değiştirme yaparak enerji yutar. Yer değiştirme değeri u_{max} 'a ulaştığında, yapı rijitliği çok azalmış olacağından, ya daha fazla yer değiştirme yapamayarak göçme durumuna gelir, ya da yer değiştirme yapabilse bile yük taşıma kapasitesinde önemli kayıplar olacağından göçtüğü kabul edilebilir. Şekil 15'ten yararlanarak bazı kavramlar açıklanabilir. Genel olarak sünek bir yapının göçme yer değiştirmesi (u_{max}) değerinin yeterince büyük olması beklenir. Ancak, bu sünekliğin göstergesi değildir. Sünekliğin göstergesi, göçme yer değiştirmesinin akma yer değiştirmesine oranı olarak tanımlanan süneklik katsayısıdır (μ).

$$\mu = u_{max} / u_y \quad (20)$$

Depreme dayanıklı yapı tasarımıyla hedeflenen, yapıların deprem etkisi altında sünek davranış gösterecek şekilde tasarlanmasıdır. Dolayısıyla, tasarım deprem yükü olarak, F_{el} yerine, ondan daha küçük olan F_d kullanılır. Yani yapılar, doğrusal elastik kapasiteleri F_{el} değil, F_d olacak (gerçekte F_y), ancak, göçmeyi engellemek için de yeterince sünek davranış gösterecek şekilde tasarlanmalıdır. Elastik deprem yükünün (F_{el}) spektrumlar yardımıyla nasıl elde edileceği daha önce açıklanmıştı. Bu durumda, tasarım deprem yükünün (F_d) nasıl hesaplanacağını açıklanması gerekmektedir. Yapının deprem sırasında elastik davranış göstermesi için gerekli olan kapasitenin tasarım kapasitesine oranı deprem yükü azaltma katsayısı (R_a -seismic load reduction factor, response modification factor, strength reduction factor) olarak bilinir.

$$R_a = \frac{F_{el}}{F_d}, \quad F_d = \frac{F_{el}}{R_a} \quad (21)$$

Bu katsayı, ABYYHY98'de, yapı periyoduna (T) ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)'na bağlı olarak belirlenir. Taşıyıcı sistem davranış katsayıları, taşıyıcı sistem tipine bağlı olarak, Tablo 4'te verilmiştir. Deprem yükü azaltma katsayısı T ve R 'ye bağlı olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanır.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (22a)$$

$$R_a(T) = R \quad T > T_A \quad (22b)$$

Bu denklemlerde T_A , spektrum karakteristik periyodudur (ekil 10). (18) denklemiyle bulunan elastik deprem yükü, (22) denklemiyle bulunan deprem yükü azaltma katsayısına bölünerek tasarım deprem yükü elde edilir. Bu yük ABYYHY98’de V_t ile gösterilir.

$$V_t = W \frac{A_0 S(T) I}{R_a} \quad (22)$$

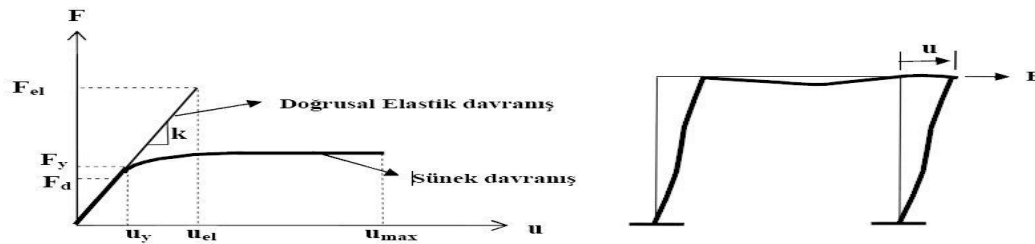
Temel olarak, taşıyıcı sistemler, süneklik düzeyi normal ve yüksek olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Süneklik düzeyi yüksek betonarme çerçeve sistemler için kullanılacak olan tasarım deprem yükü, süneklik düzeyi normal betonarme çerçeve sistemler için kullanılacak olanın yarısıdır.

Daha önce elastik deprem yükü 2000 kN olarak hesaplanan konut binasının tasarımında kullanılacak deprem yükü, binanın, sünekliği yüksek betonarme çerçeve olarak tasarlanması durumunda $2000/8 = 250\text{kN}$, sünekliği normal betonarme çerçeve olarak tasarlanması durumunda $2000/4 = 500\text{kN}$ olacaktır.

Görüldüğü gibi, ABYYHY98, 1.derece deprem bölgesinde yer alan (zemin sınıfı 4), taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan ve periyodu 0.5s olan bir konut binasının tasarımında, binanın süneklik düzeyi normal olarak tasarlanması durumunda ağırlığının %25’i, süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanması durumunda ise ağırlığının %12.5’i kadar bir tasarım deprem yükünün esas alınmasını öngörmektedir.

Süneklik düzeyi yüksek bir taşıyıcı sistem tasarlamak, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların süneklik düzeylerinin yüksek olması halinde mümkündür.

Bu nedenle, ABYYHY98, süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemlerin tasarımında daha küçük bir tasarım deprem yükü kullanılmasına izin vermekle beraber, taşıyıcı sisteme yüksek süneklik kazandırabilmek için, bazı ilave koşulların yerine getirilmesini öngörmektedir. Ani ve erken göçmeyi önlemek için (u_{max} ’ın yeterince büyük olması için), kolonların kirişlerden daha güçlü olması ve birleşim bölgelerinde kesme güvenliğinin sağlanmış olması istenir. Ayrıca, taşıyıcı sistemi oluşturan giriş ve kolonların tasarımında da bazı ilave koşullara uyulması gerekir (boyut, boyuna donatı oranı, basınç donatısı miktarı, enine donatı koşulları, normal kuvvetin sınırlandırılması vb.).



Şekil 15 Sünek yapı davranışı

F.2.2.5. TASARIM DEPREM YÜKÜNÜN HESABI (ÖZET)

1. YAPI AĞIRLIĞI VE PERİYODU HESAPLANIR

2. ELASTİK DEPREM YÜKÜNÜN HESABI

2.1 Deprem bölgesine bağlı olarak etkin yer ivmesi katsayısı belirlenir (A_0)

2.2 Yerel zemin sınıfı ve yapı periyodu için spektrum katsayısı belirlenir ($S(T)$)

2.3 Yapı kullanım amacına bağlı bina önem katsayısı seçilir (I)

2.4 Spektral ivme katsayısı hesaplanır $A(T) = A_0 S(T) I$

2.5 Elastik deprem yükü hesaplanır $F_{el} = WA(T)$

3. TASARIM DEPREM YÜKÜNÜN HESABI

3.1 Taşıyıcı sistem tipine için taşıyıcı sistem davranış katsayısı seçilir (R)

3.2 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, yerel zemin sınıfı ve yapı periyoduna bağlı deprem yükü azaltma katsayısı belirlenir (R_d)

3.3 Tasarım deprem yükü hesaplanır $V_i = W * (A(T) / R_d)$

KAYNAKLAR

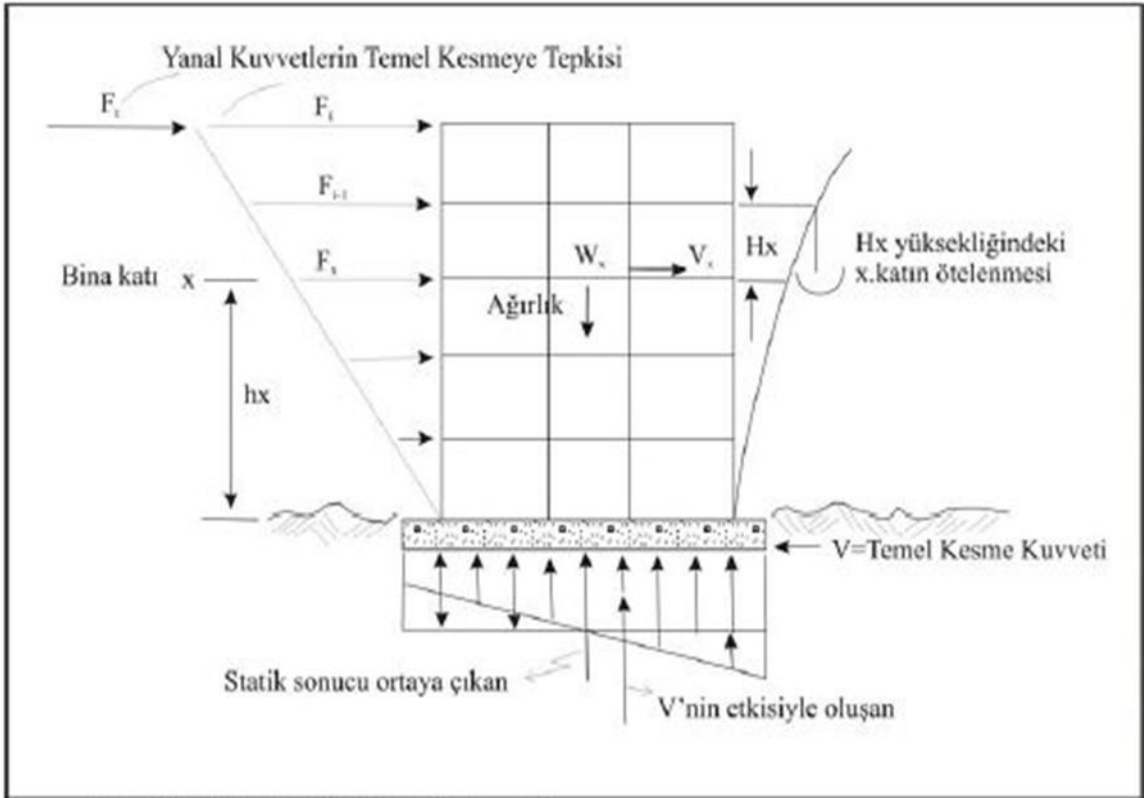
Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık Bakanlığı Dynamics of Structures, A.K.CHOPRA

Earthquake Resistant Concrete Structures, G.PENEL_S, A.J.KAPPOS

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Açıklamalar ve Örnekler, Cilt I-II, Ergin ATIMTAY

Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı ve Deprem Müh. Giriş, Zekai CELEP, Nahit KUMBASAR

Deprem Müh. Açısından Yapı Dinamiğine Giriş, Mustafa ERD_K, Özal YÜZÜGÜLLÜ



Yukarıdaki süreçler aşağıdaki şekilde devam eder:

1. Sismik temel kesme kuvvetinin (V) değeri belirlenir.
2. Yapının en üstündeki toplam tepki kuvveti (F) her bir kata uygulanan yanal kuvvetler (F_x) biçiminde temel kesme kuvvetine (V) dağıtılır.
 $F = 0.07 TV$
 F_x, V 'den çıkarılır ve geriye kalan kuvvet binanın yanal yüksekliği ($W_x h_x$) oranında dağıtılır.
3. Katları etkileyen kuvvetlerin toplamında ($F_1 + F_2 + F_{3-1}$, vb.) olduğu gibi dizayn kat kesmesi (V_x) tanımlanır. X katında direnç elemanlarının rijitliği oranına göre V_x dağıtılır. Kesmenin dağıtımında her bir katta kütlelerin hesaplanan merkezden % 5'lik yer değiştirmesi kabul edilebilir.
4. Katların üzerindeki yanal kuvvetler ve direnç elemanları arasındaki dış merkezden dizayn burulma momenti tanımlanır. Kütlelerin % 5'lik yer değiştirmesi öngörülerek tesadüfi burulma eklenir.
5. Herhangi bir seviyedeki devrilme momenti yanal kuvvetler ($F_1 + F_2 + F_{3-1}$) kullanılarak direnç göstermesi belirlenir ki bu da her bir seviyenin üzerinde etkilidir. Sıradan binalar için F_1 kuvveti zemin-temel ara yüzeyinde ihmal edilebilir. İzin verilebilir gerilme ve zeminin taşıma gücü değeri 1/3 oranında artabilir.
6. Yönergeye uygun yanal kuvvetlerden hesaplanan kat ötelenmesi değerleri genellikle aşılmamalıdır.
 $\cdot 0.04/R_w$ ya da $0.005H_x$ } binalar < 65' yükseklik
 $\cdot 0.03/R_w$ ya da $0.004H_x$ } binalar > 65' yükseklik
7. P-delta etkilerinin oluşturduğu üye kuvvetlerin, momentlerin ve kat ötelenmelerinin sonucu aşağıdaki oran göz önüne alınmadan değerlendirilir.
 $(([DL + x \text{ katının üzerindeki LL}](x \text{ katındaki ötelenme}))(V_x(H_x)) \leq 0.10$

Burada;

- | | |
|--|---|
| V : Temel kesme kuvveti, | W_x : x . katın ağırlığı, |
| h_x : x . katın zeminden yüksekliği, | H_x : x . katın kat yüksekliği, |
| F_x : x . kata etki eden yanal (tepki) kuvvet, | F_1 : en üst kata etki eden kuvvet, |
| F_t : yapının en üstündeki toplam tepki kuvveti ve | T : yapının doğal periyodu, |
| D : ortalama statik yer değiştirme, | R_w : yapısal sistem için tepki değişiklik katsayısı. |

Şekil 1.1. UBC (Uniform Building Code) 1988 eşdeğer yanal kuvvet dizayn işlemleri (UBC 1988)

YAPI TASARIMINDA **KULLANILACAK** **DEPREM KAYITLARININ** **SEÇİLMESİ NASIL** **YAPILIR.**

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Deprem Kayıtları Nasıl Elde Edilir

Yapay Deprem Kayıt Kullanımı

Simule Edilmiş Kayıtlar Kullanımı

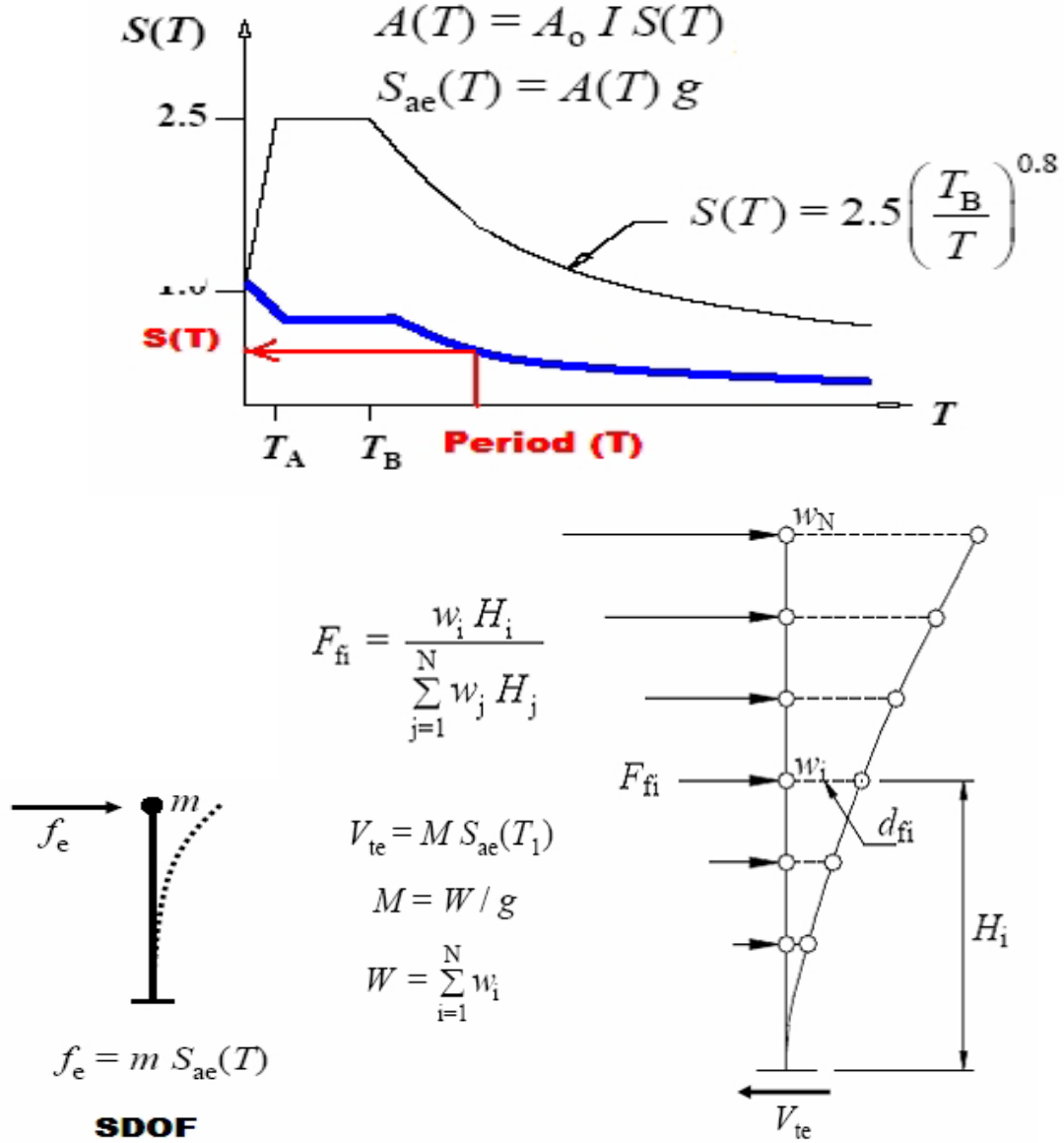
Deprem Yer Hareketlerinin Seçiminde Genel Kurallar

Yer Hareketini Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Ölçekleme Yöntemleri

G. Yapı tasarımında Kullanılacak Deprem kayıtlarının Seçilmesi Nasıl Yapılır.

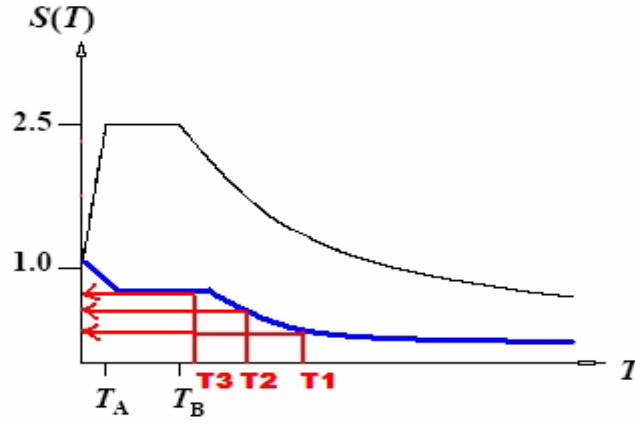
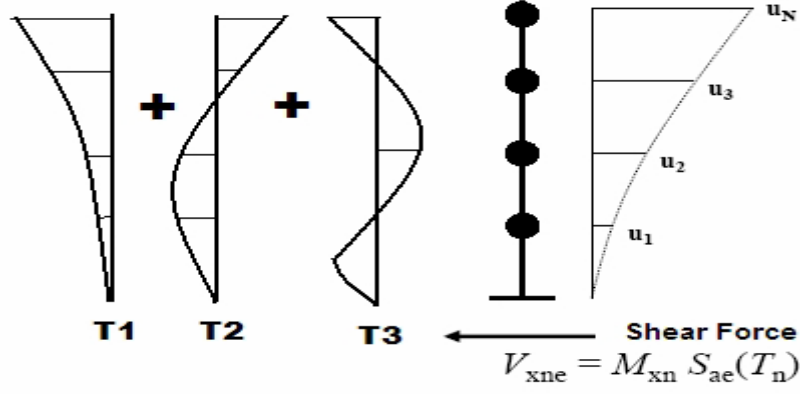
G.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Yapının Doğal Titreşim Periyoduna Karşı Gelen Spektral İvme



G.2. Mod Birleştirme Yöntemi

(Yapı Davranışında Etkili olan Bütün Titreşim Periyotlarındaki Spektral İvmeler)



İvme spektrumu Azaltılmış ivme spektrumu

Göz önüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri

Her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır.

Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı

Her bir mod için hesaplanan etkin kütle'lerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütesinin %90'ından daha az olmaması

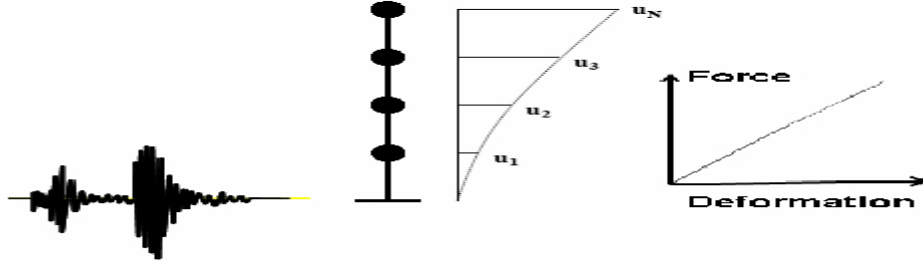
Mod Katkılarının Birleştirilmesi

Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı (sönüm oranları %5)

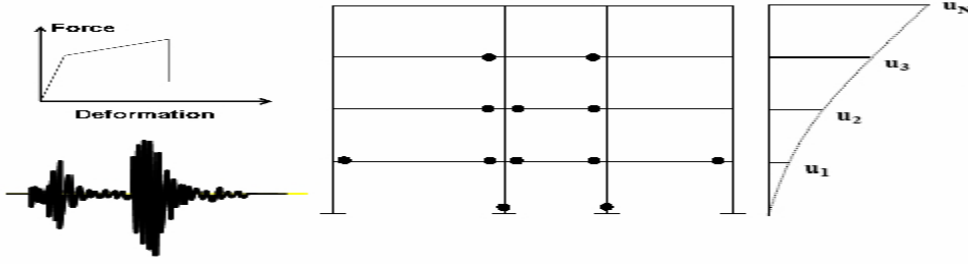
Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Altsınır Değerleri

$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tB}} B_B$$

Doğrusal Dinamik (Deprem İvme Kayıtları) Analiz



Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz (Deprem İvme Kayıtları)



Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta

- Üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu,
- En az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması
- Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yapılması durumunda azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilmesi için esas alınacak azaltılmış ivme spektrumu değerleri hesaplanacaktır.

Deprem Kayıtları Nasıl Elde Edilir

1. Kaydedilmiş Deprem Kayıtları Kullanılır
2. Yapay Kayıtlar Kullanılır
3. Simüle Edilmiş Kayıtlar Kullanılır

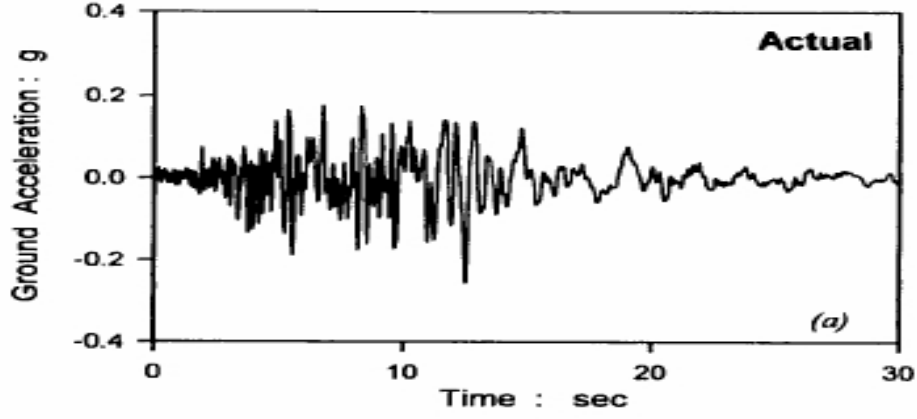
1. Kaydedilmiş Deprem Kayıtları

Kaydedilmiş Deprem Kayıtlarının Kullanma Avantajları Nelerdir.

- Yer Sarsıntısının Doğası ve Belli Başlı Özellikleri (Genliği, Süresi, Faz Özellikleri ve Frekans Muhteviyatı) Hakkında Sağlıklı Bilgiler İçerir.
- Kayıtları Etkileyen Kaynak, Yayılım Ortamı ve Zemin Faktörlerinin Etkisini Yansıtması

Kaydedilmiş Deprem Kayıtlarının Kullanma Dezavantajları Nelerdir.

- Depremin Büyüklüğü, Faya Olan Mesafesi ve Zemin Koşullarının Hepsini Birden Sağlayan Tek Bir Kayıt Bulmaktaki Zorluk
- Deprem Kayıtlarının Tepki Spektrumlarının Düzleştirilmiş Olmaması

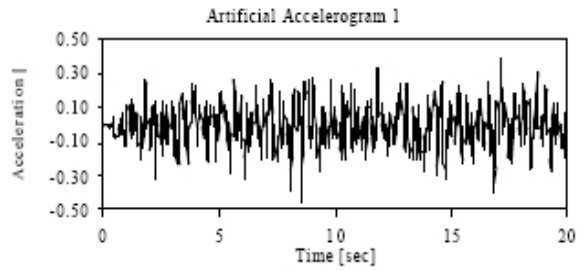
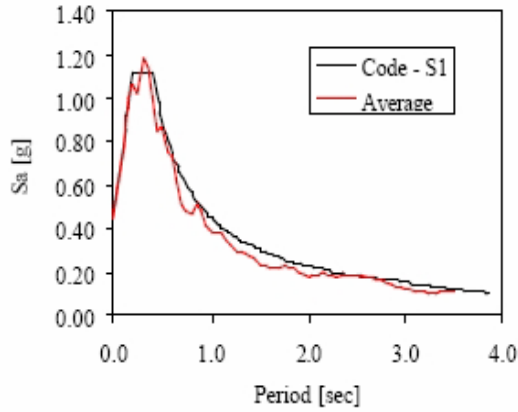


2.Yapay Kayıt Kullanımı

Yapay Kayıtlar Bir Tasarım Spektrumu ile Eşleşecek Şekilde Üretilirler

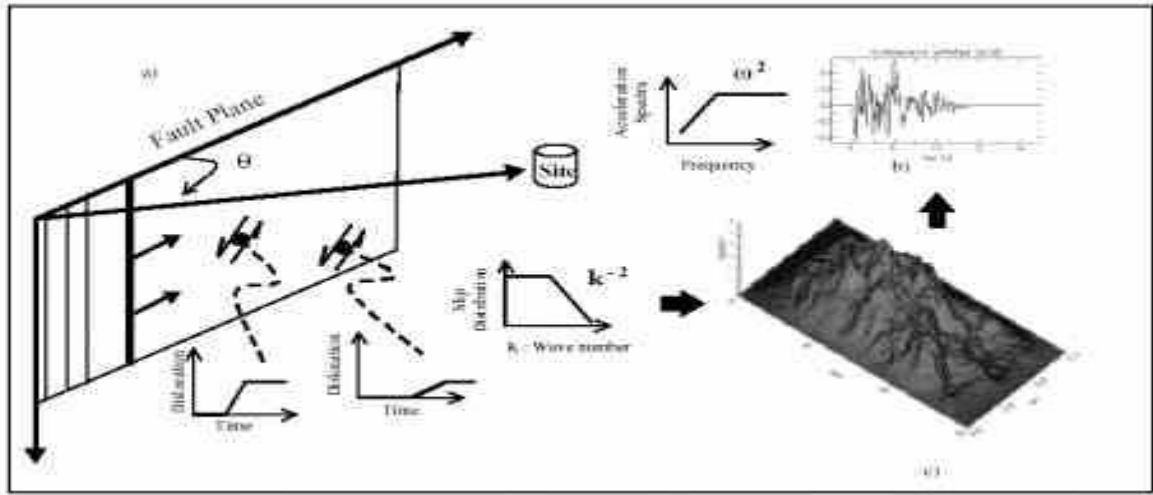
Yapay Kayıt Kullanmanın Dezavantajları

□ Yapay Kayıtlar Üretilirken Çevrim Sayısı Çok Fazla Arttığı İçin, Gerçeğe Aykırı Olacak Kadar Büyük Miktarda Enerjinin Açığa Çıkması



3. Simüle Edilmiş Kayıtlar Kullanımı

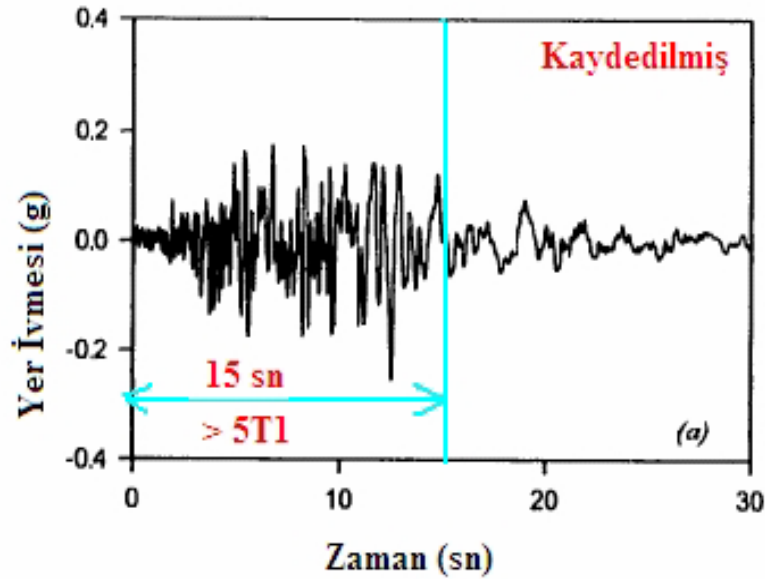
- *. Büyüklük ve Mesafeye Bağlı Olarak Tanımlanan Senaryo Depreme Dayanır
- *. Kaynak, Yayılım Ortamı ve Zemin Özelliklerini Dikkate Alan Sismolojik Modellerden Elde Edilir
- *. En Büyük Zorluk Kaynak, Yayılım Ortamı ve Zemin Özelliklerinin Tanımlanması



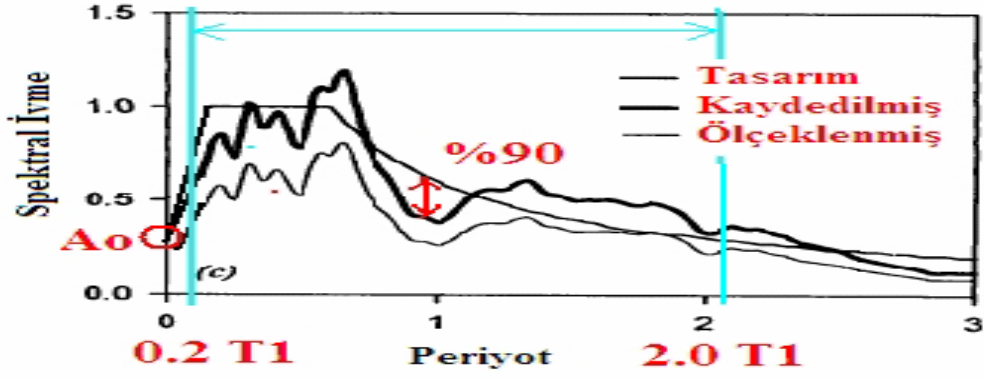
Philippe Rosset, Jean-Jacques Wagner (2000)

Deprem Yer Hareketlerinin Seçiminde Genel Kurallar

- *) Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- *) Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_0 'dan daha küçük olmayacaktır



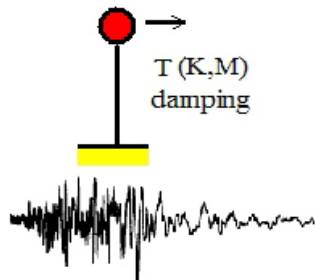
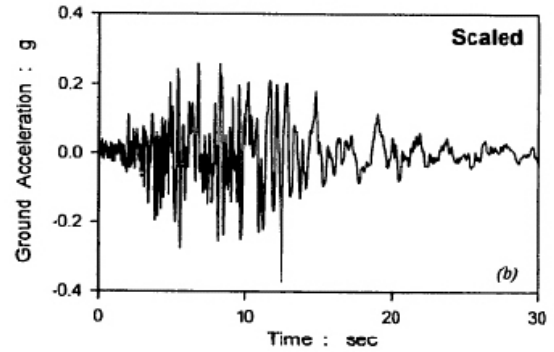
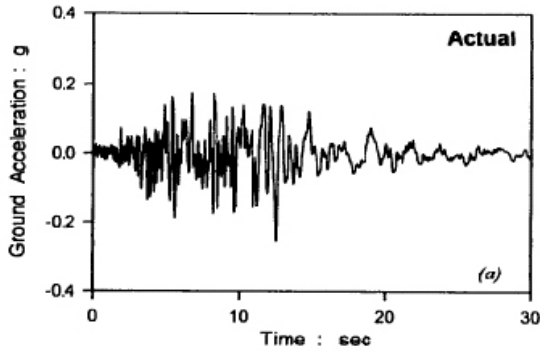
- *) Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır.



- *) Kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir.
- *) Yerel zemin koşulları da uygun biçimde göz önüne alınmalıdır.
- *) Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecek

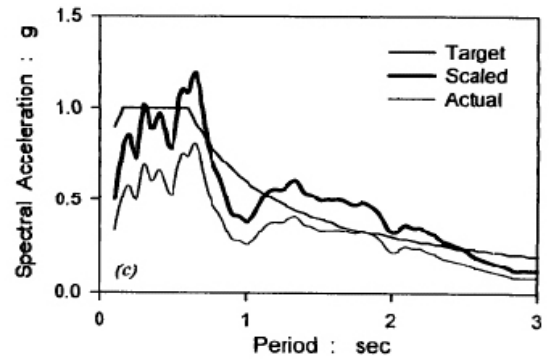
Yer Hareketini Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Ölçekleme Yöntemleri

- *) Zaman Tanım Alanında Ölçekleme
- *) Frekans Tanım Alanında Ölçekleme
- *) Zaman Tanım Alanında Ölçekleme



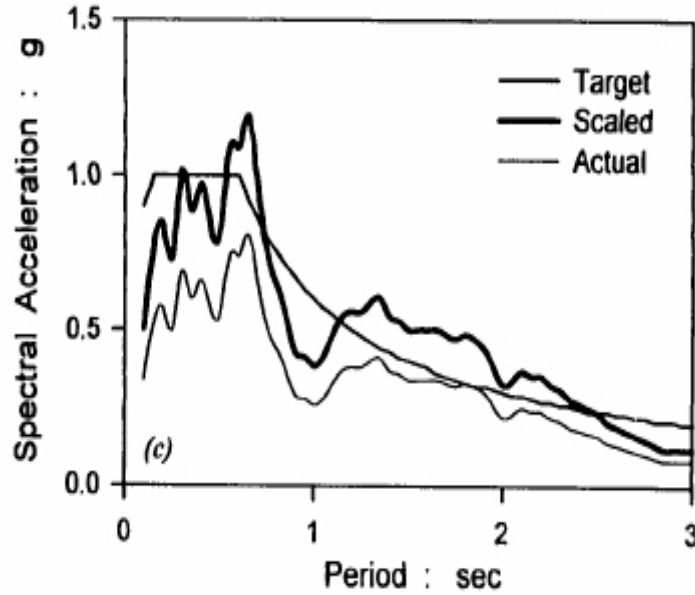
$$|Difference| = \int_{T_A}^{T_B} \left[\alpha S_a^{actual}(T) - S_a^{target}(T) \right]^2 dT$$

$$\alpha = \frac{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T) S_a^{hedef}(T))}{\sum_{T=T_A}^{T_B} (S_a^{gerçek}(T))^2}$$

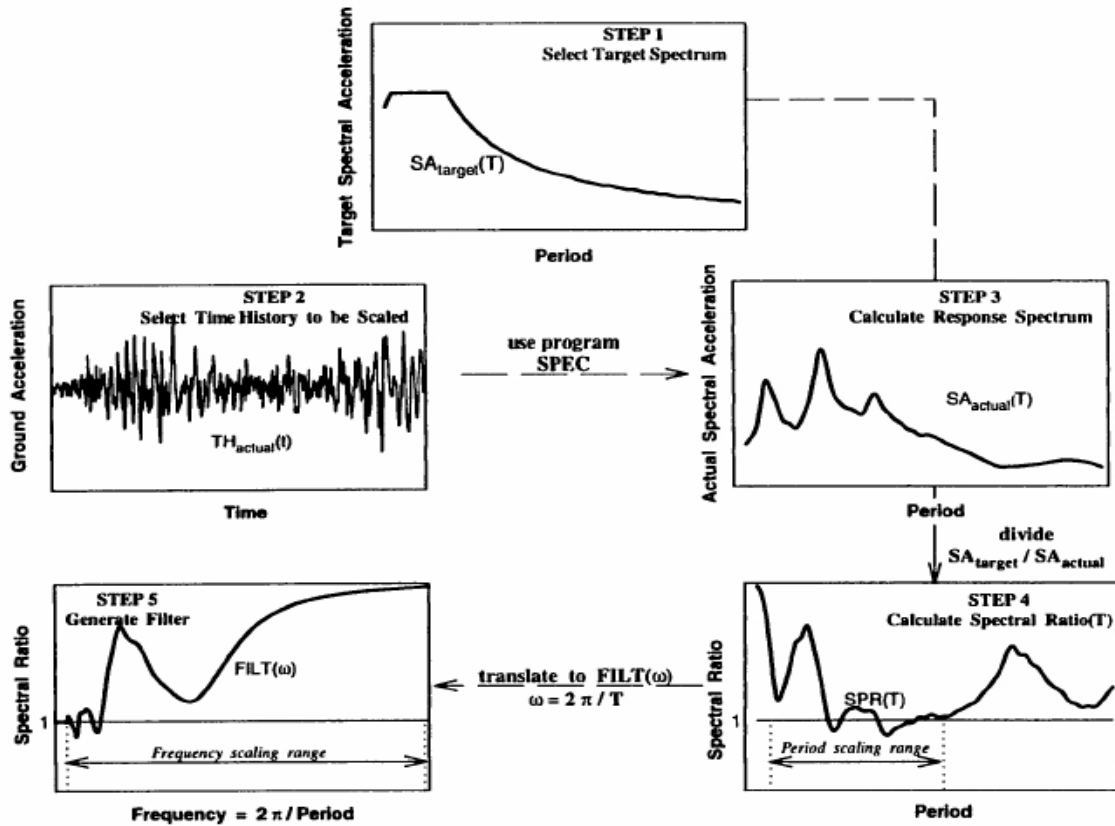


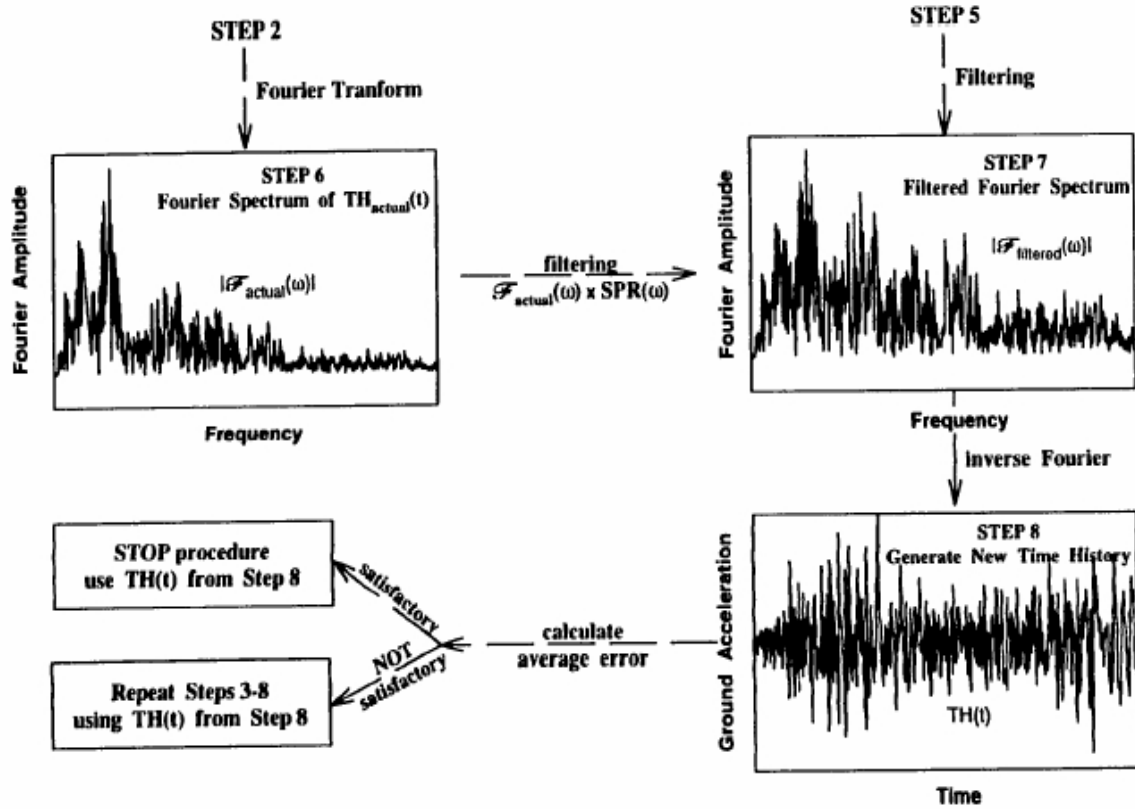
Ölçekleme Katsayıları İle İlgili Yöntemlerin Sınırlamaları

- *) Yapıların Doğrusal Elastik Analizleri İçin => en çok 4
- *) Doğrusal Elastik Olmayan Analizleri İçin => 0.5 - 2 arasında
- *) Sıvılaştırma Analizleri İçin => 2'den küçük (Vanmarcke, 1979)



*) Frekans Tanım Alanında Ölçekleme

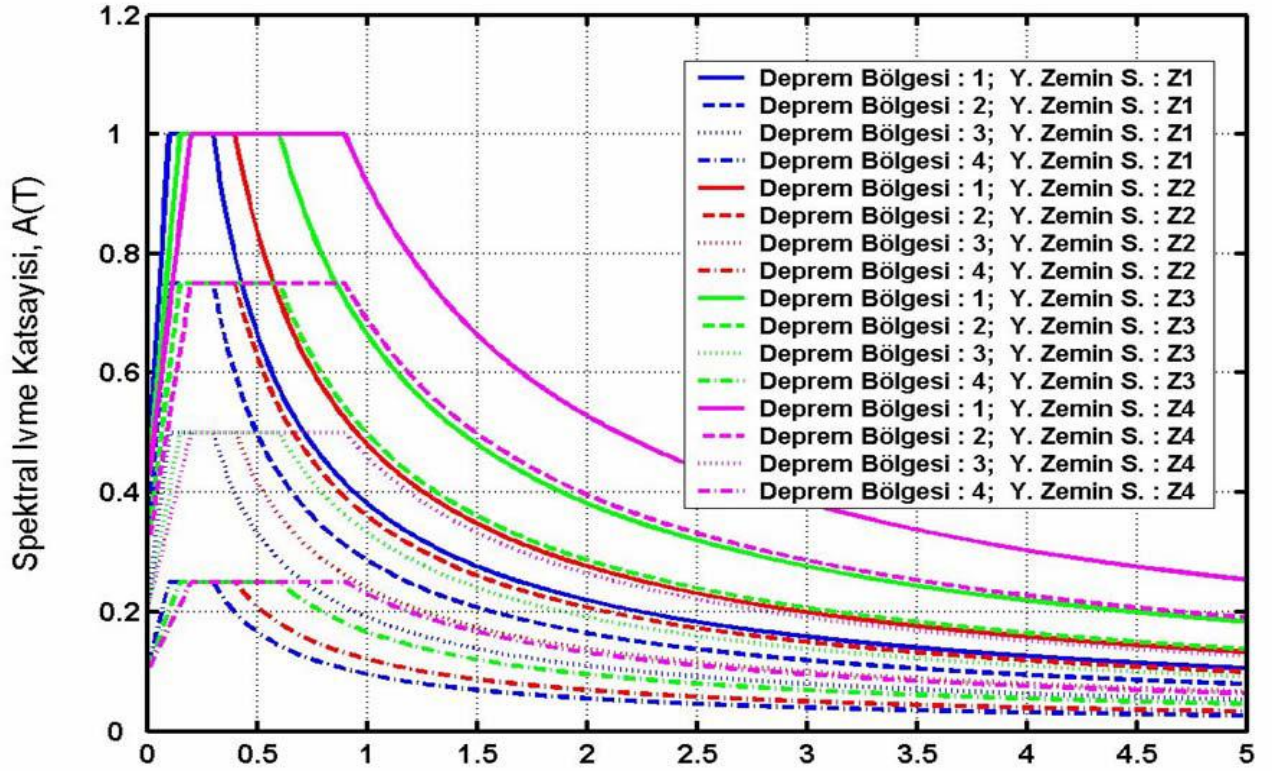




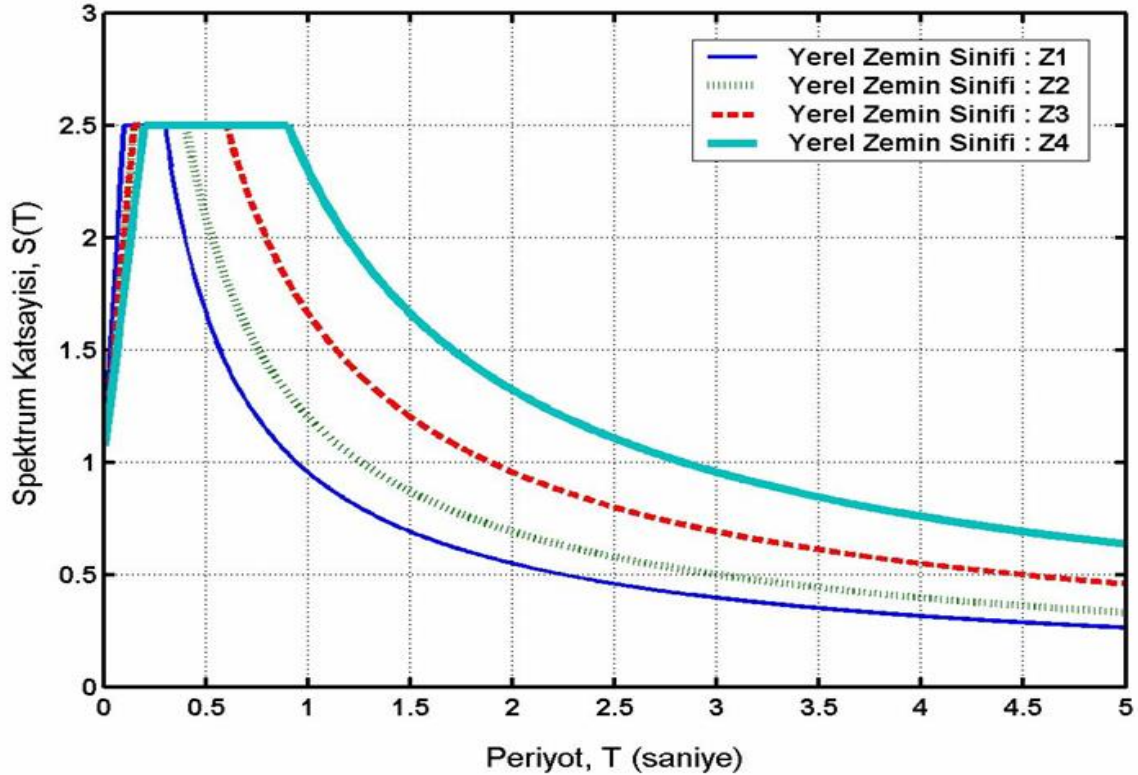
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)				
Deprem Bölgesi	1	2	3	4
A_0	0.40	0.30	0.20	0.10

Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A, T_B)				
	Yerel Zemin Sınıfı			
	Z1	Z2	Z3	Z4
T_A (sn)	0.10	0.15	0.15	0.20
T_B (sn)	0.30	0.40	0.60	0.90

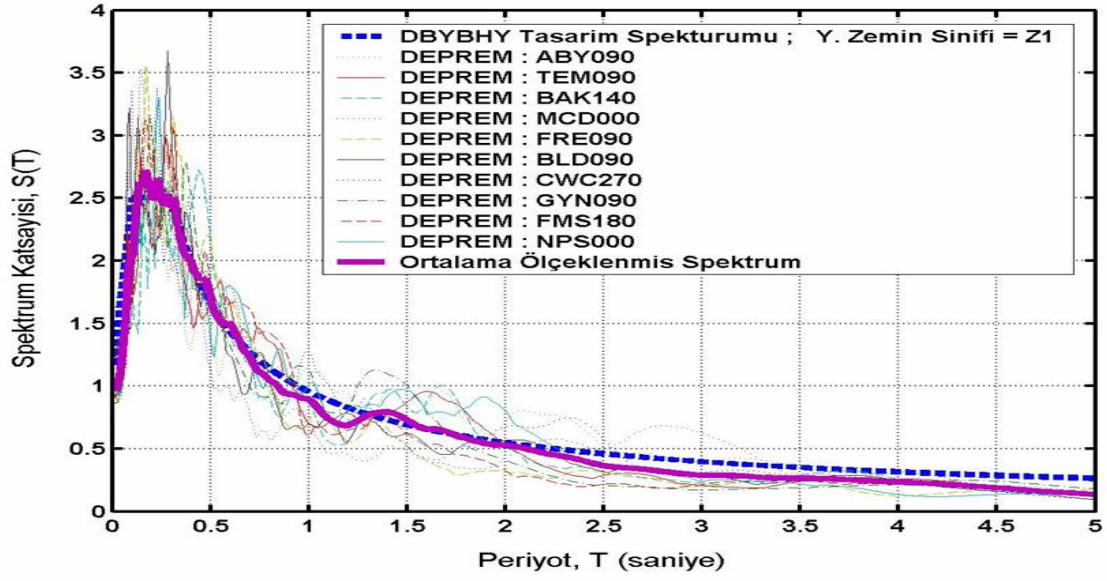
DBYBHY 2007 TASARIM İVME SPEKTRUMLARI



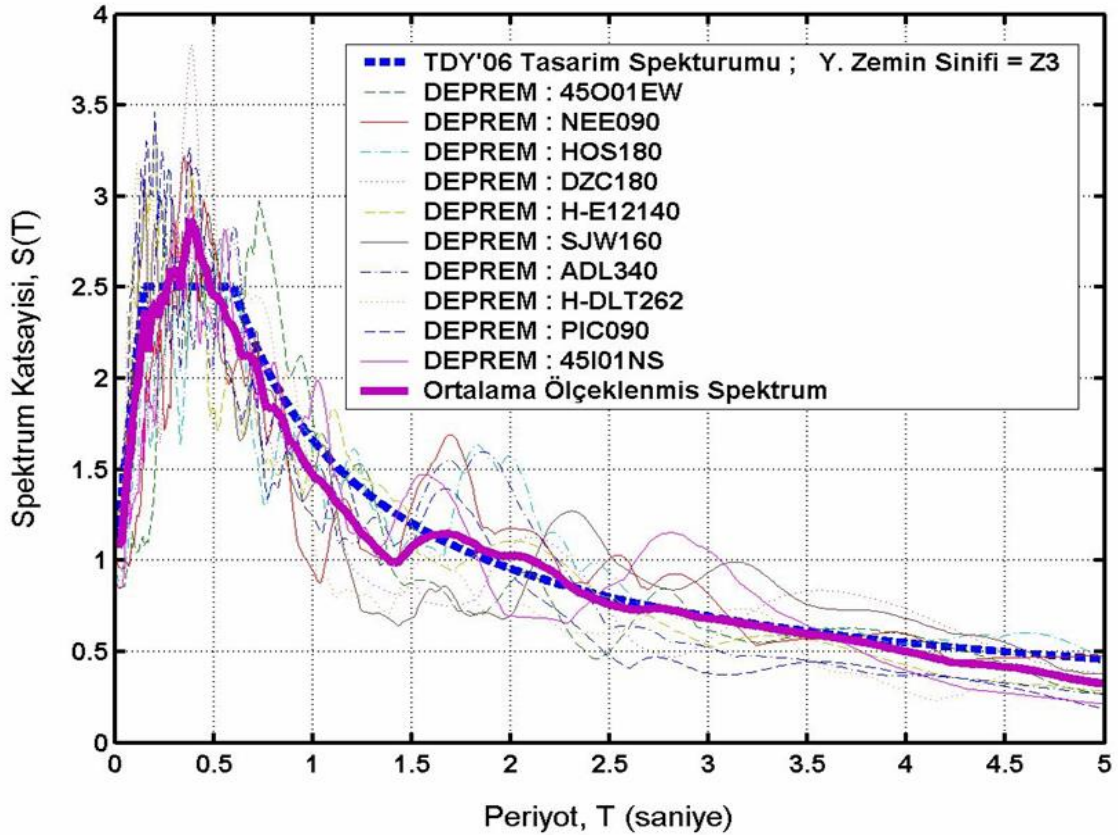
DBYBHY 2007 TASARIM İVME SPEKTRUMLARININ 4 FARKLI YEREL ZEMİN SINIFLARI İÇİN GÖSTERİMİ



DBYBHY 2007 TASARIM İVME SPEKTRUMUNA GÖRE ÖLÇEKLENMİŞ
DEPREM KAYITLARININ TEPKİ SPEKTRUMLARI (YEREL ZEMİN SINIFI Z1)



DBYBHY 2007 TASARIM İVME SPEKTRUMUNA GÖRE ÖLÇEKLENMİŞ
DEPREM KAYITLARININ TEPKİ SPEKTRUMLARI (YEREL ZEMİN SINIFI Z3)



YEREL ZEMİN SINIFI Z1, Z2, Z3 ve Z4 OLAN BÖLGELERDE KULLANILABİLECEK DEPREM KAYITLARI VE ÖLÇEKLEME KATSAYILARI

Tablo 2. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z1 olan bölgelerde kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})

Yerel Zemin Sınıfı : Z1											
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırığına en yakın mesafe	Kayıt Süresi	Anlamlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_{ST})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0856	Landers	28.06.1992	21081 Amboy	ABY090	69.20	50	25.2	32.8	SS	5.08	17.29
P0969	Northridge	17.01.1994	24611 LA - Temple & Hope	TEM090	32.30	40	14.6	20.5	RN	6.46	27.17
P0859	Landers	28.06.1992	32075 Baker Fire Station	BAK140	88.50	50	19.9	30.9	SS	7.86	26.45
P1108	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Mecidiyekoy	MCD000	62.30	44	16.3	23.9	SS	19.98	27.96
P0740	Loma Prieta	18.10.1989	57064 Fremont - Mission San Jose	FRE090	43.00	39.9	16.7	20.1	RO	8.07	34.56
P0903	Northridge	17.01.1994	24157 LA - Baldwin Hills	BLD090	31.30	40	16.6	17.9	RN	4.29	23.87
P0988	Northridge	17.01.1995	90009 N. Hollywood - Coldwater Can	CWC270	14.60	21.9	16.4	18.4	RN	3.36	24.84
P1100	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Goynuk	GYN090	35.50	25.5	10.4	20.8	SS	7.21	30.96
P0763	Loma Prieta	18.10.1989	1686 Fremont - Emerson Court	FMS180	43.40	39.7	17.9	22.3	RO	6.45	31.73
P0818	Landers	28.06.1992	5070 North Palm Springs	NPS000	24.20	70	36.3	43.1	SS	6.54	31.20

Tablo 3. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z2 olan bölgelerde kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})

Yerel Zemin Sınıfı : Z2											
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kırığına en yakın mesafe	Kayıt Süresi	Anlamlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_{ST})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0017	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12230	18.20	39.0	19.4	27.8	SS	8.31	10.68
P0012	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12140	18.20	39.0	19.1	23.4	SS	7.01	14.65
P0730	Superstijn Hills(B)	24.11.1987	11369 Westmorland Fire Sta	B-WSM090	13.30	40	19.6	32.5	SS	5.10	15.87
P0898	Northridge	17.01.1994	90066 El Monte - Fairview Av	FAI095	47.4	35	20.9	24.6	RN	8.99	16.87
P0856	Landers	28.06.1992	21081 Amboy	ABY090	69.2	50	25.2	35.5	SS	5.76	16.07
P0967	Northridge	17.01.1994	24612 LA - Pico & Sentous	PIC090	32.7	40	20.2	25.1	RN	9.34	20.81
P0003	Imperial Valley	15.10.1979	952 El Centro Array #5	H-E05140	1.00	39.3	8.2	10.4	SS	2.39	22.97
P0020	Imperial Valley	15.10.1980	5060 Brawley Airport	H-BRA315	8.50	37.8	14.0	12.2	SS	4.58	22.70
P0859	Landers	28.06.1992	32075 Baker Fire Station	BAK140	88.5	50	19.9	31.0	SS	8.97	29.35
P0051	Imperial Valley	15.10.1979	5061 Calipatria Fire Sta	H-CAL315	23.80	39.5	23.3	28.0	SS	12.14	17.25

Tablo 4. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z3 olan bölgelerde kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})

Yerel Zemin Sınıfı : Z3											
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kıvrımına en yakın mesafe	Kayıt Süresi	Anlamlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_{ST})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0164	Taiwan SMART1(45)	14.11.1986	30 SMART1 001	45001EW	39.00	44	21.9	31.4	RN	6.60	16.55
P0989	Northridge	17.01.1994	24586 Neenach - Sacatara Ck	NEE090	53.20	48	26.2	35.5	RN	16.92	15.90
P0876	Landers	28.06.1992	23542 San Bernardino-E & Hospitalit	HOS180	80.50	120	38.5	52.2	SS	9.85	13.90
P1096	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Duzce	DZC180	12.70	27.2	11.7	14.7	SS	3.53	21.36
P0012	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12140	18.20	39.0	19.0	28.7	SS	8.46	16.60
P0778	Loma Prieta	18.10.1989	47179 Salinas - John & Work	SJW160	32.60	39.9	21.4	32.5	RO	13.72	23.33
P0752	Loma Prieta	18.10.1990	1652 Anderson Dam (L Abut)	ADL340	21.40	39	12.7	16.2	RO	14.82	24.02
P0013	Imperial Valley	15.10.1979	6605 Delta	H-DLT262	43.60	99.9	51.0	80.8	SS	4.46	23.14
P0967	Northridge	17.01.1994	24612 LA - Pico & Sentous	PIC090	32.70	40	20.2	28.2	RN	11.16	27.64
P0105	Taiwan SMART1(45)	14.11.1986	62 SMART1 I01	45101NS	39.00	44	21.6	30.7	RN	5.97	24.45

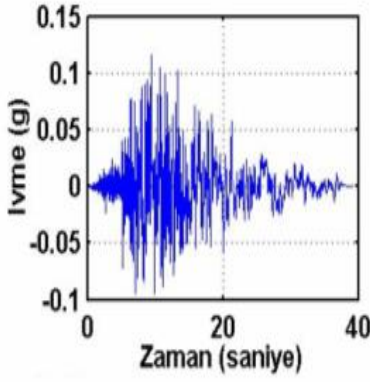
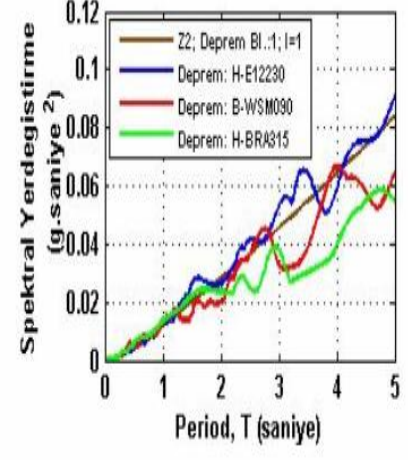
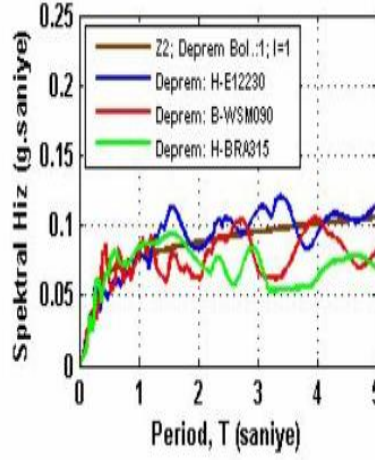
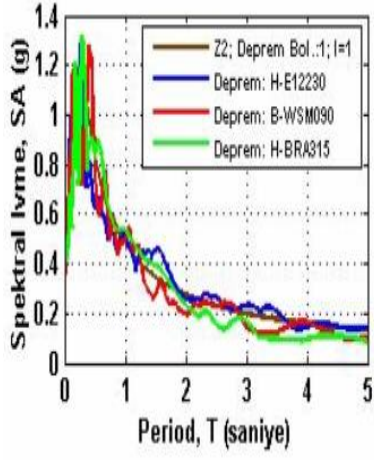
Tablo 5. Türkiye’de yerel zemin sınıfı Z4 olan bölgelerde kullanılabilir deprem kayıtları ve ölçekleme katsayıları (α_{ST})

Yerel Zemin Sınıfı : Z4											
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Fay Kıvrımına en yakın mesafe	Kayıt Süresi	Anlamlı Süre	Zarf Süre	Faylanma Mekanizması	Ölçekleme Katsayısı (α_{ST})	Oransal Göreceli Hata (%)
P0175	Imperial Valley	15.10.1979	5028 El Centro Array #7	H-E07230	0.60	36.8	4.8	8.3	SS	2.69	15.17
P0843	Landers	28.06.1992	90023 LA - W 70th St	W70000	167.80	48	24.5	35.6	SS	19.02	18.07
P0872	Landers	28.06.1993	90080 LB - Orange Av	OR2010	164.50	52.7	27.6	33.6	SS	19.67	15.77
P0869	Landers	28.06.1994	90083 Huntington Bch - Waikiki	WAI290	153.30	42.1	22.4	28.5	SS	16.41	21.77
P1093	Kocaeli, Turkey	17.08.1999	Bursa Tofas	BUR000	62.70	138.5	41.0	57.2	SS	11.63	21.92
P0225	Taiwan SMART1(45)	14.11.1986	68 SMART1 O12	45012EW	39.00	40	23.3	31.3	RN	6.93	24.41
P0722	Superstittn Hills(B)	24.11.1987	5210 Wildlife Liquef. Array	B-IVW360	24.40	44	28.7	35.7	SS	4.50	19.42
P0832	Landers	28.06.1992	90002 Fountain Valley - Euclid	EUC292	148.80	52.4	26.2	38.5	SS	16.16	26.10
P0864	Landers	28.06.1992	90078 Compton - Castlegate	CAS270	161.20	46.3	21.7	28.2	SS	14.15	28.22
P0226	Taiwan SMART1(45)	14.11.1986	61 SMART1 I07	45107NS	39.00	44	21.4	29.5	RN	7.40	27.31

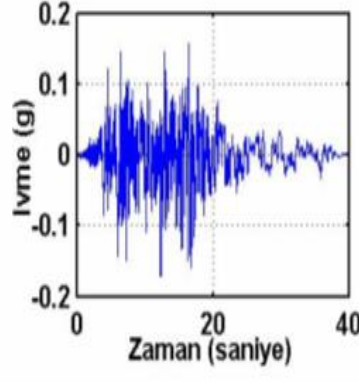
Zaman Tanımında Ölçekleme

Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt	Ölçekleme Katsayısı (α_{AT})
P0017	Imperial Valley	15.10.1979	931 El Centro Array #12	H-E12230	3.326
P0730	Superstittn Hills (B)	24.11.1987	11369 Westmorland Fire Sta	B-WSM090	2.038
P0020	Imperial Valley	15.10.1980	5060 Brawley Airport	H-BRA315	1.833

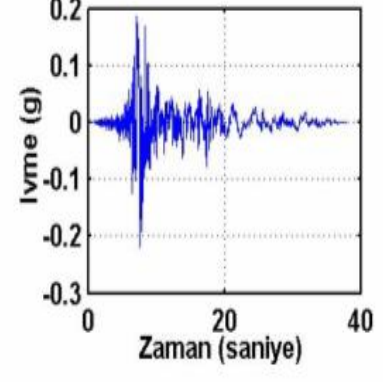
Zaman Tanım Alanında Ölçeklemiş Kavıtların Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan İvme, Hız ve Yerdeğiştirme Davranış Spektrumları



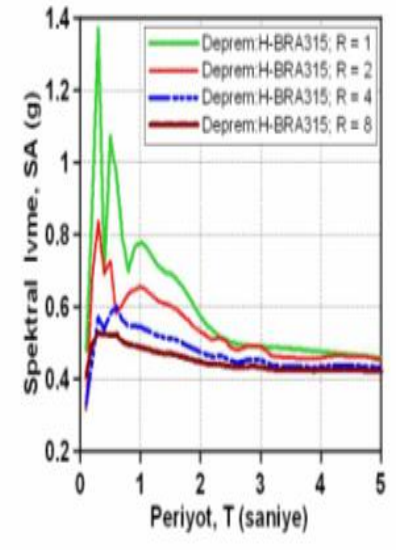
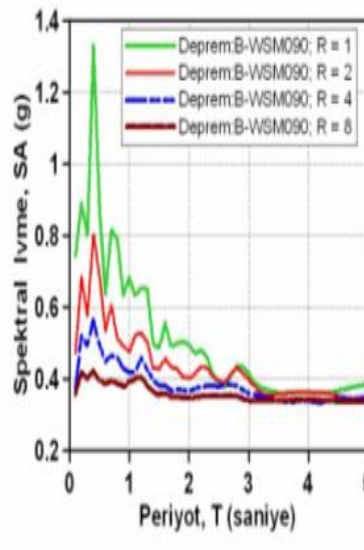
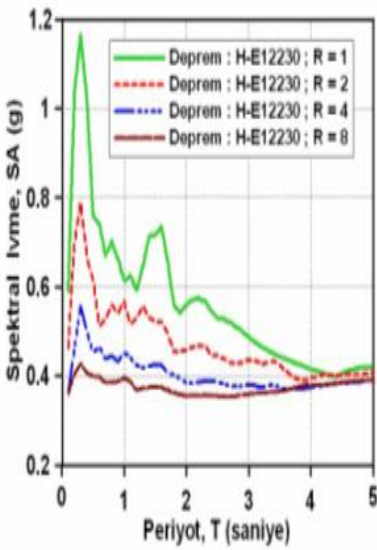
Imperial Valley
(H-E12230)



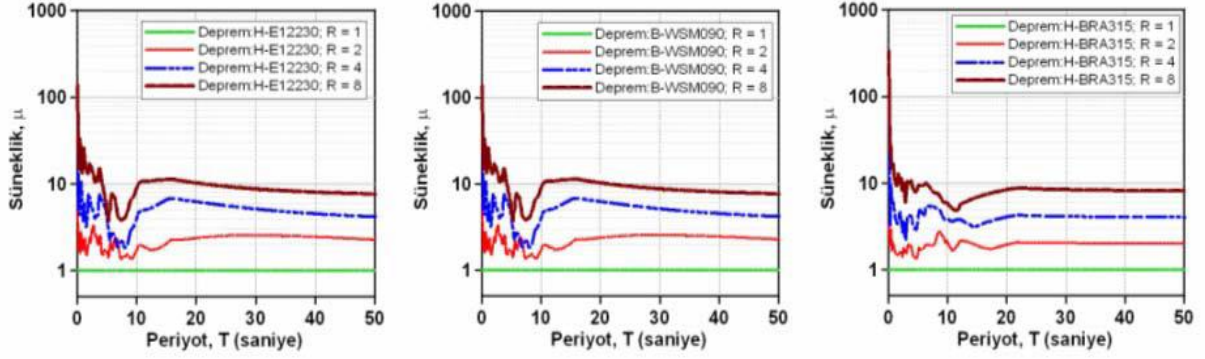
Superstitt Hills(B)
(B-WSM090)



Imperial Valley
(H-BRA315)

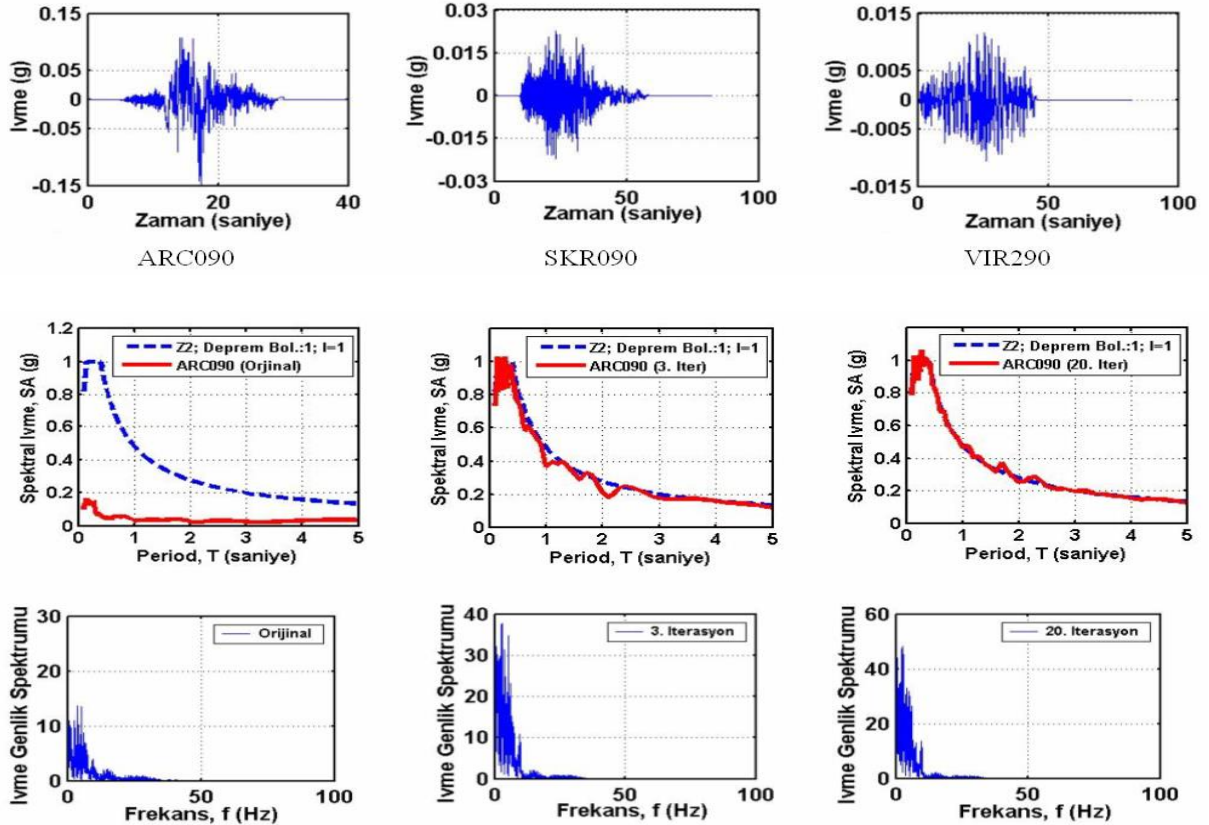


Zaman Tanım Alanında Ölçeklenmiş Kayıtların Sabit Sistem Davranış Katsayısı Kullanılarak Elde Edilen Yerdeğiştirme Süneklik Talepleri

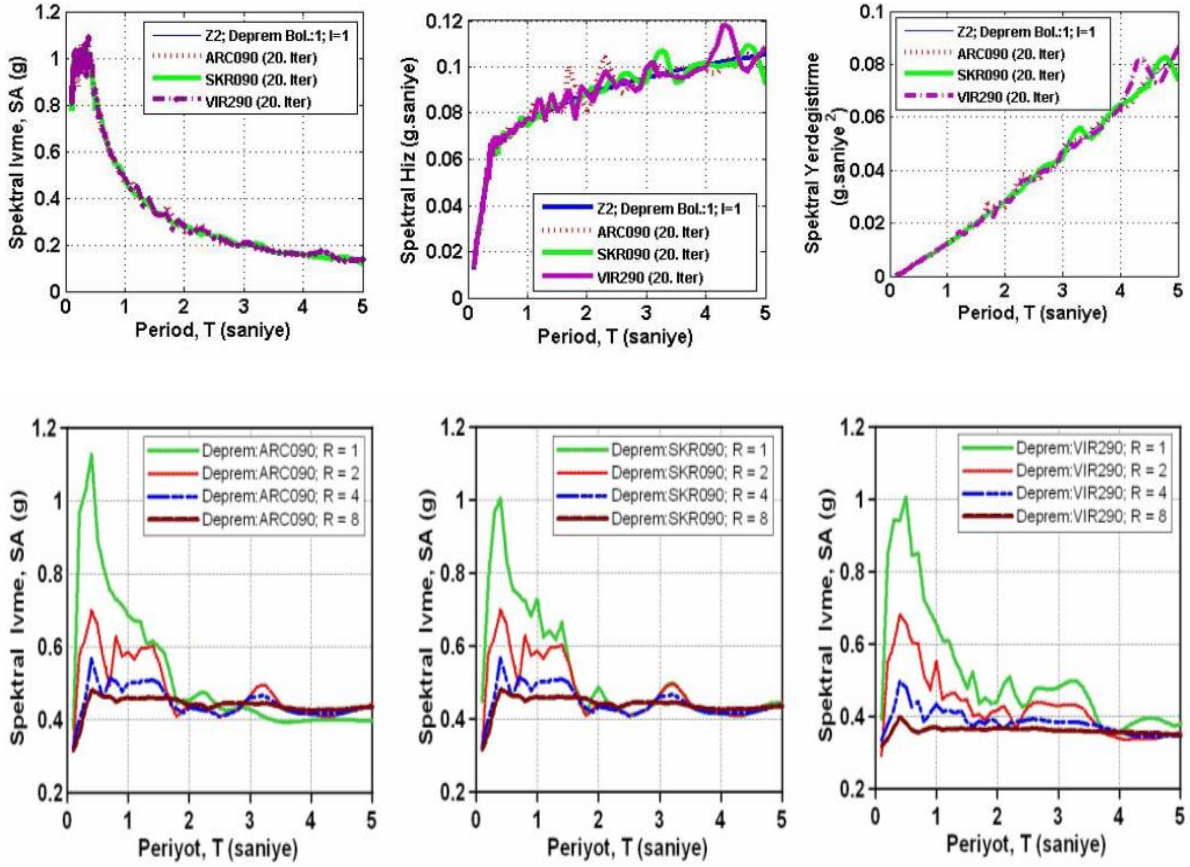


Frekans Tanımında Ölçekleme

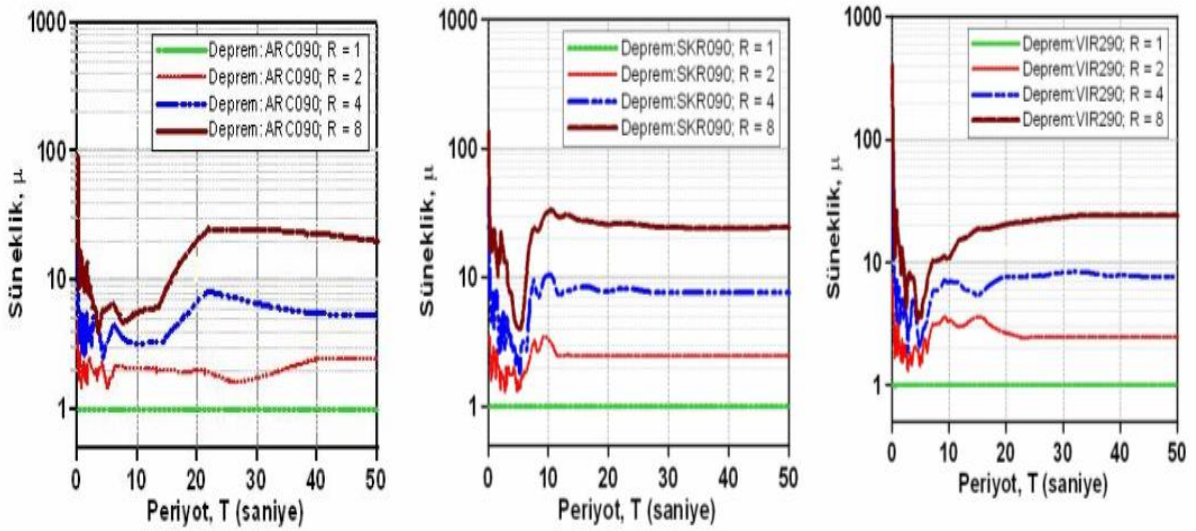
Kayıt No	Deprem	Tarih	İstasyon	Kayıt
P1087	Kocaeli	17.08.1999	Arcelik	ARC090
P1544	Duzce	12.11.1999	Sakarya	SKR090
P0828	Landers	28.06.1992	90052 Calabasas - N Las Virg	VIR290



Frekans Tanım Alanında Ölçeklenmiş Kayıtların Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan İvme,Hız ve Yer değiştirme Davranış Spektrumları

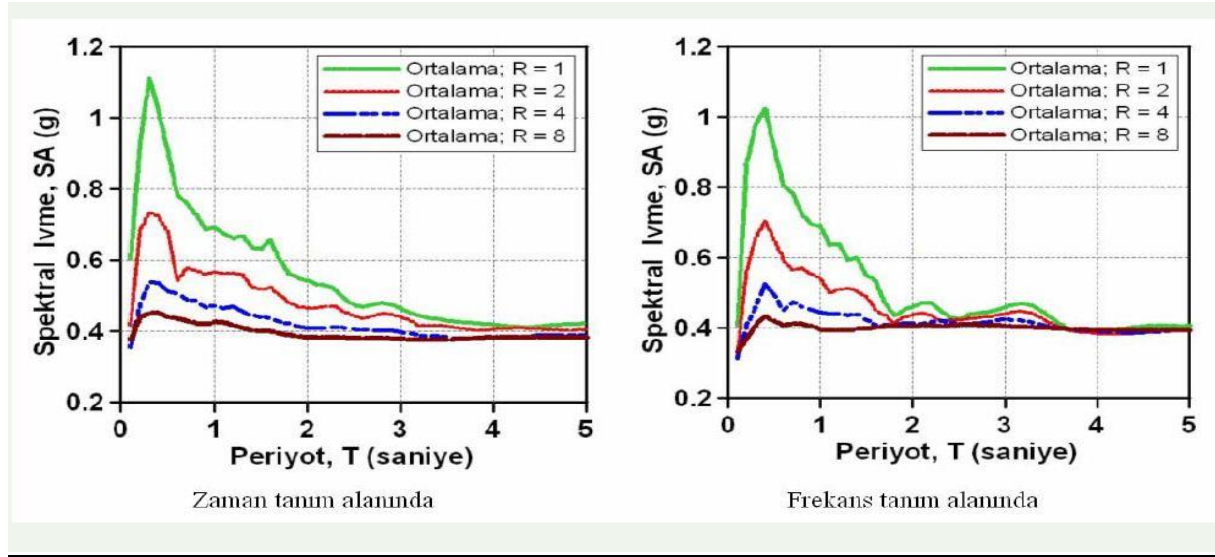


Frekans Tanım Alanında Ölçeklenmiş Kayıtların Sabit Sistem Davranış Katsayısı Kullanılarak Elde Edilen Yerdeğiştirme Süneklik Talepleri

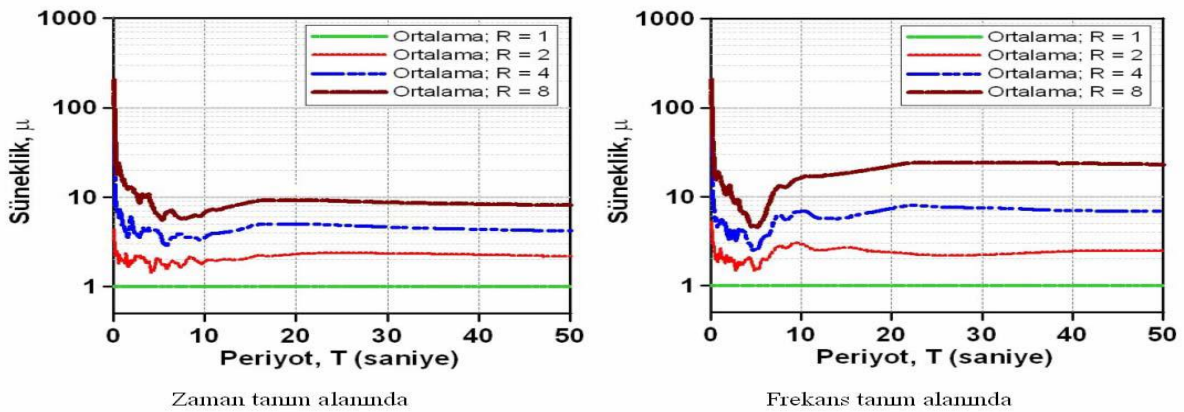


ÖLÇEKLEME SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Zaman ve frekans tanım alanında ölçeklenmiş kayıtların doğrusal elastik olmayan ivme davranış spektrumlarının ortalamaları



Zaman ve frekans tanım alanında ölçeklenmiş kayıtların sabit sistem davranış katsayısı kullanılarak elde edilen yerdeğiştirme süneklik taleplerinin ortalamaları



SONUÇLAR

- *) Yöntemlerin Her İkisi ile Tasarım Spektrumlarına Uyumlu Kayıtlar Elde Etmek Mümkündür.
- *) Frekans Tanım Alanında Ölçeklenen Kayıtlar Tasım İvme Spektrumları ile Daha İyi Uyum Göstermektedir. Fakat, Kaydın Frekans İçeriği Değişmektedir.
- *) Zaman Tanım Alanında Ölçekleme Yöntemi Uygulanarak Elde Edilen Kayıtların Doğrusal Elastik Olmayan İvme Davranış Spektrumları, Yer değiştirmeye Hassas Bölgede “Eşit Yer değiştirme Kuralı”nı Sağlamaktadır.
- *) Frekans Tanım Alanında Ölçeklenen Kayıtlar “Eşit Yer değiştirme Kuralı”nı Sağlamamaktadır. Bu yüzden, frekans tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak elde edilen kayıtların yapıların doğrusal olmayan deprem hesaplamalarında kullanılması uygun değildir.

ZEMİN – YAPI – DEPREM

VE

JEOFİZİK İLE İLGİLİ ÖZET BİLGİ

Zeminlerde Deprem Etkisi Sonucu Etkileyebilecek Fiziksel Parametreler

Zemin Dinamik Parametreleri

Vs Hız Değerleri Nasıl Elde Edilir

Sismik Çalışmalar

MASW Çalışması

SPAC Çalışması

Kuyu İçi Sismik Yöntemler (Up-Hole, Down-Hole, Cross-Hole, PS loggin)

SPT Denetleri

Peressiometre Deneyleri

CPT Deneyleri

SCPT Deneyleri

H. Zemin – Yapı – Deprem- Jeofizik İle İlgili Özet Bilgi

Zemin – Yapı – Deprem – Jeofizik ilişkisini tanımlama için bu noktaya kadar açıklanan olayları özetlesek karşımıza şu sonuçlar çıkmaktadır.

Zeminlerde Deprem Etkisi Sonucu Etkileyebilecek Fiziksel Parametreler

1. Depremin Özelliklerinden Kaynaklanabilecek Fiziksel Parametreler

- a. *Deprem genliği*
- b. *Süresi*
- c. *Frekans İçeriği*
- d. *Odak Uzaklığı*
- e. *Oluşum Mekanizması*

2. Zeminin Altında Yer alan Ortama Bağlı Özelliklerinden Kaynaklanabilecek Fiziksel Parametreler

- a. *Kalınlığı*
- b. *Derinliği*
- c. *Porozitesi*
- d. *Tane Dağılımı*
- e. *Yanal Yöndeki Sürekliliği*
- f. *Yoğunluğu*
- g. *Tabakayı Oluşturan malzemenin Özellikleri*
- h. *Sertliği*
- i. *Geçirgenliği*
- j. *Kil İçeriği*
- k. *Hava içeriği*
- l. *Su İçeriği*
- m. *Tanelerin Dizilim Şekli*
- n. *Zemini Oluşturan Tabakaların Geometrik Yapısı*
- o. *Zemin Tabakalarının Eğimi*
- p. *Zemin tabakalarının Dalım Özellikleri*
- q. *Merceksi Yapılar*
- r. *Ana Kaya Derinliği*
- s. *Ana Kaya Zemin Ara Yüzey Topoğrafyası*
- t. *Ana Kayanın Cinsi*
- u. *Ana kaya Yoğunluğu*

3. Zemin Üzerinde Yer Alan Olaylardan Kaynaklanabilecek Parametreler.

- a. *Vadiler*
- b. *Ovalar*
- c. *Morfolojik Yapılar*

4. Zemin üzerine Kurulacak Yapıdan Kaynaklanabilecek Parametreler

- a. *Yapının kütlesi*
- b. *Yapının Eylemsizliği*

Zemin çalışmalarında bizi bekleyen 3 soru olabilir.

1. Deprem nedeni ile zemin de bu kadar parametrenin değişme olasılığı varsa ne yapılmalı ?
2. Deprem hareketinden en az hasarla kurtulacak yapı tasarımı nasıl yapılmalı ?
3. Bu konularda jeofizik çalışmaların yeri ne olmalı ?

Bu sorulara cevap ararken aşağıdaki gerçekleride göz önünde tutmak gerekir.

1. Yapı tasarımında, çoğu zaman, yapıya etkiyen yüklerin zamana bağlı olarak değişimi tasarımcıyı ilgilendirmez.
2. Tasarıma esas olan, yapıya yanal ve düşey yönde etkiyen yüklerin alabileceği en büyük değerdir.
3. Dolayısıyla tasarım açısından, yer değiştirme-zaman değişiminden çok, bu zaman aralığında yer değiştirmenin aldığı en büyük değer önemlidir.
4. Yapıya deprem nedeni ile oluşacak olan düşey yöndeki deprem kuvveti yapı ağırlığı ile dengelenmiş olur.
5. Yapıya deprem etkisi ile gelecek olan zarar depremin yanal yöndeki bileşenleridir.
6. Bu bileşenler yapının hem zemininde hem de kendinde yer değiştirmelere neden olur.
7. Deprem sırasında yapıda oluşabilecek en büyük yer değiştirme değeri yapının sınır değeri olarak alınır.
8. Deprem ivme kayıtları kullanılarak yapıyı etkileyebilecek toplam yanal ivme (deprem ivmesi + yapı ivmesi) sonucu yapıda oluşabilecek toplam yer değiştirme hesaplanır.
9. Ayrıca yapının yüksekliğine bağlı periyot değerleri ile sönüm katsayısı ve rijitliğide hesaba katılır.
10. Sönüm oranı betonarme yapılar için %5 olarak alınır.
11. Yapının rijitliği yapı yüksekliğine yani periyoda bağlı olarak irdelenir.
12. **yer değiştirme spektrumları**, belirli bir yer hareketi etkisinde, sabit bir sönüm oranı için, periyotları farklı tek serbestlik dereceli sistemlerin yapacağı en büyük yer değiştirme değerlerini gösterirler
13. Bu spektrumdan, periyoda bağlı olarak okunacak yer değiştirmeye de **spektral yer değiştirme (spectral displacement - SD)** adı verilir.
14. Yer değiştirme en büyük değerini aldığı anda, yapıda oluşan iç kuvvetleri veren bağıntı $F = m \cdot a$ (SD) olarak tanımlanır.
15. Bu durumda yukarıdaki bağıntı **yer değiştirmenin en büyük değerine ulaştığı anda yapıya geçen kuvvetin**, eylemsizlik kuvveti cinsinden ifadesi olarak tanımlanır.
16. Bir cisme etkiyen yük, Newton kanunu gereği, cismin kütlesiyle ivmesinin çarpımına eşittir. $F = m \cdot a$
17. Bu durumda, denklemdeki $w^2 SD = a$ (ivmeyi) ifade ederler. Bu durumda, spektral yer değiştirmesi belirli bir sistem için ivme değeri, sistemin spektral yer değiştirmesi ile açısal frekansının karesinin çarpımıyla bulunabilir.
18. Bu ivme değeri içinde yer alan açısal frekansın belirli bir periyot aralığında seçilecek bir örnekleme periyot aralığı değişimi ile SD değerinin çarpımı sonucu el edilen a değerleri T periyoda göre çizilir ve bu grafikteki maksimum değer aranan PSA değeri olmuş olur.
19. Bu denklem çözümleri, o bölgede kaydedilmiş bir çok depremden elde edilen PGA değerlerine göre yapıldığında bir anlam kazanır.
20. Yani depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılacak olan PSA değeri söz konusu bölge için elde edilmiş olan bir çok depremin istatistiksel sonucu olmalıdır.

Bu bağlamda, diğer bir deyişle yukarıda tanımlanan gerçeklerle yola çıkıldığında, zemin araştırmalarında yapılacak Jeofizik çalışmalarda genel olarak dört amaç hedeflenmelidir.

1. Zemin taşıma gücünün bulunmasında depreme dayalı hesaplamaların yapılması (İçsel sürtünme açısının depreme değişmesi) gerekir. Bu amaçla zemine ait dinamik özelliklerin jeofizik yöntemlerle araştırılması planlanırken araştırma derinliği, jeofizik çalışma profilleri ve ölçü nokta sayılarının 3 boyutlu olarak seviye haritaların hazırlanmasına yönelik olmalıdır (Çalışma alanının konumu, yapı genişliği, yapı yüksekliği, temel derinliği gibi bilgiler ışığında planlama yapılmalıdır). Ayrıca yüksek yapılar için zemin etütlerinde yapının oturacağı temelin zemini bir bütün olarak alınmalıdır (taşıyıcı olan ve olmayan tüm elemanların oturacağı temel alanı bütün olarak alınmalıdır).
2. Tasarımı yapan yapıcıların yapıyı planlarken yaptığı kabullerin denetlenmesine yönelik çalışmaların yapılması gerekir. Bu kabullerin en önemlisi zeminin ana kayaya kadar Vs hızı yönünden yatay yarı sonsuz ve homojen tabakalardan oluştuğudur. Jeofizik yöntemlerle bu Vs hız kabulleri irdelenebilir. Bunun için yine 3 boyutlu haritalar yapılarak yanal ve düşey yönlü Vs hız değişimleri haritalanmış olur. Bu çalışmalar planlanırken, jeofizik çalışma profilleri ve nokta sayılarının 3 boyutlu olarak seviye haritaların hazırlanmasına yönelik olmalıdır
3. PSA değerlerine ulaşırken ortam 3 boyutlu analiz edilmelidir. Ayrıca PSA değerinin hem yapı temel derinliğine hem de zeminin kalınlığına bağlı olarak 3 boyutlu seviye haritaları elde edilecek şekilde oluşturulması gerekir. Böylece yapıya yanal yönde etkiyecek olan deprem kuvveti düşey yönlerde irdelenmiş olacaktır. Tasarım spektrumları oluşturulur yanal ve düşey yönlü çalışmalar yapılmalıdır. Böylece hangi derinlikte yapının ne kadar büyüklükteki bir ivmeyle etkileneceği irdelenmiş olur.
4. Zemin iyileştirme çalışma sonuçları jeofizik 3 boyutlu ve kuyu içi sismik çalışmalar da denetlenebilir. Önemli olan deprem sırasında, yapının yanal yönlü kuvvetlere karşı dayanımı arttıracak zemin özelliklerinin değiştirilmesidir. Bu kavramda zeminin doğal halinde ve iyileştirilme yapılmış konumunda yapılacak bazı jeofizik çalışmalarla denetlenebilir. Ayrıca bina temelin yanalında yer alan zeminlerin Vs hız değerleri de önem taşımaktadır. Çünkü depremin yanal yer ivmesini irdelenmek isteniyor.

Not: Yukarıda tanımlanan jeofizik çalışmalarında en çok kullanılan sismik çalışmalarla ilgili temel parametreleri hatırlayalım?

Sismik dalgalar Hacim Dalgaları ve yüzey dalgaları olarak iki başlık altında irdelenir.

Hacim dalgaları (P ve S dalgaları);

P dalgalarının gelişi sırasında partiküller yayılma doğrultusuna paralel olarak titreşir. Her türlü ortamda (katı, sıvı, gaz) yayılırlar.

S dalgası ise ikincil olarak gelir. Likit ortamlarda ilerleyemezler. Sismik hızlar porozitesi az kompakt ve yoğunluğu fazla olan kayalarda yüksektir.

Yüzey dalgaları (R ve L) ise yayılma doğrultusuna dik olarak gelişir. Bunlar çok tehlikeli dalgalardır. Sismik dalgayı etkileyen en önemli faktör elastik parametrelerdir. Bu dalgalar yayılırken küresel yayılırlar. Rayleigh Dalgaları ve Love Dalgaları olarak ikiye ayrılırlar

Sismik hızlar (birimi m/sn) ; Sismik hızların zemin çalışmalarında zemin dinamik parametre hesaplarında kullanılan en önemlileri V_p ve V_s hızlarıdır. Bu hızlar arazi çalışmaları sonucu elde edilen yol-zaman grafiklerinin eğiminden

$$V = x / t = (\text{yol} / \text{zaman}) \text{ Formülü ile hesaplanır.}$$

• ***Sismik Hız Oranı V_p/V_s ve Sıvılaşma Potansiyeli (Birimsiz):*** Sismik hız oranı, kayaçların mineral bileşimine, dokuyu teşkil eden tanelerin büyüklüğüne ve dağılımına, gözenekliliğine, gözenek suyunun cins ve miktarına, sıkışabilirliğine, çimentolanma derecesine ortam hacmine ve sonuç olarak jeolojik geçmişi ve kayacın yaşına önemli ölçüde bağlıdır (Tatham 1982, Willkens ve ark., 1984).

V_p/V_s oranı sayısal olarak

0-2 arasında ise sıkı zemin,

2-3 arasında ise az sıkı zemin,

3'ten büyük ise sıkı olmayan zeminler söz konusudur.

Bunun anlamı V_p ve V_s hız değerleri birbirine yaklaştıkça zemin sıkılaştır, uzaklaştıkça gevşer. Ayrıca; suya doygun gevşek kum ortamları için V_p / V_s nin > 3 olması durumunda zemin sıvılaşma potansiyeli taşır.

Zemin Sıvılaşması: İnce kumlu ve siltli zeminler, diğer zeminlere göre; sıkışmamış kumlar sıkı kumlara göre sıvılaşma yönünden daha hassastırlar. Özellikle akarsuların yığıldığı kumlar tane boyu dağılımlarındaki düzgünlük nedeniyle sıvılaşmaya eğilimlidirler.

Suya doygun gevşek kohezyonsuz zeminlerde sıvılaşmanın en önemli nedeni yer hareketi ile meydana gelen boşluk suyu basıncının artarak içsel sürtünme açısını yenmesi sonucu silt, kum gibi malzemenin çorba kıvamına gelmesidir.

Zemin sıvılaşması sonucu büyük ve ağır yapılarda batma veya devrilme, küçük ve hafif yapılarda ise yukarı doğru hareket ederek yüzme eğilimi görülmektedir.

Bu düşey hareketler ve sıvılaşan malzemenin düşey veya yatay yönde temel altından hareket etmesi ya da yüzeye kum fışkırması gibi olaylar sonucunda yapılar ya batmakta veya devrilmekte ya da binanın iç statik dengesinin bozulması sonucunda dağılarak yıkılmaktadır.

• ***Yoğunluk (Birimi gr/cm^3)³.*** Yoğunluk değeri, zemin ve kaya ortamlarında farklı değerler alır. d ile ifade edilir. Porozitesi yüksek, gözenekli, gevşek ortamlarda değeri düşer. Sağlam çatlaksız ortamlarda ise değeri yüksektir. Tüm bozuşmamış kayaçlar için yoğunluk $2,6 gr/cm^3$ tür. $V_p - V_s$ oranı az ise yoğunluk yüksek yani zemin sağlamdır. Ancak oran yüksek ise zeminde ıslaklık vardır. Birimi gr/cm^3 tür. Hesap bağıntıları

$$d = 0.31 * V_p^{0.25} \text{ (} V_p \text{ hızına göre)}$$

$$d = 0.44 * V_s^{0.25} \text{ (} V_s \text{ hızına göre)}$$

Not: suya doymun taneli zeminlerde $V_p = 500$ m/s iken yer altı suyu $V_p = 1500$ m/s etkisiyle suya doymun aynı taneli zeminlerde $V_p = 1300$ m/s daha yüksek olabilmektedir. Bu bakımdan taneli gevşek zeminlerde V_p hızından yoğunluk saptamak sağlıklı olmamaktadır. Aşırı kırıklı ve gözenekli olmayan kaya ortamlarda yer altı suyu miktarı katı kısmına oranla çok az olacağından V_p hızını fazla etkilememektedir. Bu tür kaya ortamlarda V_p hızından yoğunluk saptaması yanıltıcı olmaz. Bu nedenle, V_s kayma dalgası hızı suya duyarlı olmadığından ve sadece katı ortamın hızını yansıttığından taneli zeminlerin yoğunluklarının saptanmasında V_s hızının kullanılması daha uygun olmaktadır. Ayrıca, burada taşıma kapasitesi saptanmasında V_s hızı esas alındığından zemin yoğunluğunun V_s hızından saptanması gerekmektedir.

- **Zemin Taşıma Gücü (Birimi kg / cm^2 veya MP):** Temelin plastik kayma sonucu göçtüğü basınçtır.

$$q_u = (d \cdot V_s^2) / 200 \text{ formülüyle hesaplanır.}$$

Emniyetli Taşıma Gücü : Plastik kayma göçmesi olmadan taşınabilen basınçtır.

Zemin Emniyet Gerilmesi: Zemine bu gerilmeyi uygulayacak yapı için güvenli taşıma

gücü: Yapıya zarar verecek oturmanın oluşmasına izin vermeyecek, konsolidasyon karakteristikleri ve kayma göçmesini de dikkate alan yapı için kullanılan temel taban basıncıdır.

- **Güvenlik Katsayısı**, 3.00 alınmıştır. G_s ile gösterilir.
- **Zemin Emniyet Gerilmesi (Birimi kg / cm^2 veya MP):**

$$q_e = q_u / G_s \text{ formülüyle hesaplanır.}$$

Yeraltı suyu seviyesinin yüzeye yakın olduğu yerlerde ($q_u \cdot 0.5$ veya 0.6) ile çarpılır.

- **Zemin Hakim Titreşim Periyodu**, ile bina öz periyodunun rezonansa girmemesi için kullanılır. Kayaçlarda aldığı değer zeminlerde aldığı değerden düşüktür. T_0 ile gösterilir. 0 – 1 arasında değer alır. Bina yüksekliği hakkında bilgi verir. Birimi saniyedir.

$$T_0 = 4 \cdot ((h_1 / V_{s1}) + (50 - h_1 / V_{s2})) \text{ formülüyle hesaplanır.}$$

- **Zemin büyütmesi**, zeminin gevşek, sıkı, sulu, gözenekli olmasına göre değişir. n ile gösterilir. Deprem şiddet artış kat sayısı olarak bilinir. Deprem şiddetini artıran fiziksel özelliklerden biridir. Örneğin, zemin büyütmesi 2 ise 6 büyüklüğündeki deprem 8 büyüklüğünde etki gösterir. Ortamda zemin sıvılaşması varsa o da ayrıca hesaplanır.

$$n = 1.67 \cdot \log ((V_{sn} \cdot d_n) / (V_s \cdot d)) \text{ formülüyle hesaplanır.}$$

$$V_{sn} = 2700 \text{ m/sn } d_n = 2.5 \text{ gr/cm}^3$$

- **Poisson oranı (Birimsiz):** Formasyonun enine birim değişmesinin boyuna birim değişmesine oranı olarak tarif edilir. Gevşek kayalar, porozitesi yüksek gözenekli, kırıklı çatlaklı ortamlarda değeri 0-0.5 arasındadır. Kayalar sertleştikçe değeri düşer. Granit ve bazalt gibi sert kütlelerde değeri 0.05'e kadar düşer. μ ile gösterilir ve Birimsizdir. Dinamik poisson oranı (μ), sismik dalga hızlarının oranlarına (V_p / V_s) bağlıdır. Bu oran arttıkça, (μ) değeri artar.

$$\mu = ((V_p/V_s)^2 - 2) / (2 * (V_p/V_s)^2) - 2 \quad \text{formülüyle hesaplanır.}$$

- **Kayma modülü (Birimi kg/cm² veya MPa):** Makaslama gerilmelerine karşı formasyonun direncini gösterir. Gd ile gösterilir. Makaslama deformasyonu hacimce değişmesiz meydana gelen yer değiştirmedir. Sıvıların makaslama karşı direnci olmadığından bu modül sıvılar için sıfırdır. Dinamik kayma modülü ne kadar yüksekse formasyonun makaslama gerilmelerine karşı direnci de o kadar fazla demektir. Kısaca kaymaya karşı olan dirençtir. Zeminin su muhtevası arttıkça Gd azalır.

$$Gd = (d * V_s^2) / 100 \quad \text{formülüyle hesaplanır.}$$

- **Elastisite modülü (Birimi N/m² ' veya paskaldır (MPa)):** Bir doğrultuda streslerin strainlere oranı olarak tanımlanır. Elastisite parametresi zeminin sağlamlığını sertliğini, başka bir deyişle zeminin katılığını yansıtır Dinamik Young Modülü olarak ta bilinir. Ed ile gösterilir. Zeminlerin dayanımı, sağlamlığı hakkında bilgi verir. Birimi kg/cm² dir. Ve

$$Ed = Gd * (3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2) \quad \text{formülüyle hesaplanır.}$$

- **Bulk modül (Birimi Kg /cm² veya MPa):** Sıkışmazlık modülü olarak da bilinir. Ortamın sıkışmazlığını gösterir. Belli bir basınç altında sıkışmaya karşı olan dirençtir. idrostatik basınç (P) altında kalan bir kayaçtaki gerilme - deformasyon ölçüsüdür. Diğer bir deyişle materyalin hacim değişikliğine karşı mukavemetinin ölçüsüdür. Zeminlerde sıkışma değeri düşük, kayalarda ise yüksektir. Kd ile gösterilir.

$$Kd = d * (V_p^2 - 4/3V_s^2) / 100 \quad \text{formülüyle hesaplanır.}$$

- **Yatak Katsayısı,** yatak katsayı-zem.emn. gerilmesi abağı“Yeraltı araştırmaYönt.Ahmet Ercan2002”

- **Sıkışıklık modülü,** Bulk Modülünün tersidir (1/ bulk modülü) Birimi cm²/kg dir. Ve

$$mv = 1 / Kd \quad \text{formülüyle hesaplanır.}$$

- **Zemin oturması,** zemin emniyet gerilmesi ve taşıma gücüne bağlı olarak zeminin kaç cm oturacağını belirtir. s ile gösterilir. Birimi cm. dir. Sismik verilerin dinamik düzeltmeleri yapıldıktan sonra değerlendirilmesi sonucunda çalışma alanının kesitleri ortaya çıkarılmıştır.

- **Zemin Sökülebilirlik Derecesi:** Sökülebilirlik ağır iş makinelerinin kayaları delici uçları ile kazarak kayacın içerisinde ilerleyebilme durumları ile ilgili bir özelliktir. Sağlam ya da masif yapılı kayalar, gevşek kayalara göre daha zor sökülür. Gevşek yapılı ortam, sağlam ortama göre daha düşük sismik hız değerleri ortaya koyar. Sismik hızlarla sökülebilirlik arasındaki ilişki ağır güçteki sökmeler için Bailey (1974) tarafından verilmiştir.(Tablo 4.)

Sedimanter kayaçlar diğer kayaçlara göre daha kolay sökülür. Kayacın yoğunluğu ve çimentolanma derecesi düşük olduğunda kayaç daha rahat bir şekilde sökülür. Kayaçlardaki boşluk ve süreksizlik yapıları sökülebilirliği etkiler.

Tablo 1-2 .Poisson Oranı-Zemin Türü İlişkisi ve Kayma Modülü-Zemin Türü ilişkileri

Poisson Oranı	Zemin türü
0.00-0.25	gözeneksiz zeminleri,
0.25-0.35	orta dereceli gözenekli zeminleri,
0.35-0.50	gözenekli zeminleri
Kayma Modülü (G)	Zemin Türü
0-600	gevşek zeminleri,
600-3000	orta sağlam zeminleri,
3000-10000	çok sağlam zeminleri

Tablo 3.Elastisite Modülü-Zemin Türü İlişkisi

E	Zemin türü
0-2000	gevşek zeminler
2000-10000	orta gevşek zeminler
10000-30000	sağlam zeminler
30000<	çok sağlam zeminler

Tablo 4. Zemin Sökülebilirlik Derecesi

P Dalga Hızı (m/s)	Sökülebilirlik Derecesi	
	No	Tanım
350-670	1-3	Çok Kolay
670-1000	3-4	Kolay
1000-1700	4-6	Orta
1700-2300	6-8	Zor
2300-2700	8-9	Çok Zor
2700-3000	9-10	Aşırı Zor

Tablo 5. Zemin Dinamik Elastik Parametreleri Formülleri

Zemin Dinamik Elastik Parametreleri	Formüller
Yoğunluk	$\rho = 0.31 \times V_p^{0.25}$ (gr/cm ³) (Vp hızına göre) $\rho = 0.44 \times V_s^{0.25}$ (Vs hızına göre)
Poisson	$\sigma = (0,5 \times (V_p / V_s)^2 - 1) / ((V_p / V_s)^2 - 1)$
Shear(kayma)	$G_d = (\rho \times V_s^2) / 100$ (kg/cm ²)
Elastisite(young)	$E_d = G_d \times (3 \times V_p^2 - 4 \times V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)$ (kg/cm ²)
Taşıma Gücü	$Q_u = \rho \times V_p / 100$ (kg/cm ²)
Güvenli Taşıma Gücü	$Q_e = \rho \times V_s / 100$ (kg/cm ²)
Oturma	$S = ((Q_u + Q_e) / E) \times h$ (cm)
Sıkışmazlık (Bulk)	$K = M_c = \rho \times (V_p^2 - 4/3 \times V_s^2) / 100$ (kg/cm ²)
Zemin Hakim Periyodu	$T_0 = 4 \times \sum h_i / V_{si}$ (s) veya $T_0 = 10 / \sqrt{V_s}$ (s)
Sıkışabilirlik	$M_v = (1 / M_c)$ (cm ² /kg)
Zemin Büyütmesi	$A = 68V^{-0.6}$ (V < 1100 m/sn) $= 1.0$ (V > 1100 m/sn) (Midorikawa 1987)

Tablo 6. Deprem yönetmeliğine göre yerel zemin sınıfları

Deprem yönetmeliğine göre yerel zemin sınıfları	V _s (m/sn)	(T _A -T _B) SN	V _P /V _S	G _s kg/cm ²	E _d kg/cm ²	q _s kg/cm ²
Z1 çok sıkı-sert	>700	0.10-0.30	1.5-2	>10000	>3000	100-10
Z2 Sıkı-katı	400-700	0.15-0.4	2-2.5	3000-10000	10000-30000	3-10
Z3 Orta sıkı-bozuşmuş	200-400	0.15-0.60	2.5-3	600-3000	2000-10000	1-3
Z4 Gevşek-yumuşak	<200	0.2-0.90	3-10	<600	<1700	<1

Tablo 7. Zemin grupları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar....	—	—	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl.....	> 50	85–100	—	> 700
	3. Sert kil ve siltli kil.....	> 32	—	> 400	> 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar....	—	—	500–1000	700–1000
	2. Sıkı kum, çakıl.....	30–50	65–85	—	400–700
	3. Çok katı kil ve siltli kil..	16–32	—	200–400	300–700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar.....	—	—	< 500	400–700
	2. Orta sıkı kum, çakıl.....	10–30	35–65	—	200–400
	3. Katı kil ve siltli kil.....	8–16	—	100–200	200–300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları....	—	—	—	< 200
	2. Gevşek kum.....	< 10	< 35	—	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil....	< 8	—	< 100	< 200

Tablo8. Yerel Zemin Sınıflaması


Yerel Zemin Sınıflaması	Zemin Grubu Tablosuna Göre Zemin Grubu Ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h)
Z_1	(A) grubu zeminler h < 15 m olan (B) grubu zeminler
Z_2	h > 15 m olan (B) grubu zeminler h < 15 m olan (C) grubu zeminler
Z_3	15 m < h < 50 m olan (C) grubu zeminler h < 10 m olan (D)
Z_4	h > 50 m olan (C) grubu zeminler h > 10 m olan (D) grubu zeminler

Vs Hız Değerlerine Nasıl Ulaşılır ?

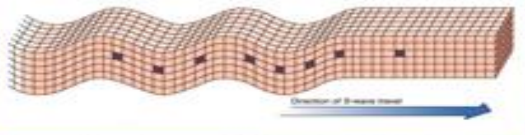
Sismik Dalga: Yapı-Zemin-Deprem ilişkisi araştırılırken, P ve S dalga hızları ile zeminlerin bazı özellikleri (Standart Penetrasyon N Deneyi, Pressiometre Deney Sonuçları, Birim Hacim Ağırlığı, Serbest Basınç Dayanımı, Kohezyon İçsel Sürtünme Açısı) arasındaki ilişkilerden yararlanır (Altındaki şekilde S ve P dalgalarının yayılım özellikleri ve bağıntıları izlenmektedir).

S Dalgaları

Enine, makaslama ve ikincil dalgalar, Tanecik hareketi dalganın hareket yönüne dik doğrultuda ve birbirlerine paraleldir. Böyle dalgalara taneciklerin hareket ettiği doğrultuda polarize olmuş dalgalar denir.



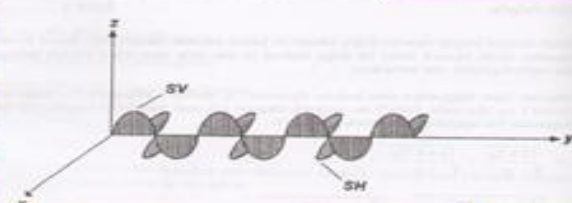
S dalgası tanecik hareketi Yayılma Doğrultusu



S dalgası hızı bağıntıları

$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

Sıvılarda $\mu = 0$ olduğundan S Dalgası yayılmaz

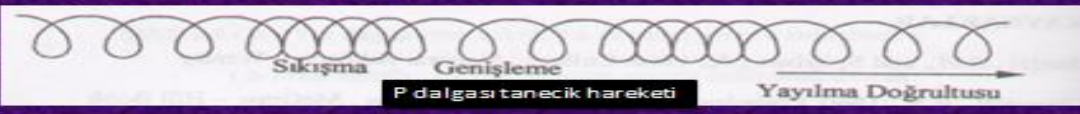
$$v_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\sigma)}}$$


SV (düşey) ve SH (yatay) bileşen

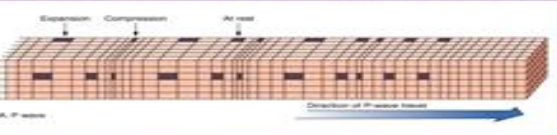
Sekil. S dalgası

P Dalgaları

Boyuna, sıkışma ve birincil dalgalar, Tanecik hareketi yayılım doğrultusundadır. Enerji kaynağından çıkan bir puls elastik ortam içerisinde küresel olarak yayılırken titreşim yapan karaktere sahiptir. Periyodu 1sn'den az olan dalgalardır. Uzak mesafelere de ulaşabilirler



Sıkışma Genişleme P dalgası tanecik hareketi Yayılma Doğrultusu



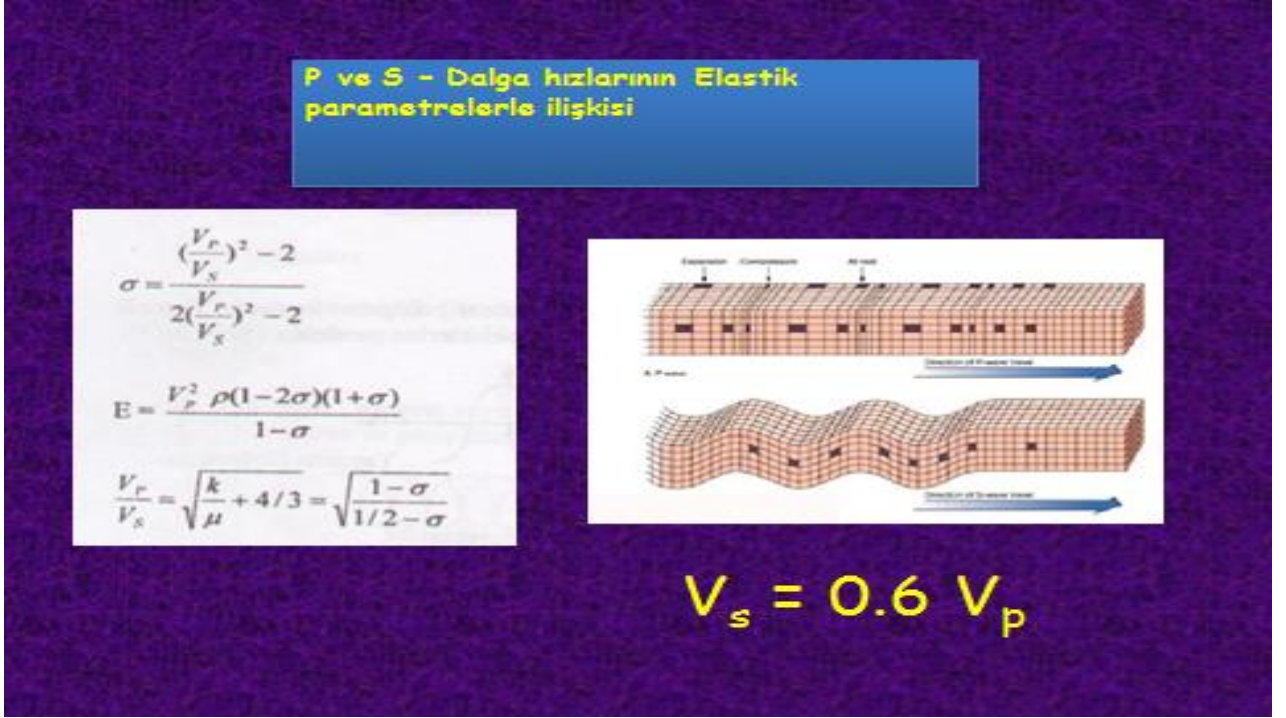
P dalgası hızı bağıntıları

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{k + 4/3\mu}{\rho}}$$
$$v_p = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \sigma}{1 - \sigma - 2\sigma^2}} = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1 - \sigma}{(1 - 2\sigma)(1 + 2\sigma)}}$$

Sekil P dalgası

Zeminin mekanik özellikleri ile sismik dalga hızları (Özellikle S dalga hızı) arasında oldukça iyi ilişkilerin olduğu görülmüştür. En küçük mutlak değerler yöntemi kullanılarak bu ilişkilerin her birinin ampirik bağıntıları bulunmuştur.

Her çeşit zemin için S dalga hızları ile yerin mekanik doğal özellikleri arasında çok yakın ilişkilerin bulunduğu ve S dalga hızlarının mühendislik çalışmalarında kullanımının önemi belirtilmiştir (alttaki şekilde P ve S dalgaları ile zemin elastik parametreleri arasındaki ilişkiler açıklanmıştır).



Sekil. P, S dalgaları ile Zemin parametreleri Arasındaki İlişki

Son yıllarda çok katlı binaların çoğalmasıyla inşaat mühendisliğinde deprem risklerine karşın bina ve zeminlerin dinamik tepkilerinin belirlenmesi amacı ile yapılan çalışmalarda da paralel bir artış gözlenmektedir. Özellikle büyük mühendislik yapılarında dinamik karakteristiklerin belirlenerek titreşim problemlerinin çözümü için sismik P ve S dalga hızlarının belirlenmesi önem taşımaktadır. Yine P ve S dalga hızları sökülebilirlik çalışmalarında kaya ve zeminlerin özellik ve sınırlarının belirlenmesinde bize çok önemli bilgiler vermektedir.

Günümüzde özellikle demiryolu, otoyol, baraj gibi büyük mühendislik projelerinde zemin ve kayaların fiziksel niteliklerini ortaya çıkarmak amacı ile sismik kırılma çalışmaları ve sondajlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Açılan bu sondaj kuyularında değişik derinliklerde genellikle 1.5-2 metre ara ile ve zemin özelliklerinin değiştiği derinliklerde SPT ve Pressiometre gibi deneyler yapılmaktadır.

Yüzeyden yapılan P ve S sismik kırılma çalışmaları özellikle sığ araştırmalarda enerji kaynağı olarak çekiç kullanılarak pratik ve hızlı bir şekilde yapılabildiğinden, ön etütlerde yaygın olarak kullanılan yerinde ölçüm yöntemlerinin başında gelmektedir.

Bu çalışmaların yanı sıra SPT ve Shelby tüpüyle alınan örnekler üzerinde laboratuvarında gerekli deneyler yapılarak zemin sınıfları belirlenmektedir. Örselenmemiş numuneler üzerinde konsolidasyon, serbest basınç, üç eksenli gibi standart deneyler yapılarak zemine ait serbest basınç dayanımı, içsel sürtünme açısı, kohezyon, birim hacim ağırlığı gibi önemli zemin parametreleri belirlenmiştir.

Bu çalışmada çeşitli projeler kapsamında gerçekleştirilen SPT, pressiometre, P ve S dalga hızı ve laboratuvarında yapılan deneylerin sonuçları sistematik bir şekilde toplanarak bu veriler arasındaki ilişkiler incelenmiş ve uygun matematiksel bağıntılar verilmiştir.

Sismik dalga hızları özellikle S dalga hızları ile SPT darbe sayısı, serbest basınç dayanımı ve limit basınç arasında oldukça iyi ilişkiler görülmektedir. Bu verilerin incelenmesi esnasında zeminlerin elastik özellikleri ile ilgili önemli bilgiler elde edilmiştir.

Zeminlerin dinamik davranışı, depremin büyüklüğü ve yapıların kalitesi gibi deprem hasarını etkileyen faktörlerden biridir.

Dalga genliğinin periyoda bağımlı olarak elde edilmesi, yapı-yeri tepkisinin hesaplanması ile olanaklıdır. Bu hesaplama için inceleme yerine ait makaslama dalgası hızlarına ve yeraltı hız dağılımına gereksinim bulunmaktadır.

Zeminin dinamik özellikleri belirlenerek deprem sırasındaki davranışlarını belirlemede S dalgası hız bilgisinden yararlanılır.

Bu dinamik özelliklerin belirlenmesi ile de birçok mühendislik problemin çözümüne (zemin büyütmesi, sıvılaşma, heyelan vb.) katkı sağlanmış olur.

Ayrıca temel kaya derinliği ve üzerinde yer alan tabakaların kalınlıkları belirlenebilir. S dalgası hızı bilgisi ve temel kaya üzerinde bulunan tabakaların kalınlıkları biliniyor ise sismik yer tepkisi belirlenebilir.

Bely ve diğ.(1983) sedimentlerin V_p ve V_s hızlarıyla kohezyon, elastisite modülü, makaslama dayanımı ve içsel sürtünme açısı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır.

Castagne ve diğ. (1985) klastik kayaların P ve S dalga hızları arasındaki ilişkiyi araştırmışlar, V_p/V_s oranının kuru kumtaşları için hemen hemen sabit olduğunu fakat ıslak kumtaşları ve çamurtaşları için V_p 'nin artmasıyla düştüğünü belirtmişlerdir.

Olowofela ve diğ. (2004) kumtaşlarının porozite ve kil miktarı ile kuvvetlice etkilendiğini belirtmişlerdir.

Gaviglio (2005) kireçtaşları içinde P-dalga yayılımından yola çıkarak kireçtaşlarının hız ve yoğunluk ilişkisini belirlemişlerdir.

Sonuç: P ve S dalgalarının hızlarının sayısal değerleri içinde ve ayrıca hız değerlerindeki değişimlere bağlı olarak zemin hakkında bir çok gerekli olan bilgi sağlanabilir hemde 3 boyutlu ve istenilen ayrıntıda (zamansal ve uzaysal olarak).

Ancak V_s hız dağılımının elde edilmesi arazide ekstra çalışmalar gerektirir ve bu konu aşağıda özetlenmiştir

VS Hızı Nasıl Elde Edilebilir.

1. S dalgası hız bilgisi laboratuvar ortamında ve/veya yerinde çalışma olarak tanımlanan dinamik koşullarda (arazi çalışmalarıyla) elde edilebilir.
2. Laboratuvar koşullarında çalışırken dikkat edilmesi gereken konu arazi çalışmaları ile saptanan Vs hız değerleri ile laboratuvarda saptanacak Vs hız değerlerinin birbirinde farklı olma olasılığıdır.
3. Bunun nedeni ortam farklılığından kaynaklanır.
4. Arazi çalışmalarında çalışmalar alansal veya noktasal yapılır.
5. Laboratuvar çalışmalarında hem noktasal olarak hem de yapay ortamda değerlendirmeler yapılır.
6. Zemin sondajlarından elde edilen zemin örneklerinin laboratuvar ortamında doğal hali bozularak statik değerler elde edileceğinden S dalgası hızlarının gerçek değerlerinden farklı değerler olması beklenen sonuç olmalıdır.
7. In-Stiu çalışmalar olarak tanımlanan arazi çalışmalarında ise S dalgası hızının elde edilmesinde sismik kırılma, yüzey dalgası analiz yöntemleri, SPAC ve kuyu sismik çalışmaları yapılır.
8. Kuyu içi sismik çalışmalardan Cross-Hole yöntemi hariç diğer yöntemler alansal olarak çalışır ve sonuç verir.
9. Bu nedenle arazi çalışmaları sonucu gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilir.
10. Mühendislik çalışmalarının kent içinde ve dar alanlarda gerçekleştirilmesi gerektiğinden, hedeflenen araştırma derinliği için sismik kırılma yönteminde gerekli serim uzunluğunu elde etmek her zaman olanaklı olmamaktadır (Bozdağ, 2002).
11. Dikkat edilmesi gereken diğer bir konuda, depreme spektrumu hesaplanırken hem ana kayanın hem de ana kayaya kadar olan zemin tabakalarının Vs hızlarının gerekli olduğudur.
12. Yönetmeliklerde mühendislik çalışmaları için 30 m araştırma derinliği yeterli görülmekte ve genellikle bu derinliğe kadar makaslama dalgası hız kesitinin kırılma yöntemi ile saptanmasında bir sorunla karşılaşılmamaktadır.
13. Yönetmeliklerde tanımlanan bu olay; yapı-yeri tepkisinin hesaplanabilmesi için sismik temel olarak adlandırılan ve S-dalga hızı en az 760 m/sn olan katmana kadar yeraltı geometrisinin ve sismik hızların bilinmesi gerektiğini hesaba katmamaktadır.
14. Ana kaya derinliğinin 30 m den daha derin olduğu durumlarda hem araştırma derinliğine hem de sismik enerji kaynağına bağlı olarak sismik çalışmalar kullanılmalıdır.

15. Gerektiği durumlarda hem yöntem değiştirilerek hem de birden fazla yöntem kullanılarak ana kaya ile ana kaya ve zemin yüzeyi arasında kalan zemin tabakalarının Vs hızı araştırılmalıdır.
16. Ayrıca ana kaya – zemin ara yüzeyinin yanal yönlü değişimleri de deprem etkisi yönünden önemlidir ve araştırılması gerekir
17. Dinamik yük altında zemin davranışlarının önceden kestirilebilmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımı için son derece önemlidir.
18. Dalga genliğinin periyoda bağımlı olarak elde edilmesi, yapı-yeri tepkisinin hesaplanması ile olanaklıdır. Bu hesaplama için inceleme yerine ait S dalga hızı yapısına gereksinim bulunmaktadır.
19. Ana kaya-Zemin yüzeyi arasında kalan ortamın Vs hız bilgisine ulaşıldığı zaman sismik zemin büyütmesi, zeminin dinamik parametreleri ile deprem yer tepkisi modellenir ve sismik risk bölgeleme haritaları oluşturulur.
20. Tüm bu işlemlerin sağlıklı olabilmesi için Vs hızının arazi çalışmaları ile dinamik koşullarda ve gerekli olan derinliğe kadar elde edilmesi gerekir.

Vs Hızı Arazide Ölçüm Yöntemleri

1. Jeofizik Yöntemler

a. Sismik Yöntemler

a.1 Sismik Kırılma: Sismik kırılma yöntemi yüzeyden yapılan çalışmalarda özellikle sık etütlerde, sinyal biriktirmeli cihazların gelişimi ile basit ve hızlı ölçü alınmasına olanak sağladığından ve uygun enerji kaynağı (Balyoz, hidrolik çekiç, shot-gun) arazi çalışmaları yapılır. Uygun koşullarda V_p ve V_s hız değerleri hesaplanabilir.

Dezavantajları:

Enerji kaynağının seçimi

Şehir içinde uygulama zorluğu

Alansal ölçü olduğu için inilecek derinliğe bağlı olarak yeterli serim uzunluğunun sağlanmasındaki zorluklar.

Düşük hız zonu içeren yumuşak zeminlerde uzun ölçüm profillerine ve dinamit gibi büyük enerji kaynaklarına gereksinim duyulması nedeniyle uygulama olanağı zordur.

b. Yüzey Dalgaları Analiz Yöntemi

Aktif veya passive enerji kaynakları kullanılarak elde edilen kayıtlardan, düşük frekanslarda, uzun dalga boyları ile seyahat eden yüzey dalgalarından hesaplanan dispersiyon bilgisine uygulanan ters çözüm ile S dalgası hızı belirlenebilir. Ayrıca düşük hızlı tabakalardan etkilenmez.

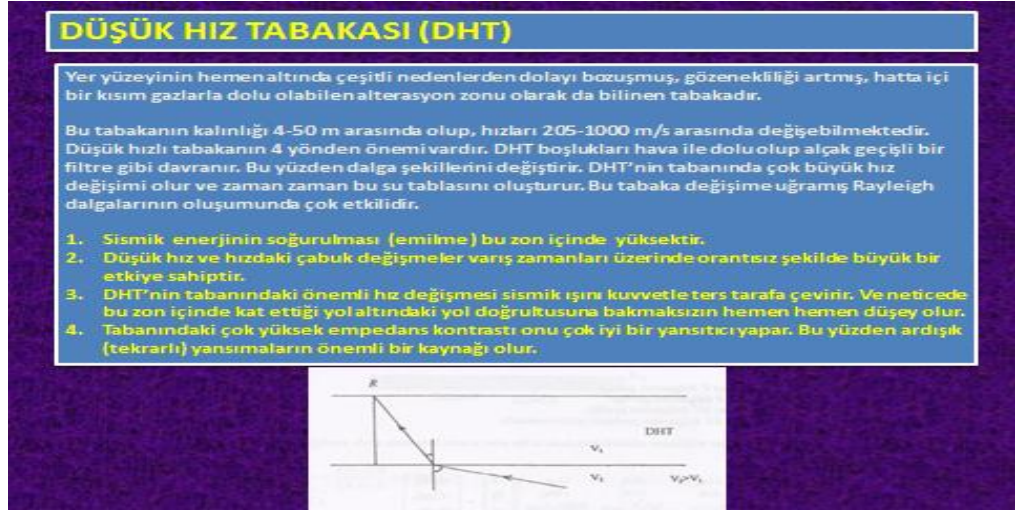
Dezavantajları:

enerji kaynağı uygun olmalı

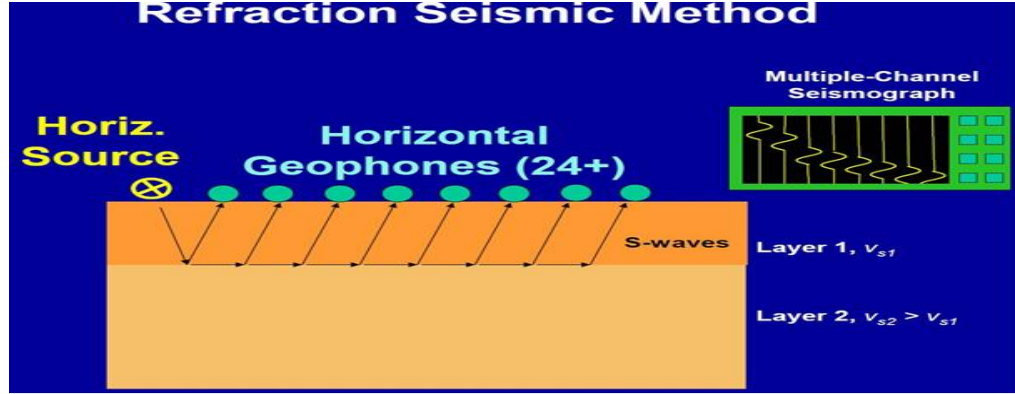
Uygun ekipman kullanılması (4.5 hz. Jeofon ve en az 24 kanallı alıcı)
Serim boyunun inilecek derinliğe bağlı olarak seçilmesi
Alansal sonuç vermesi

Veri değerlendirmesinde temel mod ve high modların birlikte değerlendirme zorlukları. (ince tabaka ayrıntıları high modlarda gizlidir)

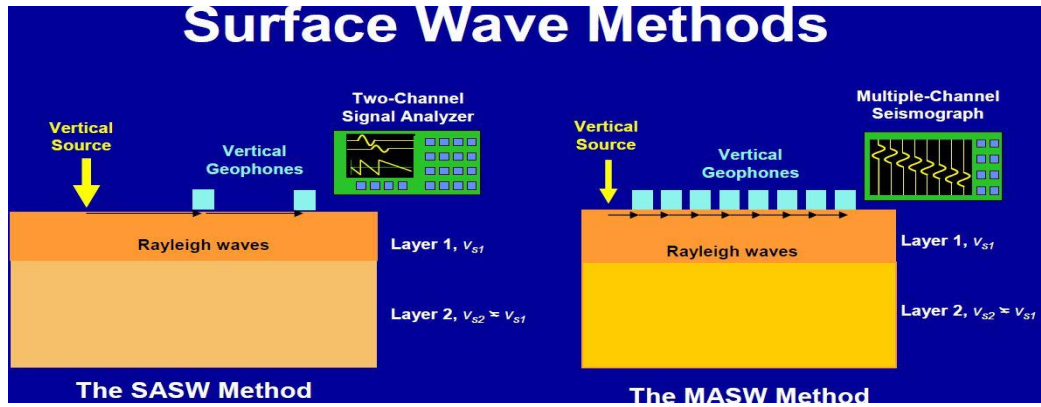
Aşağıdaki şekillerde sismik kırılma, düşük hızlı tabaka ve MASW ilkeleri özetlenmiştir



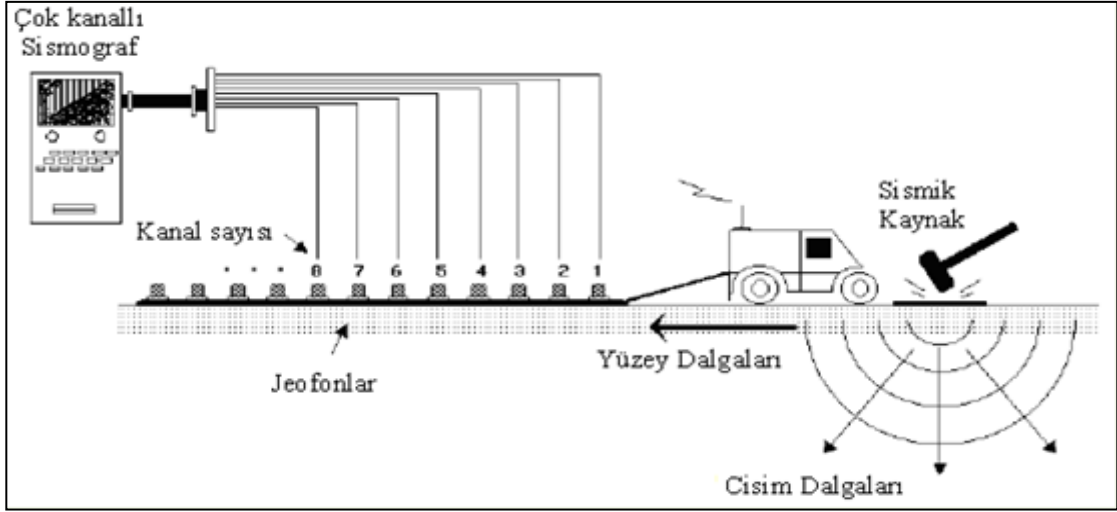
Sekil. Düşük Hızlı Tabaka Etkisi



Sekil. Sismik Kırılma Çalışması



Sekil. Yüzey Dalgası Analiz Yöntemleri



Sekil. Çok Kanallı Yüzey Dalgası (MASW) Veri Toplama İlkeleri

c. Kuyu içi sismik çalışmalar

zemin yüzeyinde bir noktada düşey yönde istenilen derinliğe kadar açılmış, iç çapı ortalama 10 cm olan plastik boru ile borulanmış ve boru ile kuyu arası çimento ile doldurulmuş kuyularda uygun ekipman kullanılarak V_p ve V_s hız değişimlerinin kuyu derinliği-zaman grafiklerinden elde edilmesi amacıyla yapılır. Ölçü alma teknikleri aşağıda verilmiştir.

c.1. Down-Hole Çalışması

Tek kuyuda ölçü alınır. Enerji kaynağı kuyu başında sabit ve hidrofonlar kuyu içinde hareketli konumda ölçü alınır. Kuyu derinliği-zaman grafiğinden Hız bulunur.

Uygulamada dikkat edilmesi gereken konular:

- Kuyunun borulanma ve çimentolanması sırasında oluşan olaylar (boşluk kalması, borunun iyi çimentolanmaması, kuyu eğimi vd.)
- Ölçü alırken kullanılan ekipmanın denetlenmesinde yaşanacak aksamlar (V_p ve V_s hızlarına uygun kuyu içinde hidrofonların yönlendirilmesi gerekir)
- Enerji kaynağının kuyu derinliğine uygun olması.
- V_p ve V_s hızlarına uygun enerji kaynağı kullanılması
- Kayıtlardaki ilk varış zamanlarının belirgin olarak izlenememesi
- Sinyal/gürültü oranına dikkat edilmesi
- Rezidüel veya rejyonel amaca uygun aralıklarda ölçü alınması

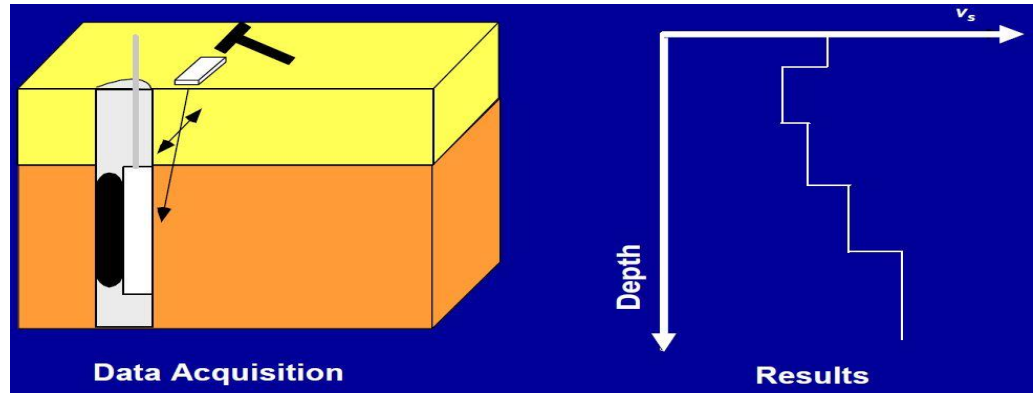
- h. İnerken ve çıkarken de ölçü alınması

c2. Up-Hole Çalışması

Tek kuyuda ölçü alınır. Enerji kaynağı kuyu içinde ve kuyunun dip noktasına uygulanır ve hidrofonlar kuyu içinde hareketlidir. Kuyu derinliği-zaman grafiğinden Hız bulunur.

Uygulamada dikkat edilmesi gereken konular:

- a. Kuyunun borulanma ve çimentolanması sırasında oluşan olaylar (boşluk kalması, borunun iyi çimentolanmaması, kuyu eğimi vd. gibi)
- b. Ölçü alırken kullanılan ekipmanın denetlenmesinde yaşanacak aksamlar (V_p ve V_s hızlarına uygun kuyu içinde hidrofonların yönlendirilmesi gerekir)
- c. Enerji kaynağının kuyu derinliğine uygun olması.
- d. V_p ve V_s hızlarına uygun enerji kaynağı kullanılması
- e. Kayıtlardaki ilk varış zamanlarının belirgin olarak izlenememesi
- f. Sinyal/gürültü oranına dikkat edilmesi
- g. Rezidüel veya rejyonel amaca uygun aralıklarda ölçü alınması
- h. İnerken ve çıkarken de ölçü alınması



Şekil . Up-Hole ve Down-Hole Kuyu İçi Sismik Ölçümü

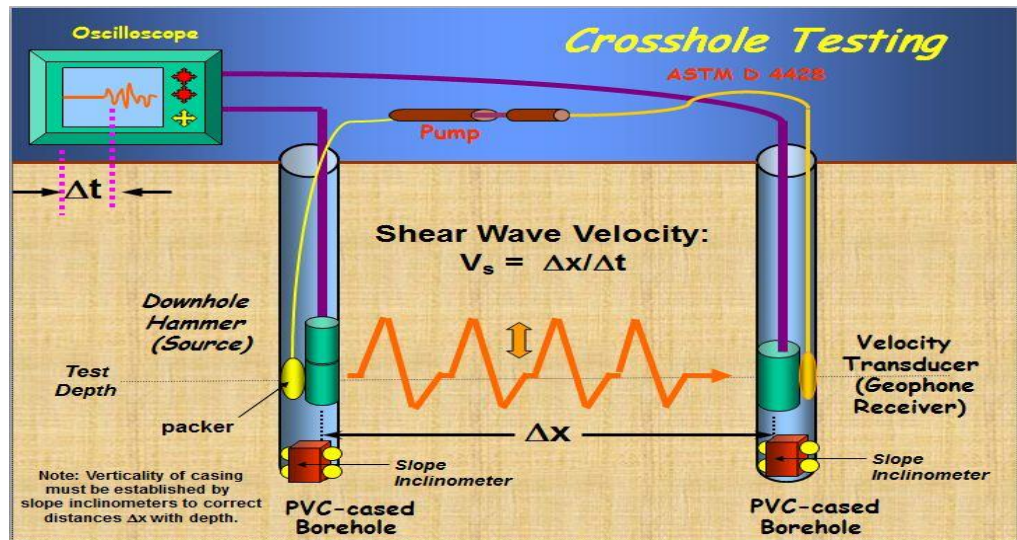
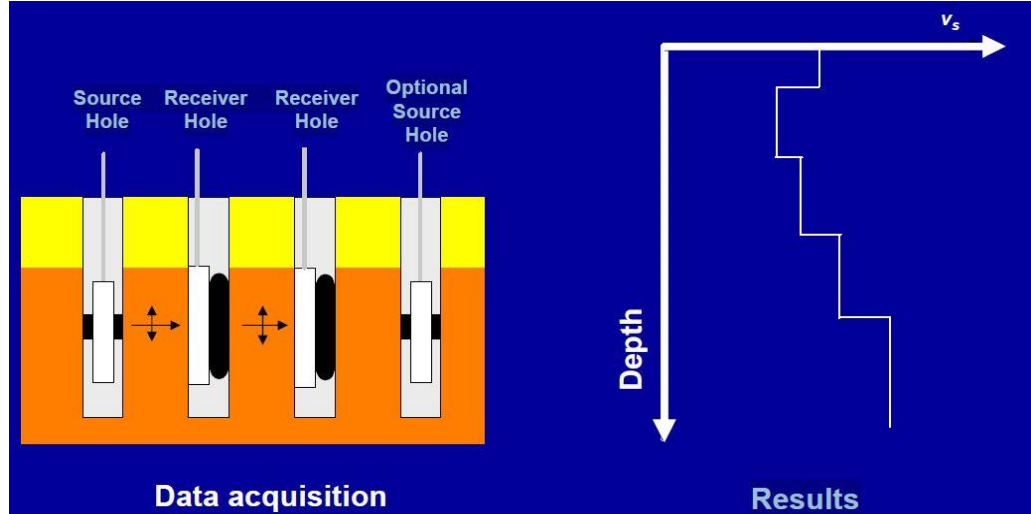
c3. Cross-Hole Çalışması

Aynı anda iki kuyuda ölçü alınması gerekir. Kuyular birbirine yakın olmalıdır. Enerji kaynağı bir kuyuda, hidrofonlar diğer kuyuda ve karşılıklı olarak hareket halinde ölçü alınır. Kuyu derinliği-zaman grafiğinden Hız bulunur.

Uygulamada dikkat edilmesi gereken konular:

- a. Kuyular arasındaki uzaklığın uygun olması

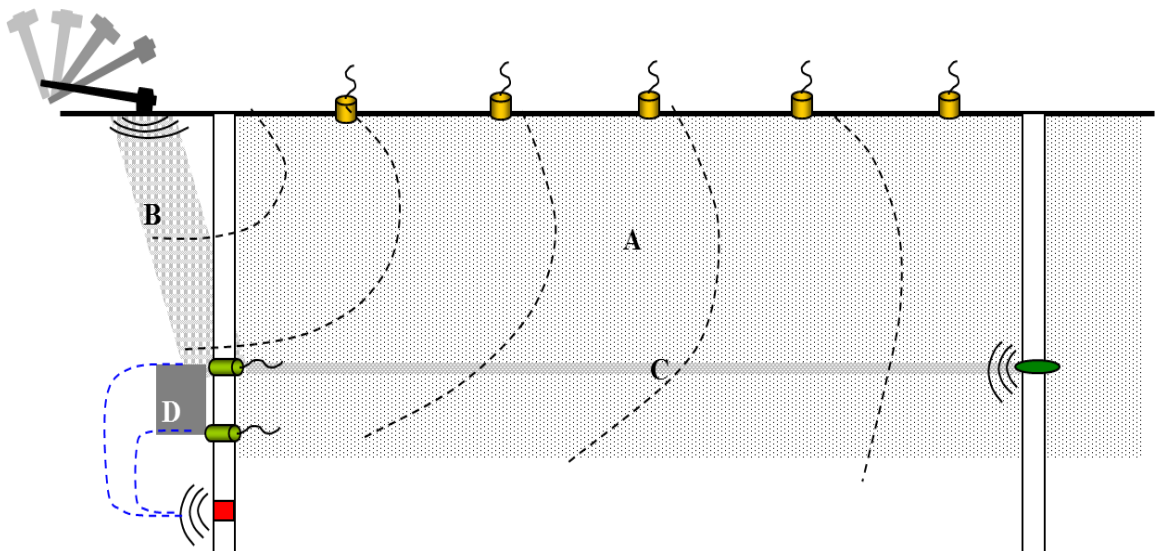
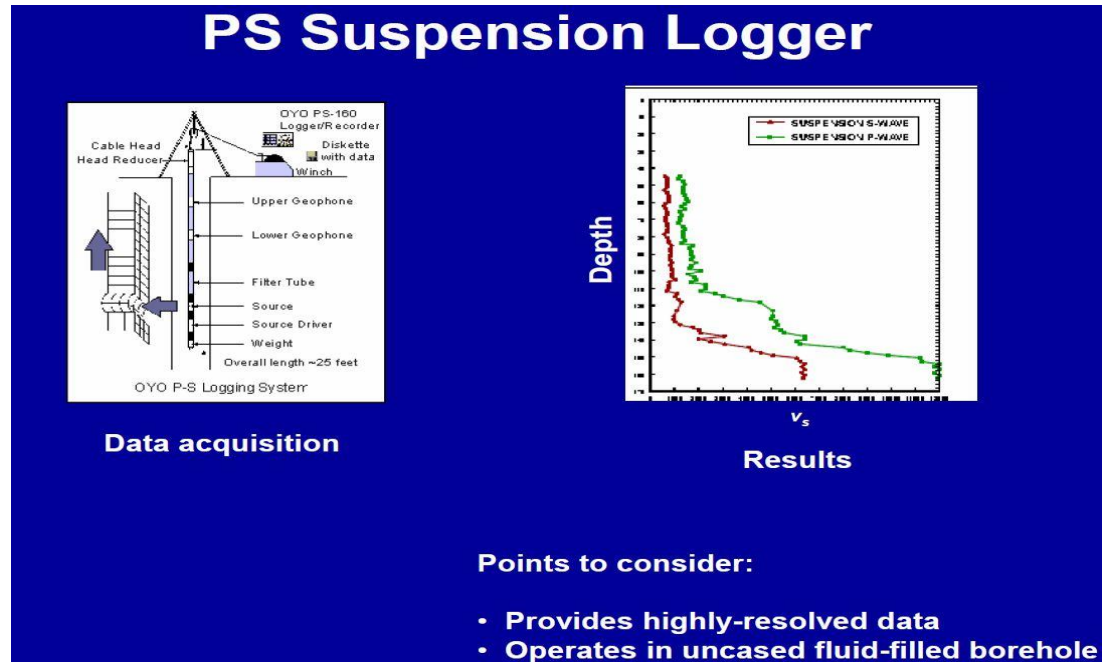
- b. Kuyunun borulanma ve çimentolanması sırasında oluşan olaylar (boşluk kalması, borunun iyi çimentolanmaması, kuyu eğimi vd. gibi)
- c. Ölçü alırken kullanılan ekipmanın denetlenmesinde yaşanacak aksamalar (V_p ve V_s hızlarına uygun kuyu içinde hidrof fonların yönlendirilmesi gerekir)
- d. Enerji kaynağının kuyu derinliğine uygun olması.
- e. V_p ve V_s hızlarına uygun enerji kaynağı kullanılması
- f. Kayıtlardaki ilk varış zamanlarının belirgin olarak izlenememesi
- g. Sinyal/gürültü oranına dikkat edilmesi
- h. Rezidüel veya rejyonel amaca uygun aralıklarda ölçü alınması
- i. İnerken ve çıkarken de ölçü alınması



Sekil. Cross-Hole Kuyu İçi Sismik Çalışma

c4. PS Logging

- The entire probe is lowered into the borehole filled with water
- The separation of the two receivers is one meter
- Average wave velocity is determined by inversion of the wave travel time between the two receivers.



- Path A – surface wave and seismic refraction
- Path B – downhole and uphole
- Path C – crosshole
- Path D – suspension P-S logging

Sekil. PS Logging Ölçü Alma İşlemi

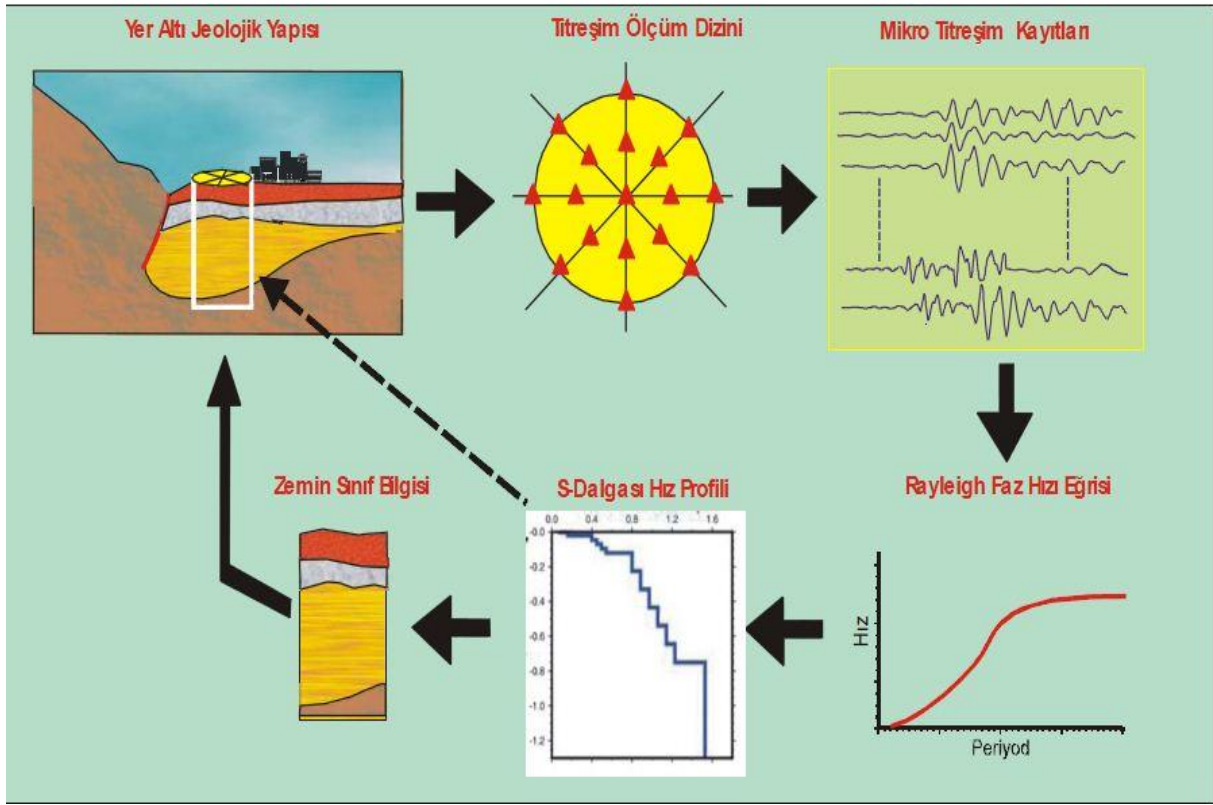
d. Microtremor Dizilim Yöntemi (SPAC)

SPAC yöntemi ilk olarak Aki (1957) tarafından yüzey dalgalarından faz hızını belirlemek için kullanılmıştır. Aki, tüm yönlerden gelen izotropik dalgalar olarak adlandırdığı titreşimlerden aldığı kayıtlarla yakın yüzey yer yapısını belirlemeye çalışmıştır. SPAC yönteminin temel ilkeleri;

1. Titreşimlerin karmaşık dalga hareketlerinin, zamanda ve uzayda yapılan stokastik bir işlem olduğu düşünülen bir yöntemdir.
2. Dairesel dizilimle belirlenen titreşim verisi için, uzaysal özilişki katsayısı, yüzey dalgaları gibi dispersif olan titreşimlerin oluşturduğu dalgalarla tanımlanabilir.
3. Uzaysal özilişki katsayısı, faz hızı ve frekansın bir fonksiyonudur.

Yöntem uygulanırken dikkat edilmesi gerekenler.

- a. GPS ölçümüne göre zaman hesaplaması
- b. Dairelerin yarıçapları hesaplanırken cm mertebesinde hata olmalı
- c. Ölçü alan süresine dikkat edilmeli
- d. Daire yarıçapları araştırma derinliğine uygun olmalı
- e. Daire üzerindeki ölçüm çember sayısı tabaka ayrıntısına uygun olmalı. Minimum 3 çember olmalı.
- f. Ölçüm aletlerinin hız ölçer ve frekanslarının uygun olması sağlanmalıdır.



Şekil SPAC Ölçü Alma Sistemi

2. Kuyu İçi Deney Yöntemleri

2.1. Standart Penetrasyon Deneyi

Özellikle kohezyonsuz zeminlerin yaklaşık yerinde göreceli sıklığını saptamak için geliştirilmiş olan bir deney yöntemidir. SPT deneyleri sondaj kuyularında (51mm.) dış çaplı standart bir örnek alıcı (76 cm.) yükseklikten (63.5 kg.) ağırlığındaki bir şahmerdan düşürülerek tekrarlanan darbeleri ile zemine (45 cm.) sokulur. Bu darbeler tijin üstünde yer alan çakma başlığı sayesinde kuyu tabanındaki örnek alıcıya iletilmektedir. Sadece son 30 cm.' lik standart penetrasyon değerleri (N değeri) olarak kullanılır. 45 cm.' lik çakma sırasında her 15 cm.' lik çakma için darbe adetlerinin sayılması iyi bir uygulama şeklidir. Bu şekilde kuyu tabanındaki değişik özellikteki zeminin derinliği daha sağlıklı belirlenir. Çakma işlemini zorlaştıran çakıl, blok veya çimentolaşmış yerler saptanır. SPT dalga sayıları belirlendikten sonra kuyudan takımla beraber tüp çıkarılır ve açılarak içindeki zemin çeşidi belirlenir. Zemin örneği bir kavanoza konularak ağzı sıkıca kapatılır ve parafinlenir. Bu örnek üzerinde laboratuvarında çeşitli deneyler yapılarak zemin sınıfı belirlenir.

Standart Penetrasyon Testi (SPT), zemin mukavemet ve yoğunluğunu değerlendirmek ve örselenmiş örnek almak amacıyla sondaj kuyusu içinde (in situ) yapılan bir dinamik kesme deneyidir. Deneyde standart bir sempler zemine sokulmaya çalışılarak zeminin bu sokulmaya karşı gösterdiği direnç bazı hesaplamalarla saptanabilmektedir.

Kohezyonsuz zeminlerden standart ve klasik numune alıcılarla örselenmemiş örnek almak hemen hemen olanaksız olduğu için bu tip zeminlerin mühendislik özellikleri laboratuvar deneyleri ile belirlenememekte, bu yüzden bu tür zeminlerde SPT gibi arazi deneyleri tercih edilmektedir. Deney öncelikle kohezyonsuz zeminlerin izafi yoğunluklarını belirlemek için geliştirilmiş olup daha sonraları yumuşak killerde de uygulanmakla birlikte, killi zeminlerin deneyde belirlenen dinamik özelliklerine ilişkin sonuçlar pek güvenilir olmamaktadır.

SPT Deneyinin Amacı

Kohezyonsuz zeminlerin izafi yoğunluklarını belirlemek,

Sığ temeller için zeminlerin taşıma kapasitelerinin hesaplanması,

Zeminlerin indeks özelliklerini belirlemeye yönelik laboratuvar deneyleri için örselenmiş örnek almak,

Kumların sıkıştırılma (kompaksiyon) derecelerinin belirlenmesinde ve sıvılaşıma potansiyelinin değerlendirilmesinde,

SPT'den elde edilen verilerin zeminlerin diğer özellikleri ile karşılaştırılması sonucunda ;

Kumların içsel sürtünme açısı (θ)

2.2. Pressiometre Denevi

Pressiometre deneyleri ile zeminlerin yerinde elastisite modülleri, taşıma gücü, temel oturmaları ile değişik zemin parametreleri hesaplanabilmektedir. Sondaj deliğine indirilen bir sonda ile oluşturulan radyal basınçların kuyu çeperinde yol açtığı deformasyonlara karşılık gelen hacim-basınç grafiğinin belirlenmesi Pressiometre cihazının başlıca çalışma prensibidir. Pressiometre cihazının başlıca 3 bölümü bulunmaktadır. Bunlar, yerüstü ölçme cihazları, sonda (Prob) ve basınç ileten plastik borulardır. Günümüzde geliştirilmiş Pressiometre cihazları ile 70 kg/cm² 'ye kadar efektif basınç uygulayarak 5-200000kg/cm² arasındaki zemin ve kayaların deformasyon modülünü ölçebiliriz.

Pressiometre her cins zeminlerde ve yumuşak kaya formasyonlarda kullanılır. Aynı prensip ile çalışan Dilatometre denilen cihazlar ise yumuşak ve en sert kayalarda kullanılır. Pressiometre deneyleri ile zeminlerin yerinde elastisite modülleri, taşıma gücü, temel oturmaları ile değişik zemin parametreleri hesaplanabilmektedir. Sondaj deliğine indirilen bir sonda ile oluşturulan radyal basınçların kuyu çeperinde yol açtığı deformasyonlara karşılık gelen hacim-basınç grafiğinin belirlenmesi Pressiometre cihazının başlıca çalışma prensibidir.

Pressiometre cihazının başlıca 3 bölümü bulunmaktadır. Bunlar, yerüstü ölçme cihazları, sonda (Prob) ve basınç ileten plastik borulardır. Günümüzde geliştirilmiş Pressiometre cihazları ile 100 kg/cm² 'ye kadar efektif basınç uygulayarak 5-200000kg/cm² arasındaki zemin ve kayaların deformasyon modülünü ölçebiliriz. Pressiometre her cins zeminlerde ve yumuşak kaya formasyonlarda kullanılır.

Pressiometre deneyleri uygulama açısından iki şekilde yapılır.

* Basınç kontrollü (PC) ve Deformasyon kontrollü (DC)

* Basınç kontrollü: Bu halde pressiometre sondasına düzgün kademeler halinde basınç uygulanır, bu basınç altında sondanın radyal deformasyonları ölçülerek basınç deformasyon eğrisi çizilir.

* Deformasyon kontrollü: Bu halde ise sondanın maksimum radyal deformasyon değerine düzgün kademeler halinde (örneğin 0,05; 0,15; 0,20) gelinir. Her deformasyon kademesinde sondaya verilen basınç saptanır ve basınç-deformasyon eğrisi çizilir.

Avantajları:

- Her türlü zeminde kullanılır.
- Sondaj kuyusundan numune alınabiliniz.
- Böylece zemin cinsi önceden bulunur.
- Deney çabuk yapılır.

- Kuyu cidarı bozulmaz.
- Ucuzdur.

Pressiometre deneyleri ile zeminlerin yerinde elastisite modülleri, taşıma gücü, temel oturumları ile değişik zemin parametreleri hesaplanabilmektedir.

Sondaj deliğine indirilen bir sonda ile oluşturulan radyal basınçların kuyu çeperinde yol açtığı deformasyonlara karşılık gelen hacim-basınç grafiğinin belirlenmesi Pressiometre cihazının başlıca çalışma prensibidir.

Pressiometre cihazının başlıca 3 bölümü bulunmaktadır.

1. yerüstü ölçme cihazları
2. sonda (Prob) ve
3. basınç ileten plastik borulardır.

Günümüzde geliştirilmiş Pressiometre cihazları ile 70 kg/cm² 'ye kadar efektif basınç uygulayarak 5-200000kg/cm² arasındaki zemin ve kayaların deformasyon modülünü ölçebiliriz.

Pressiometre her cins zeminlerde ve yumuşak kaya formasyonlarda kullanılır. Aynı prensip ile çalışan Dilatometre denilen cihazlar ise yumuşak ve en sert kayalarda kullanılır.



Sekil. Pressiometre Uygulaması

2.3. CPT Deneyi

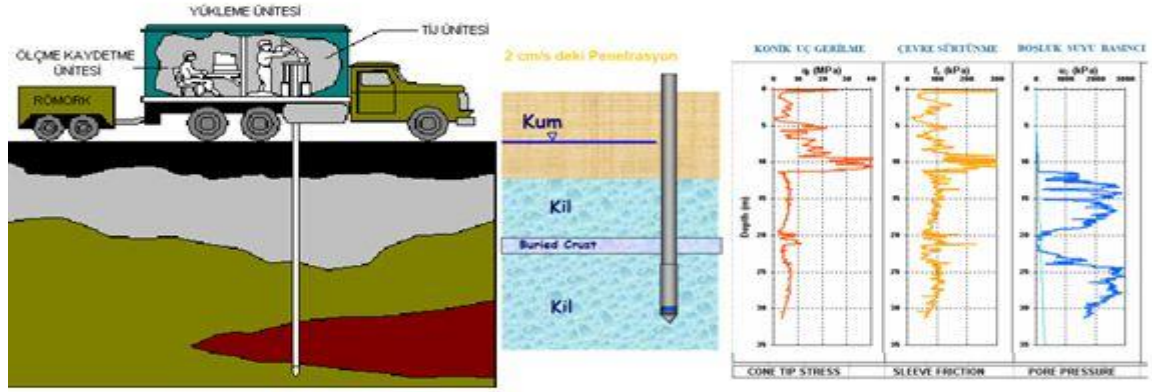
Deneyin esas tepe açısı 60°, plandaki izdüşümü alanı 10 cm² ve çevre alanı 150 cm² olan bir metal konik ucun 10/20 ton kapasiteli bir hidrolik baskı ile 2 cm/sn sabit hızla zemine penetre edilmesidir. Bu penetrasyon sırasında 2 cm ara ile ölçülen uç ve çevre mukavemeti verileri elektronik alıcı aracılığı ile bilgisayara kaydedilmektedir. Deney; kısa zamanda istenilen sayıda tekrarlanabilmekte, zemin parametreleri numune alınmasına ve laboratuvar çalışmasına gerek duyulmadan elde edilebilmektedir. Deneyin yapılmasının ve sonuçların yorumlanmasının diğer yöntemlere göre daha az zaman alması iş gücü ve maliyet açısından avantaj sağlamaktadır.

Araştırmanın amacına göre CPT ekipmanı, ilave sensörler ve/veya elemanlar aracılığı ile farklı zemin parametrelerinin belirlenmesine de olanak sağlamaktadır. Konik ucun

arkasında yaralan 7.5 cm^2 kesit alanlı poroz bir eleman sayesinde boşluk suyu basıncı ölçülebilmektedir.

Uç mukavemeti ve çevre sürtünmesi ile aynı anda sismik ölçümlerin de alınmasını sağlayan özel bir "seismiccone" bulunmaktadır. "Seismiccone" içerisine yerleştirilmiş yatayda iki yönde (x,y) ve düşeyde bir yönde (z) üçlü bir jeofon sistemine sahip bir sismometre aracılığı ile istenilen derinlikte kayma dalgası hızı, V_s ve basınç dalgası hızı, V_p ölçülebilmektedir.

Koni penetrasyon deneyi verileri ile zemin tabakaları hassas bir şekilde tanımlanmakta ve deney sonuçları kullanılarak zeminlerin mühendislik parametreleri (efektif gerilme, drenajsız kayma mukavemeti, içsel sürtünme açısı, izafi sıkılık, konsolidasyon katsayısı vs.) belirlenebilmektedir. Böylece zeminlerin taşıma, oturma, kazık kapasitesi, sıvılaşma vs. analizleri yapılabilmekte olup kullanımı ve test yöntemi ISSMFE (International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1989) tarafından ve ASTM'de (D 5778-95(2000)) önerilmektedir.



Sekil. CPT Deneyi

2.4. SCPT Deneyi

Temel zemininin geodinamik özelliklerinin derinlikle değişimi sismik statik penetrasyon (SCPT) deneyleri ile gerçekleştirilir. Sismik kuyu içi metotların CPT deneyi ile birlikte gerçekleştirilmesi, temel zeminlerinin stratigrafik, mukavemet ve dinamik özelliklerinin belirlenmesinde çok hızlı, güvenilir ve ekonomik bir araçtır.

Sondalama 10 cm^2 konik uç ve 150 cm^2 çevre alanına sahip 60° açılı elektronik bir konik ucun 10 ton kapasiteli bir hidrolik baskı yoluyla 2 cm/sn sabit hızla zemine penetre edilmesi ile yapılmaktadır. Bu penetrasyon sırasında 2 cm ara ile ölçülen uç ve çevre mukavemeti verileri bilgisayarda kaydedilmektedir. Boşluk suyu basınçlarının ölçümünde kullanılan "piezocone" elemanı, uç mukavemetinin kaydedildiği konik ucun hemen arkasında, 7.5 cm^2 kesit elemanlı poroz bir elemana sahiptir. Buna ilaveten, penetrometre konik ucunun hemen arkasında birbirine 1.0 m ara mesafe ile yerleştirilmiş olan, yatayda iki yönde (x,y) ve düşeyde bir yönde (z) üçlü bir jeofon sistemine sahip iki sismometre aracılığı ile kayma dalgası hızı, V_s ve basınç dalgası hızı, V_p arzu edilen derinlikte ölçülebilmektedir.

ZEMİN ÇALIŞMALARINDA **KULLANILAN JEOFİZİK** **YÖNTEMLER**

Sismik Dalga Yayınımı Genel Tanımlar

Katların Elastik Karakteristikleri

Sismik Dalgalar Ve Genel Özellikleri

Dalga çeşitleri

Sismik Dalgaların Yayılım Geometrisi İle İlgili Genel Tanımlar

Sismik Çalışmalarda Kullanılan Ölçü Alma Teknikleri

Yansımaya – Kırılma – Yüzey dalgaları Analizleri

Mikrotremor Çalışmaları

SPAC Çalışmaları

I. ZEMİN ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER

Vp ve Vs Hızlarının Elde Edilmesini Yönelik Sismik yansıma, Kırılma ve MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) Çalışmaları yapılır. Bu yöntemlerle ilgili genel bağıntılar ve fiziksel kuramlar aşağıda açıklanmıştır.

I.1. Sismik Çalışmalar

I.1.1 GENEL TANIMLAR

I.1.1.1. Sismik Dalga Yayınımı Genel Tanımlar

Sismik araştırmaların temelini sismik dalgaların yayılma özellikleri oluşturur. Sismik dalganın yayılımını anlamak için, yayılım karakteristiklerini kontrol eden temel fiziksel prensiplerin bilinmesi gerekir. Söz konusu fiziksel prensipler aşağıda tanımlanmıştır.

- ✓ Yayınımın yer materyalleri içinde meydana gelmesi
- ✓ İletilmesi
- ✓ yutulması (absorbsiyon)
- ✓ azalması (sönüm)
- ✓ süreksizliklerde yansıması
- ✓ kırılması
- ✓ difraksiyonu (saçılma)

Sonuç olarak sismik dalgalar (elastik dalgalar) yayındıkları ortamdan etkilendiği gibi yayıldıkları materyalin şeklinin bozulmasına (deformasyona) neden olurlar.

Katıların Elastik Karakteristikleri

Sismik dalga yayılımı kayaçların elastik özelliklerine bağlıdır. Katı bir cismin şekil ve büyüklüğü onun dış yüzeyine uygulanan kuvvetlerle değiştirilebilir. Bu dış kuvvetlere, şekil ve hacim değişmelerine direnç gösteren iç kuvvetler tarafından karşı konulur. Şekil ve hacim olarak bu değişmelere karşı koymak ve dış kuvvetler kaldırıldığı zaman, deforme olmadığı şartlara geri dönüş özelliğine "elastisite" denir.

Elastisite Teorisi: Cismin dış yüzeyine uygulanan ve değişmeler meydana getiren kuvvetlerle ilgilidir.

Gerilme (Stress): Elastik yer değiştirme ile ilgili birim alandaki kuvettir. Bir cisme uygulanan kuvvetin, alana oranıdır (F/A).

Deformasyon (Strain): Bir elastik cisim gerilmelere maruz kaldığında şekil ve boyutlarında değişmeler oluşur. Bu değişmelere "deformasyon" denir.

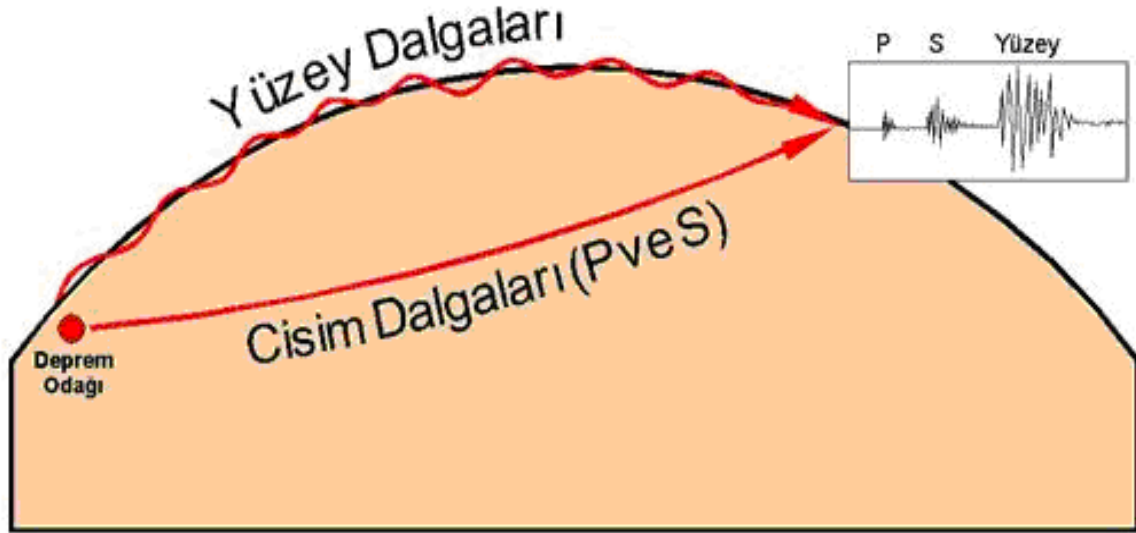
Sismik Dalgalar Ve Genel Özellikleri

Elastik bir ortamda meydana gelecek dalga hareketi genel olarak klasik dalga denklemi ile verilir. Dalga hareketi, Strain; enine ve rotasyonel olmak üzere iki şekilde deformasyon sonucu oluşur. Dalga hareketi denklemi çözüldüğünde her iki deformasyonun, kendi alanına bağlı olarak kaynaktan dışa doğru olduğu görülür.

Sismik dalgacık, sismik enerji kaynağından çıkıp yer içinden geçerek alıcıya (jeofona) gelirken bir tek parçacığının çizdiği şekil olarak tanımlanabilir. Normalde sismik enerjinin çizdiği yol üzerinde geçilen her tabakanın homojen, izotrop ve tam elastik olduğu var sayılır.

Yer içinde homojen, izotrop ve tam elastik ortamda geometrik optiğin temel yasalarına uyarak 2 tür sismik dalga yayılır. Bunlarda kendi içinde 2'ye ayrılarak 4 tür sismik dalga yer içinde yayılmış olur. Yani bir sismografin kaydettiği sismogramda 4 çeşitli dalga görülür. Bunlardan bir kısmı yeryüzünde, bir kısmı yer içinde yayılırlar. Yer içinde yayılan dalgalar (P) boyuna ve (S) enine dalgalardır. Bunlar cisim dalgaları olarak adlandırılırlar. Yüzeysel dalgaları olarak bilinen Rayleigh ve Love dalgaları yüzeysel boyunca yayılırlar (Şekil-1).

Sınırsız homojen ortamlarda yayılan dalgalar cisim dalgalarıdır. Eğer ortam çökel kayalardan oluşmuş veya serbest bir yüzeyle sahip ise yüzeysel dalgaları oluşur. Sismik dalgaların hızları aralarında genel olarak $P>S>L>R$ şeklinde ilişki vardır..



(Şekil-1: sismik dalgalar, <http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem/dalga-yayilma.gif>)

Yüzeysel ve cisim dalgalarının genliklerinin uzaklıkla değişimi doğrusaldır.

	<u>Cisim Dalgaları</u>	<u>Yüzeysel Dalgaları</u>
Genlik(A)	$\propto \frac{1}{r}$	$\propto \frac{1}{(r)^{\frac{1}{2}}}$

Cisim Dalgaları

Yer içine yayılan dalgalardır. Cisim dalgaları boyuna ve enine dalgalar olmak üzere ikiye ayrılır;

Boyuna Dalgalar (P)

Boyuna dalgalar, sıkışma, hacim, basınç veya ilk (primary) dalgalar olarak adlandırılırlar ve sismikte " V_p " sismolojide α dalgası şeklinde ifade edilirler. Partiküllerin titreşim doğrultusu dalga yayılım doğrultusuna paraleldir.(şekil-2). Dalga yayılımında hacim değişikliğiyle birlikte şekil değişimi de oluşur. Bu şekil değişimi sırasında cisimleri oluşturan dik açılar değişmez. Dalga cepheleri şeklinde yayılırken, iki sıkışma veya iki genişleme dalgaları arasında bir dalga boyuna sahiptirler. İçinden geçtikleri cisimlerin zerrelerini birbirine yaklaştırır ve uzaklaştırırlar. Bu nedenle kompresyon veya dilatasyon dalgaları adı ile anılırlar.

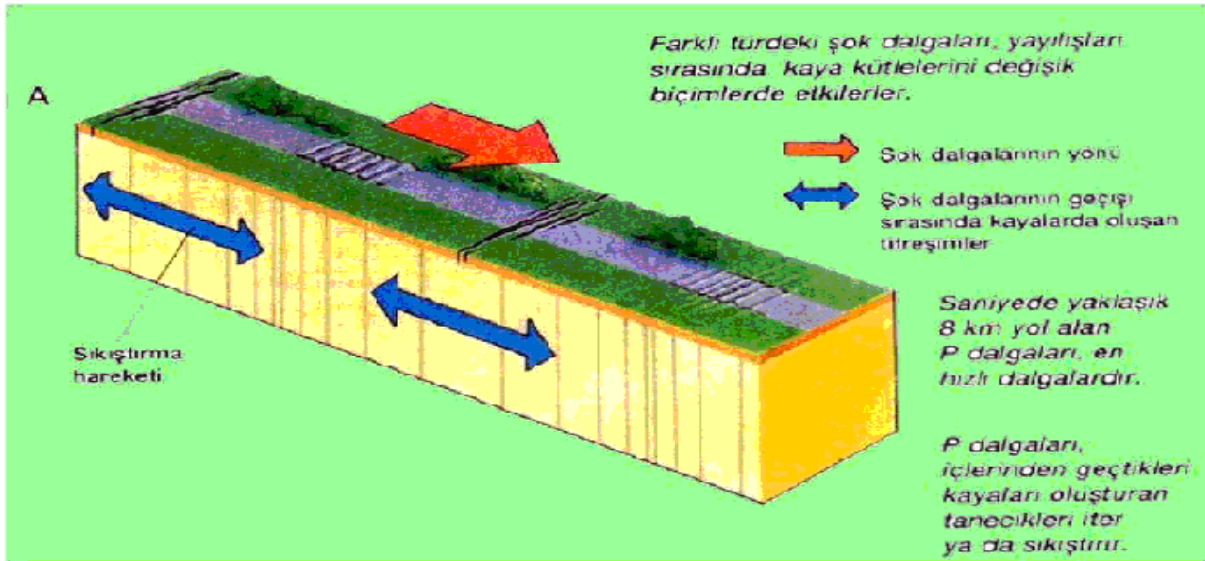
Boyuna dalgalar Sıvı ve gaz gibi rijid olmayan maddeler içerisinde de yayılırlar. Havaya geçtiklerinde ses dalgası formunu alırlar ve 340 (m/s) hızla yayılırlar. Depremlerde duyduğumuz sesin kaynağıdır. Sıvılarda ise 1500 (m/s) hızla yayılırlar. En hızlı dalgalar olduklarından deprem kayıtlarında (sismogramlarda) en önce kaydedilir. Çok büyük depremler veya deprem merkezine çok yakın yerler dışında yıkıma neden olmazlar.

P dalgaları V_p hızı ile yayılır. Bu V_p hızı;

$$V_p = \left(\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ bağıntısı ile bulunur.} \quad (1)$$

Burada; K Bulk (sıkışmazlık) Modülü, ρ = Yoğunluk ve μ = Kesme modülü (Rijitide modülü) cismin katılığının ölçüsüdür.

1 denklemden anlaşılacağı üzere yoğunluk (ρ) arttıkça V_p hızı azalır. Fakat yer içine doğru inildikçe yoğunluk artmasına rağmen V_p hızı artış gösterir, bunun nedeni K ve μ 'nün yoğunluktan daha hızlı artış göstermesidir. Yüzeyle dik kuvvetler basınç Paralel kuvvetler ise kesme kuvveti oluşturur. Kesme kuvveti şekil değişikliğine karşı direnç kuvvetidir.



(Şekil-2: P dalgası, www.biltek.tubitak.gov.tr/sismoloji1.gif)

Sismik Hız- Yer Türü İlişkisi

- V_p hızı, tanelerin karışım biçimine ve gözenek suyunun kıvam ve sıkışabilirliğine bağlıdır.



Enine Dalgalar (S)

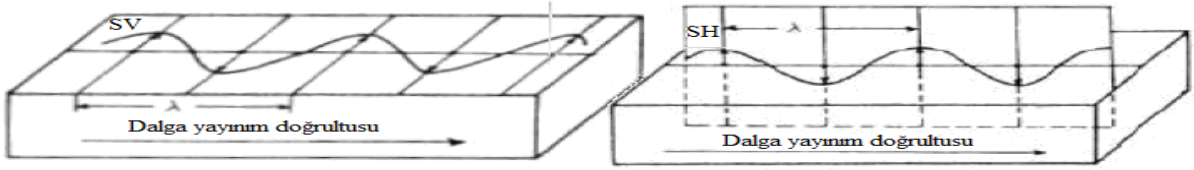
Enine dalga, secondary, kesme makaslama dalgası olarak da adlandırılırlar. Kayıtçılarda ikinci sırada kaydedilirler. Enine dalganın yayını sırasında cisimlerde şekil bozulmaları, yani dik açılarda değişim gözlenir. Bunun nedeni dalga yayınında, partiküllerin titreşim doğrultusunun, dalga yayını doğrultusuna dik olmasıdır (Şekil-3). Sıvı ve gaz gibi rijid olmayan birimler içerisinde geçmezler. Bu tür dalgalar sismikte "Vs" sismolojide 'β' dalgaları olarak gösterilirler. S dalgasının, yansımalarından oluşan R, L dalgaları yapılarda hasar ve yıkıma neden olur.

S dalgalarının yayınında, enine olan parçacık salınımı yatay düzlem üzerinde ise dalga $SH_{horizanta}$ adını alır. Eğer parçacık hareketleri düşey düzlem üzerinde kalıyorsa $SV_{vertical}$ adını alır.

S dalgasının hızı malzemenin mekanik özelliklerine çok duyarlıdır. S dalgasının hızını veren

$$\text{bağıntı}; \quad V_s = \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ dir.} \quad (2)$$

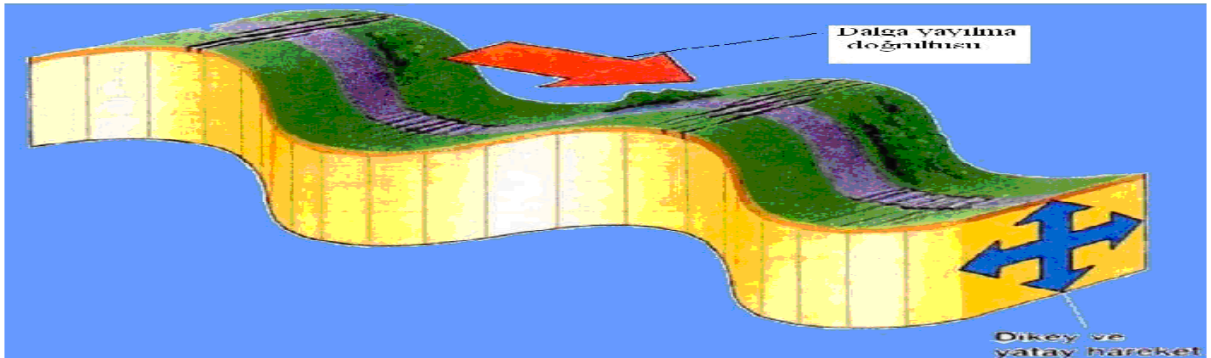
Sıvılarda kesme (rijidite) modülü μ sıfır olduğundan; (2) bağıntısından görüldüğü üzere S dalgaları sıvı içerisinde yayılamazlar. Bu önemli özellik yer içinin yapısının belirlenmesinde önemli rol oynar. P dalgası ile S dalgası arasındaki hız ilişkisi basit şekliyle $0 \leq V_s \leq \%70 V_p$ dir.



(Şekil-3: S dalgası bileşenleri, www.sismikaktivite.org/makaleler/)

Sismik Hız- Yer Türü İlişkisi

- V_s hızı birimi oluşturan tanelerin boyutu, biçimi ve birbiri ile olan bağlarından etkilenir.



(Şekil-4: S dalgası, www.biltek.tubitak.gov.tr/sismoloji.gif)

V_s Kesme dalga hızına göre sınıflandırma

<i>V_s – Hızı m / sn</i>	<i>Yersel Birim Türü</i>
<i>> 1000</i>	<i>Sağlam kaya</i>
<i>> 700</i>	<i>Çok sıkı kum – çakıl, sert kil</i>
<i>200-400</i>	<i>Orta sıkı kum – çakıl</i>
<i>200-300</i>	<i>Katı kil, siltli kil</i>
<i>< 200</i>	<i>Yeraltısu düzeyinin yüksek olduğu yumuşak-suya doymun kalın alüvyon katmanları</i>
<i>< 200</i>	<i>Yumuşak kil – siltli kil</i>

Yüzey Dalgaları

Yüzey dalgaları, Rayleigh ve Love dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bu tür dalgalar yarı sonsuz ortamlarda meydana gelirler. Yüzey dalgaları ortam homojense yani tabakalı ise dispersif dalgalardır. Yüzey dalgaları cisim dalgalarına göre daha büyük genliklidir. Periyotları büyük, frekansları düşüktür. Hızları düşüktür.

Yüzey dalgaları yansımış sinyalleri örterler. Sismogramlarda yelpaze şeklinde imzaları vardır. Dispersion bir dalga hızının frekansın fonksiyonu haline gelmesidir. İki tür hızı vardır.

Bunlar;

- Faz hızı (tek bir noktanın yayılım hızı .)
- Grup hızı; Bir pulseyi oluşturan sinyallerden birbirin yakın olan grupların hızına denir.)

Rayleigh Dalgaları

P ve SV dalgalarının serbest yüzeydeki yapıcı girişiminden oluşurlar. Elastik katı bir cismin sadece serbest yüzeyinde yayınırlar. Partiküller retrograd elips (tersinir elips) dalga yayılım doğrultusunun tersi yönde elips çizerler. Bir göl ya da okyanus üzerinde yuvarlanan dalga gibi yer üzerinde yuvarlanarak ilerler. Deprem anında hissedilen sallantıların çoğu, diğer dalgalardan çok daha büyük genlikli olan bu Rayleigh dalgasından kaynaklanır. Sismik arama yöntemlerinde en fazla karşılaşılan dalga türüdür. Sismogramlarda en son kaydedilirler. Ground roll (yer yuvarlanması) olarak adlandırılırlar.

Ortam homojense yani tabakalı ise dispersiyon gösterirler.(Dispersiyon, dalga hızının frekansın veya periyodun fonksiyonu olarak değişmesidir.)

Rayleigh dalgalarının hızı, aynı ortamda yayılan S dalgaları açısından yaklaşık olarak $V_R = 0,919 V_s$ bağıntısı ile verilebilir. (poisson oranı $G=0.25$ olan ideal katılar için)

Poisson oranı Enine deformasyonun boyuna deformasyona oranıdır. Derinlere doğru ekspansiyel olarak azalır.

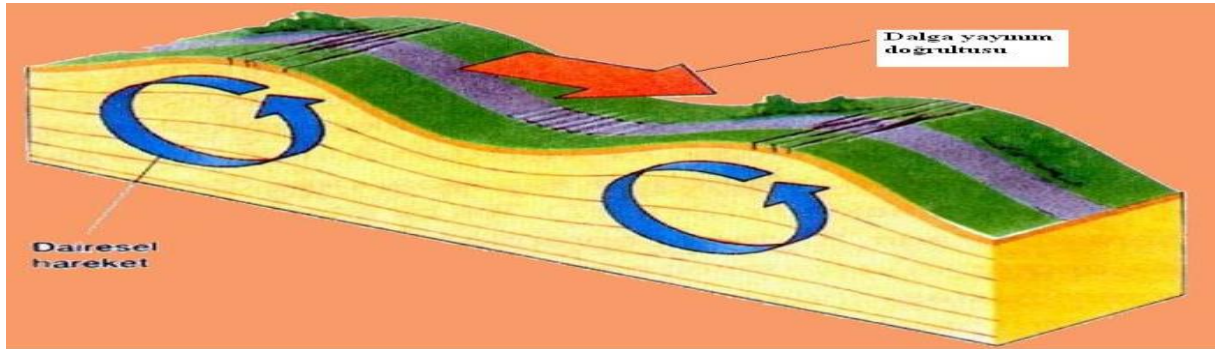
Love dalgası

Love dalgalarının oluşabilmesi için elastik, tekdüze ve yarı sonsuz bir yüzey katmanının bulunması gereklidir. Yer kabuğu bu görevi üstlenmektedir. Love dalgaları, yerin serbest yüzeyi ile kabuğun alt sınırı arasında ardışık yansımalarla uğrayan SH dalgalarının Yapıcı girişimi sonucu oluşur. Bu nedenle Love dalgalarının geçtiği ortamda partiküller tamamen yayılma doğrultusuna dik yatay düzlemde yani x-veya y-düzleminde titreşirler. Love dalgaları yer değiştirme alanının enine bileşeninde gözlenirler. Rayleigh dalgalarının tersine, bu Dalgaların oluşabilmesi için SH dalgasının serbest yüzeye herhangi bir kritik açıyla gelip kırılması söz konusu değildir.

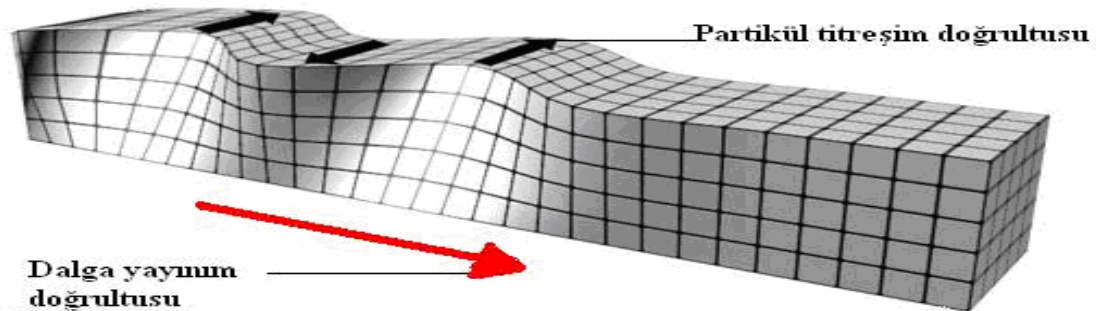
Love dalgalarına kanal dalgası adı da verilir. Yer kabuğu love dalgaları için kanal görevi görür. Tektonik depremlerde gördüğümüz dalga türüdür. Yayıldığı ortamdaki partikülleri S şeklinde yayılma doğrultusuna dik yatay bir düzlem boyunca titreştirirler.(Şekil: 4) Daima dispersion gösterirler. Düşey bileşenli alıcılar tarafından kaydedilemezler.

Love dalgalarının hızı, Rayleigh dalgalarının hızından büyüktür. V_R , Rayleigh dalgası hızı ve V_s , S dalgası hızı olmak üzere;

$$V_R = 0.92 V_s \text{ şeklinde doğrusal bir ilişki vardır.}$$



(Şekil-5: Rayleigh dalgası, <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/sandik/deprem/sismoloji4.gif>)



(Şekil-6: Love dalgası, www.biltek.tubitak.gov.tr/sismoloji2.gif)

I.1.1.2 Sismik Dalgaların Yayılım Geometrisi İle İlgili Genel Tanımlar

Herhangi bir enerji kaynağından çıkan dalgalar, suya atılan bir taşın meydana getirdiği dalgalar gibi giderek genişleyen çemberler şeklinde yayılırlar. Yer içerisinde üç boyutlu ortamda bu dalgalar küresel olarak yayılır ki küreyi oluşturan bu yüzeylere **dalga cephesi** denir.

Bu dalgaları oluşturan her nokta yeni bir enerji kaynağı gibi davranır. (**Huygens prensibi**) Bu kurala göre, belirli bir zaman için herhangi bir dalga cephesi geometrisinin bilinmesi durumunda daha sonra oluşacak dalga cephesi geometrileri de bilinebilir.

Bu işlem, dalga cephesinin her noktasının bir enerji kaynağı olduğu öngörülerek bu noktalardan yayılan küresel dalgaların zarflarının çizilmesi şeklinde yapılır. Fermat Huygens kuralının farklı hızlı tabakaların oluşturduğu ortamlara uygulanması sismik kesitleri oluşturan verilerin temelini oluşturur.

Huygens Kuralı

Huygens prensibi dalga cephesi üzerindeki her nokta yeni bir küresel kaynak gibi davranır. Çeşitli noktalardan bu şekilde yayılan dalgalar girişim yaparak bazı noktalarda birbirlerini sönmümlerken bazı noktalarda üst üste yığıma (stack) yaparak kuvvetlendirir. Çeşitli noktalardan yayılan dalgalar arasındaki çizgisel yol farkı yarım dalga boyunun tek katları kadar ise birbirlerini sönmümlerler. Tam dalga boyunun katları ise birbirlerini kuvvetlendirirler. Böylece meydana gelen noktalar yeni kaynaklar hasıl ederler. Bu prensip, dalganın davranışının kolay açıklanmasında çok faydalıdır. Sismik yöntemde ise bir dalga tepesinin Δt süre sonraki yerini bulmak için çok önemlidir.

Fermat İlkesi

Dalga cephesine dik ışın yollarının geometrisi ile ilgilidir. Fermat prensibini ortamın sabit hızlı olması, ortamın sabit hızlı olmaması gibi iki farklı durum için inceleyebiliriz.

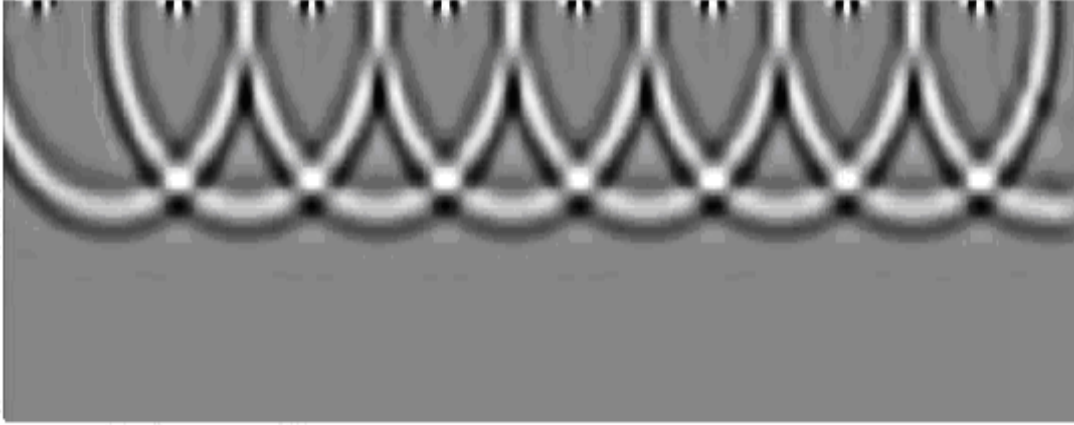
Sabit hızlı ortamda; Dalga cephesi, dalga yayılım doğrultusuna diktir. Işın yolları doğrusaldır. Ortam sabit hızlı değilse ; Işın gideceği noktaya minimum zamanı kullanarak gider (yüksek hızlı ortamda seyahat etmeyi seçer.)

Snell Yasası

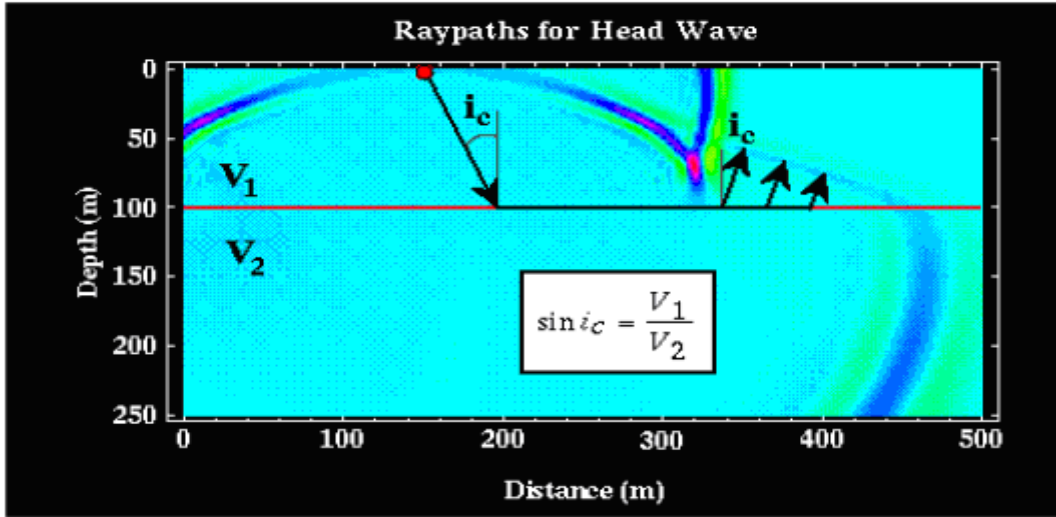
Snell yasası, farklı yayılma hızına sahip ortamlardaki ışınların kırılmasını hızlar ve açılar arasındaki ilişki ile tanımlamaktadır.

$$\frac{\sin \theta_1}{V_1} = \frac{\sin \theta_2}{V_2} = p \quad P; \text{ Işın parametresi}$$

Kırılma olabilmesi için $V_2 > V_1$ olmalıdır. V_1, V_2 : Ortamın hızı, i_c : Kritik Açısı Sismik ışınlar optik yasaları sağlarlar;



Şekil 8. Huygens İlkesi



(Şekil-8: Snell Yasası, www.sismikaktivite.org/makaleler/.gif/)

(Şekil-9: Snell yasası, www.sismikaktivite.org/makaleler/gif3)

P ve S dalgaları elastik bir ortamda hareket ederlerken başka bir elastik ortamla kesişme yüzeyine geldiği zaman, gelen dalga enerjisinin bir kısmı birinci ortama yansımakta, diğer kısmı ise ikinci ortam içinde ilerlemektedir. Kesişme yüzeyine varan bir P dalgasından dört adet dalga oluşmaktadır. Bu oluşan yeni dalgalar dönüşmüş fazlar adını alır.

Kesişme yüzeyine gelen bir p dalgasından oluşan dalgalar;

- Yansıyan bir P dalgasından (P-P₁)
- Yansıyan bir SV dalgasından (P-SV₂)
- Kırılan bir P dalgasından (P-P₂)
- Kırılan bir SV dalgasından (P-SV₁)

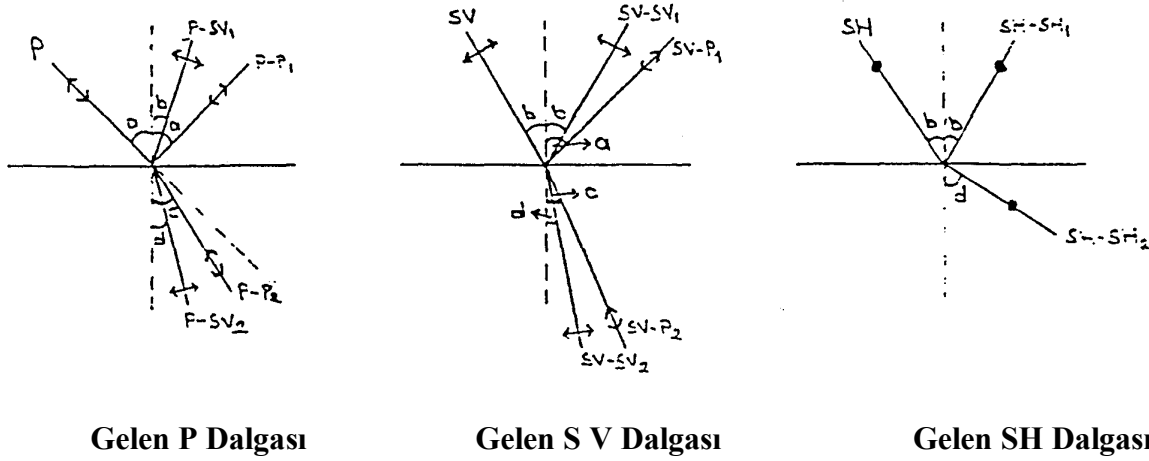
Kesişme yüzeyine gelen bir S dalgasının iki bileşenini ayrı ayrı olarak düşünmek gerekir.

Bir tanesi kesişme yüzeyine dik düzlemde hareket eden (SV), diğeri ise kesişme yüzeyine paralel düzlemde hareket eden SH'dır. Kesişme yüzeyine gelen bir SV dalgasından oluşan dalgalar;

- Yansıyan bir SV dalgasından (SV-SV₁)
- Yansıyan bir P dalgasından (SV-P₁)
- Kırılan bir SV dalgasından (SV-SV₂)
- Kırılan bir P dalgasından (SV-P₂)

Kesişme yüzeyine gelen bir SH dalgasından oluşan dalgalar;

- Yansıyan bir SH dalgasından (SH-SH₁)
- Kırılan bir SH dalgasından (SH-SH₂)



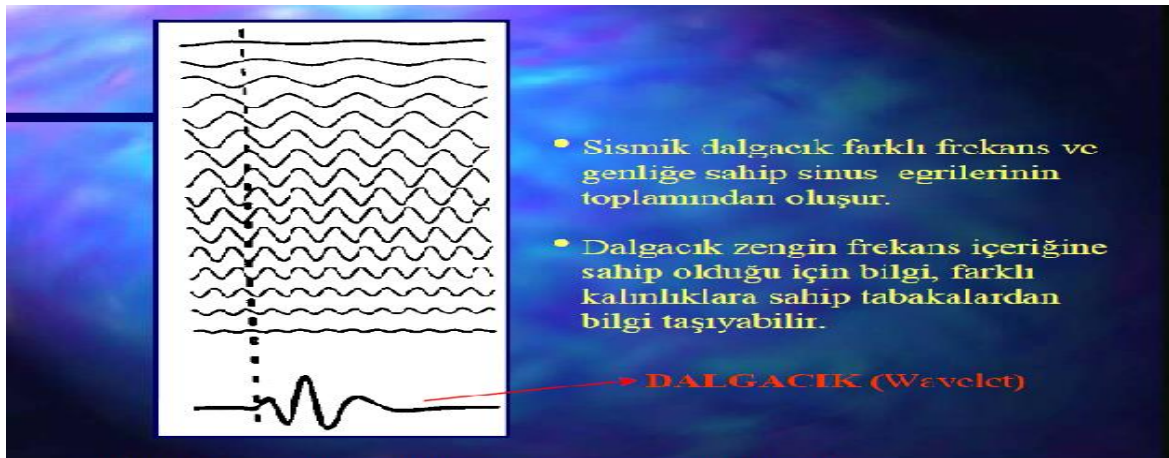
(Şekil-10: Süreksizliğe gelen dalgalar, <http://www.geophysicsturkey.net/dergi2/oda/>)

Akustik Empedans

Tabakalar arasında ki sismik özellik farkına akustik empedans denir. Bu ise tabakaların hız ve yoğunluk farklılıklarından elde edilir. Akustik empedans = sismik hız X yoğunluk

Sismik İz (Dalgacık)

Sismik kaynak kökenli yansımış yada kırılmış sismik ışınların yüzeyde alıcılar tarafından belli bir zaman süresince kaydedilmiş şekline sismik iz denir.



(Şekil-11: Sismik iz (dalgacık), www.sismikelektronik.com/resimler)

Yansıma (reflection)

Tabaka sınırlarından sismik ışınların geri gelmesine yansıma yada refleksiyon(reflection) denir. Yansımanın meydana geldiği yüzeyin altında ki tabakaya yansıtıcı yada reflektör adı verilir.

Kırılma (refraction)

Dalgaların ara yüzeyi geçmesine kırılma yada refraksiyon (refraction) denir.

Sismik Hız Kavramı

Hız sismik çalışmalarda en önemli rolü oynayan parametredir. Yansıyan veya kırılan dalgaların varış zamanlarından yararlanarak ortama ait dalga hızları hesaplanır.

Sismik yöntemlerde cisim dalgaları ile çalışılır. Bu dalgaların doğrudan ilerlemesi, yansıması ve kırılması kurallarına göre geliştirilmişlerdir.

Yansıma yöntemi genelde petrol aramalarında kullanılır. Mühendislik uygulamalarında ise genelde kırılma yönteminden yararlanır. Yer aramalarında aynı alanda hem P hemde S dalgaları incelenir. Aynı alan için P dalgası için V_p katman hızları ve S dalgası için V_s katman hızları bulunur.

Tam Yansıma

Kritik açıdan daha büyük bir açıyla gelen ışın tam yansır. İkinci ortama enerji geçişi olmaz. Gelme açısının kritik açıdan küçük olması halinde hem yansıma hem de kırılma meydana gelir. Üstteki ortamın hızının alttaki ortamın hızından büyük olması durumunda kritik açı oluşmaz.

$$I_k = \sin^{-1} \left(\frac{V_1}{V_2} \right) \quad I_k ; \text{Kritik açı} \quad (3)$$

Doğrudan Gelen Dalgalar

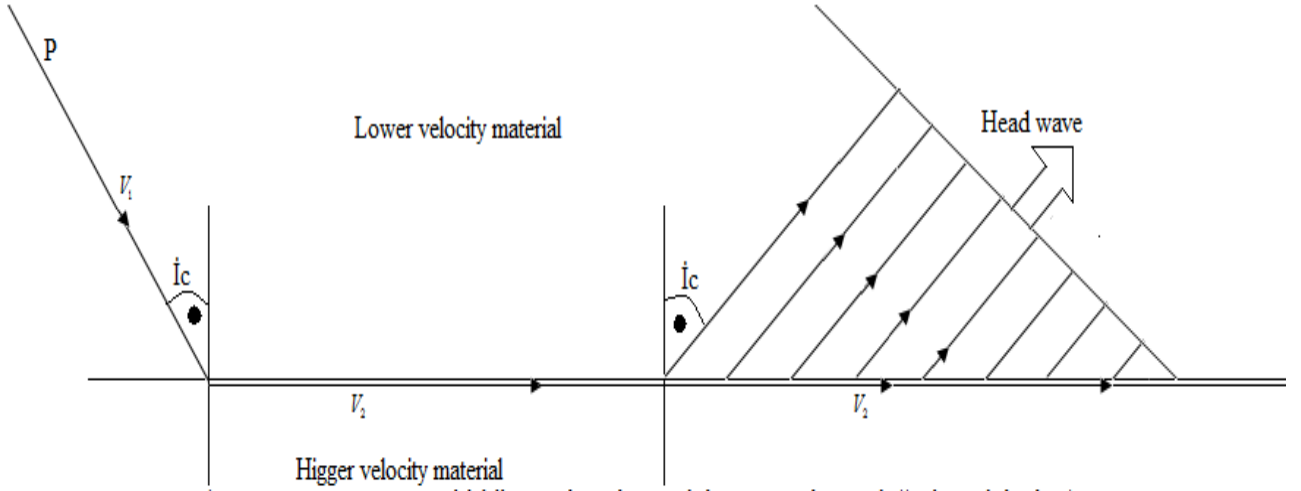
Kaynak noktasından çıkan ve alıcıya (ki bu alıcı sismik yöntemlerde jeofon adını alır.) doğrudan gelen dalgadır. Birinci ortamın hızı ile ilerler.

Baş Dalgaları

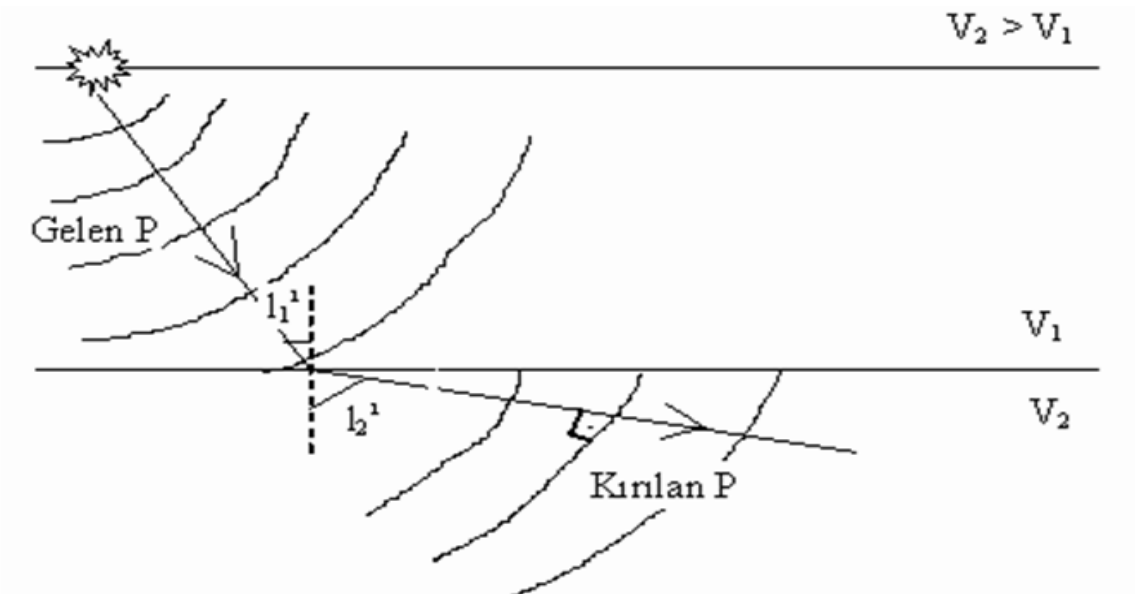
Huygens prensibine göre sismik ışın arayüzey boyunca ikinci ortamın hızı ile ilerler. Arayüzey boyunca ilerleyip alıcılara (jeofon) ulaşan dalgalara baş dalgası denir.Tabaka kalınlığı ve 2.ortamın hızı hakkında bilgi taşırlar.

Kırılan Dalgalar

Yer içinde ilerleyen sismik enerji, farklı hızlı bir tabaka ile karşılaşırsa enerjinin bir miktarı kırılarak ikinci ortama geçecektir.(Şekil-6) Süreksizlik yüzeyine (iki ortamı ayıran sınır) gelen ışın Snell kanununa göre kırılarak ikinci ortamda ilerler



(Şekil-12: Ara yüzeye kiritik açıyla gelen P dalgası ve oluşturduğu baş dalgaları)
<http://jeofizik.comu.edu.tr/egitim/image012.jpg>



(Şekil-13: Kırılarak ikinci ortama geçen ışın, <http://sismikaktivite.org/makaleler/>)

I.1.2. Sismik Çalışmalarda Kullanılan Ölçü Alma Teknikleri

Sismik yöntemler yer altındaki jeolojik tabakaların durumlarını saptamada elastik dalgaların, arz içerisinde yayılması ile ilgili fizik prensiplerine dayanır.

Uygulamalı sismikte, dalgaları üreten bir enerji kaynağı, yeryüzüne bir düzen içinde yerleştirilmiş bir seri alıcıya ve bu alıcılara gelen dalgaları kaydeden ölçüm aletine gerek vardır.

Bu düzen içinde temel prensip, enerji kaynağından yayılan ve alıcılara gelen dalgaların zamana karşı amplitüdlerinin kaydedilmesidir.

Bu zaman-uzaklık kayıtları daha sonra uygun yöntemlerle işlenerek katmanlı ortamların kalınlık ve sismik dalga hızlarını belirleyen yer altı modelleri oluşturulur.

Sismik dalgaları üretmek için patlayıcılar ve diğer enerji kaynakları, bunun sonucu meydana gelen yer hareketini saptamak için de sismometre veya jeofon tertipleri kullanılır.

Temel sismik arama tekniği sismik dalgaların üretilmesi ve kaynaklardan jeofon serilerine giden dalgalar için gerekli zamanı ölçmekten ibarettir.

Sismik yöntemler, kaynaktan yayılan sismik dalgaların takip ettiği ışın yollarına göre Sismik Yansıma (reflection), Sismik Kırılma (refraction) olmak üzere iki genel bölüme ayrılır.

I.1.2.1.Sismik Yansıma Yöntemi

Sismik Yansıma Yöntemi yeraltının iki veya üç boyutlu, ayrıntılı yapısal ve stratigrafik kesitinin elde edilmesinde kullanılır.

Sismik Yansıma Yöntemi çalışmalarını üç aşamada toplamak mümkündür.

- 1-Arazide sismik verilerin toplanması
- 2-Verilerin ofiste bilgisayarlarla işleme tabi tutulması (Veri-İşlem)
- 3-Verilerin değerlendirilmesi

Sismik Yansıma Yöntemi Uygulama Alanları

Sismik yansıma yöntemi ekonomik olarak; Petrol ve doğal gaz araştırmalarında, kömür yatağı araştırmalarında birinci yöntem veya yardımcı yöntem olarak uygulanabilir.

Mühendislik amaçlı olarak; Kıyı tesislerinin denizaltı zemini ve çökel istif şartlarının belirlenmesinde, liman, karayolu, baraj ve büyük yapıların inşası ile ilgili temel kaya problemlerinin çözümünde, kültürel olarak arkeojeolojik çalışmalarda Bilimsel amaçlı olarak ise Kara ve denizde yer kabuğu araştırmalarında kullanılmaktadır.

Kolaylıkları

- Bir profil boyunca kaya ve zemine ait yüksek ayrımlılıkta düşey kesitler sağlanması.
- Geniş derinlik aralığı (10 metrelerden, kabuk ve mantoya kadar)
- Uygun ekipman ile hem P hem de S dalgasının ölçülebilmesi.

Zorlukları

- Araziden veri alma işleminin diğer jeofizik yöntemlerin çoğundan yavaş olması,
- Çok fazla veri işlem adımı gerektirmesi,
- Akustik gürültü ve titreşimlere karşı hassas olması.

I.1.2.2. Sismik Kırılma Yöntemi

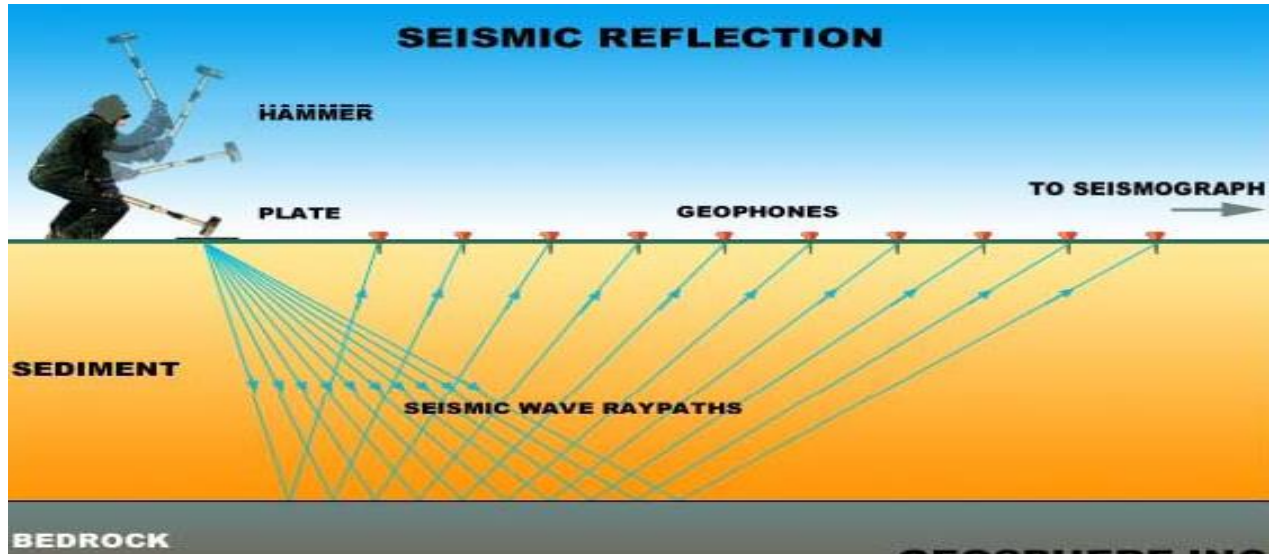
Sismik Kırılma Yöntemi, veri toplama ve değerlendirme açısından oldukça pratik, hızlı ve ekonomik bir yöntemdir. Diğer önemli bir özelliği ise dalga yayılım hızının derinlikle arttığı tabakalı ortamlarda, tabakaların hızlarının ve derinliklerinin yeterli bir doğrulukla bulunmasını sağlar.

Sismik Kırılma Yöntemi, yeraltı suyu araştırmalarında, mühendislik amaçlı zemin etütlerinde, özellikle deprem tehlikesinin beklediği yörelerde sismik tehlike araştırmalarında yatay ve düşey yönde her bir katman için sismik hızların belirlenmesi ve gerçek tabaka kalınlıkları ve bunların dinamik özelliklerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır.

Sismik Kırılma Yöntemi Uygulama Alanları

Sismik kırılma yönteminin uygulama alanlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Temel kaya derinliğinin ve jeolojik yapıların kalınlıklarının belirlenmesi
- Kazılabilirlik ve sökülebilirlik çalışmalarında P-dalga hızının tespitinde
- Kaya ve zemine ait elastik parametrelerin yerinde belirlenmesi çalışmalarında
- Yer altı zenginliklerinin aranmasında ve mühendislik çalışmalarında



(Şekil-14: Sismik yansıma yöntemi, www.geotekmuhendislik.com/zeminetudu)

Sismik Kırılma Yönteminin Özellikleri

Kolaylıkları

- 30 metre ve daha derinden veri sağlanması
- İki ya da üç katmanlı yapıların kolayca incelenebilmesi
- İki boyutlu P-dalga hızı kesitlerinin çıkarılması
- Sismik enerji kaynağının kolaylığı (balyoz vb)

Zorlukları

- Profil uzunluğu (kaynak ile en son alıcı arası) inilecek derinliğin 4-5 katı uzunlukta alınması
- Akustik gürültü ve titreşimlere karşı duyarlı

Sismik Yöntem Alet ve Ekipmanları: Sismik yöntemlerde kullanılan aletler, kaynak ve algılayıcı olarak ikiye ayrılırlar

Sismik kaynaklar : En basit sarsıntı oluşturma yöntemi yer içine ses dalgası göndermektir.

- a. Patlayıcılar (shot-gun, buffalo-gun kapsüller)
- b. Yere ağırlık düşürme
- c. Titreşim düzenekleri (vibro-seis-vibrosismik)
- d. Balyoz ile vurma
- e.

Sismik Algılayıcılar : Sismik algılayıcıları kara ve deniz uygulamalarında kullanılmalarına göre ikiye ayırabiliriz. Kara çalışmaları için kullanılan sismik alıcılara jeofon, sulak alan (deniz göl vb) çalışmaları için kullanılan sismik alıcılara hidrofon denir.

Jeofon : Karada yapılan sismik çalışmalarda kullanılan alıcılardır. P ve S fazı için yapılmış iki farklı jeofon türü vardır. S türü jeofonlar yatay dalgaları algılamak için P türü jeofonlar düşey dalgaları algılar. Kırılma yönteminde 2-40 Hz'lik, yansıma yöntemi için ise 20-100 Hz'lik jeofonlar kullanılır.

Genellikle elektromanyetik prensipte olurlar, yani faraday indüksiyon akımı prensibinden yararlanarak yapılmışlardır. Sabit bir mıknatıs etrafına sarılı olan hareketli bobin sisteminden oluşur. Yerin titreşimi ile aynı doğrultuda salınım gösteren jeofon içerisinde ki bobin mıknatıs tarafından oluşturulan manyetik alan kuvvet çizgilerini keser ve indüklenmiş akım yani indüksiyon akımını oluşturur. Oluşan bu akımın büyüklüğü;

- Mıknatısın yarıçapına
- Bobin sarım sayısına
- Mıknatısın gücüne
- Titreşim hızına , bağlıdır.

Jeofonlar partiküllerin titreşim hızını ölçerler. Bir başka deyişle; jeofonlar yerin mekanik Hareketini elektrik sinyaline dönüştüren sistemlerdir.

Recorder: Bir bilgisayar ve ona entegre edilmiş sistemden oluşur. Günümüz kayıtçıları bilgisayardan farksızdır. Alıcılar tarafından algılanan ve elektrik sinyaline dönüştürülmüş olan sinyalleri görsel olarak gösteren sayısal ve görsel kaydeden birimdir.

Trigger: Kayıtçıya anını bildirir. Kaynağa yakın bir noktaya konulabileceği gibi, kullanılan kaynağın türüne göre kaynağa da takılabilir. Örneğin balyoz. Piezoelektrik kristallerden yapılmış aparatlar yada eski jeofonlar kullanılabilir.

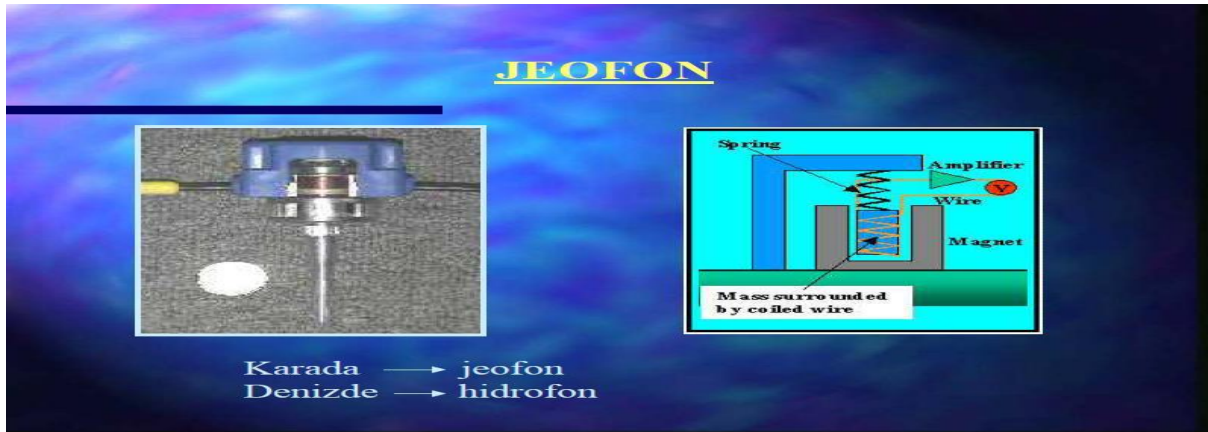


(Şekil-15:Sismik kaynaklar, www.kou.edu.tr/dersnotlari)

Ana (Sismik) Kablo : Alıcılar tarafından algılanmış sinyalleri kayıtçıya taşır.Üzerinde jeofonların takılabilmesi için take out olarak adlandırılan kısımlar bulunur.

Trigger Kablosu : Trigger ile kayıtçı arasındaki bağlantıyı sağlar.

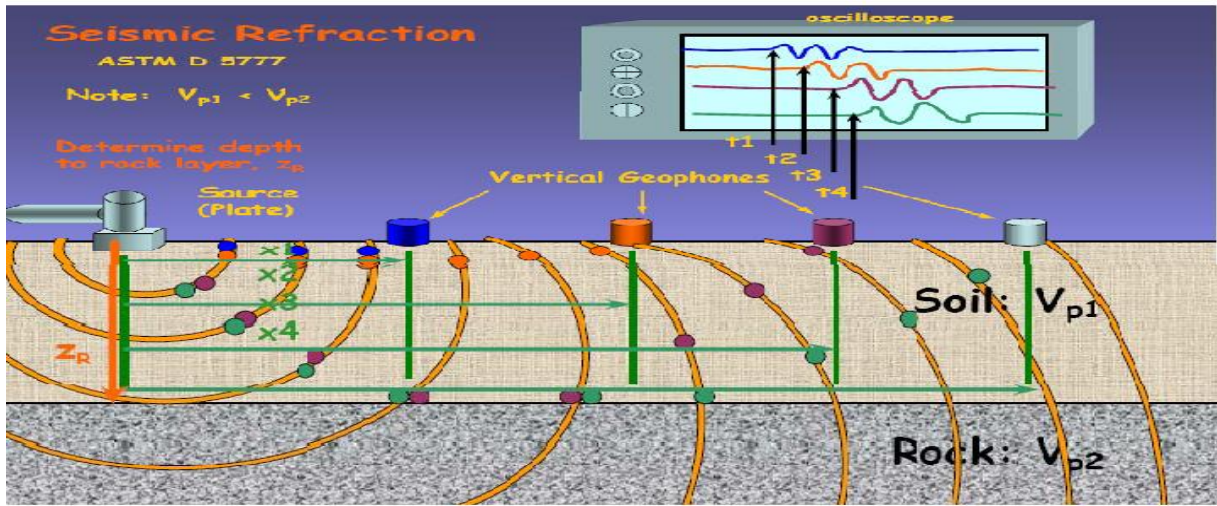
Yardımcı Ekipmanlar : Sismik kayıtçımıza enerji sağlayan güç kaynağı (akü, jeneratör vb) Alet ve ekipman çantası



(Şekil -16: Jeofon ,Hidrofon, <http://jeofizik.comu.edu.tr/egitim/egitim/ders>)

Sismik Kırılma Yönteminde Ölçüm Nasıl Yapılır

Sismik kırılma yönteminde, bir kaynaktan yer içerisine doğru yayılan sismik dalgaların, belirli uzaklıklardaki alıcılara varması için geçen zaman ölçülür.Kısacası, dalganın yer içerisindeki seyahat zamanı ölçülmüş olur.



(Şekil-17: Sismik kırılma Yönteminde ölçüm düzeni, www.geneljeofizik.com)

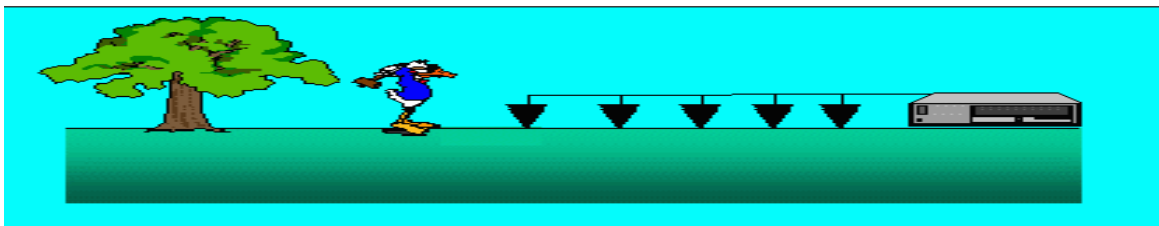
Sismik Kırılma Yönteminde Arazi Uygulamaları

Sismik kırılma yönteminde arazi işleri uygun bir biçimde patlayıcı madde patlatmak ya da bir cismi yere düşürerek sarsıntı elde edilmesi için gerekli hazırlıkları yapmak, jeofonları önceden belirlenen noktalara yerleştirmek ve kayıt aletleri ile kayıt almaktan ibarettir. İki tür atış dizilimi kullanılır;

Sismik yöntemlerde, kaynak alıcı arasındaki uzaklığın $\approx 1/3'$ ü kadar derinlikten bilgi alınabilir.(30 m bir açılımla yaklaşık 10 m derinden bilgi alınabilir.)

Profil Atışları: Belirli bir katmanın alt ya da üst sınırını fayları ve yanal değişimleri saptamak için kullanılır.

Yelpaze Atışları: Çok derin olmayan tuz domlarının incelenmesinde kırılma atışlarının özel bir şekli kullanılır.



(Şekil-18: Sismik Kırılma Yönteminde Arazi Uygulaması, www.geneljeofizik.com)

I.1.2.3. Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)

Yüzeye yakın malzemelerin elastik özellikleri ve bu özelliklerin sismik dalga yayılmasına olan etkileri; yeraltı suyu araştırmaları ve mühendislik ve çevre uygulamalarında ilgilenilen temel konulardandır. Geleneksel olarak, sığ yeraltı tabakalarının görüntülenebilmesi için

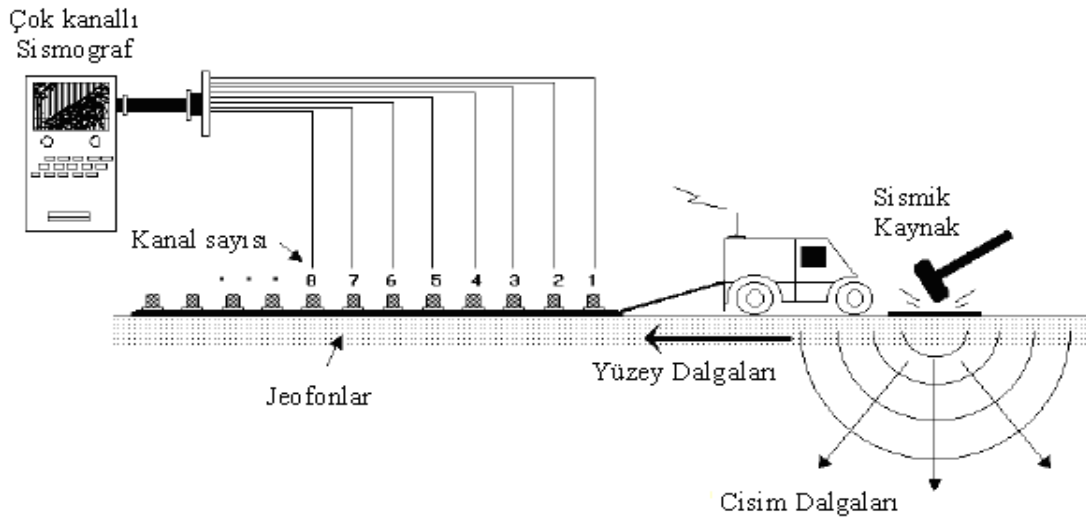
kullanılan yöntemlerde yüzey dalgaları yüksek genliklerinden dolayı gürültü olarak hesaba katılmaktadır. Buna karşın, yüzey dalgaları frekans bağımlı özellikleri nedeniyle yüzeye yakın malzemelerin elastik özelliklerini belirlemek için kullanılabilir. Yüzey dalgalarının dispersif özelliklerinden, yaygın olarak, düzlem dalga analizinde S makaslama dalgası hız profillerinin elde edilmesinde yararlanır.

Yüzey dalgası yöntemleri aktif ve pasif kaynaklı olmak üzere iki türlü uygulanır. Yüzeye yakın jeolojik yapıların belirlenmesinde birçok yüzey dalgası yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar arasında en çok kullanılanlar ise SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) ve MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) yöntemleridir. MASW yöntemi, SASW yöntemindeki eksiklikleri gidermek için geliştirilmiştir. SASW yönteminin uygulamasında yayılan yüzey dalgalarını kaydetmek için sadece bir alıcı çifti kullanılır. Sismik dalga enerjisi, genellikle, balyoz gibi darbeli bir kaynak tarafından üretilir.

Bu nedenle, farklı araştırma derinliklerini kat etmek için denemenin birçok farklı alan düzenekleri (farklı kaynak ve alıcı aralığı) ile tekrarlanması gerekir. Sonuç olarak yöntem, fazla zaman alır ve yoğun işlemler gerektirir. Ayrıca, cisim dalgalarının (doğrudan gelen kırılan ve yansıyan P dalgaları) ve yüzey dalgalarının yüksek modlarının varlığından dolayı, kaydedilen verinin olası kirlenmesi fark edilemez ve uygun şekilde kullanılamaz.

Yüzey dalgalarının çok-kanallı analiziyle (MASW) ise çok sayıda kaynak kullanılması ve yığma yapılması durumunda esas Rayleigh dalga “modu” baskın olarak elde edilir. Makaslama hızının iki-boyutlu yatay belirtilerini elde etmek için profiller boyunca birçok kayıt alınarak ters-çözümü yapılır. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) balyoz ya da ağırlık düşürme gibi aktif kaynaklarla yapılan çalışmalarda kullanılmaktadır. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi maliyeti düşük çevreyle olan uyumu sayesinde tercih edilebilecek yöntemlerden birisidir. Uzaklığa ve yeraltı yapısına bağlı olarak enerji biriktirmesi yapılabilir.

Jeofon seti kayıtçının özelliğine göre 12, 24 veya 48 jeofondan oluşabilmektedir. Jeofonların algıladığı impulsları kayıtçıya iletmek amacıyla sismik serim kablosu yardımıyla kayıtçıya bağlanır. Güç kaynağı olarak balyoz ya da hidrolik güç kaynakları kullanılarak anlık impuls oluşturulur ve kayıtçı tarafında daha önceden belirlenen saniyede yerin tepkisi dinlenir (Şekil 1).



Şekil Çok kanallı yüzey dalgası veri toplama düzeniği

MASW yönteminin uygulanabilirliği ve sonucunun doğruluğu, sismik kaynağa, yakın-uzak açılım, jeofon aralığı ve jeofon frekansı gibi uygun parametre seçimlerine bağlıdır. Yüzey dalgası cisim dalgalarına göre geç sönümlendiği için yüksek enerjili buna bağlı olarak yüksek Sinyal/Gürültü oranına sahiptir.

Yüzey dalgalarının yüksek frekanslı bileşenleri cisim dalgalarına göre daha hızlı soğurulmaktadır. Uzaklıkla ters orantılı olarak, yüksek frekanslarda yüzey dalgalarının temel modu azalmakta, yüksek modlar ve cisim dalgaları tarafından gözlenmesi engellenmektedir. Düşük frekansların çözünürlüğü, seçilen alıcı aralığına (dizilim uzunluğuna) bağlıdır. Dalga sayısı katlanmasını önlemek için alıcı aralıkları, gözlenmek istenen en küçük dalga boyunun yarısından az olmamalıdır. En yakın kaynak-jeofon arası ofset mesafesi, normalde araştırma derinliğinin yarısı kadar seçilir (Park ve diğ., 1999).

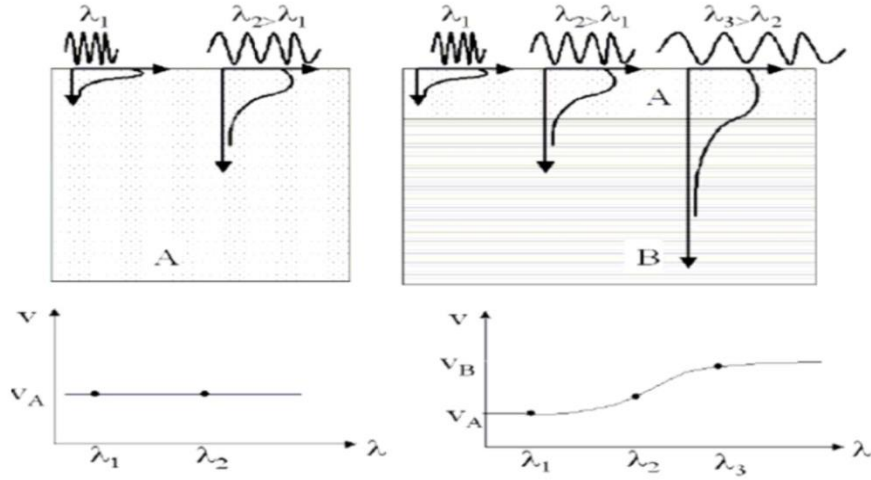
Farklı özelliklerdeki tabakalarda farklı dalga boyları yayılır. Bu yüzden yayılma hızları da farklıdır. Bu olay **geometrik dispersiyon** olarak anılır. Faz hızıyla frekans arasındaki ilişkide **dispersiyon eğrileri** olarak tanımlanır (Şekil 3). Farklı elastik özelliklere sahip katmanlara uğrayan yüzey dalgası dispersiyona uğramaktadır. Zaman ortamında toplanan veriler frekans ortamına aktarılarak faz hızına bağlı frekans özelliklerinin eğrisi oluşturulur. Yüzey dalgalarının uygulamasında önemli bir adımdır.

Dispersiyon eğrisinin elde edilmesi için birkaç yöntem vardır bunlardan birincisi farklı yerlerde kaydedilen izlerin çapraz ilişkisi yöntemidir. Fakat bu yöntem bazı kısıtlamalara sahiptir, dispersiyon eğrisinin temel modunu cisim dalgaları ve diğer modlardan ayıramamaktadır.

Park ve diğ. (1999), çok-kanallı yüzey dalga analizi (MASW) adında bir dalga-biçim dönüşümü önermiştir. Önce atış topluluğunu frekans ortamına dönüştürmüşler daha sonra da faz düzeltmesi kullanarak faz hızını hesaplamışlardır. Ayrıca, iz sayısındaki sınırlamaya rağmen faz hızı eğrisini ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmada Park ve diğ. (1999), tarafından önerilen çok-kanallı yüzey dalgası analizi hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde tek bir atış topluluğunun kaydedilen dalga alanlarından doğrudan dispersiyon eğrileri elde edilir. Farklı modlu dispersiyon eğrileri, atış topluluğu sınırlı ofset dizisi boyunca toplanan küçük sayıda izlerden oluşmuş olsa bile yüksek çözünürlükle ayrılabilir. Bu, basit bir üç adımlı dönüşüm yöntemidir. Zaman-uzaklık ortamında kaydedilen sinyallere uygulanan basit bir dalga alanı dönüşümü ile dispersiyon eğrisini elde etmek olasıdır.

Yüzey dalgası kayıtlarında elde edilen dispersiyon eğrisinden katman parametrelerinin bulunması doğrusal olmayan bir ters çözüm işlemidir. Bu ters çözüm işleminden model parametrelerinden kuramsal veri elde edilir ve kuramsal ile ölçülen veri arasındaki farkın en az olması istenmektedir. Bu ölçüt gerçekleşmez ise model parametreleri belirli yöntemlere göre değiştirilerek tekrar kuramsal veri hesaplanır. Bu işlemler kuramsal ile ölçülen veri arasındaki uyumun istenen ölçütlere uygunluğu sağlanana kadar devam eder. İşlem sonunda elde edilen model parametrelerinin yeraltının temsil ettiği varsayılır.



Şekil . Geometrik dispersiyon (Strobbia 2005).

Model parametrelerinin çözümü, ölçülen veri sayısına, ölçüm yöntemlerine, gürültü içeriğine, kullanılan modele ve ters çözüm algoritmalarına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.

Temel modda S-dalgası hızı baskın bir özellik gösterdiği için, bu çalışmada temel modlar esas alınarak veriler işlenmiştir. Ters-çözüm işlemi, derinlik profiline eş bir S-dalgası hızının oluşturulması için her bir dispersiyon eğrisine uygulanmalıdır (Xia ve diğer., 1999). Dönüşen S-dalgası hız profili, alıcı aralığının ortasına yerleştirilmelidir. (Miller ve diğer., 1999).

Yüzey dalgalarının bir türü olan Rayleigh dalgalarının önemli özelliği yayınım hızının (VR) kayma dalgası hızına oldukça yakın olmasıdır (poison oranına bağlı olarak $VR = 0.87$ ila 0.96 Vs'dir). Bu ilişki geoteknik çalışmalarda kayma dalgasını çeşitli amaçlar için kullanımı (kayma modülü belirleme, büyütme ve sıvılaşma analizleri v.b.) için önemlidir. Yüzey dalgası ölçümleri tahribatsız ve ekonomik olarak doğal / bozulmamış durumdaki zeminin mukavemet derinlik ilişkilerini oluşturmamızı sağlamaktadır (Avcı ve Özçep, 2006) .

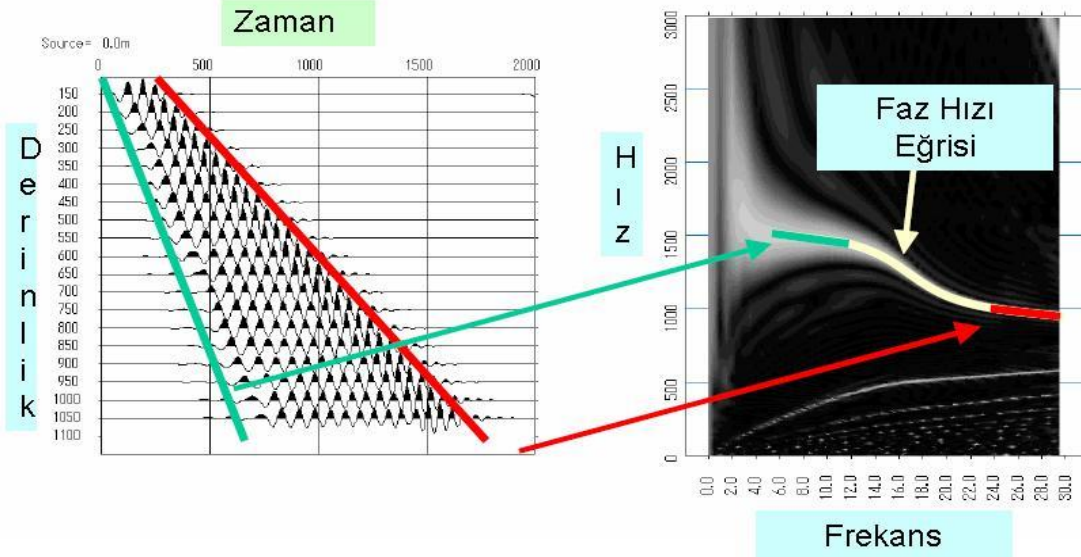
Bir Yüzey boyunca yayınan yüzey dalgaları, toplam sismik dalga enerjisinin % 70'den fazlasını oluşturmaktadır. Bu dalgalar göreceli olarak düşük hız, düşük frekans ve yüksek genlikle karakterize edilirler. Bir yüzey dalgasının partikül hareketinin genliği derinlikle üstel olarak azalır . Öyle ki dalga enerjisinin büyük bir bölümü bir dalga boyu içindedir. Homojen izotrop yarı-uzayda bütün yüzey dalgaları aynı hızda hareket ederler. Bununla gerçek bir zeminde (çok tabakalı, yada elastik özellikleri derinlikle değişen) yüzey dalgalarının hızı dalga boyuna (yada frekansa) bağlıdır. Böyle bir dalga için dispersiyon özelliği gösterir denir.

Yüzey dalgaları daha yüksek genliğe sahiptir, üretilmesi ve kaydedilmesi daha kolaydır. Yüzey dalgası genliği uzaklıkla $1/\sqrt{r}$ olarak azalırken cisim dalgası genliği $1/r$ ile azalır. Yüzey dalgası hızı malzeme özelliklerine bağlıdır. Zeminlerin elastik özellikleri/ mukavemetlerindeki değişim farklı frekanslarda farklı hızlarla seyahat eden dalgalar yaratır (dispersiyon).

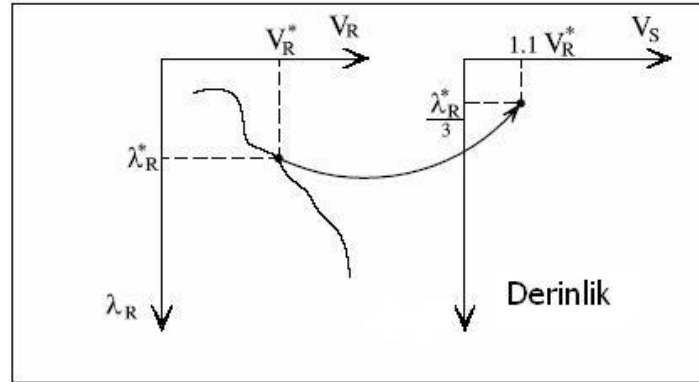
Dispersiyon grafik olarak faz hızına karşılık frekans çizilerek analiz edilir. Rayleigh dalgası hızı (VR) homojen ortamda sabittir ve aşağıdaki denklemle hesaplanır (Ergin, 1995) :

$$VR^6 / Vs^6 - 8 (VR^4 / Vs^4) + (VR^2 / Vs^2) (24 - 16(Vs^2 / Vp^2)Vs^4 VR^2 - 16(1 - (Vs^2 / Vp^2))) = 0$$

Burada VR Üniform ortamta içinde Rayleigh dalgası, Vs Ünifrom ortam içinde kayma dalgası hızı, Vp Ünifrom ortam içinde sıkışma dalgası hızıdır. Rayleigh dalgası hızı yukarıdaki denklemden görüldüğü gibi ortamın kayma ve sıkışma dalgası hızına bağlıdır. Heterojen ortamda kayma ve sıkışma dalgası hızları derinlikle değişmektedir. Bu nedenle Rayleigh dalgasının farklı frekastaki bileşenleri farklı faz hızları sergilerler (Bullen, 1963). Dispersiyon eğrisinden (VR – f eğrisi) kayma dalgası hızı – derinlik modeline geçmek için tersçözüm yöntemi kullanılır. Bununla birlikte bu ilişki kabaca aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 5.10. Dispersiyon gösteren yüzey dalgaları ve elde edilen dispersiyon eğrisi.



Şekil 5.11. Dispersiyon eğrisinden (VR – f yada λ eğrisi) kayma dalgası hızı (Vs) – derinlik modeline geçişin basit mantığı.

1.2. Mikrotremor Çalışmaları

Yeryüzünde hiçbir olay durağan olmadığı gibi yeryüzünün kendisi de durağan değildir, sürekli hareket halindedir. Yeryüzündeki bu hareket, açığa çıkan enerjiye göre veya oluşan titreşimlerin genliklerinin büyüklüğüne göre çeşitlilik gösterir. Açığa çok büyük enerjiler

çıkıyorsa ve yer hareketi ile yeryüzünde fark edilir ve hasar oluşturan salınımlar hissediliyorsa bunlar deprem ya da kuvvetli yer hareketi olarak isimlendirilir. Bu hissedilir ve açığa büyük enerjiler çıkaran yer hareketlerinin yanında yeryüzünde insan tarafından algılanamayan sürekli salınımlar etkindir.

Bu tür salınımlara mikrotremor (titreşimcik) denir. Yeryüzünde farklı bölgelerin farklı periyotlarda salındıklarının anlaşılmasından sonra, yeryüzünü bölgelendirme çalışmalarına katılabilecek yeni parametreler olduğu ortaya çıkmıştır.

Amaca yönelik uygun ve doğru çalışmalar ile deprem ve benzeri yer hareketlerinin bölgesel etkilerinden korunmak mümkündür. Deprem dalgaları, oluştukları odaktan yayılırken ortamın jeofiziksel özelliklerinden etkilenir, frekans içerikleri değişikliğe uğrar. Etki ettikleri bölgelerde buldukları bölgenin hakim titreşim periyodu deprem dalgalarını etkiler. Belli frekansdaki titreşimlerin genlikleri artarak kaydedilen dalga formuna etki eder bazı frekansların genlikleri ise soğrulur. Çok küçük (mikro) titreşimler ya da mikroseismler yeryüzündeki sürekli titreşimlerdir ve genellikle sismikte gürültü olarak isimlendirilirler. Genellikle mikroseismlerin uzun periyotlu (>2 sn) salınımları bulunmaktadır.

Mikrotremör olarak bilinen doğal gürültü ölçümleri günümüzde, deprem mühendisliği açısından zemin koşullarının etkilerinin belirlenmesinde yararlanılan başlıca yöntem olmaya adaydır. Uygulamadaki sonuçları itibariyle zeminlerin doğal titreşim frekansının ve yaklaşık genlik büyütme belirlenmesinde günümüzün popüler araştırma yöntemi olarak kabul görmektedir.

Mikrotremor verileri kullanılarak yapılmış çalışma örnekleri aşağıda verilmiştir.

- Gençoğlu ve Ayhan (1974) tarafından İzmit'te yapılan Mikrotremor çalışmasında, 45 noktada mikrotremor ölçümü olarak zeminin dinamik parametreleri belirlenmiş ve zemin sınıflaması yapılmıştır. Bu araştırmacılar, o dönem sıklıkla kullanılan Kanai (1952)'nin sınıflamasını ve Medvedev (1962) tarafından önerilen yöntemi uygulayarak bölgenin baskın periyod haritasını oluşturmuşlardır.
- Yurdatapan ve Stheisberg (1974), eski Sovyetlerde gerçekleştirdikleri sismik mikrobölgeleme çalışmasında, baskın periyodun ve büyütmenin önemini belirtmişlerdir.
- Anastasiadis ve diğ. (2001) yeraltı yapısını ortaya koymak için Selanik'te mikrobölgeleme amaçlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada hem jeoteknik hemde jeofizik ve jeolojik verileri birlikte değerlendirerek yerel tepkiyi değerlendirme (site response analysis) yoluna gitmişlerdir. Barcelona'daki çalışmalarında ise mikrotremor ve jeoteknik verilerle yerin bir boyutlu tepkisini elde etmişlerdir.
- Mukhopadhyay ve Bormann (2003), Hindistan Yeni-Delhi'deki sismik mikrobölgeleme çalışmalarında, 75 noktada mikrotremor ölçümü olarak elde ettikleri verileri, Referans noktası ve Nakamura tekniklerine göre değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada, basen kalınlığının artmasıyla baskın periyodun arttığı ve çok kısa mesafelerde bile büyük değişimler gösterdiği vurgulanmıştır. Ayrıca, mikrotremor ölçümlerinin deprem kayıtlarıyla karşılaştırıldığında, büyütme ve baskın periyodu belirlemede oldukça uyumlu sonuçlar alındığını görmüşlerdir.
- Ansal ve diğ., (2001) yılında Dinar bölgesinde mikrobölgeleme amaçlı mikrotremor ölçümleri yapmıştır.
- İzmit ve Civarının Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Ölçümleriyle Belirlenmesi adlı çalışmasıyla 17 Ağustos 1999 depreminde oldukça büyük zarar gören bölgeye ait önemli parametreler elde etmiştir (Çetionol, 2003).

- Avcılar ve Yakın Çevresinde Derin Sediman Rezonansının İncelenmesi, adlı çalışmasıyla deprem ve mikrotremor verileri kullanarak elde ettikleri spektrumları karşılaştırmış ve SPAC metodu ile yeraltı yapısını ortaya çıkarmıştır (İmamoğlu, 2003) .
- Ergin ve diğ. (2004), İstanbul-Avcılar’da 5 noktada (biri kaya) sürekli titreşim kaydı alarak bölgenin baskın periyod ve büyütme seviyelerini tespit etmeye çalışmışlardır. Verileri, Referans noktası ve Nakamura teknikleri ile değerlendirmişler ve büyütme değerlerinin Nakamura tekniğine göre bazı noktalarda hatalı değerler verdiğini belirtmişlerdir.
- Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremor Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları adlı çalışmamda ise bölgede yapılan mikrotremor, sismik kırılma ölçümleri, sondaj ve laboratuvar verileriyle bölgenin mikrobölgelemesi yapılmıştır (Karabulut, 2005).
- Mirzaoğlu ve Dikmen (2003) mikrobölgeleme amaçlı olarak Bursa bölgesinde mikrotremor ölçümleri yapmışlar ve yorumlamışlardır.
- Özel ve diğ., (2004) ve Kudo ve diğ., (2002) sırasıyla Avcılar-İstanbul ve Adapazarı’nda SPAC methodunu kullanarak yaptıkları mikrotremor ölçümleri sonucu bölgenin S dalha hız yapısını kestirmişlerdir.
- Tokgöz (2002) Bolu ve çevresinde yer etkisini incelemek amacıyla mikrotremor ölçümler yapmıştır.
- Bunların dışında birçok bölgede yapılan çalışmalar vardır. Ayrıca günümüzde İstanbul’da yapılmakta olan çok ciddi çalışmalar da mevcuttur. Boğaziçi Üniversitesi ”İstanbul Deprem Acil Müdahale ve Erken Uyarı Sistemi” projesi kapsamında çalışmalar halen yürütülmektedir.

Mikrotremor Çalışmalarının Amacı

Mikrotremorlar günümüzde tüm dünya ülkeleri tarafında düşük maliyeti, hızlı ölüm alınabilirliği ve yorumlamadaki kolaylığı sebebiyle tercih edilmektedir. Mikrotremor yöntemi kullanıldıkça geliştirilmektedir.

Mikrotremorlar kullanılarak zemin yapısı hakkında önemli fiziksel parametreler elde edilmektedir. Özellikle deprem mühendisliği ve mühendislik sismolojisi çalışanları günümüzde vazgeçilmezi haline gelmiştir. Zemine ait şu özellikler mikrotremorlar kullanılarak bulunabilir.

Zeminin baskın periyodu, zemin büyütmesi ve jeofizikçiler tarafından oldukça önemli bir parametre olan kayma dalga hızı (Vs). Zemin baskın periyodu genellikle tek istasyon ya da Nakamura (1989) tarafından geliştirilen yatay bileşenin düşey bileşene oranı (Y/D) kullanılarak verilmektedir.

Aynı zamanda bu yöntem kullanılarak büyütme değerleri de verilebilmektedir. Fakat genelde zeminler homojen olmadığından bu yöntemi kullanarak bu değeri vermek tercih edilmemektedir. Genelde büyütme değerleri Standart Spektral Oran (S/R)-Referans İstasyon yöntemi) kullanılarak verilmektedir

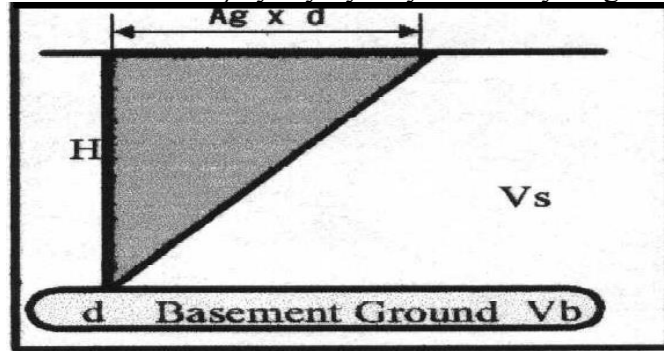
Bir alanda zemin araştırma raporu mevcut olmasa bile, lokal zeminleri jeofizik özelliklerine dayanan indirekt bir değerlendirme mikrotremor ölçümleriyle elde edilebilmektedir. Yer, küçük genliklerde; rüzgar, deniz dalgası, trafik ve endüstriyel makinaları gibi doğal ve yapay kaynakların nedeniyle titreşmektedir.

Mikrotremorun genlik seviyesi tipik olarak mikron seviyelerinden daha küçüktür. Yüksek hassasiyete sahip sismometreler mikrotremor ölçümleri için kullanılabilirler. Mikrotremor kullanılarak zemin sınıflamasına yönelik yöntemler önerilmektedir. (Kanai ve Tonaka, 1961). Kanai aşağıda tanımlanan iki değerlendirme yöntemi önerisi yapmıştır:

- Mikrotremorlara ait en büyük periyotla ve ortalama periyot arasındaki ilişkiye dayanan yöntem.
- Mikrotremorların en büyük ve hakim periyot arasındaki ilişkiye göre değerlendiren yöntem.

Mikrotremorlarla mikrobölgeleme için diğer teknikler Finn (1991) tarafından önerilmiş ve özetlenmiştir.

Nakamura tarafından 2000 yılında yayınlanan bir diğer çalışmasında kendi geliştirdiği tekniğin ve uygulamanın temel ilkelerini açıklama gereği duymuştur. Ayrıca bu çalışmasında, hasar görülebilirlik indeksi (vulnerability index) olarak K değeri tanımlamıştır. K değerleri Nakamura tarafından yapıların ve yer yüzeyinde deprem hasarlarının doğru tahmini için ortaya konulmuştur. Bu makale’de K_g ’nin hesaplanması için yerin kayma gerilmesi hesaba katılmıştır. Şekil 5.16’da basitçe yer yüzeyindeki kayma gerilmesi gösterilmiştir.



Şekil 5. 16. Basitçe yer yüzeyindeki kayma gerilmesi

$$\gamma = A_g \cdot \frac{d}{h}$$

$$F_g = \frac{V_b}{4A_g \cdot h}$$

$$\gamma = c \cdot K_g \alpha$$

$$c = \frac{1}{\pi^2 \cdot v_b}$$

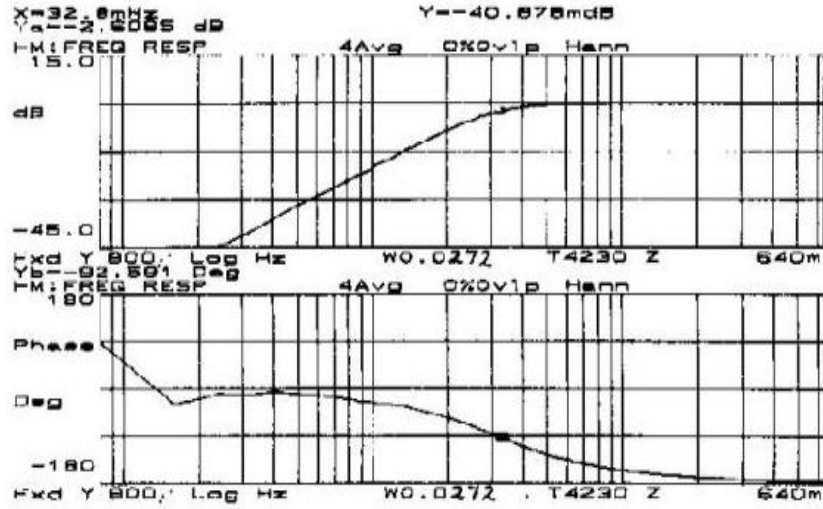
$$; \quad K_g = \frac{A_g^2}{F_g}$$

Burada;

A_g : yüzey katmanının büyütme faktörü, h , yüzey katmanının kalınlığı ve d 'de temeldeli sismik yerdeğiştirmedir. γ : yüzeydeki kayma deformasyonu, α : temeldeki ivme, F_g : yüzeydeki tabakların doğal frekansı c : değişik yapı yerleri kullanılan bir sabit. K_g : hasargörülebilirlik index' dir.

Mikrotremor Verilerinin Toplanma Aşaması

Sismometreler ivme, hız ve yerdeğiştirmeye duyarlı olup bu üç büyüklükten biri seçilerek kayıt alınabilmektedir. Bu çalışmada hız kaydı alınmıştır. Uzun periyot tepkisi 10-120 sn., kısa periyot tepkisi 50 Hz üzerindedir. Frekans aralığı 0,033–50 Hz'dir. Kullanılan sismometrenin tepki spektrumu Şekil 6.1.'de verilmiştir. Aletin hız tepkisi 0,03-50 Hz aralığına düzdür. Hız sensörü 1 sn, hız duyarlılığı 2x1600 V/M/S' dir (Güralp System Manual, 1997).



Şekil Güralp CMG-40 T model sismometrenin Tepki Spektrumu (CMG- 40 T, System Manual 1997).

Kayıtlarda güç kaynağı olarak 12V pil kullanılmıştır. Arazide kayıtlar doğrudan dizüstü bilgisayar bağlantısı ile sayısal olarak alınmıştır. Şekil 6.2.'de ölçümler sırasında kullanılan ekipmanlar görülmektedir. Ölçümler Scream! 3.0 programıyla sayısal olarak, GCF (Guralp Compressed Format) halinde kaydedilmiştir. Alınan kayıtların örnekleme frekansı 100 Hz'dir. Ayrıca çalışma esnasında ölçü alınan noktaların koordinatları kullanılarak belirlenmelidir.



Şekil 6.2. Ölçümlerin alınımında kullanılan ekipmanlar.

Arazi Ölçümleri Nasıl Yapılır

Mikrotremor ölçümlerinden zaman ortamında elde edilen üç bileşen kayıtları spektral analiz ile frekans ortamına aktarılıp spektral oranları alındığında, sismometrenin üzerinde bulunduğu

zemininin fiziksel özelliklerini yansıtan parametreler (baskın periyod ve büyütme) belirlenmektedir. Ayrıca, kültürel gürültüler ile denizden ve rüzgardan kaynaklanacak gürültülerden olabildiğince az etkilenecek yerler seçilmelidir. Kayıtların alınması sürecinde veri kalitesi bilgisayar üzerinde sürekli gözlenerek ve böylece gürültü içeriği göz önüne alınarak yeterli sürede kayıt alınması sağlanmalıdır. Doğal olarak gürültünün fazla olduğu alanlarda alınan ölçülerin süresi sakin alanlara göre daha fazladır. Ölçümlerin beton bloklar üzerinde (çakıl vs.), asfalt ve çimen gibi mikrotremor ölçümünü hatalı kılacak yerlerde alınmaması gerekmektedir. Bu durum zemine ait bilgiyi değil de, yapay blok ve asfaltın baskın periyodunu ve büyütmesini verecektir. Bölgede alınan ölçümlerde daha öncede değinildiği gibi mümkün olduğunca gürültüsüz alanlar seçilmesinin yanısıra, yukarıda sözü edilen durumlardan da kaçınılmaya çalışılmalıdır.

Mikrotremorların kaynakları çeşitli yapay ve doğal gürültüler olmasına rağmen, ölçüm alınan bölgenin bu gürültülerden (kaynağın büyüklüğüne ve özelliklerine bağlı olarak) yeterince uzak olmaması durumunda bu etkenler kaynak oluşturmak yerine ölçümlerde bozucu etkilere neden olmaktadır. Böylesi bir durumda alınacak kayıtlar zeminin özelliklerini yansıtmak yerine, kaynağın özelliklerini yansıtacaktır. Arazi çalışmaları esnasında böyle durumlardan kaçınılmalıdır. Mikrotremor ölçümleri gün içinde alınmasına karşın, yerleşim alanlarından uzak ölçüm noktaları seçildiğinden, gürültü içeriği fazla etkilememektedir.

Sismometrelerin çalışma prensibi yer hareketine uyumlu salınım yapan basit bir sarkacın elektrik akımı üretmesine dayanmaktadır. Salınım periyodu değiştikçe elektrik akımının şiddeti de değişmektedir. Tek bir yöndeki (bileşen) titreşimlere karşı duyarlı olabileceği gibi üç yöndeki hareketlere de duyarlı olan sismometreler mevcuttur.

Mikrotremor kayıtları farklı noktalarda farklı zamanlarda alınabileceği gibi, bir bölgedeki titreşim özelliklerinin noktalar arasında ya da seçilen bir referans noktasına göre gösterdiği değişimin belirlenmesi istendiğinde, genellikle bir hat üzerinde yerleştirilen çok sayıda sismometre ile eş zamanlı kayıtların alınması yoluna gidilmektedir. Bard (1998), mikrotremor ölçümlerinin alınması ve değerlendirilmesine ilişkin aşağıdaki önerilerde bulunmuştur:

- 1) Günümüzde kullanılan ivme ölçerlerin çözünürlüğü düşük frekanslarda çok az olduğundan hız ölçerlerin tercih edilmesi,
- 2) Bazı araştırmacıların 4.5 Hz sismometrelerin 0.5 Hz'e kadar güvenli sonuçlar verdiğini belirtmesine rağmen, 1 s den daha uzun periyodların çözümü için 5 s veya 10 s hız ölçerlerin kullanılması,
- 3) Mekanik ve elektronik girişime neden olabileceği için uzun kabloların kullanılmaması,
- 4) Rüzgarın düşük frekanslarda durağan olmayan, büyük distorsiyonlara yol açması nedeniyle, rüzgarlı veya yağışlı günlerde ölçü almaktan sakınılması,
- 5) Güçlü ve uzun süreli geçici sinyale yol açacağı için ağır vasıtaların geçtiği yollara yakın yerlerde kayıt alınmaması.

Mikrotremor ölçülerinde gece alınan ölçümlerin gündüz alınan ölçümlerden daha iyi olduğu yönünde açık bir gösterge yoktur. Buna karşın, yerleşim yerlerinde yapılan çalışmaların çoğunda, gece ve gündüz için H/V oranlarının tamamıyla aynı olduğu, gün içinde alınan kayıtların standart sapmasının bir şekilde az olduğu belirtilmiştir (Duval, 1994; Nakamura, 1989; Mucciarelli, 1998).

Alıcı ve zemin ikilisi için kesin bir öneri yoktur. Örneğin; Nakamura (1989), asfalt ve kaldırım üzerinde ölçü alınmasını önerirken Mucciarelli (1998), alıcıların asfalt üzerine konmamasını önerir.

Bard (1999), zemin etkisinin incelenmesinde mikrotremor verilerinin kullanılması konusunda yapmış olduğu ön çalışmalardan oluşturduğu derlemesinin 'gürültü dalga alanının yapısı' alt başlığı altında gürültü alanını aşağıdaki biçimde sınıflandırmaktadır;

- a) Uzun periyotlardaki (0.3-0.5 Hz aşağısında) gürültüler, okyanus dalgaları tarafından oluşturulur ve genliği bir kaç saat boyunca duraylıdır. Okyanustaki büyük ölçekli meteorolojik şartlar ile ilişkilidir.
- b) Orta periyotlardaki (0.3-0.5 ve 1 Hz arası) gürültüler kıyıya yakın deniz dalgaları ve rüzgarlar tarafından oluşturulurlar. Bunların duraylılığı daha azdır.
- c) 1 Hz'in üzerindeki gürültüler ise genellikle insan aktivitesi ile ilişkilidir.

Mikrotremor Kayıtlarının Değerlendirilmesi Aşaması

Mikrotremorların değerlendirilmesinde çeşitli teknikler kullanılır. Bunlardan en çok kullanılan dört tanesine değinilecek, bu çalışmada kullanılan Yatay Bileşenin Düşey Bileşene Spektral Oranı tekniği ise daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

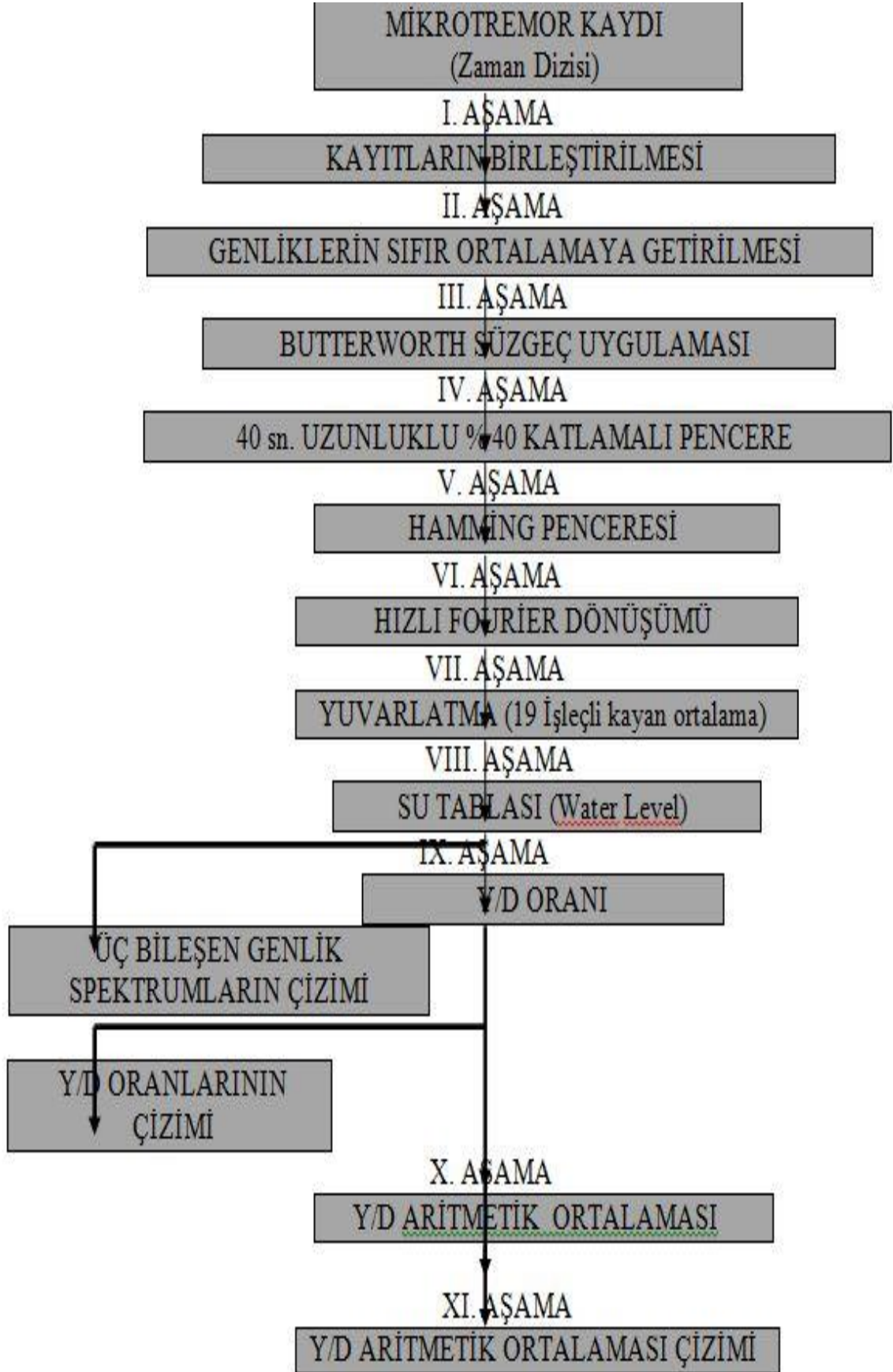
Fourier Genlik ya da Güç Spektrumlarının Yorumlanması

Birçok çalışmada, mikrotremor kayıtlarının yorumlanmasında, spektral genliklerin değerlendirilmesine gidilmiştir (Kanai ve Tanaka, 1954; Kobayashi ve diğ., 1986). Bu yaklaşım;

- 1) Mikrotremorlar düşey yayılan S dalgalarını içermektedir,
- 2) Bir mikrotremorun kaynak spektrumu beyaz gürültü ile karakterize edilmektedir varsayımlarına dayanmaktadır.

Gutierrez ve Singh (1992), Akapulko'da yaptıkları çalışmada kaya üzerinde ilgilendikleri frekans aralıkları için mikrotremorların spektrumlarının düz olduğunu gözlemişlerdir. Yumuşak zemin üzerinde aldıkları mikrotremorların doğrudan Fourier spektrumlarını almışlar ve referans istasyonunda ölçülen genlik seviyesini düzelterek yerel transfer fonksiyonunu belirlemişlerdir.

Buna benzer bir yaklaşım da güç yoğunluğu spektrumudur (Katz, 1976; Katz ve Bellon, 1978; Lermo ve diğ., 1989; Morales ve diğ., 1991). Lermo ve Chavez-Garcia (1994) standart FFT (Fast Fourier Transform) kullanarak spektral genlikleri hesaplamışlar ve Fourier genlik ve güç yoğunluğu spektrumu arasında temelde farklılık olmadığını gözlemişlerdir.

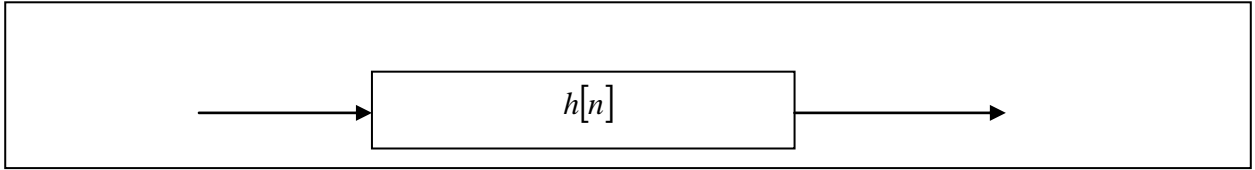


Şekil. Veri işlem akış şeması (Nakamura Yöntemi –H/V).

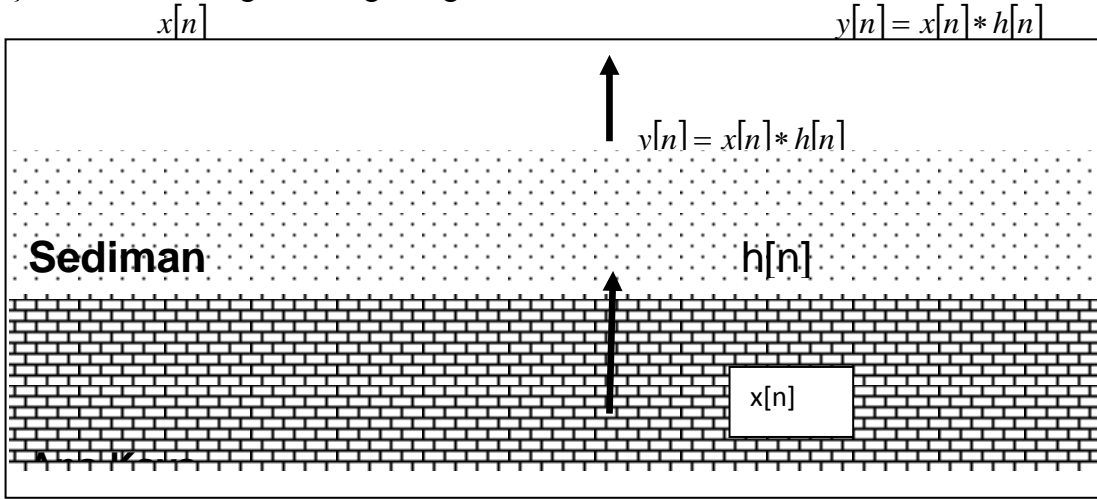
Zemin Transfer Fonksiyonu Nedir

Nakamura'nın, gürültünün yüzey dalgası ve cisim dalgalarından oluştuğu ve Y/D oranlarında yüzey dalgası etkisinin yok edildiği varsayımı izlendiğinde (Nakamura, 1986) yer etkisi ağırlık fonksiyonu $h[n]$ olan doğrusal bir dizgenin girdi; $x[n]$ ve çıktı, $y[n]$ ilişkisi evrişim bağıntısı ile verilir,

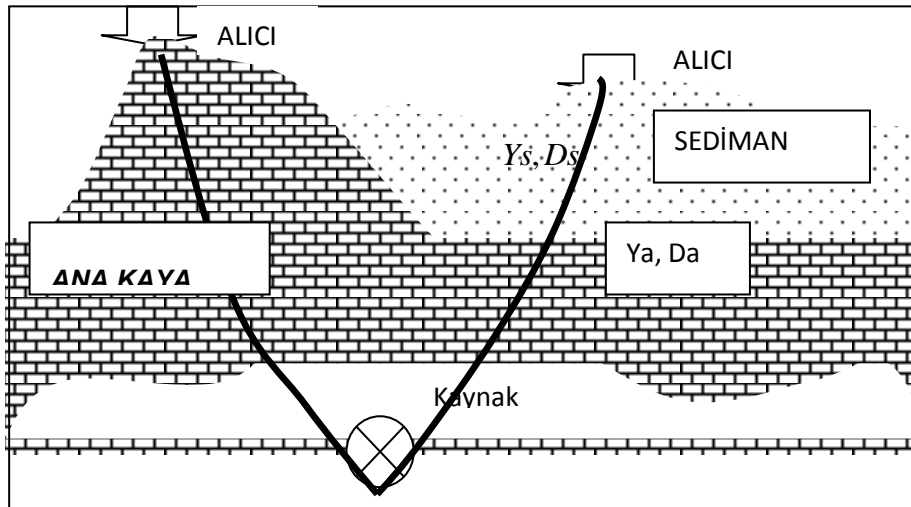
$$y[n] = x[n] * h[n] \quad \text{zaman ortamında evrişim}$$
$$Y[\Omega] = X[\Omega] \cdot H[\Omega] \quad \text{frekans ortamında evrişim}$$
$$H[\Omega] = \frac{Y[\Omega]}{X[\Omega]} \quad \text{transfer fonksiyon bağıntısı}$$



Şekil. Basit bir doğrusal dizgenin gösterimi



Şekil Basit bir yer içi modeli için doğrusal dizge yaklaşımına uygun gösterim.



Şekil İki istasyon yönteminin uygulanmasında kullanılan fiziksel model.

Referans Noktasına Göre Spektral Oran Hesaplanması

Bu teknikte, ölçü noktalarından biri kaya üzerinde seçilir ve bu nokta referans olarak alınır. Yumuşak zemin üzerinde alınan kayıt ile referans noktasındaki kayıta ortak bir pencere alınabildiği durumlarda spektral oran tekniği, zayıf ve kuvvetli yer hareketi değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılır.

Genellikle, sismogramın S dalgası kısmı pencereleme yapılarak alınır ve bunların düzgünleştirilmiş Fourier genlik spektrumlarının oranı, yumuşak zemin ve referans noktası arasındaki transfer fonksiyonunu verir. Bu teknik, mikrotremorlara Kagami ve diğ. (1986) tarafından uygulanmış ve olumlu sonuçlar bulunmuş, ancak, Seo (1992) tarafından yapılan uygulamada ise olumlu sonuç elde edilememiştir.

Spektral oran tekniğinin mikrotremorlara uygulanmasında karşılaşılan temel problem, her iki istasyon için ortak dalga silsilesini belirleme güçlüğüdür. Bu sorun iki yolla giderilebilir. Birinci yol, sismogramdaki görünüme bakmaksızın belli bir zaman penceresi almaktır. İkinci yolda ise, birçok pencere alınarak bunların ortalamalarının herhangi bir zamanda hareketi gösterdiği kabul edilir (Lermo ve Chavez-Garcia, 1994).

Şekil de verilen fiziksel modelde yer etkisinin (transfer fonksiyonunun) hesaplanması için sisteme giren, $x[n]$, ve sistemden çıkan, $y[n]$, büyüklüklerinin bilinmesi gereklidir. Şekildeki model için,

$x[n]$: ana kayada düşey doğrultuda ilerleyen, ana kaya – sediman ara yüzeyinde kaydedilen sismik dalga,

$y[n]$: ana kayadan sedimana giren, sedimanda düşey doğrultuda hareket eden, sediman – yer yüzü ara yüzeyinde kaydedilen sismik dalgadır.

$x[n]$ ve $y[n]$ 'nin kaydedilmesi ile sistemin transfer fonksiyonu $h[n]$, bağıntısından hesaplanabilir. Ancak alıcıyı sediman - ana kaya derinliğine yerleştirmek için açılacak olan sondaj pahalı ve zaman isteyen bir işlemdir. Bu nedenle kayıt, sediman altında bulunan ana kayanın yer yüzünde mostra verdiği bir yerde ve eş zamanlı olarak sediman üzerinde alınır.

Bu durumda iki kayıtçıyı eş zamanlı olarak kullanmak zorunlu olur. Bu yöntem, bugüne kadar pek çok araştırmacı tarafından yer etkisini hesaplamak için kullanılmıştır (Lachet ve diğ., 1996; Diagourtas ve diğ., 2001).

Şekilde iki istasyon tekniğinin uygulaması verilmektedir. Şekilde kullanılan parametreler;

Y_s : sediman – yeryüzü ara yüzeyinde sismik dalganın yatay bileşeni

D_s : sediman – yeryüzü ara yüzeyinde sismik dalganın düşey bileşeni

Y_a : ana kaya – sediman ara yüzeyinde sismik dalganın yatay bileşeni

D_a : ana kaya – sediman ara yüzeyinde sismik dalganın düşey bileşendir.

Bu bileşenlerin frekans ortamı tanımlamaları $Y_s[\Omega]$, $D_s[\Omega]$, $Y_a[\Omega]$, $D_a[\Omega]$ olarak verildiğinde transfer fonksiyonu $T[\Omega]$

$$T[\Omega] = \frac{Y_s[\Omega]}{Y_a[\Omega]}$$

olarak yazılır. İki istasyon yönteminde tek varsayım ana kaya üzerinde kaydedilen sinyalin, sediman – ana kaya ara yüzeyine ulaşan sinyalin karakteristiğinde olmasıdır. Bu yöntemle ışın yolu (ray path) ve kaynak etkisi giderilir (Huang ve Teng, 1999).

İki istasyon tekniğinin mikrotremor kayıtlarına uygulanmasında karşılaşılan en temel problem, spektral oranlamada kullanılan iki istasyon için ortak dalga trenini tanımlamadaki güçlüktür. Bu problem ya sismogramın görünüşüne bakmadan sadece mutlak zaman pencereleri seçilerek, ya da verilen istasyonda bir çok pencerenin ortalaması herhangi bir zamandaki hareketin karakteristiği olarak alınıp çözümlenebilir.

Yöntemin mikrotremor verileri için başarılı (Kagami ve diğ., 1982) ve başarısız sonuçlar verdiği (Seo, 1992) durumlar vardır.

I.2.1. Ölçü Alma teknikleri

I.2.1.1. Tek İstasyon Mikrotremor Yöntemi

Birçok araştırmacı yerel etkiyi, tek istasyondaki mikrotremor kayıtlarının yatay bileşeninin düşey bileşene spektral oranı yardımıyla belirleme yoluna gitmiştir. Bu düşünce ilk olarak Nakamura (1989) tarafından ortaya atılmış olduğundan teknik, araştırmacının adını taşımaktadır.

Temeli, mikrotremorların sadece yatay bileşeninin zeminden etkilendiğini ve kaynağın spektral özelliklerinin yatay bileşen mikrotremorlar kadar düşey bileşen mikrotremorlarla da beslendiği varsayımına dayanır.

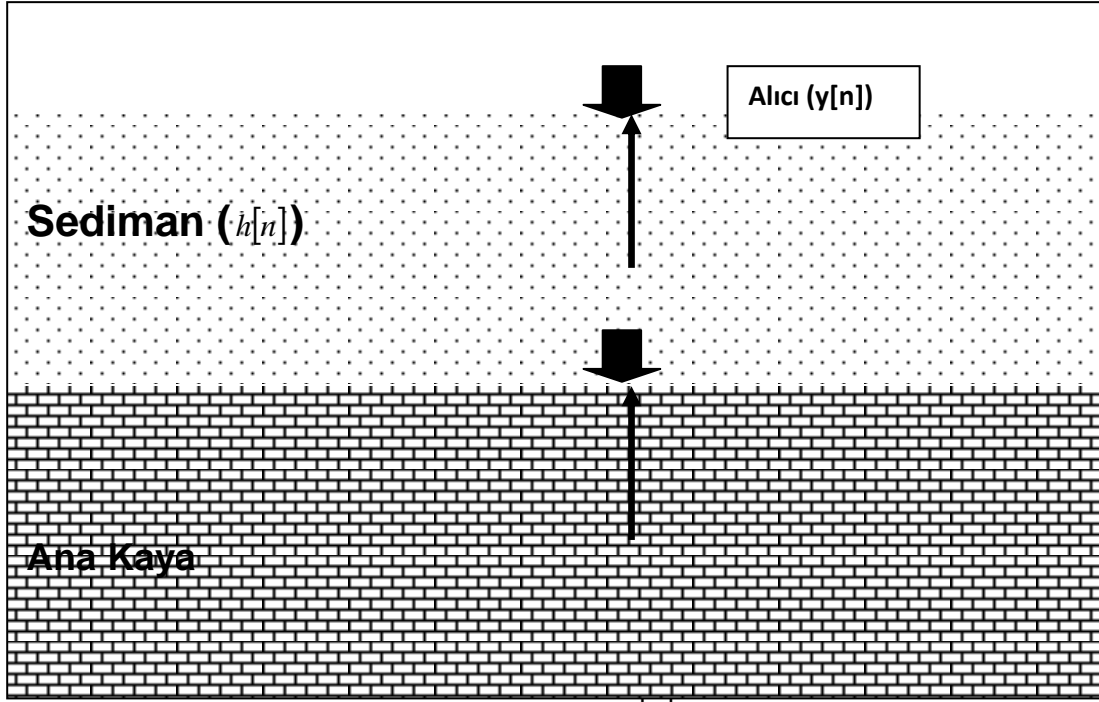
Nakamura (1989), bugüne kadar pek çok araştırmacı tarafından (Duval ve diğ., 2001; Tsuboi ve diğ., 2001) ve bu çalışmada da kullanılmış olan, iki istasyon tekniğine göre daha hızlı uygulanabilecek bir teknik geliştirmiştir. Tekniğin işlerliği aşağıdaki varsayımları gerektirmektedir:

- 1) Hareketin düşey bileşeni sedimanlarca büyütülmez.
- 2) Mikrotremorlar, yarı sonsuz bir ortam üzerinde yer alan tek bir tabaka içinde ilerleyen ağırlıklı olarak yüzey dalgalarından ve bir miktarda cisim dalgalarından oluşmaktadır.

Bu varsayımların geçerliliği Nakamura (1989), (1996) ve Bard (1999)'da ayrıntıları ile tartışılmıştır.

Birinci varsayımdan, sediman – yeryüzü ve ana kaya – sediman ara yüzeylerindeki düşey bileşenlerin spektrumlarının birbirlerine oranı 1'dir.

$$B[\Omega] = \frac{Ds[\Omega]}{Da[\Omega]} = 1$$



Şekil yer içi modeli için transfer fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılan kayıtlar.

herhangi bir büyüklüğü 1 ile bölmek büyüklüğü değiştirmeyeceğinden, transfer fonksiyonu yeniden tanımlanabilir.

$$Tr[\Omega] = \frac{T[\Omega]}{B[\Omega]}$$

$$Tr[\Omega] = \frac{Ys[\Omega]}{\frac{Ya[\Omega]}{Ds[\Omega]}}, \frac{Da[\Omega]}{Da[\Omega]}$$

ve

$$Tr[\Omega] = \frac{Ys[\Omega]}{Ds[\Omega]} \cdot \frac{Da[\Omega]}{Ya[\Omega]},$$

elde edilir. Ana kaya üzerinde yayılım tüm doğrultularda eşit olacağından,

$$\frac{Da[\Omega]}{Ya[\Omega]} = 1,$$

olacaktır. Bu tanımlama ile, transfer fonksiyonu, sediman – yeryüzü ara yüzeyinde kaydedilmiş hareketin yatay bileşeninin, yine aynı ara yüzeyde kaydedilmiş hareketin, düşey bileşenine oranına eşit olacaktır,

$$Tr[\Omega] = \frac{Ys[\Omega]}{Ds[\Omega]}$$

Bu yöntemle kaynak etkisi tamamen yok edilir (Lermo ve Chávez-Garcia, 1994) ve mikrotremor kayıtlarının Y/D oranları (Nakamura, 1989) hesaplandığında baskın frekans ortamın temel titreşim frekansına karşılık gelir (Ojeda ve Escallon, 2000). Ancak Y/D oranlarından elde edilen genlik bilgisinin, zemin büyütme katsayısının hesaplanmasında kullanılması tartışmalıdır (Bodin ve diğ., 2001)

Sıfır Kesme Yöntemi (Kanai Yöntemi)

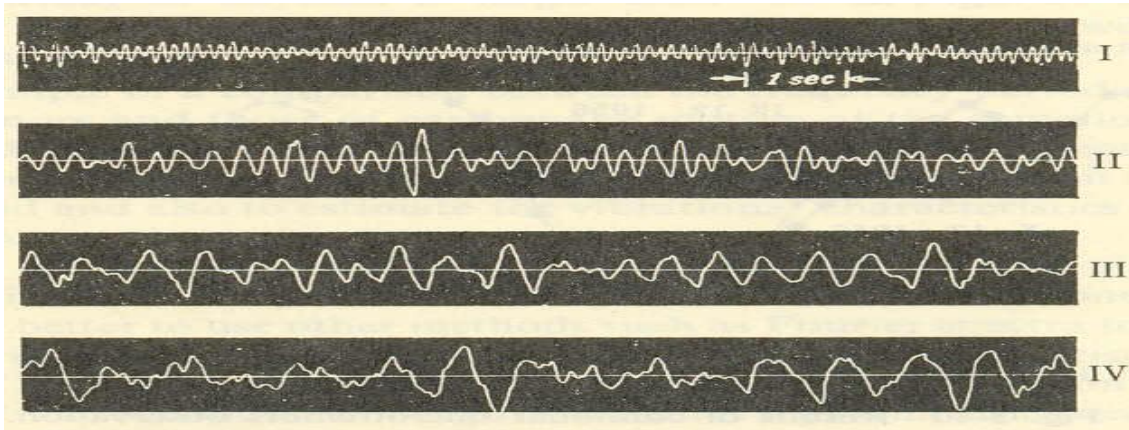
Yer, sürekli olarak anlık genliklerle salınır. Genelde mikrotremorların genliği, birkaç mikrondan küçüktür ve periyodları saniyenin birkaç onlarından birkaç saniyeye kadar değişir. Çünkü mikrotremorlar trafik, endüstri makinaları, rüzgarın hareket ettirdiği şeyler ve benzeri pek çok kaynağın oluşturduğu değişik tipteki dalgaların bir kombinasyonudur (Omori, 1937; Tomoda ve Aki, 1956; Aki, 1957; Akamatsu, 1961; Kanai ve diğ., 1961, 1966). Çözümleme yöntemi ve sismografin tipine bağlı olarak her çeşit dalga gözlenebilir. Mikrotremorların özellikleri, temelde mikrotremor ölçer (microtremometer) olarak adlandırılan sismograflarla gözlemlere dayanır.

Farklı tipteki yerlerde alınmış tipik mikrotremor kayıtları ve onların frekans-periyod eğrileri Şekilde verilmiştir. Şekil, mikrotremorun ortalama periyodunun zamanla fazla değişmediğini, ancak, gündüz yapılan gözlemlerin genliklerinin gece alınan gözlemlerinkine göre oldukça büyük olduğunu gösterir. Farklı yerlerde alınmış mikrotremorların gece ve gündüz genlik ve periyod değişimlerini gösteren Şekilden de anlaşılacağı gibi bu niceliksel ilişki yere göre değişir.

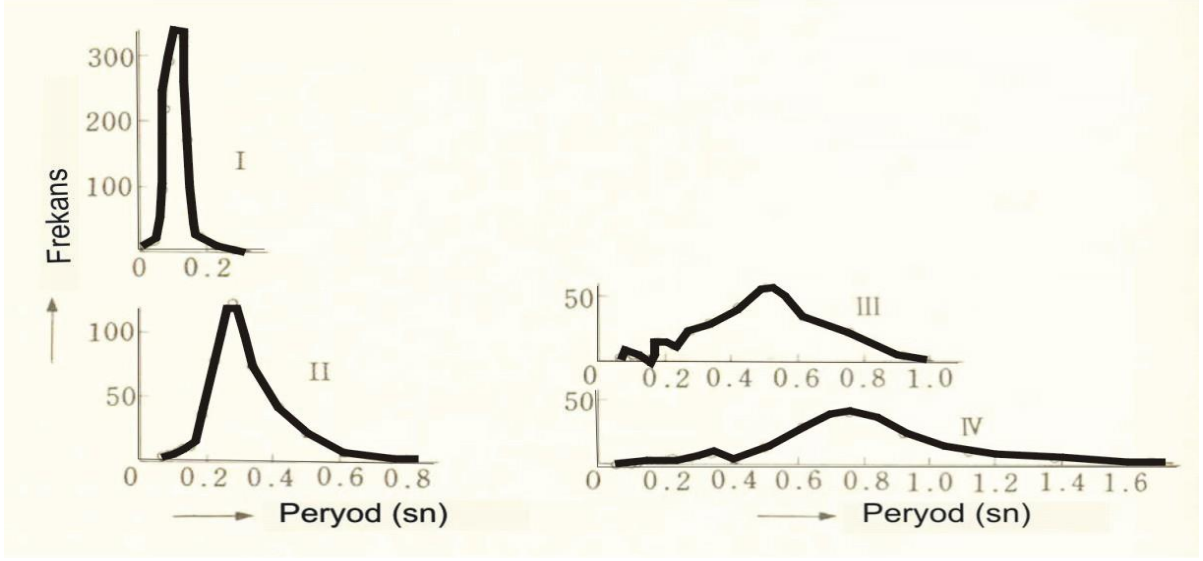
Bu değişimi, Kanai (1983) tarafından Gece genliği=0.3*(gündüz genliği)^{1.5} ile tanımlanmıştır.

Bu yöntemle değerlendirilen mikrotremorlardan elde edilen ortalama periyod, en büyük periyod, baskın periyod ve en büyük genlik arasındaki ilişkiye dayanan zemin sınıflaması

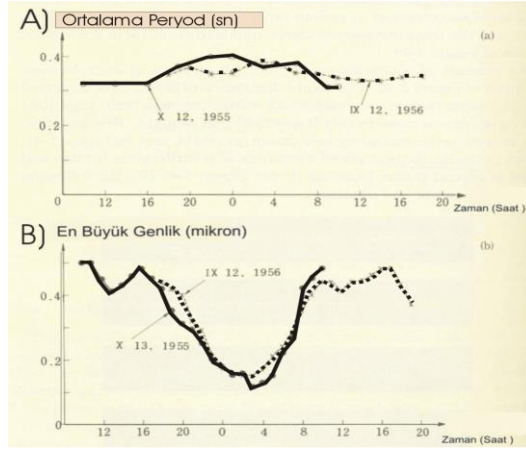
- I. Kaya, sert kumlu çakıl vb içeren tersiyer ya da daha yaşlı tabaklar,
- II. Yaklaşık 5 metre ya da daha kalın; kumlu çakıl, kumlu sert kil ve benzeri malzemelerin oluşturduğu çakıllı alüvyon katmanı,
- III. Kalınlığı 5 metre ya da daha fazla olan alüvyon katman,
- IV. Alüvyonlu kalınlığı 30 metreden fazla olan, yumuşak vadi dolguları, çamur ve üst toprak katmanlarından oluşan tabaka şeklindedir.



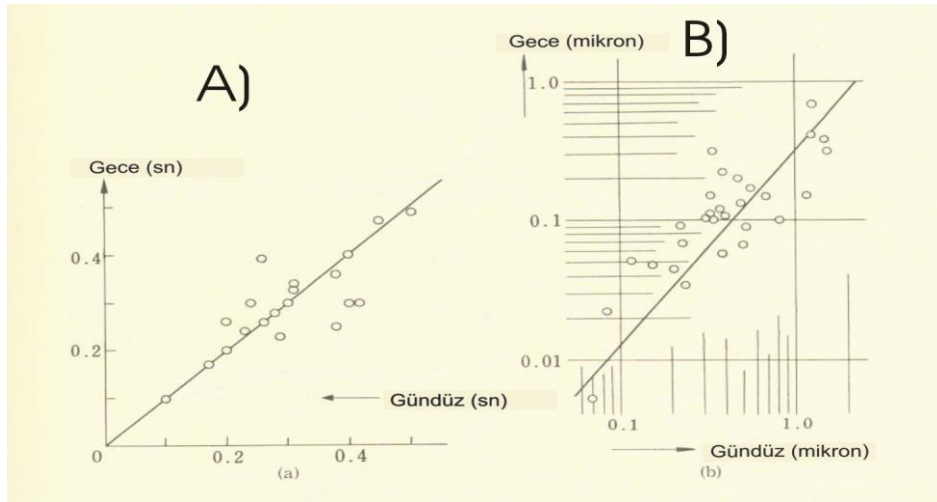
Şekil Farklı tipteki yerlerde alınmış tipik mikrotremor kayıtları (Kanai, 1983).



Şekil. mikrotremor kayıtlarının frekans-peryod eğrileri (Kanai, 1983).

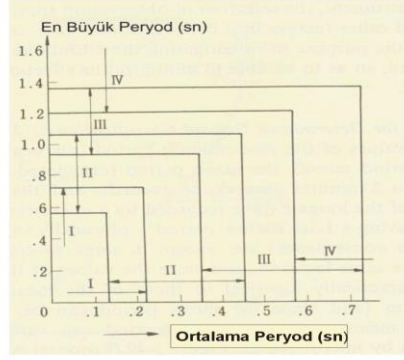


Şekil. Sürekli olarak ve 24 saat boyunca alınmış mikrotremor kaydı: A) Ana Peryod, b) En Büyük Genlik (Kanai, 1983).

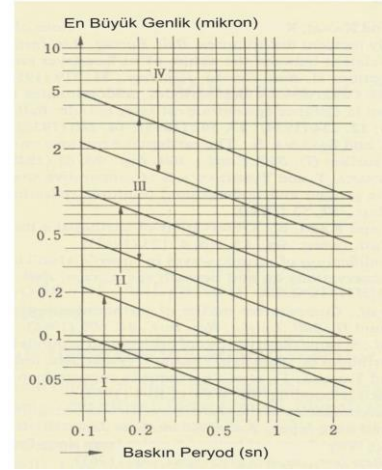


Şekil. Farklı yerlerde alınmış mikrotremorların gece ve gündüz genlik ve peryod değişimlerini (Kanai, 1983).

A)



B)



Şekil Mikrotremorlardan elde edilen: A) Ortalama periyod, En büyük periyod, B) Baskın periyod, En büyük genlik arasındaki ilişkiye dayanan zemin sınıflaması (Kanai, 1983).

Tek istasyon Mikrotremor yöntemi ekonomik ve uygulamada hızlı bir teknik olması nedeniyle zemin büyütme ve hakim titreşim (rezonans) frekansı belirleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Aynı noktada 3-bileşen sismometreler ile toplanan zeminin 1-boyutlu yatay-düşey genlik oranı eğrileri frekansın fonksiyonu olarak (spektral oran eğrileri) belirlenmektedir.

Bu analiz ile elde edilen spektral oran eğrilerinin değerlendirilmesi ile zemin hakim titreşim frekansı ve bu frekansa karşı gelen yatay-düşey genlik büyütme oranı doğrudan saptanmaktadır

Ayrıca yatay-düşey spektral oran yönteminde oranın güvenilir bir şekilde elde edilebilmesi için aşağıdaki izleneye uyulması önerilir.

Bu izlenceler;

1. Kayıt uzunluğunun olabildiğince uzun olması gerekir. Eğer kayıt uzunluğu kısa seçilirse; kayıtlar sırasında geçici gürültülerin ortamın doğal gürültülerinden baskın olduğu zaman pencere işleminin iyi sonuç vermesine engel olabilmektedir.
2. Verinin olabildiğince dış etkenlerden (trafik, sanayi, rüzgâr, sıcaklık değişimleri, vb.) etkilenmesi en aza indirgenmeli (sessiz ve açık alanlar seçilmeli veya oluşturulmalı)
3. Sismometre zemine tamamen gömülmelidir.

Veriler değerlendirilirken uygulanan izleneye;

1. Her bileşen kaydı (2 yatay ve 1 düşey) uzunluğu 10-40 sn arasında değişen pencereler ile pencere işlemi yapılır.
2. Her kayıt yer alan her bileşen için ortalama 9-10 pencere seçilmesine dikkat edilmelidir.
3. Her bir pencere ait verinin 0,1-20 Hz frekans bantlarında frekans spektrumları hesaplanır.
4. Elde edilen frekans spektrum eğrilerinden oluşturulan (yatay1 bileşen +yatay2 bileşen)/Düşey bileşen Eğrilerinin ortalaması alınarak ölçüm noktasını temsil edebilecek spektral oran eğrisi ve standart sapma değerleri elde edilir.

Genel Tanımlar

Spektrum : Karmaşık bir olayı; büyükten küçüğe doğru sıralı bir biçimde basit bileşenlerine ayırma işlemidir.

Fourier Spektrumu : Spektrum elde etmenin matematiksel yolu. Zaman veya frekans ortamındaki verileri frekans ortamına aktarmanın matematiksel yolu.

Nakamura Tekniği : Yatay (Horizontal) ve düşey (Vertikal) kayıtların spektrumlarının birbirilerine oranlaması esasına dayanan teknik H/V ya da Quasi transfer spektrumu (Nakamura,1989) olarak bilinir.

Bu teknikte belli kabuller yapılır. Bunlar;

1. Yapay titreşim kaynaklı olaylarda çoğunlukla düşey bileşen hakimdir.
2. Bu düşey hareket Rayleigh dalgaları oluşturur.
3. Bu rayleigh dalgaları microtremor kayıtların gürültüsü olarak kabul edilir ve elemine edilmeye çalışılır.
4. sedimanter bir yapı model olarak kullanılır.
5. Genel olarak böyle bir yapıda P dalga hızı S dalga hızından üç – dört kat fazla olduğu kabul edilir.
6. Ayrıca; böyle bir yapıda yatay bileşenlerin maksimum büyütme verdikleri frekans çevresinde dikey bileşende bir büyütme olmadığı ($A_v = 1$) kabul edilir.
7. Eğer Rayleigh dalgalarının etkisi yoksa $V_f \approx V_b$ olur.
8. Diğer taraftan $V_f > V_b$ (büyük) ise bu yüzey dalgalarının etkisinin baskın olduğu ve bu durumu kullanarak yüzey katmanlarının büyütmelerinin elde edilebileceği kabul edilir.
9. **$H_f = A_h * H_b + H_s$** , Sedimanter havzaya ait yüzeydeki yatay spektrum
 $V_f = A_v * V_b + V_s$ Sedimanter havzaya ait yüzeydeki düşey spektrum
 $A_h =$ Dikey gelen cisim dalgalarının yatay hareket büyütme faktörü
 $A_v =$ Dikey gelen cisim dalgalarının düşey hareket büyütme faktörü
 H_b ve V_b : havzanın altındaki taban içindeki yatay ve düşey hareketlerin spektrumları **H_s ve V_s** : Rayleigh dalgalarının yatay ve düşey yöndeki spektrumları
 $T_h = H_f/H_b =$ yüzeydeki sediman zemine ait yatay büyütme faktörü
 $T_v = V_f/V_b =$ yüzeydeki sediman zemine ait düşey büyütme faktörü
10. P dalga hızı S dalga hızından 3 veya 4 kat daha fazladır. Bu nedenle Sedimanter tabakalarda yatay bileşende amplifikasyonun büyük değerler aldığı frekans aralığında, düşey bileşende büyütme oluşmaz ($A_v=1$)
11. Rayleigh dalgası etkisi yoksa $V_f=V_b$ ' dir.
12. Eğer $V_f > V_b$ ise bu durum yüzey dalgalarının etkisinin içermesinden kaynaklandığı düşünülür.
13. Rayleigh dalgalarının etkisini $V_f/V_b (=T_v)$ den tahmin edilebilir. Bunun sebebi Rayleigh dalgaları düşey bileşende hakim olmasından kaynaklanmaktadır. Temel kaya da bu dalgalar oluşmayacağına göre yüzeydeki (V_f) spektrum (V_b) ye bölünürse bu etki hesaplanabilir.
14. Eğer Rayleigh dalgalarının etkisi yoksa $QTS=A_h/A_v$ dir.
15. Eğer Rayleigh dalgalarının miktarı fazla ise, (14) deki ifadenin ikinci kısmı baskın hale gelir ve $QTS=H_s/V_s$ ve H_s/V_s ' nin en düşük pik frekansı A_h ' ın en düşük uygun

frekansına (F_0) eşit olur. Bu frekans değerinde $A_v=1$ dir. Bu durumda QTS F_0 da durağan bir pik gösterir.

16. Rayleigh dalgalarının etkisi fazla olsa bile V_s küçülür. Eğer temel kaya'daki titreşimler Rayleigh dalgalarına göre büyük olursa $QTS=A_h$ olur.
17. QTS SH dalgalarının yüzey tabakaları içindeki çoklu yansımaları ile büyütme faktörüne ait birinci sıradaki uygun frekansı simgeler.(Nakamura 2000)
18. Kayalık yerler üzerinde alınan deprem kayıtlarının yatay ve dikey bileşenlerinin oranlarının (H/V) farklılık göstermediği elde edilen çeşitli verilerden anlaşılmıştır.
19. $AH/AV=1$ ise (Nakamura 2000) Yumuşak zeminlerde ise yatay ve düşey bileşenlerin oranlarının bir den büyük olması bu tekniğin kullanılabilirliğini gösteren nedenlerden biridir.

Veri Değerlendirilmesi ve Elde Edilen Sonuçlar

1. Veri değerlendirilmesindeki amaç Fourier dönüşümü yapılarak elde edilen frekans ortamında basit dalga bileşenlerinden yola çıkarak hakim genlik ve periyod değerlerine ulaşmaktır. Diğer bir deyişle en yüksek genlik ve bu değere karşılık gelen frekans değerine ulaşmaktır.
2. Bu amaca ulaşmak için sırasıyla aşağıdaki işlemler yapılır.
 - a. Sıfır ekseninden kayma (off-set) düzeltmesi
 - b. Pencere uygulaması
 - c. FFT uygulaması
 - d. Spektral oran grafiklerinin Nakamura tekniği ile elde edilmesi.

Elde Edilen Parametreler

1. Deprem şiddet artış katsayısı
2. Zemin hakim titreşim Periyodu

Mikrotremor Verileri Nasıl Analiz Edilir

Spektral analiz yöntemleri kullanarak, sismik dalga karakteristikleri ve bu dalgaların yapılar üzerindeki etkisinin anlaşılması mümkün olmaktadır. Gözlenen dalganın spektrumu bize dalganın hangi yolu izleyerek geldiği ve bu yol üzerinde hangi bileşenler tarafından etkilendiği başka bir deyişle zemin koşullarının sismik dalga yayılımı üzerindeki etkisi hakkında geniş olarak bilgi verir.

Zeminde kaydedilebilen ve çeşitli nedenlerden kaynaklanan çok küçük genlikli titreşimler olarak adlandırılan mikrotremor dalgalarını değerlendirmek için de spektral analiz yöntemlerinin kullanılması ve mikrotremor karakteristiklerinin zemin koşullarından ne şekilde etkilendiğın belirlenmesi mümkün olmaktadır.

Mikrotremor verilerinin incelenmesi ile elde edilen Fourier spektrumlarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmakta olan üç yöntem vardır. Bunlar;

- * Sert zemimde veya kaya üzerimde bulunan bir referans istasyonuna göre spektral oranların elde edilmesi,
- * Fourier genliklerinin yada güç spektrumlarının doğrudan değerlendirilmesi,

* Yatay hareket bileşenlerinin düşey hareket bileşenine göre spektral oranlarının belirlenmesi (Nakamura Yöntemi) yöntemleri olmaktadır.

Dördüncü yöntem olarak Sıfır kesme yöntemi yani Kanai Yöntemini söyleye biliriz. Bu yöntem mikrotremor analizi ve zemin sınıflandırılmasını içermektedir.

İlk üç yöntemin ortak özelliği yerel zemin etkisinin elastik yarı sonsuz ortam üzerinde yer alan tek bir yumuşak zemin tabakasından kaynaklandığını kabul etmeleridir.

Fourier genliklerinin ya da güç spektrumlarının doğrudan değerlendirilmesi sonucu zemin hakim periyodunun bulunması ve referans istasyonuna göre spektral oranların elde edilmesi veya yatay hareket bileşenlerinin düşey hareket bileşenlerine göre spektral oranların belirlenmesi sonucunda zeminlerdeki büyütme seviyelerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır.

Bu durumda iki boyutlu ve üç boyutlu yerel zemin etkileri ihmal edilmiştir (Lermo ve Chavez-Garcia, 1994b).

Kanai metodunda ise; mikrotremor kaydından herhangi iki dakikalık kısmı alınarak sıfır kesme noktaları arasındaki uzaklık ölçmekte ve bu uzaklıkların iki katı, periyod olarak kabul edilmektedir.

Bulunan periyodlar yatay ekseninde, her bir periyoda ait yenileme sayıları düşey ekseninde işlenerek periyod dağılım eğrisi oluşturulur. Bu dağılım eğrisinin doruk noktasına karşılık gelen periyod, en çok tekrarlanan periyod olup hakim periyodu verecektir.

Zemin Grubu Özellikleri ve Mikrotremor Frekans İlişkisi

I Zemin , kaya , set kumlu çakıl vb. içeren tersiyer ya da daha yaşlı Tabakalardan oluşur.

II Zemin , kumlu çakıl , sert kumu kil vb. içerir sel gerilimli ya da çakıllı alüvyon olarak 5m ya da daha çok kalınlıktaki katmanlardır

III Zemin , kalınlığı 5m ya da daha fazla olan alüvyon içermektedir.

IV Zemin, yumuşak

Fourier spektrumu, sismik dalgaların kendi frekans özelliklerini yani hangi frekans bileşenlerini içerdiğini, hangi bileşenin genliğinin büyük olduğunu göstermektedir.

Büyük genlikli bir bileşen bulunması halinde bu bileşenin hakim durumda olduğu bilinmekte ve böyle bir dalga bileşeninin frekans veya periyoduna hakim frekans veya hakim periyod adı verilmektedir.

Güç spektrumunda ise değerler, Fourier spektrum değerlerinin karelerine eşit olup, dalga bileşenlerinin yapılar üzerinde oluşturacağı etki güç spektrumunda daha belirgin olarak görülmektedir.

Frekans sektümları c) H/V oranları (W) d) H/V spektrumu-frekans grafiği.

I.2.1.2.Array Dizilimleri

SPAC Yöntemi

SPAC yöntemi ilk olarak Aki (1957) tarafından yüzey dalgalarından faz hızını belirlemek için kullanılmıştır. Aki, tüm yönlerden gelen izotropik dalgalar olarak adlandırdığı titreşimlerden aldığı kayıtlarla yakın yüzey yer yapısını belirlemeye çalışmıştır. SPAC yönteminin temel ilkeleri;

1. Titreşimlerin karmaşık dalga hareketlerinin, zamanda ve uzayda yapılan stokastik bir işlem olduğu düşünülen bir yöntemdir.
2. Dairesel dizilimle belirlenen titreşim verisi için, uzaysal özilişki katsayısı, yüzey dalgaları gibi dispersif olan titreşimlerin oluşturduğu dalgalarla tanımlanabilir.
3. Uzaysal özilişki katsayısı, faz hızı ve frekansın bir fonksiyonudur.

Titreşimlerden yüzey dalgalarının ayırt edilebilmesi için SPAC yöntemi, mükemmel bir yöntemdir. Basit bir deyişle, anlatılan bu iki yöntem, gürültüden sinyalleri belirleme kuramı üzerine kurulmuştur (Aki 1957, Okada 2003). Tez içeriğini oluşturan yöntem bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Faz analizi çok karmaşık olduğu zaman, dalga sayısı yöneylerinin dağılımı ile sismik dalgaların spektrumları arasındaki ilişkiyi belirlemek için Aki (1957) tarafından geliştirilmiş temel bir kuramdır.

Aki'nin (1957) amacı, geçici ve uzaysal boyutlardaki stokastik işlem olarak bilinen karmaşık dalga olaylarının belirlenmesidir. Dolayısı ile bu titreşimler, karmaşık dalga olaylarını içeren titreşimlerdir. Aki (1957), bu kuramı için verdiği bir örnekte, kısa periyodlu (<1 sn) titreşim kayıtlarından yakın yüzey yer yapısını belirlemeye çalışmıştır. Bu uygulamadan elde edilen sonuçlar mükemmel kabul edilemeyebilir fakat buna rağmen, bu yöntemle, doğal gürültünün bir sinyal olarak anlaşılması ve bu sinyali kullanarak yakın yüzey yer yapısının anlamlandırılması için, yeni bir jeofiziksel araştırma önerilmiş olur. SPAC yönteminin f-k yöntemine göre iki önemli üstünlüğü bulunmaktadır. Bunlar;

1. f-k yönteminden daha küçük dizilimler yaparak ve daha az sayıda istasyon kullanarak benzer sonuçlar üretir. Titreşim araştırmalarında dizilim boyutları önemlidir. Çünkü,
 - Büyük yarıçaplı dizilimler, deneme sayısını arttırırken, doğruluğu azaltır.
 - Büyük yarıçaplı dizilimler, dizilim altındaki paralel kabul edilen tabakalar için titreşim yönteminin sonucunu etkileyebilir.
2. Titreşim sinyalinin düşey ve yatay bileşenlerinin kaydı ile sadece Rayleigh dalgası değil aynı zamanda Love dalgaları da belirlenebilir (Okada and Matsushima 1989).

Farklı Bir Tanım: Dairesel dizilimli mikrotremor aletleri kullanılarak yapılan pasif kaynaklı Uzaysal Özilişki Yöntemi (SPAC) ile veri toplama ve veri işleme kuramları geliştirilmiştir (Aki 1957, 1964, Toksöz 1964, Okada 2003, Tokimatsu 1997, Asten et al. 2003). Mikrotremor verileri ile yerin doğal salınımı incelenir. Deprem, patlatma gibi olayların yanında yer içinde sürekli olarak salınımlar gözlenir. Bu küçük titreşimler `mikrotitreşimler` olarak da adlandırılır. Kullanılan yöntemlerin temelini yüzey dalgalarının kayıtları oluşturur. Yüzey dalgaları dispersif bir davranış sergiler.

Dalğanın dispersiyon özelliği, farklı derinliklerdeki tabakalara ait bilgilerin farklı frekanslı ya da farklı periyodlu dalga boylarıyla taşınmasını da beraberinde getirir. Bu nedenle özellikle

Rayleigh yüzey dalgasının eldesi bu yöntem içerisinde önem taşımaktadır. Yöntemde, Roberts and Asten (2004)'in de bahsettiği gibi titreşim kayıtlarının dispersif özelliğinden yararlanarak frekansa bağlı faz hızları grafiklenir. Frekans arttıkça, faz hızı azalmaktadır (Lay and Wallace 1995). Grafiklenen bu verilerin ters-çözümü sonucunda S dalgası hız değişimi elde edilir.

SPAC yöntemin temelinde, yerin doğal salınım (titreşim) kaydından elde edilen Rayleigh dalgaları yatar. Yöntem, Aki (1957) tarafından geliştirilen, titreşimlerin zaman – uzayda stokastik bir olay olduğu varsayımına dayandırılan bir yöntemdir. Özellikle, son yıllarda, mühendislik amaçlı çalışmalarda birçok alanda kullanılmaktadır.

Dairesel dizilimle konuşlandırılmış titreşim ölçen aletlerle kaydedilen titreşimlerden elde edilen dispersiyon eğrisi yardımıyla, alıcılar arasında kalan alana ait ortamın hız yapısı elde edilir. SPAC yöntemi ile arazide ölçü alma işlemi, daire çevresine yerleştirilen en az üç mikrotremor aleti ve merkeze yerleştirilen tek bir mikrotremor aleti ile yapılır. Açılımda, daire üzerine yerleştirilen mikrotremor aletlerinin sayısı arttıkça, daha iyi sonuçlar verdiği Okada (2003) tarafından belirtilmektedir. SPAC tekniği uygulaması, yalnızca düşey bileşen sismik ölçümü ile tanımlanır ve hareketini dispersif olan Rayleigh dalgası hareketi ile sınırlar.

Dairesel dizilim kullanarak da uzaklardan gelen farklı azimutal açılardaki Rayleigh dalgası yayılımını elde etmek mümkündür. Ayrıca, çalışılan alanda, SPAC tekniği ile pasif sismik yapılması, yerin jeolojik yapısının da ayırt edilmesine yardımcı olur. Yani yerin doğal hareketlerinden bilgi elde etmemizi sağlar. Çalışma, yatay tabakalı bir yer modeli için sonuç üretir.

En uygun S dalga hız – derinlik kesitini elde etmek için eğri yineleme yaptırılarak değiştirilir ve en uygun hale getirilir. Toplanan verinin analizi, yatay tabakalı yer modeli için kullanılacağından, bu modeli oluşturan tabakaların da kendi içinde homojen ve izotrop birimlerden oluştuğu dikkate alınmalıdır. Buradaki önemli dört parametre S dalga hızı ve P dalga hızı, kalınlık, yoğunluktur. Buradan elde edilecek dispersiyon eğrisi sonuçları, tabaka kalınlığı ve S dalga hız değişimlerine duyarlıdır (Roberts and Asten 2004). Yöntem, 1B S dalga hız yapısını ortaya çıkarmaktadır ve sismik yöntemlerle karşılaştırıldığı zaman, bölgede yapılacak araştırmalar için bir seçenek sağlamaktadır (Roberts and Asten 2004, Apostolidis et al. 2004).

A ve B noktalarındaki mikrotremor kayıtları r_0 and $r_0 + r$ deki kayıtlar olarak alınmıştır. A ve B deki dalgacıklar

$$X(t, r_0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{iwt+ik(r+r_0)} Z(w, k) \quad (13)$$

$$X(t, r + r_0) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{iwt+ik(r+r_0)} dZ(w, k) \quad (14)$$

Burada w is frekans, k ise dalga sayısı vektörüdür. $Z(w,k)$ ise,

$$1. E[dZ(w,k)] = 0 \quad w,k,\Phi \text{ leri bütün değerleri için} \quad (15)$$

$$2. [dz(w,k)]^2 = dH(w,k) \quad w,k,\Phi \text{ nın bütün değerleri için} \quad (16)$$

$$3. E[dZ^*(w,k)dZ(w',k')] = 0 \quad w,w' \text{ ve } k,k' \text{ nın farkları için} \quad (17)$$

Burada H mikrotremorun integral spektrasıdır. Özel Otokorasyon Fonksiyonu:

$$S(r_0, r) = E[X^*(t, r_0) \cdot X(t, r_0 + r)] \quad (18)$$

E ortalamayı ve * kompleks conjugayı gösterir. Eğer mikrotremor yüzey dalgalarının ana modlarından oluşmuşsa, k w'nin bir fonksiyonudur. (18) e (15), (16) ve (17) ilave edilirse

$$S(r_0, r) = E[X^*(t, r_0) \cdot X(t, r_0 + r)] = E \left[\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-i\omega't - ik'r_0} dZ^*(\omega', k'), \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\omega t + ik(r_0 + r)} dZ(\omega, k) \right] \quad (19)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{ik(r_0 + r) - ik'r_0} dH(\omega, k) \quad (20)$$

Eğer mikrotremor spektral yoğunluğa sahipse $h(\omega, k)$, $dH(\omega, k) = h(\omega, k) d\omega dk$ olur ve (20) şu şekilde yazılabilir,

$$S(r_0, r) = \int_{-\infty}^{\infty} dk \int_{-\infty}^{\infty} d\omega e^{ikr} h(\omega, k) \quad (21)$$

Eğer kutupsal koordinatlar $r=r(\cos\theta, \sin\theta)$, $k=k(\cos\phi, \sin\phi)$ ise (21) numaralı denkleme injekte edilirse (21) nolu denklem

$$S(r, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_0^{2\pi} e^{ikr \cos(\theta - \phi)} \cdot h(\omega, \phi) d\phi \right] d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} g_w(r, \theta) d\omega \quad (22)$$

Olur. Burada $g_w(r, \theta)$ Uzaysal Kovaryans Fonksiyonu olarak adlandırılır. r_0 koordinatında Uzaysal Kovaryans Fonksiyonu:

$$S_0 \equiv S(r_0, 0) = E \left[|X(t, r_0)|^2 \right] = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_0^{2\pi} h(\omega, \phi) d\phi \right] d\omega = \int_{-\infty}^{\infty} h_0(\omega) d\omega \quad (23)$$

$h_0(\omega) d\omega$, ω ve $\omega + d\omega$ arasındaki ortalama gücü verir.. Böylelikle S_0 mikrotremordaki toplam enerjiyi verir. ω frekansında Uzaysal Kovaryans Fonksiyonunun uzaysal ortalaması :

$$\tilde{g}_w(r, \theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g_w(r, \theta) d\theta \quad (24)$$

(16) numaralı denklemden

$$\tilde{g}_w(r, \theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} e^{ikr \cos(\theta - \phi)} \cdot h(\omega, \phi) d\phi d\theta \quad (25)$$

Elde edilir. θ is Bessel fonksiyonu J_0 ile belirlenebilir.

$$\tilde{g}_w(r, \theta) = J_0(kr) \int_0^{2\pi} h(\omega, \phi) d\phi \quad (26)$$

(21) nolu denklemden

$$\tilde{g}_w(r, \theta) = J_0(kr)h_0(w) \quad (27)$$

Elde edilir.

Ortalama Otokorolasyon Fonksiyonu

$$\tilde{S}(r) = \int_{-\infty}^{\infty} J_0(kr)h_0(w)dw \quad (28)$$

ile verilir. (28) nolu denklemin sağ tarafı mikrotremorun toplam gücünü verir. Uzaysal olarak ortalaması alınmış otokorolasyon fonksiyonu mikrotremorun güç spektrumu $h_0(w)$ ile standart hale getirilir.

Bu şekli ile Uzaysal Otkoralasyon Fonksiyonu $\rho(w, r)$ adı verilmiştir,

$$\rho(w, r) = \frac{\tilde{g}(r, \theta)}{h_0(w)} = J_0(kr) = J_0\left[\frac{wr}{c(w)}\right] \quad (29)$$

$c(w)$ Rayleigh dalgasının faz hızıdır. Böylece bir dizilim boyunca mikrotremor kaydı alınırsa frekansın fonksiyonu olarak faz hızı bulunabilir. Uzaysal Otkoralasyon Fonksiyonu dizilime bağımlıdır ve ortamın özelliklerini yansıtır. Eğer alıcıların arazideki konumları farklı ise (24) nolu bağıntı

$$\rho(w, r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{g_w(r, \theta)}{\sqrt{h_0(w).h_r(w)}} d\theta \quad (30)$$

SPAC Yönteminde Veri Toplama

Alıcı : SPAC yönteminde üç bileşenli sismometre (doğal frekansı 0 ile 100 Hz olan) kullanılarak dizilim ölçüm tekniği uygulanır. Alınan kayıt üç bileşenli olduğundan Love ya da Rayleigh dalgaları incelenebilir. Rayleigh dalgaları ile Vs hız değerlerine ulaşılmak istenirse sadece düşey bileşen kayıtları kullanılır.

Veri Toplama Dizilimleri: İki tür veri toplama sistemi vardır.

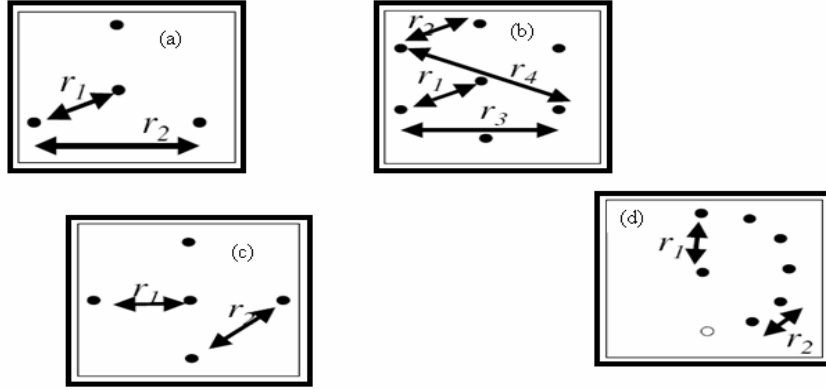
1. Her istasyon birbirinden bağımsız olacak şekilde kayıt alınır. Bu sistemde, zaman doğrulaması gerekmediği için avantajlıdır. Tüm istasyonlarda, aynı zamanda kayıt alınır. Bu sistem küçük dizilimler için daha uygundur. Böylece daha sığ yer yapısı hakkında bilgi elde edilebilir.
2. Dizilimdeki tüm istasyonlar birbirleriyle bağlanılarak çok kanallı olarak olarak ölçü alınır. Bu sistem, istasyonlar arasında bir zaman kalibrasyonu gerektirir. Bunun için de GPS saati kullanılarak, her kayıtçının düzgün bir biçimde kayıt alınması ile sağlanır.
- 3.

Tüm avantaj ve dezavantajlar düşünülürse, birbirinden bağımsız olan sistem, titreşim kaydı için daha uygundur. Birbirinden bağımsız istasyonlarda kaydedilen titreşim verisi bazı işlemler gerektirir. Bunlardan biri de istasyonlar arasındaki zamanın ayarlanmasıdır (Okada 2003).

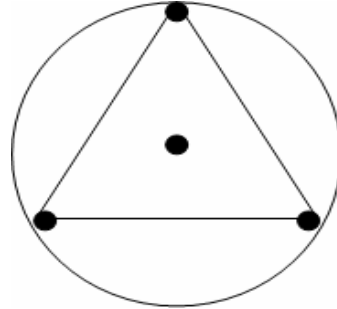
Ölçü Alma Zamanı ve Süresi: SPAC çalışmalarında, gündüz ya da gece veri toplanması, veri içeriğini etkilemez. Ancak gündüz çalışmalarında ölçü süresinin uzun tutulması sağlanmalıdır. Eğer hassas özellikte bir çalışma yapıyorsa da verilerin gece toplanmalıdır. Böylece, durağan olmayan kültürel gürültünün veri içindeki etkisi azaltılmış olur.

Kayıt Uzunluğu uzun periyoda sahip titreşimleri kullanmak için en az 45 dakika seçilmelidir. Kısa periyoda (1 saniyeden kısa) sahip bileşenler için de ortalama 30 dakika kayıt süresi seçilebilir.

Alıcıların Dizilim Geometrisi: Alıcılar çoğunlukla belirli yarıçap değerlerine sahip çemberler üzerine yerleştirilir ve alıcı konumları birbirlerine eşit mesafelerde olmalıdır (Şekil. 1). En çok bilinen arazi düzeneği, en az dört noktada kayıt alan dizilim türüdür. Bunlardan bir tanesi dairenin merkezi olarak kabul edilir. Merkez baz alınarak, diğer üç alet de merkezden belirli bir yarıçap değeri kadar uzakta olan noktalara yerleştirilir. Bu noktalar, merkezdeki alet ağırlık merkezi olarak kabul edilirse, oluşan eşkenar üçgenin köşelerine karşılık gelen yerlerdir (Şekil 2).



Şekil. 1 SPAC Yönteminde Kullanılan Dizilim Türleri (Asten et al. 2004)



Şekil 2 SPAC Yönteminde 4 Alıcı için kurulan ölçü düzeneği

Polar Kordinatlarda Titreşimlerin Tanımı

Dairesel dizilim kullanılarak toplanan verilerin SPAC yöntemi ile analizinin yapılmasında, titreşim spektrumu için polar koordinat sisteminin kullanılması uygun olmaktadır. Buna göre;

$$\xi = r(\cos\theta, \sin\theta) \quad (31 a)$$

$$k = k(\cos\varphi, \sin\varphi) \quad (31 b)$$

olarak tanımlanır. (31. A ve b) bağıntıları kullanılarak

$$X(t, r, \theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_0^{2\pi} \int \exp\{i\omega t + irk \cos(\theta - \phi)\} d\zeta(\omega, k, \phi) \quad (32)$$

yazılabilir. Bu (32) denklemi zamana ve $\xi(x, y)$ yöneyi konumuna bağlı olarak elde edilen titreşim kaydı dikkate alındığında (32.a)

$$X(t, \xi) = \iiint_{\infty} \exp(i\omega t + ik\xi) dZ'(\omega, k) \quad (32.a)$$

$$d\zeta(\omega, k, \phi) = kd\zeta(\omega, k, \phi) = dZ'(\omega, k) \quad (33)$$

sonucuna ulaşılır.

(32) eşitliğinden, titreşimlerin stokastik işlemleri, değişik ϕ yönlerinden gelen, birbirlerinden bağımsız, değişik k dalga sayılı ve değişik ω açısal frekanslı dalgaların sürekli toplamı olarak açıklanabilir. (32) eşitliğindeki, $\zeta(\omega, k, \phi)$ için şu ilişkilendirilmeler yapılır;

$$i) E[d\zeta(\omega, k, \phi)] = 0, \text{ tüm } \omega, k \text{ ve } \phi \text{ ' ler için}$$

$$ii) E\left[|d\zeta(\omega, k, \phi)|^2\right] = dH(\omega, k, \phi), \text{ tüm } \omega, k \text{ ve } \phi \text{ ' ler için}$$

$$iii) E[d\zeta^*(\omega, k, \phi)d\zeta(\omega', k', \phi')] = 0$$

(34-35-36)

Herhangi iki farklı ω açısal frekansı için ω ve ω' ($\omega \neq \omega'$) ve herhangi iki farklı (k, ϕ) ve (k', ϕ') ($k \neq k'$ ve $\phi \neq \phi'$) için geçerlidir. Burada $*$ karmaşık eşleniği gösterir.

Titreşimlerin düşey bileşenlerinden bahsederken, yüzey dalgalarından da Rayleigh dalgasından bahsedilir. Bu durumda spektrum tanımı ile 32 eşitliği izleyen şekilde yazılabilir;

$$X(t, r, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{2\pi} \exp\{i\omega t + irk(\omega) \cos(\theta - \phi)\} d\zeta(\omega, \phi) \quad (37)$$

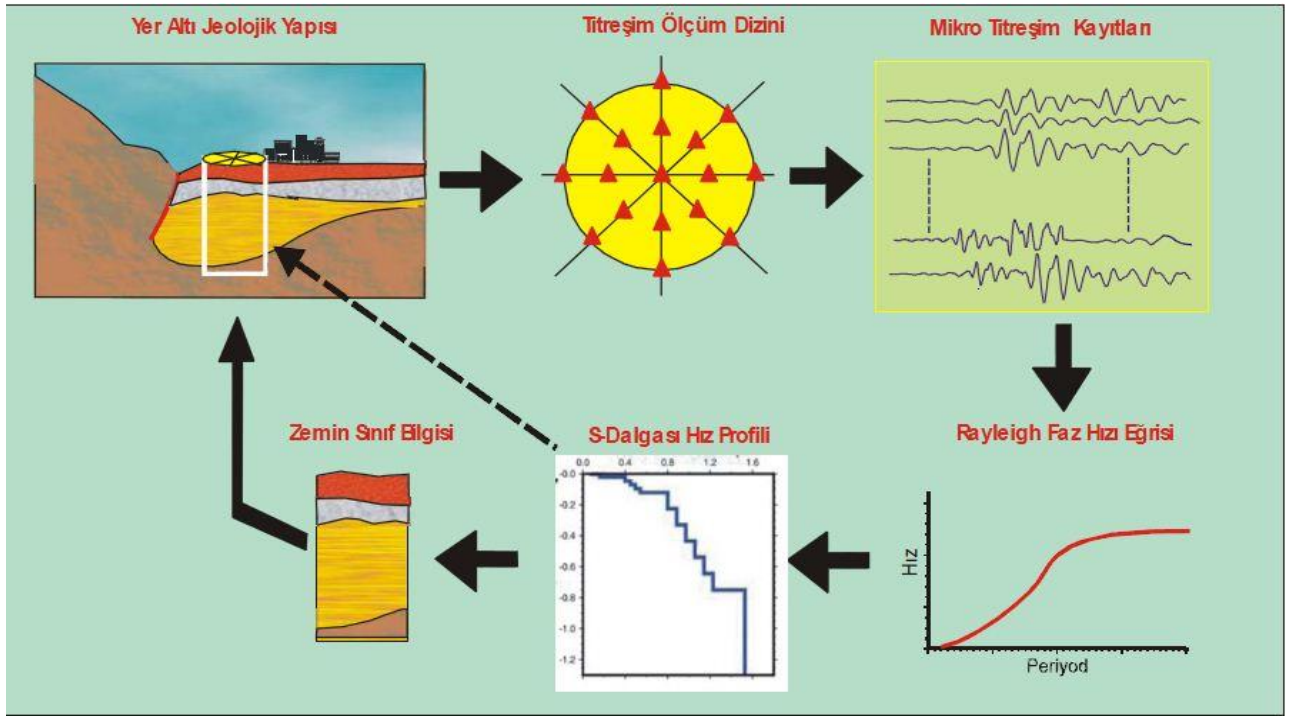
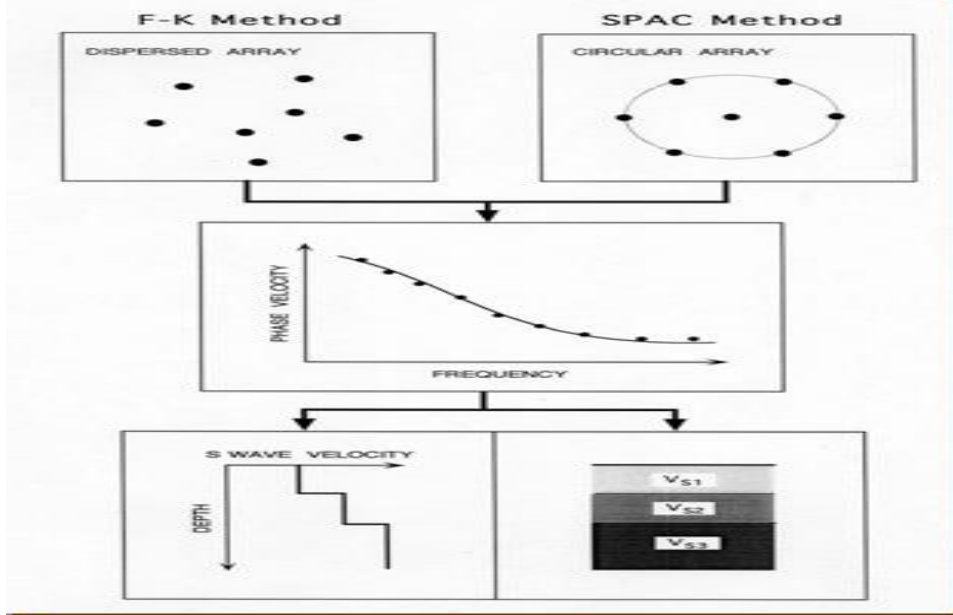
Genelde, titreşimlerin spektrumunun frekans ve yönü dikkate alınarak, farklılıkları ve devamlılıkları düşünülür. Stokastik işlemde, $\zeta(\omega, \phi)$ aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$iii) E\left[|d\zeta(\omega, \phi)|^2\right] = dH(\omega, \phi) = h(\omega, \phi)d\omega d\phi \quad (38)$$

Burada, $h(\omega, \phi)$, frekans yönlü spektrum yoğunluğu olarak adlandırılabilir ve $h(\omega, \phi) d\omega$; ω ve $\omega + d\omega$ arasındaki belirgin frekanslardan ϕ ve $\phi + d\phi$ arasındaki yönlere gelen dalgaların bileşenlerinden toplam gücü bulmak için ortalama temsil eder. Bir istasyondaki $h_0(\omega)$ değeri;

$$h_0(\omega) = \int_0^{2\pi} h(\omega, \phi) d\phi \quad (39)$$

ifadesiyle gösterilir (Okada 2003). Yukarıdaki ifadede $h_0(\omega)$, frekans yönlü spektral yoğunluk olarak adlandırılır.



SARSINTI
VE
YER-YAPI ETKİLEŞİMİ
(PROF.DR. A. ERCAN
İNTERNET SİTESİNDEN ALINTI
YAPILMIŞTIR))

Salınım Bisenlerinin İceriği Nedir ?

Zemin – Yapı Arasındaki İlişki Nasıl Kurulması gerekir

Zeminin Deprem Sırasında Yapıya Verdiği Yatay Yük

İvme

Periyot

Sönüm Oranı

Uygun yapı Yüksekliği

Yer Esnekliği

Yatay İvme

J. Sarsıntı ve Yer-Yapı etkilesimi

Deprem olasılığı etkilerini araştırma amaçlı yapılan bölgesel çalışmalarının esas amacı, bölgelerin deprem duyarlılıklarına göre sınıflandırılması ve alan kullanım haritalarını çıkararak deprem zararlarını en aza indirmektir. Bu amaçla yapılan ölçümler olasılığı bir depremde hangi bölgenin ne düzeyde etkileceğini belirtir.

Sarsıntı sırasında esnek bir yapının davranışını denetleyen temel davranış özellikleri,

T_x, T_y = hakim yanal titreşim periyodu

a = ivme

b = zemin büyütmesi

V_s = Kesme Dalga Hızı

$\%W_n$ = Su içeriği

Eğer yapı deprem sırasında sarsıntılara karşı esnek kalabiliyorsa daha düşük sarsıntılar önemli olmayacaktır.

Sert yerlerde hakim titreşim periyodu küçük olup, az katlı (kısa periyota sahip) yapılarda, yumuşak zeminlerde ise hakim titreşim periyodu büyük olup, çok katlı yapılarda daha çok yatay basınç oluşmasına neden olmaktadır. Eğer yapının zemin emniyet gerilmesi, yapı ağırlığından fazla ise sarsıntı geldiğinde yapı esnek kalabilir. (Ercan,A 2000)

Aynı büyüklükteki deprem, aynı uzaklıkta iki ayrı özellikteki yerde, farklı yer ivmesi gösterir. Bunun nedeni deprem dalgasının frekansı, zemin salınım frekansı, su içeriği, gevşek tabakanın kalınlığı, sarsıntı geliş yönü ve yerin esnekliği 'dir. Yapının deprem yüküne karşı tasarımında zemin hakim periyodu, büyütmesi, sıvılaşma çekincesi gibi özelliklerinin göz önünde bulunması gereklidir ancak bu şekilde yapı depreme dayanıklı olabilir.

Sarsıntılar yerde düzensiz, ardışık kayma gerilmeleri oluşturur. Ardışık gerilmeler altındaki zeminin davranışını etkileyen unsurlar; biçim değiştirme genliği, etkin çevre basıncı, kırılma hızı, kırık yüzeyi pürüzlülüğü, sarsım süresi, sarsımla gerilim düşümü, suya doygunluk, boşluk oranı, ince taneli plastiklik özelliği, aşırı sıkışma oranı, sarsıntının oranı ve sarsıntının hakim frekansdır (Ansal, 1999). Ardışık sarsıntılar altında gevşek, taneli ve sulu topraklarla zeminin kayma dayanımının sıfırlanması, zemini akışkan duruma geçirerek sıvılaşma oluşturur. Bunun sonucunda yapı yan yatar, döner ya da olduğu yere devrilir.

Salınım Bileşenlerinin İçeriği Nedir ?

Zamana bağlı olarak alınan bu zaman verileri için salınım içeriği ve bileşenleri bulmak için Fourier dönüşümü yapılarak spektrumuna bakılır. Frekans spektrumuna bakılır. Frekans spektrumuna tüm enerji ya bir çan birimli doruk altında toplanır ya da bu doruklardan tüm frekans aralıklarında birkaç tane bulunur. Her doruk, zemine etkileyen ayrı bir titreşim ya da salınım bileşeninin gösterir. Bunlara harmonik (uyumlu) denir. ($F_1, F_2, F_3, \dots, F_N$). Bunlar $F_1, F_2, F_3, \dots, F_N$ frekanslarında $G_1, G_2, G_3, \dots, G_N$ genlikleri ile oluşurlar. Bu harmoniklerden küçük frekanslı olanlar tüm derinlikleri (F_1), orta frekanslı olanlar orta derinlikleri (F_2, F_3, \dots), yüksek frekanslı olanlar (sağa doğru) sığ derinliklerde oluşan titreşimlerdir. O nedenle, yapı dengesinde kullanılmak üzere tüm yapıyı simgeleyen F_1 frekansına ($1/T$) ya da en büyük enerjisi içeren hakim periyod (T_a) alınır. Bazı durumlarda T_o ve T_b aynı olabilir.

Temel kayanın sığ olduğu yerlerde To spektrumunun sağ ilerisinde, derin olduğu yerlerde sol başta, orta derin olduğu yerlerde ortada yer alır

Yapı-Yer Etkileşiminde Yapı Zemin Üzerinde Nasıl Ayakta Durur ve Bu Bağlamda Zemin-Yapı İlişkisi İle İnsan Vücudu Arasında İlişki Kurulabilir mi? Bu sorunun cevabı Sayın A. ERCAN tarafından aşağıdaki biçimde açıklanmıştır.

Yapı; yere kökü (temeli) ile takılı biçimde dikilen bir sığınaktır. Betonarme yapılarda, yapının taşıyıcı bir omurgası vardır. Aslında betonarme yapılar, kişi oğlunu örnek olarak tasarlanmış dikenlerdir.

- a. Kişioğlunun omurgası, yapıda donatılara,
- b. kaslar ile etler, yapıda betona,
- c. eklem yerlerindeki kirişler, yapıda sargılara(etriyelere) denk gelir.
- d. Kişioğlu ayakları üzerinde dururken, yapı da kökü(temeli) üzerinde durur.
- e. Nasıl saçak köklü ağaçlar, kısa boylu, yaygın ise, az katlı yapılarda sığ yapı köklü olur.
- f. Kazık köklü ağaçlar uzundur, buna benzer olarak uzun boylu çok katlı yapıların da yeri iyi kavraması için ,yer içine perde betonlu bodrumları ile kök salması, diğer bir deyimle kazık köklü, derin köklü olması gerekir.
- g.

Yapı uzmanlarının kolay anlaşılır açıklamasına göre; her 5 kat için yerin içine bir bodrum kök gerekir. Kısacası yapının ayakta kalabilmesi yer-yapı-dış etkenlere (deprem, esgin, yer kayması, yamaç duraysızlığı) bağlı olarak değişir. O nedenle, bir sayışmanlık (mühendislik) başarısı olan yapının özellikle depreme dayanıklı tasarlanabilmesi için en önemli iki kavram;

1. Yapı taşıyıcı olan zeminin özellikleri ve
2. Zemine yüzeyine ve/veya içine oturtulacak olan yapı ile ilgili özelliklerdir.

Bu bağlamda yapı taşıyıcı özelliği olması gereken zemine ayrıntılı bakarsak zeminler

1. Toprak (yumuşak) zemin
2. Kaya (sert) zemin

Olarak iki temel sınıfa ayrılır. Ayrıca bu ikisinin arasında toprak-kaya yada kaya-toprak geçişi de bulunur ve kendi içinde de alt sınıflara ayrılırlar. Yine bu bağlamda zemin yüzeyine ve/veya içine oturması gereken yapı özelliklerine kabaca bakarsak yapı elemanları ve bileşenleri;

- a. Kökü (temel), b. Toprak altı bodrumu, c. Toprak üstü katlarıdır.

Yapı bileşenleri ise;

- a. Taşıyıcı birimler b. Ayıraç birimleri

olarak tanımlanır.

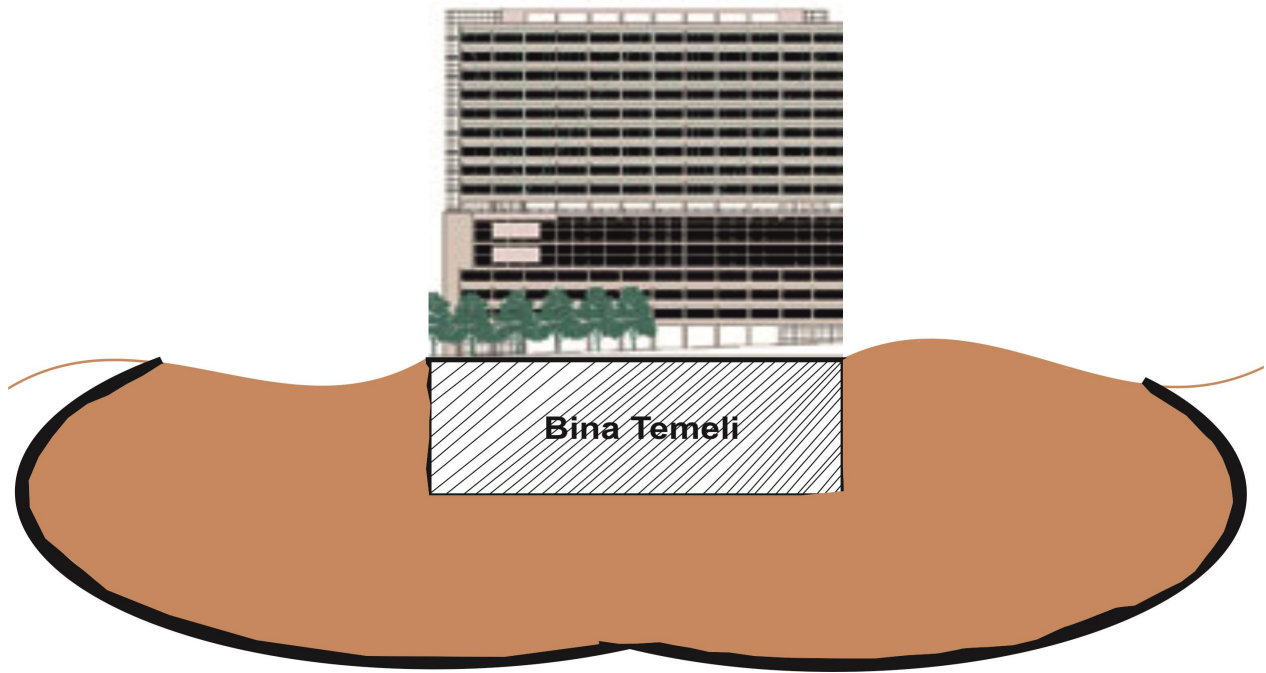
Sonuç olarak özellikle deprem tehlikesi altında olan ülkemizde yapı iyi tasarlanmışsa, beklenen sonuç yapının iç ve/veya dış etkenler altında en az hasarla ayakta kalmasıdır. Bu tanım statik projedir. Statik projelerin en iyi olması için, yapı-zemin ilişkisi kurulurken ,

gelecekte olma olasılığı olan zemin yüzeyi ve zemin içi ile ilgili tüm olayların dikkate alınması gerekir.

Zemin – Yapı Arasındaki İlişki

Yapı-Zeminle ilişkiye girdiği zaman (deprem kuvvetini hesaba katmıyoruz), yapı temeli ve yapı ağırlığı nedeniyle, zeminin yanal ve düşey yönde belirli bir alanına zeminin fiziksel ve yapısal özellikleri etkilenir (Şekil 1. De ki renkli alan). Zeminin yapıyı taşıyabilmesi için bu alan içinde kalacak olan zemine ait fiziksel ve yapısal özelliklerin yapı statik projesi hazırlanmadan önce ayrıntılı araştırılması ve hesaplanması gerekir (jeoloji-jeofizik-geoteknik ve inşaat mühendislerinin ortak çalışması yapılarak).

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken konu araştırma konusu olan zemin alanının en ayrıntılı biçimde araştırılmasıdır. Bu ne demektir. Zeminin iç yapısı hem bilinmeyen hem de homojen-izotrop-tekdüze-yarı sonsuz katmanlardan oluşmadığı için sık aralıklarla ve istenilen derinliğe kadar gerekli olan yapısal ve fiziksel özelliklerinin araştırılması gerekir demektir. Zemin sondajları sadece noktasal bazda (ortalama 30 cm çaplı bir alanın) sonuç verir. Ancak, zeminin iç yapısı bazen santimetre (cm.) bazen de metre (m.) ölçeklerinde yapı dikilmesi için gerekli olan parametrelerini değiştirebilir. Bu değişimler deprem tehlikesi olduğunda daha da önem kazanır.



Şekil.1. Depremsiz Yapı-Zemin İlişkisi

Yapı zemin ile ilişkiye girdiğinde deprem tehlikesine göre iki farklı durum oluşur.

1. Durum. Deprem etkisi yok kabul edilmesi durumu, Bu koşulda yapı ağırlığından dolayı yere sadece düşey bir kuvvet uygulamış olduğu kabul edilir. Bu kuvvetin zemindeki yanal ve düşey yönlü etkisi Şekil 1. De tanımlanmıştır. Zemin iç malzemesinin yapısal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak kendine uygulanacak bu düşey yükü ve kuvveti karşılayacak özellikte olması gerekir.

Zeminin taşıma ve gerilmeye dayalı bu özellikleri, zemin taşıma gücünü tanımlar. Zemini tanımaya yönelik yapılacak çalışmalarda, zeminin taşıma gücünün şekil 1 deki alan içindeki yanal ve düşey yönlü değişimleri incelenmelidir. Sadece zemin sondajları ile bu değişimler hem ekonomik hem de gerçeğe yakın olarak araştırılmaz.

Taşıma gücünü etkileyen zemine ait alt parametreler (C, ϕ, γ_n, V_s)

a. Yoğunluk, b. V_s hızı, c. Su içeriği, d. İçsel sürtünme açısı, e.

Yapıya ait parametreler ise (W, A, v, d, N)

a. Yapı ağırlığı, b. Yapı taban alanı, c. Temel türü ve derinliği, d. Kat adeti

2. Durum. Deprem etkisinin de dikkate alındığı durum. Bu durumda yapının ve zeminin hem statik hem de dinamik durumu göz önüne alınmalıdır. Diğer bir deyişle zemin deprem anında dinamik olarak hareket ettiği koşulda yapının nasıl hareket edeceği önceden tasarlanıp planlanmalıdır. Deprem sırasında zemin yapısını

a. Yanal kuvvetle, b. Döndürür, c. Sallar, d. Esnetir

Yapı bu etkilere dayanacak özellikte olmazsa dayanamaz ve yıkılır. Yıkım sonucu beklenen sonuç, oluşacak olan can ve mal kayıpları ile ülke ekonomisinin etkilemesi olur. Bu olumsuzlukları azaltmak için ne yapılması gerekir. Depremi toplumsal ve ekonomik düşman olarak tanımlarsak, düşmanımızı tanımak için, tahmini gücünü, yapısını, felsefesini ve bize ne zaman ve hangi yönden saldıracağını tahmin etmemiz ve buna göre savunma hazırlamamız gerekir.

Bu kavramlar aşağıda ayrıntılı açıklanmıştır (Şekil 2 ve 3, 4). (a, T, b, s, V_s)

Deprem yapıya etkisi yanal kuvvetle olur ve $F=m.a$ bağıntısı ile tanımlanır. Bağıntıda bilinmeyen olan a parametresi depremin yanal yönlü maksimum ivme değerini verir ve deprem kuvvetini tanımlar. Bu değer geçmiş deprem verileri kullanılarak matematiksel hesaplama yoluyla bulunur. M parametresi yapı ağırlığı ile ilişkili olduğu için bizim kontrolümüzde olacaktır. Böylece deprem olmadan önce binanın dayanabileceği yanal yönlü kuvvet deprem olmadan önce hesaplanmış olur.

Deprem sırasında yapıda oluşacak dönme ve burulma hareketleri F kuvvetinin X, Y ve Z yönündeki bileşenleri ile tanımlanır. Bu bileşenlerdeki değişimler irdelenmek için, zeminin yanal ve düşey yönlü V_s hız değişimleri kullanılır.

Deprem sırasında binada oluşacak salınım olayı ile zeminin salınım olayının üst üste gelmemesi istenir. Bu durum deprem olmadan önce zemin salınım periyodu araştırılarak bulunmuş olur. Daha sonra bina salınım olayı bu sonuca göre tasarlanır.

Ayrıca deprem kuvvetinin zemin yüzeyindeki yanal kuvvet etkisinin X ve Y yönündeki değişimlerinde araştırılmalıdır.

Sonuç olarak ve özetle hem depremle ilgili olacak hemde deprem olmadan önce tahmin edilmesi gereken deprem, zemin ve yapı ile ilgili olan olaylar ne olabilir.

Depremle ilgili olanlar; süresi, ivmesi, frekans spektrum içeriği, ivmesinin 3 boyutlu değişimi. Bu parametreler nasıl elde edilebilir.

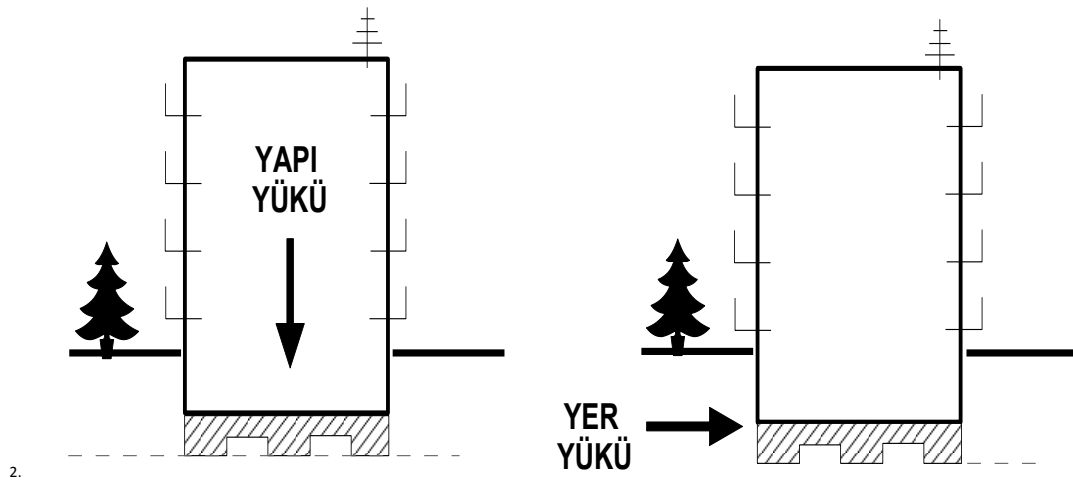
1. Yapı yapılacak noktalara deprem istasyonları kurularak elde edilebilir. Ancak bazı şartların sağlanması gerekir. Geçmiş deprem kayıtları olacak, uygun depremler olacak ve zeminin tanımaya yönelik yeterli sayıda kurulmuş olacak. Ayrıca uzun süreli deprem verisinin toplanması sağlanmalıdır. Zemini yatay yarı sonsuz, homojen ve izotrop kabul etmeyerek depremin her yönden gelebileceği varsayımına uygun veriler toplanmış olmalıdır. Ekonomik bir çözüm değil.
2. Yapı yapılacak noktaya yakın olan jeolojik yapıya uygun deprem istasyonlarındaki deprem verilerini yapı yapılacak noktaya taşıma işlemlerinin yapılması ile elde edilebilir. Bunun için ne gerekir. Yapı yapılacak noktanın altındaki ana kayaya kadar zeminin Vs hız profili ile uygun azalım ilişki bağıntılarının olması gerekir (Şekil 4). Bu yol diğer yola göre hem daha ekonomiktir hem de daha kısa sürelerde sonuç verir.

Zeminle ilgili olanlar; zemini oluşturan katmanların Vs hızı, kalınlığı, yoğunlukları, yeraltı su seviyesi, su içeriği, gözeneklilik, jeolojik özellikleri ve zemin yüzeyindeki salınım hareketinin frekans içeriği. Bu parametreler nasıl elde edilebilir. Yapı boyutlarına ve ana kaya derinliğine bağlı olarak seçilecek araştırma derinliklerine bağlı olarak yeterli sayıda zemin sondajları, sondaj numune incelemeleri ve jeoloji çalışmaları ile X ve Y boyutlarında yeterli sayıda yapılacak jeofizik araştırmalar ile bu parametreler bulunur ve 3 boyutlu haritalanır.

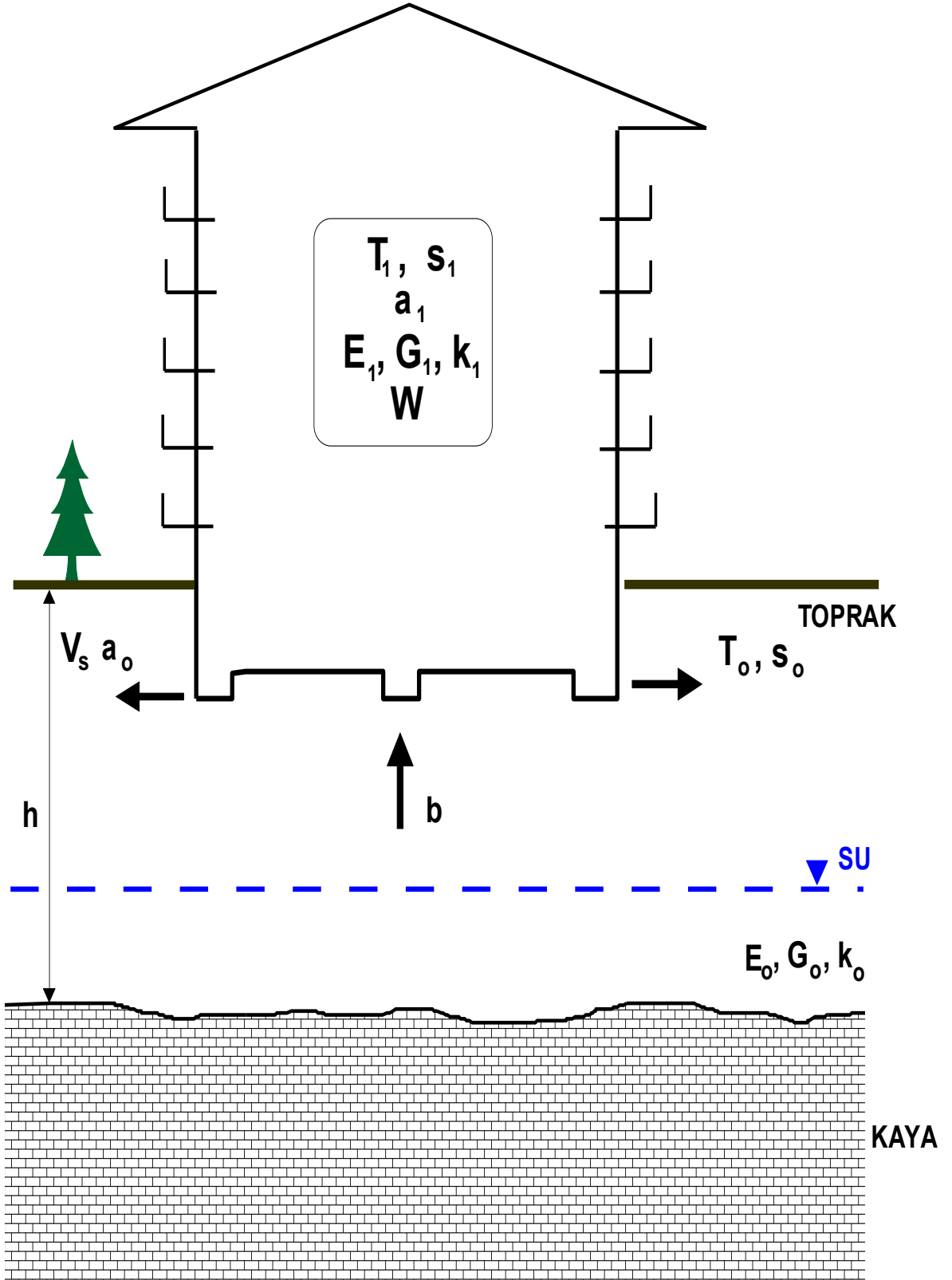
Yapı ile ilgili olanlar; yapının ağırlığı, boyutları, temelinin boyutları ve yapısı, salınım hareketinin frekans içeriği, zemin içine gömülecek olan kısmının özellikleri ve boyutları ile deprem sırasında oluşacak enerjiyi sönmüleme özellikleri. Bu parametreleri seçimi tamamen insan kontrolündedir. Bu seçimlerde yapı mimarisi, malzeme kalitesi, binanın ömrü ve maliyeti gibi faktörler belirleyici olur.

Bu noktaya kadar vurgulanmak istenenleri özetleyecek olursak ;

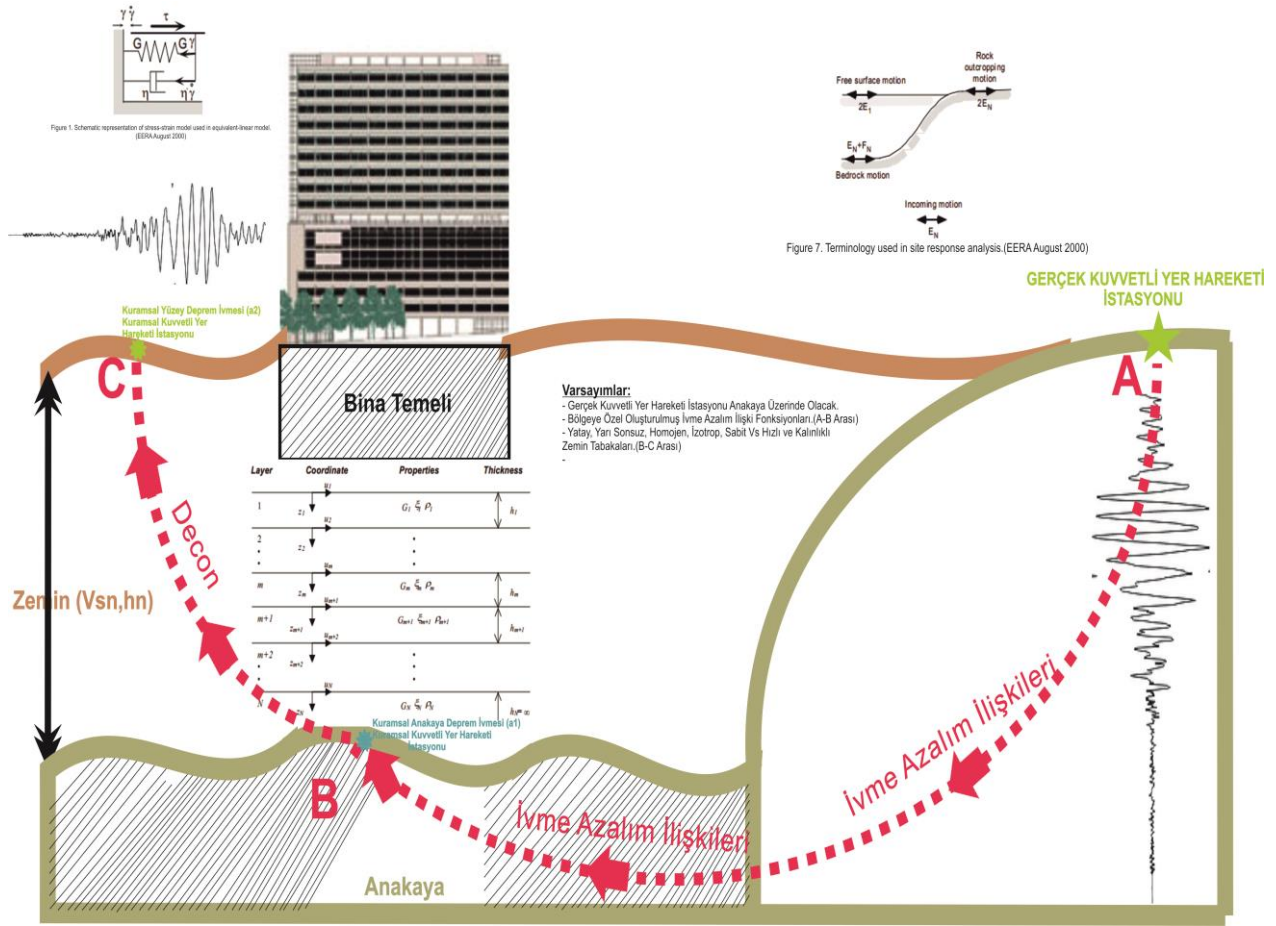
1. Düşmanını tanı ve ona göre savunma yap. Düşman deprem. Bu düşman herhangi bir yönden yapıya saldırarak. Bu saldırı sonucu yapı yanal yönlü kuvvet etkisinde kalır sallanır, döner ve esner. Deprem olduğunda bu etkiler sonucu nasıl ayakta kalır. Yeterli ağırlığım var ve sallanmaya, dönmeye ve eğilmeye karşı yeterli malzeme zelliklerine sahibim yıkılmadım ayaktaayım. **Bu sonucun oluşması bizim elimizde mi**



Şekil 2 . Zemin-Yapı-Deprem İlişkisi (alıntı YER ÜZERİNDE YAPI NASIL AYAKTA DURUR, A.ERCAN)



Görüntü 3 - Yer-yapı, salınım dönemi, sönüm, ivme, büyütme, esneklik, ilişkileri. h - titreşimcikten bulunan etkin kalınlık. $h = T_0 \cdot V_s / 4$ - etkin burma (kesme) dalga hızı. $V_s = 701 / b$, burkma esnekliği $G_0 = d \cdot V_s^2$ $d =$ üst toprağın doğal birim oylum ağırlığı (alıntı YER ÜZERİNDE YAPI NASIL AYAKTA DURUR, A.ERCAN)



Sekil 4. Zemin-Yapı-Deprem İlişkinin Araştırılması

Zemin-Yapı-Deprem ilişkisinin Özeti

Zeminin Deprem Sırasında Yapıya Verdiği Yatay Yük

Deprem sırasında yapının temeline deprem dalgasının etki edeceği kuvvet yatay ivme (a) ile tanımlanır. Bu kuvvet zeminin deprem sırasında yapıya uygulayacağı yatay kuvvettir. Yapı temeline yanal yönlü a ivmesi ile etkiyen bu kuvvet yapının R deprem yükü azaltma katsayısı ile ters orantılı olup, W yapı ağırlığı arttıkça, spektral ivmesi arttıkça artar.

$$F = \{W \cdot A(T_1)\} / R_a$$

2005 deprem yönetmeliğine göre R_a için 1 alınması önerilmiştir. A (T) ise spektral ivme katsayısı olup, yapı tabanına gelmesi beklenen en büyük deprem ivmesi olarak tanımlanır.

$$A(T_1) = a_0 \cdot S(T_1) \cdot I$$

Bağıntıda,

a_0 , yöreden (r) uzaklıkta(j) doğrultusunda geçen, en büyük üretebileceği deprem M – Richter olan bir kırığın, yapı tabanında oluşturabileceği en büyük ivmedir.

$S(T_1)$ ise; T_1 – yapı doğal salınım dönemine denk gelen spektral büyütme değeri olup, yerin T_A, T_B alt ile üst salınım dönemlerinin yapı doğal salınım dönemi T_1 göre karşılaştırılmasıyla bulunur.

$T_1 = T_{yapı}$	$S(T_1)$
$0 \leq T_{yapı} \leq T_A$ için	$1 + 1.5 (T_{yapı} / T_A)$
$T_A \leq T_{yapı} \leq T_B$ için	2.5
$T_{yapı} \geq T_B$ için	$2.5 (T_B / T_{yapı})^{0.8}$

$T_{yapı}$ yapı doğal salınım dönemi, yapı bileşenleri ile yapı yüksekliğinden ya da en güvenlisi yapıyı $f = 0.1, 0.15, 0.2, \dots, 10$ saniye aralığında sallandığı varsayılarak maksimum değerinden bulunur.

Diğer yol ise , ana deprem olduktan sonra, yapının üst katlarına artçı depremleri ölçmek üzere bir ivme ölçer yerleştirilir. Artçı depremler geniş bir sıklık kuşağında titreşen sarsıntılarının birleşimi olduğundan, her artçı deprem algısında, yapının spektral davranışını gösteren bilgiler elde edilir.

Bingöl depreminin artçılarının Bingöl Bayındırlık ile Yerleştime Bakanlığı yapısının 4cü katına yerleştirilen bir ivme ölçerden alınan bilgileri görebilirsiniz(2). $T_A - T_B$ yerin baskın salınımının alt ile üst değerleri olup, titreşimciklerin (microtremor) ivme görüngesinden bulunur (Şekil 7 ve 8)

I yapı önem katsayısı olup 1.2 (geçici kullanılan yapılar) ile 1.5 (önemli yapılar) arasında değişir.

Yatay deprem yükü yapının salınım dönemini uzatırken, sönüm oranını büyütür, yapıdaki yıkımı da artırır. O nedenle, deprem olmadan ölçülecek yer ile yapı salınım dönemi, sönüm, büyütme değerleri deprem sırasında yer / yapı davranışı ile yıkı oranını tanımlayacaktır.

Bu amaçla ya yapı yapay olarak sallandırılır ya da artçı depremler yapının üst katlarından algılanır. Yapılar üzerinde artçı depremleri kullanarak yapılan jeofizik ölçümlerde yapıdaki ivmenin (a), artışıyla, yapının salınım döneminin (T_1) arttığı gözlenmiş (2), bununda yapı taşıyıcı bileşenlerinin (E_1, G_1, k_1) esneklik değerleri, ayrıca taşıyıcı kesit alanlarına (A) bağlı olarak değişir. Ayrıca yapıya gelen ivme arttıkça sönüm oranında artış olduğu gözlenmiştir.

İvme (a)

Deprem ivmesini doğru olarak saptamanın biricik yolu, o yerleşim alanını etkileyebilecek M büyüklüğündeki en büyük depremin yapı kökünde oluşturacağı a- ivmesini ölçmek gerekir. a-ivmesi yalnızca M' ye göre değil, ayrıca kırılma doğrultusuna, deprem derinliğine, deprem dalgalarının sıklık bileşenlerine, yapının kayada mı? yoksa toprakta mı? yoksa tepede mi ? olduğuna da bağlı olarak değişir.

Bunu ölçmek için belki de birkaç yüzyıl sürecek sürekli ivme algılamasına, ayrıca bu süre içinde M büyüklüğünde bir depremin de olmuş olması gerekir. Bugün için bu olanak olmadığından deneysel bağıntılarla a – değeri kestirilir (1)

Kaya ortam için;

$$a = 1080 e^{0.5 M} / (R + 25)^{1.32}$$

ya da Japon Kurumu bağıntısından;

$$a = 46 10^{0.208 M} (r + 10)^{-0.686} \text{ bulunur.}$$

Orta Sıkı ortam için

$$a = 12.8 10^{0.432 M} (r + 10)^{-1.112} \text{ olarak verilir.}$$

R. deprem odağı ile gözlem yeri arasındaki ışınsal uzaklık. R. Deprem dış odağı ile gözlem yeri arasındaki uzaklık. h. Depremin yüzeyden derinliği. $R=(r^2+h^2)^{0.5}$

Yer Salınım Dönemleri T_A, T_B, T_O

Yalnız, asıl deprem olmadan yerin baskın salınım dönemi olan T_O 'i T_A ile T_B 'yi bulmanın yolu vardır. Yer; yer, deniz dalgaları çarpması, taşıt gidiş-gelişi, ayrıca diğer kaynaklar nedeniyle sürekli olarak yaklaşık 0 ile 100 hz arasında salınır. Yapı dolayında, her zaman ölçülebilecek titreşimciklerin salınım aralığı (T_A, T_B ile T_O) deprem sarsıntısı için beklenen (T_A, T_B ile T_O) 'lu yaklaşır örtüşür. İşte buradan kalkarak depremsiz durumda titreşimcik görüngesini (spektrum) ölçerek T_O, T_A ile T_B belirlenir. Ayrıca, görüngesel dorukların oranından o yapı altında yerin ne ölçüde kalgıyacağı (hoplayacağı –b) belirlenir.

$$b(f_0) = A_{yatay}(f_0) / A_{düşey}(f_0)$$

$$f_0 = 1/T_0 \text{ [hz.]}$$

Yatay bileşen donatı genişliğinin yarısı $A_{yatay}(f_0) / 2$ denk gelen düzeyde, belirtinin tam genişliği (p)'nin yarısının $\Delta f = f_A - f_B$ 'e bölünmesi ile s-sönümü elde edilir. $T_A = 1/f_A, T_B = 1/f_B$

Sönüm Oranı

Sönüm oranı Sönüm; kayalarda küçük, gevşek topraklarda büyük olup iki yolla bulunur.

1. **Yarı Genişlik Yöntemi.** En büyük yatay ivme genliği ters çan eğrisinin yarısındaki ($A/2$), belirti genişliğinin (P), yarı genişliğe denk gelen f_1 ile f_2 frekansları arasına bölünmesi.

$$s = P / (f_2 - f_1)$$

2. **Karekök Genişlik Yöntemi.** Yatay ivme görüngesinde, elde edilen en büyük ivme (A) nın A / 2 'ye düştüğü yanlara denk gelen f_1 , f_2 sıklıkları kullanılır (2).

$$\% s = (f_2 - f_1) + (f_2 + f_1)$$
$$s = P / (f_A - f_B)$$

a. **Gevşek topraklardaki** yapılarda T_0 büyük (seyrek salınım) olduğundan yavaş yavaş salınır, oradaki çok katlı yapılar etkilenir, s büyük olduğundan salıntı çabuk sönümlenir, dolayısıyla depremi daha kısa süre duyar, b- büyük olduğundan depremi büyük duyumsar, yapı daha çok sarsılır, kalgır.

b. **Kaya ortamlarda** ise, sönüm küçük olduğundan yapı sıkca,uzun süre sarsılır,dolayısıyla depremi daha uzun süre duyar. T- küçük (sık salınım) olduğundan tez tez salınır, oradaki az katlı yapılar etkilenir, çok katlı yapılar etkilenmez. b- küçük olduğundan depremi b az duyumsar, yapı daha az sarsılır, az kalgır.

Dolayısıyla topraklar üzerine az, kayalar üzerine çok katlı yapı dikerek, yer yapı uyumuyla oluşabilecek yıkım oranı azaltılabilir.

Uygun Yapı Yüksekliği: Kabaca, her yapı katı için, yapı doğal salınım dönemi 0.1kırpım artar. 5 Katlı bir yapı için kabaca bu değer $T_1 = 0.5$ kırpımdır. O yerde, en uygun yapı yüksekliği ($T_A - T_B$) aralığı dışında kalan yapı yüksekliğidir. Eğer $T_A \leq T_1 \leq T_B$ ise yapı çok yıkım görür(rezonans). Dolayısıyla, yapılaşmamış/yapılaşmış bir yerde titreşimcik ölçüsü olarak, orada güvenli yapının kaç katlı dikilmesine karar verilir.

Yer Esnekliği: Yerin esnekliği (E_0 , G_0 , k_0) yerde jeofizik uygulama(sismik) yaparak, P ile S dalgalarını geçirip V_p , V_s yapay sarsıntı geçiş hızlarını belirlemekle bulunur. E – yerin düşey yük altında esnemesini, G – burucu güçler altında burulma esnekliğini, k – saran güçler altında büzülme ya da şişme esnekliğini gösterir. Benzer biçimde, yapının da tüm taşıyıcı bileşenleri ile birlikte bir (E_1 , G_1 , k_1) toplu esnekliği vardır. Yapı yapılmadan önce yerin E_0 , G_0 , k_0 esnekliklerini bilmede çok yarar vardır. Çünkü eğer;

$$E_0 > E_1, G_0 > G_1, k_0 > k_1$$

ise depremde yerin uğradığı bükülme, yamulma, sünme olgularını yer üst yapıya çok yansıtmayacağı için yer yapıyı korur. Tersine;

$$E_0 < E_1, G_0 < G_1, k_0 < k_1$$

ise, yer çok oynaktır. Sanki sağlam yapı jöle üzerindeymiş gibi deprem sırasında oldukça çalkalanır, esner, burkulur, süner.

Yapının esnemesi, burkulması, sünmesini tanımlayan ana bileşenler, yapı içindeki donatılar, eklem yerlerindeki sarılma sıklığı, taşıyıcıların boyut ile biçimidir. Bunu sağlamak için betonun nitelikli, gözeneksiz, pH'ının bazık(12-13) tuzsuz, kum / çakıl / çimento oranının uygun olması gerekir. Yapının donatılarının paslanmaması için yapılaşma öncesi elektro çekerek (electrical resistivity) ıslaklık derinliğinin belirlenip, bohçalama ya da bilinen yöntemlere göre yapı kökünün kurutulması (drenaj) gerekir.

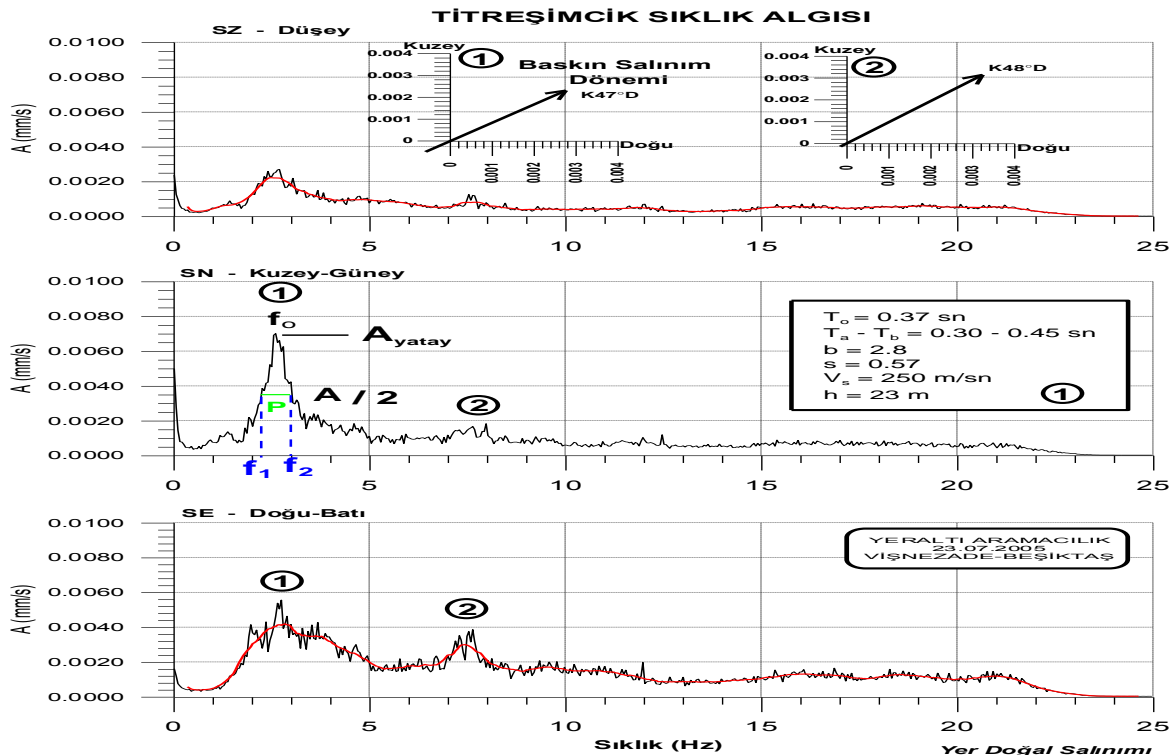
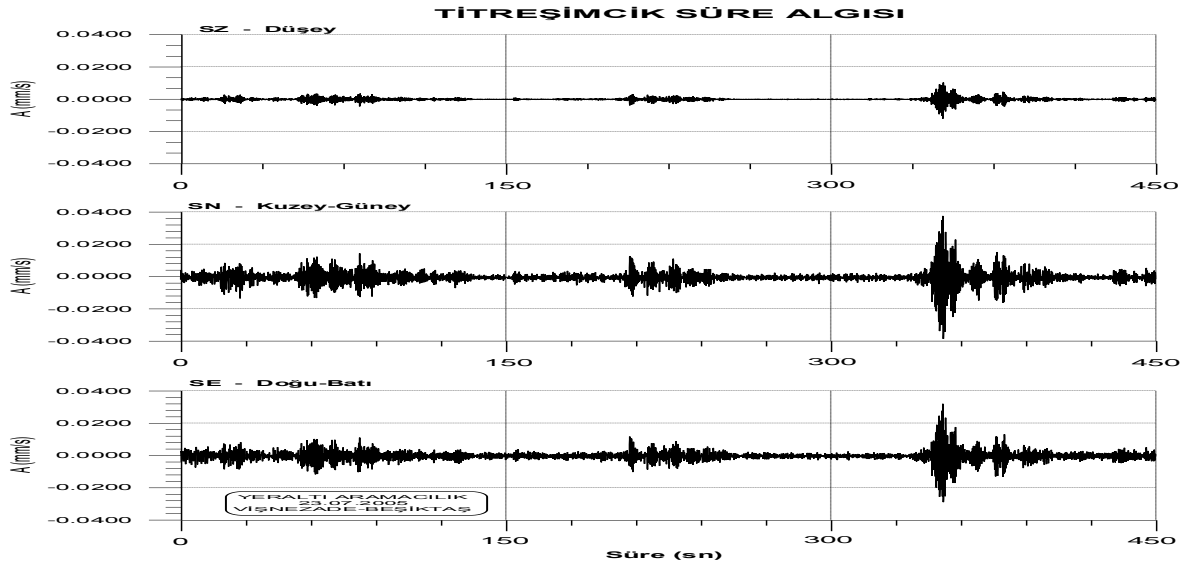
Yatay ivme (a) : Deprem dalgasının vurduğu anda binaya uyguladığı güç. Mesela haritaya göre binanızın bulunduğu yerin yatay ivmesi 0.6 ise bu, deprem anında binanıza 6 tonluk bir baskı uygulanacağı anlamına geliyor.

Yersalınım periyodu (T) : Depremin binayı sallandırma gücü. Mesela, bulunduğunuz yerin değeri 0.2 ile gösteriliyorsa iki katlı binalar, 1 ile gösteriliyorsa 10 katlı binalar hasar görecektir anlamına geliyor.

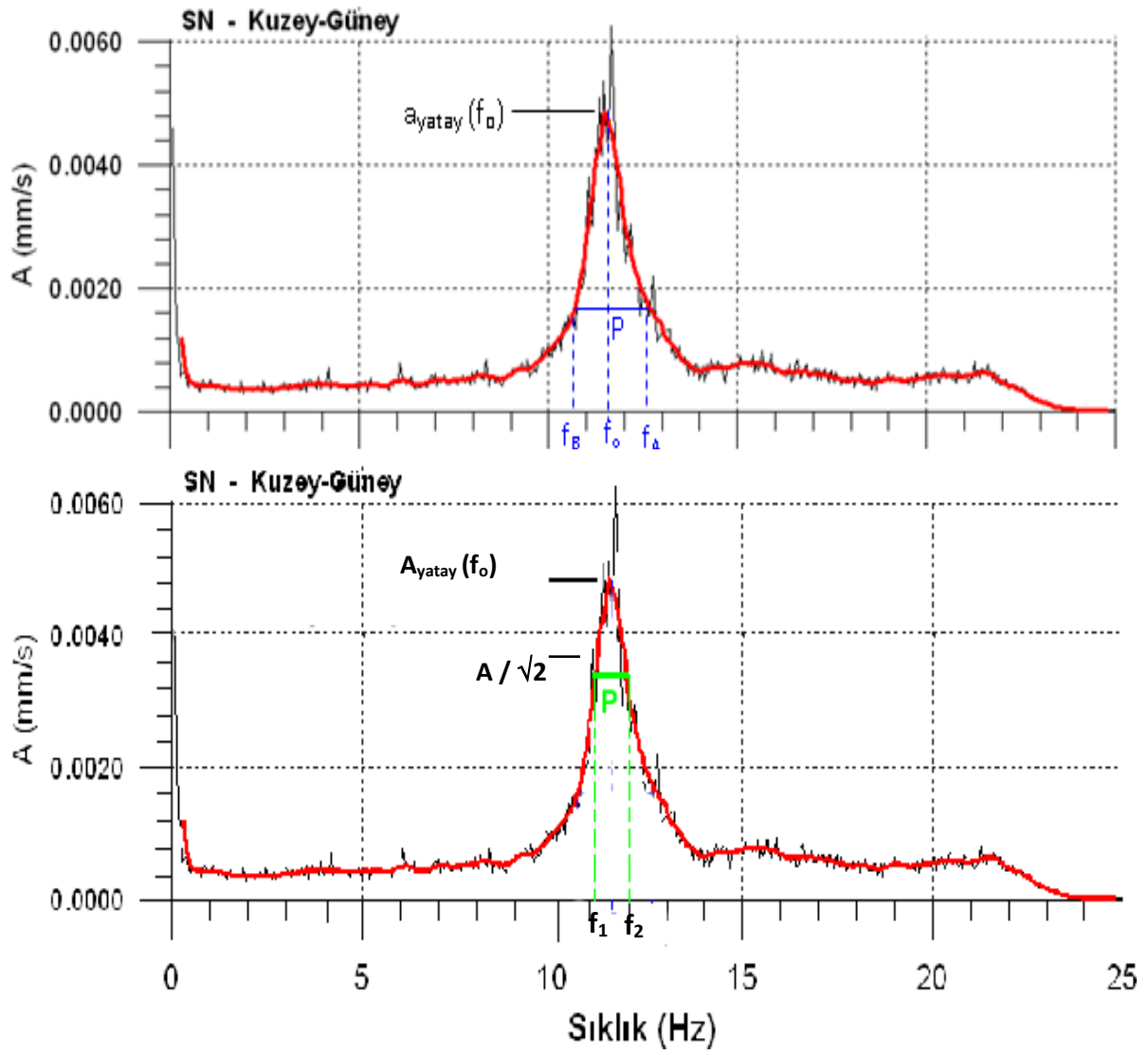
Zemin büyütmesi (b) : Depremin oturduğunuz binayı hoplatma değeri. Deprem dalgasının binanızı yerden ne kadar yükseğe fırlatacağını gösteriyor.

En büyük şiddet : Deprem sırasında binanızın maruz kalacağı en düşük ve en yüksek deprem şiddetini gösteriyor. Depremin büyüklüğüyle, depremin şiddeti birbirinden farklı iki kavramdır. Büyüklük açığa çıkan enerjiyle ölçülüyor. Depremin şiddeti ise, zemin, zemin özellikleri, deprem merkezine uzaklık ve yeraltı suları gibi kriterlere bağlı olarak her bölgede ve her binada farklı hissediliyor.

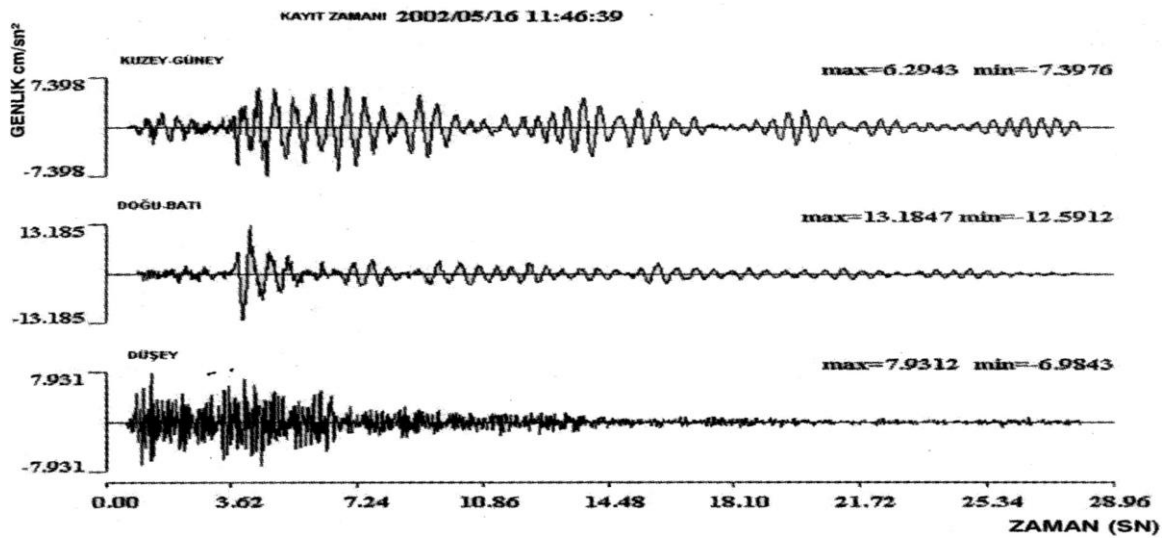
	Yatay ivme(a_0)	Zemin Baskın periyot	Zemin Büyütme	Şiddet
Yüksek Deprem Riski	: 0.3 - 0.6 g	T= 0.2 - 3.0 sn	b= 2.0 - 3.0	IO= IX-X MCS
Orta Deprem Riski MCS	: 0.2 - 0.3 g	T= 0.1 - 2.5 sn	b= 1.5 - 2.0	IO= VIII-IX
Düşük-Orta Deprem Riski MCS	: 0.1 - 0.2 g	T= 0.05 - 0.2 sn,	b= 1.0 - 1.5	IO= VI-VIII
Düşük Deprem Risk MCS.	: $a < 0.1$ g	T= 0.01 - 0.1 sn	b= 0.8 - 1.0	IO= V-VII

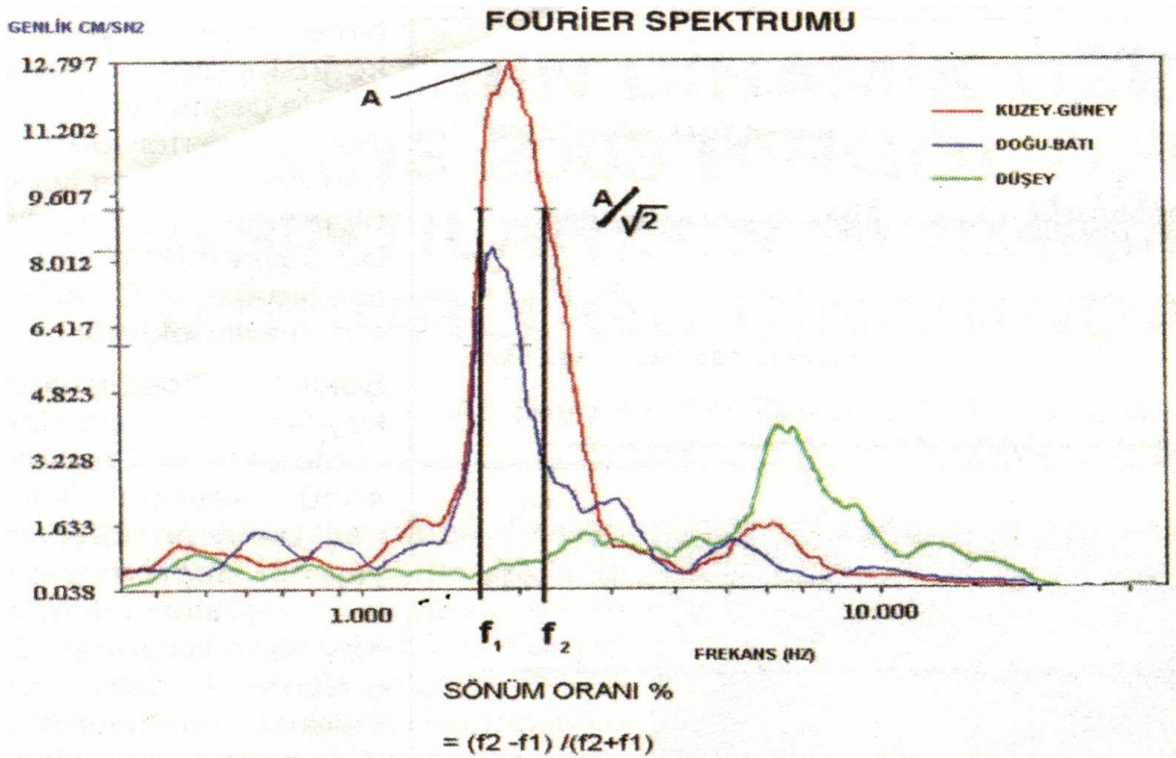
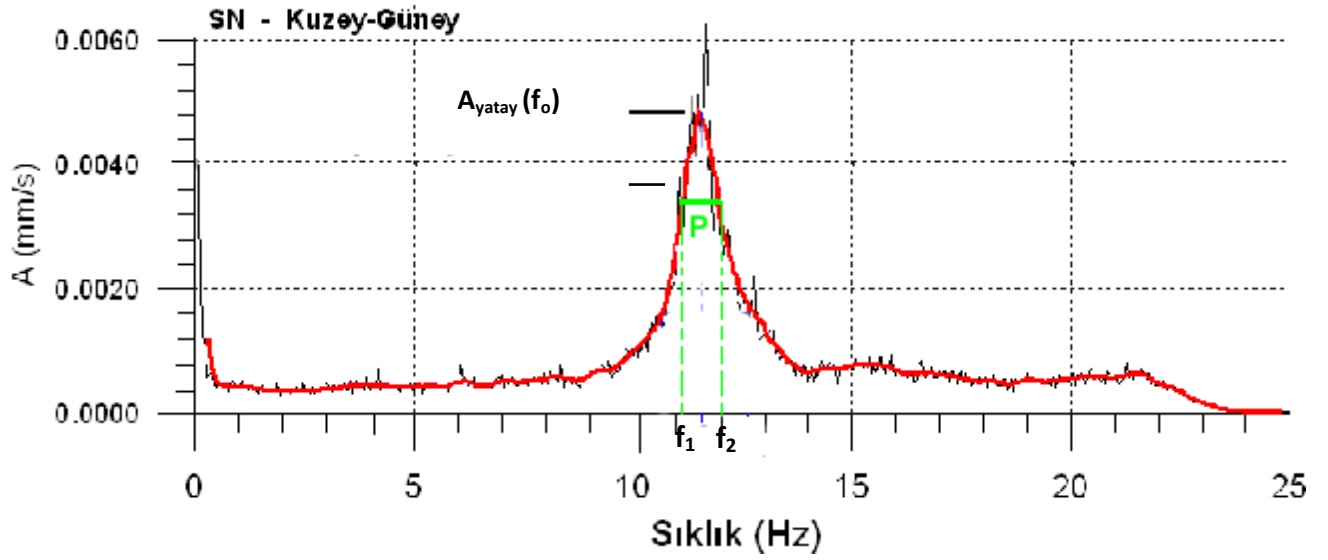


Şekil 5 – 6 . Yerin süre ortamında algılanan titreşimcik ivme bileşenleri(altta), algıların Fourier görüngeleri ile sıklık ortamında görünüşleri. $T_0, T_A, T_B, b,$ ile s nin bulunuşu. Yöneyler, her bir kip(mod) için algılama yerine gelen dalga yönlerini gösterir.



Şekil 7. Sönüm belirlemede karekök yöntemi ile yarım-genlik uygulamaları.





Şekil 8. Bingöl Depremi Artçı Sarsıntılarını Kullanarak Bayındırlık Yapısından Çıkarılan Spektral İvme

Deprem Kuvvetleri
Karşısında
Yapıların Gösterdiği
Davranışlara Ait Örnekler

K. Deprem Kuvvetleri Karşısında Yapıların Gösterdiği Davranışlara Ait Örnekler

Statik Sistem, Yapım ve Denetim Kusurları Nedeniyle Deprem Kuvvetlerinin Yapılarda Meydana Getirdiği Hasarlara Ait Tespitler ve Alınması Gereken Önlemler

17 Ağustos 1999 Marmara depremi sonrası, deprem bölgelerinde yapılan incelemeler, yapılarda meydana gelen hasarların, zemin sorunları yanında çeşitli işçilik, malzeme, statik sistem ve teknik kusurlardan kaynaklandığını göstermiştir.



Yapılarda meydana gelen hasarların en önemli nedenlerinden biri, yapının statik sistemindeki aksaklıklardır. 'Afet bölgelerinde yapılacak yapılar' hakkındaki yönetmeliğin öngördüğü konstrüktif kurallara uyulmayarak taşıyıcı sistem elemanlarında etriyelerin yeterli sıklıkta yerleştirilmemeleri, kolon-kiriş düğüm noktalarında etriyelerin hiç konulmaması veya yeterince konulmaması nedeni ile bu düğüm noktalarında ağır hasarlar meydana gelmiştir.

Bir kısım yapılarda bu düğüm noktalarının, yeterli rijitlikte olmaması yüzünden zayıf kolon ve güçlü kiriş etkisi oluştuğu, bu noktalarda göçme meydana gelerek tüm katların üst üste yığıldığı gözlemlenmiştir. Bu da önemli miktarda can ve mal kaybına sebep olmuştur. Düğüm noktalarında usülüne uygun donatı yerleştirilmesi ve etriye sıklaştırılmasının yapılması son derece önemlidir.



Blok başında bulunan dar cepheli yapıda cephe genişliği ~4 m., yüksekliği ise ~16 m. kadardır. Cephe ve yükseklik arasındaki uyumsuzluk dikkat çekicidir. Fotoğrafta görüldüğü gibi, bodrum katının bulunmaması nedeni ile yapının rijitliğinin zayıflığı, yapının köşe başında bulunması ve yandaki binanın yatay çekiçleme etkisi ile ağırlık merkezinden ayrılarak devrilmesine yol açmıştır.

Burada deprem dalgaları sonucu oluşan zemin dalgaları yukarıdaki şartlarla birlikte yapının devrilmesinde etken olmuştur. Böyle dar cepheli köşe başı parsellerde yapı izni verilirken ya eksik katlı yapı izni verilmeli veya bu dar cepheli parseller komşu parseller ile birleştirilerek devrilmeye karşı cephesi daha geniş ve daha rijit yapılar olarak uygulamalar yapılmalıdır. Blok başı veya ikiz nizam dar cepheli bodrumsuz çok katlı yapılar devrilmeye karşı zayıf rijitlik gösterir.



Blok başında bulunan yapılarda çekiçleme etkisi devrilmeye neden oluyor. Yapının bodrum katının bulunmaması, cephesinin çok dar ve yüksekliğinin ise çok fazla olması nedeni ile yapı devrilmeye karşı koyamamıştır. Yapının temel derinliği yapı yüksekliğinin 1/6 sı kadar olmalıdır.



Bina yüksekliği ile temel derinliği arasında 1/6 oranı bulunmalıdır. 6 katlı binada 1/6 oranına göre en az 1 bodrum kat seviyesinde temel derinliği olması gerekirken temel derinliğinin ancak 1 m.'yi bulması yapının cephesi de çok dar olduğundan devrilmeye sebep olmuştur. Burada sağ tarafta görülen binanın çekiçleme etkisi de yıkılmayı kolaylaştırmıştır.

Zemin kat dükkan yüksekliğinin artırılması sonucu kolon alt ve üst uçlarında donatı akması meydana gelmiştir. Yetersiz kolon kesiti ve eksik etriye yerleştirilmesi neticesinde yapıda oluşan ağır hasar görülmektedir. Arka cephede mevcut düzensiz perde kolonlar nedeniyle yapı tamamen yıkılmaktan kurtulmuştur.

Zemin kat dükkan yüksekliğinin fazla olması nedeni ile kolon üst ucunda beton ezilmiş ve düşey donatılar, etriye sıklaştırılması da yapılmadığından akarak burkulmuştur. Kolon kesitleri zayıftır ve kolon sargı donatıları yetersizdir.





Burada kolon üst sargı bölgesinde meydana gelen kayma hasarı görülmektedir. Sargı donatıları yetersizdir. Asma kat hizasında kolonları birbirine bağlayan yatay konstrüktif kiriş, kısa kolon etkisi oluşturarak hasarı artırmıştır.



Zemin kat kolonunun üst ucunda meydana gelen ezilme ve eksenel basınç altında betonun ezilerek donatının akması görülmektedir. Kolonda düşey donatının tek başına yeterli olmadığı ve bu bölgede etriye sıklaştırılması yapılmadığı görülmüyor. Etriye sıklaştırılmasının önemi açıkça görülmektedir.



Zemin kat kolonu üst ucunda, kolon etriyelerinin gevşek bağlanmadan dolayı sıyrılarak üst üste yığıldığı görülmektedir. Pompayla hazır beton dökülme esnasında pompadan hızla çıkan beton bu etriyeleri üst üste yığabilir, etriyelerin yeteri kadar sıklıkta bağlanması şarttır.

Zemin kat dükkan yüksekliğinin fazlalığı nedeni ile kolon alt ve üst uçlarında meydana gelen beton ezilmesi ve donatı akması görülmektedir. Ağır hasarlı yapı, donatılar üsülüne uygun değildir. Beton kalitesi yeterli değildir. Statik sistem uygun değildir. Sağdaki bitişik kenarda bulunan yapı ise çekiçleme etkisiyle, cephesinin daha dar oluşu ve bodrum katının bulunmaması yüzünden devrilmeye karşı rijit davranmamış ve devrilerek ağır hasar görmüştür. Yapılarda hataların bir arada beraber bulunması sonucu önemli derecede ağır hasarlar meydana gelmiştir.

Kolon ve kirişin birleşme bölgesinde betonun ezilmesi ile meydana gelen ağır hasar görülmektedir. Kolon düşey demirlerinin kiriş içerisinde devam eden bölümünde ve kolon kiriş birleşme bölgelerinde etriye sıklaştırılmasının yapılmadığı görülüyor. Kirişteki kesme çatlakları kiriş eksenine $\sim 45^\circ$ açıda oluşmuştur. Bu kesme çatlakları kirişte yeterli etriye kullanılarak önlenmelidir. Kirişlerde kullanılacak etriyelerin uçlarının 135° kıvrılarak kiriş içine gömülmesi, kirişin kesme kapasitesini yani yapının mukavemetini artırır.

Kolon üst ucundaki asma kat kirişlerinin, kolona tek yönde bağlı olması ve kolonların aynı aks üzerinde bulunmaması sonucu oluşan burkulma nedeni ile yapıda olması gerekenden daha fazla hasar meydana gelmiştir.



Yapıda; düzensiz statik sistem sonucu kolon uçlarında oluşan burkulma ile beton ezilerek dökülmüş ve etriyeler açılarak donatının dağılmasına sebep olmuştur



Kolonun alt ucundaki sarmal bölgede yetersiz etriye nedeniyle mevcut etriyeler açılarak dağılmıştır.



Betonun ezilmesi sonucu kolonun taşıma gücüne, basınç bölgesinde ulaşan deprem kuvvetleri, tüm basıncı karşılamak zorunda kalan boyuna donatının burkulmasına sebep olmuştur. Bu burkulma etriye sıklaştırılması ile ortadan kaldırılabilir. Donatının ezilmeden dağıldığı ve bu bölgede etriye aralığının çok fazla olduğu görülmektedir. Kolonlar deprem yükleri altında büyük kesme kuvvetleri alır. Kolonların sarmal bölgesinde kullanılacak etriyelerin uçları, 135° betonun içerisine girecek şekilde kıvrılmalıdır. Şekilde görülen etriyelerin usulüne uygun kıvrılmadığı için açıldığı görülüyor. Düzensiz statik sistem neticesinde fotoğrafta gözlenen burkulma meydana gelmiştir.



Kolonun üst bölgesinde betonun ezilmesiyle oluşan düşey donatı akması ve etriyelerin usulüne uygun olmadığı -açıldığı- görülmektedir. Ayrıca beton kalitesinin yetersiz olduğu betonun dağılmasından anlaşılmaktadır. Sarmal bölgede yeterli etriye sıklaştırılması yapılmadığı da açıkça ortadadır. Kolon kesitleri yetersizdir. Statik sistem düzensizliği nedeniyle yapı burkularak ağır hasar görmüştür.

K.1 Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmelik gereğince;

Statik sistemde ani rijitlik değişmelerinin bulunmaması, burulma oluşmaması için taşıyıcı sistem elemanlarının mümkün mertebe simetrik yerleştirilmesi gerekir. Perde kolonların binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içerisinde kirişlerin üstündeki açıklığın ortasına veya kenarına oturtulmasına izin verilmemelidir. 1. ve 2. derece deprem bölgelerinde her iki deprem doğrultusunda birbirine dik yerleştirilmiş perde kolon veya perde çerçevesi sistemlerin tercih edilmesi önemlidir. Yapım hatasına daha fazla tolerans gösteren perde duvarlı sistemler tercih edilmelidir.

Bu nedenle yapının her iki yönünde minimum perde bulundurmak zorunludur. Perdeler olabildiğince çevreye yerleştirilmeli ve köşeler tercih edilmelidir. Perdelerin asimetri dolayısıyla burulma oluşmasını önlemek için titiz davranılmalıdır.

Çerçeve kirişler olabildiğince aynı kesite sahip olmalıdır. Kirişlerin her iki ucunda 2d uzunluğundaki sargı bölgesinde etriye aralığı $d/4$ 'ü geçmemelidir. Mesnetlerde alt donatı üst donatının %50'sinden az olmamalıdır. Mesnetlerdeki üst donatı, mesnet yüzünden açıklığa doğru $l_n/4$ kadar uzatılmadan kesilmemelidir. Pilyelerin -üstte- mesnet yüzüne uzaklığı, kiriş yüksekliğinden az olmamalıdır. Mesnet üst donatısının en az $1/4$ 'ü açıklık boyunca devam ettirilmelidir.

Mesnetlerdeki alt donatı mesnet yüzünden başlayarak en az kenetlenme boyu kadar devam ettirilmelidir. Kenar mesnetlerde kiriş alt ve üst donatısı, düşey taşıyıcının kolon veya kiriş arka yüzeyine kadar uzatıldıktan sonra 90° bükülerek kenetlenmelidir.

Büküm noktasından sonra düz kısım 25 Ø'den az olmamalıdır. Bir kirişin diğer bir kirişe saplandığı durumlarda, maksimum kesme kuvvetini aktarabilecek kapasitede kapalı etriye bulundurulmalıdır.

Bir yapının taşıyıcı sistemi hem planda, hem de uygulamada düşey doğrultuda basit iki yönde simetrik ve çok muntazam olmalıdır. Sade ve simetrik bir yapının depreme karşı davranışını analiz etmek, simetrik olmayan ve karmaşık bir yapıyı analiz etmek ve boyutlandırmaktan çok daha kolay, hassas ve güvencelidir.

Simetrik olmayan rijitlik dağılımı, binanın deprem kuvvetleri karşısında burulmasına ve zayıf tarafta bulunan bazı kolonların aşırı zorlanmasına yol açarak ağır hasarlara neden olabilir.

Planda simetrik olmayan binalar ile planda simetrik olan ancak kolon ve perdelerin yerleştirilmesi bakımından simetrik olmayan yapılar sakıncalı olabilir. Burulma olan binalarda rijitliğin yoğunlaştığı taraftaki değil, rijitliğin az olduğu uçlardaki kolonlara gelen aşırı zorlanmalar, ağır hasarlara neden olabilir. Bu nedenle bu kolonlar itina ile boyutlandırılmalıdır.

Büyük açıklıklı kirişler ağır kütleler oluşturabilir. Ağır kütleler, taşıyıcı sistemi depremde risk altına sokabilir: Deprem titreşimi esnasında civarındaki kolonları aşırı derecede yükleyebilir ve göçmelere neden olabilir.

Çok ağır yükler içeren döşemelerin ve büyük açıklıklı kirişleri taşıyan kolonların, taşıma güçlerinin deprem yükleri altında yetersiz kaldığı ve bu zayıf kolonların göçmesi nedeniyle tüm yapı sisteminin göçtüğü müşahade edilmiştir.

Kiriş ve kolon uçlarında gerekli etriye sıklaştırılmasının yapılmaması sonucu, bu noktalarda deprem kuvvetleri ile oluşan enerji tüketilememektedir. Bu durum önemli kırılma ve göçmelere neden olmaktadır.

Kolon boyu donatılarının filiz boylarının kısa tutulması sonucu oluşan kat tesirlerinin etkisi ile kolonda hasar meydana gelmektedir.

Kolonlar deprem yanal yükleri altında büyük kesme kuvveti alırlar. Kolonların kesme kuvvetinden dolayı kırılmasının önlenmesi için kolon düğüm noktalarında mutlaka etriye sıklaştırılması yapılmalıdır. Kolonlarda etriyenin etkili olabilmesi için etriye uçlarının 135° kıvrılması gerekir. Etriye uçlarının kolon içine doğru kıvrılmaması halinde basınç altında etriye uçları açılacak ve kolonda hasar meydana gelecektir.



Bodrum katı bulunmayan dar cepheli yapı, bitişindeki daha geniş cepheli yapı ile meydana gelen çekişme etkisi altında daha az rijit olduğundan devrilmiştir.



Cephesi takriben ~ 4 m., yüksekliği ise 6 kat -takriben ~ 16 m.- olan yapıda yükseklik cephenin 3 katından fazla olduğundan, yapı yanal deprem kuvvetleri etkisi ile devrilmiştir. Yeterli temel derinliği: Bina yüksekliğinin $1/6$ oranında bir bodrum kat bulunmadığından yapı devrilme kuvvetlerine karşı koyamayıp yıkılmıştır.

Cephe genişliği takriben ~ 4 m., yüksekliği ise -6 kat- takriben ~ 16 m. olan yapıda yükseklik cephenin 3 katından fazla olduğundan yapı yanal deprem kuvvetleri etkisi ile devrilmiştir. Bina yüksekliğinin $1/6$ sı oranında, yeterli temel derinliğe sahip bir bodrum kat bulunmadığından yapı devrilmeye karşı koyamayıp yıkılmıştır. Bitişikte cephe genişliği daha fazla olan bina ile oluşan çekişme etkisiyle daha dar cepheli olan bina devrilmiştir.



Binanın dış cephesine, cephe boyunca çıkıntı teşkil ederek yerleştirilen kolonlar, kat kesme kuvvetlerine karşı yeterli dayanımı gösteremeyip burkularak kırılmalar meydana getirmiştir. Hatalı statik sistem seçimi görülmektedir.



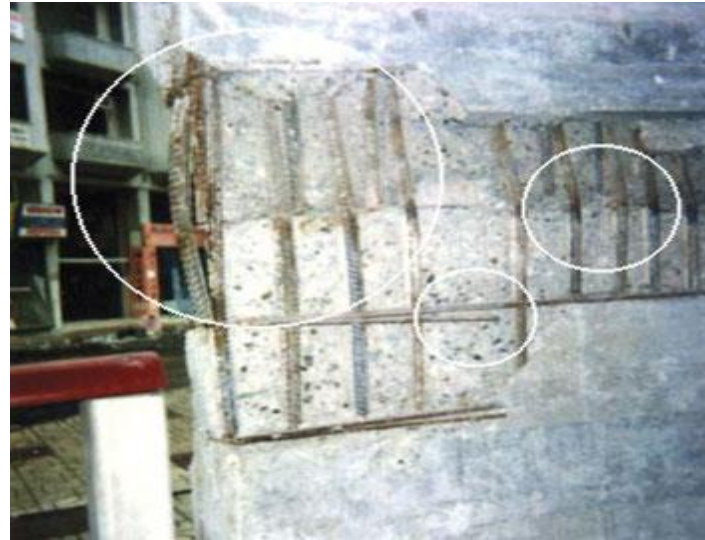
Taşıyıcı sistemi perde kolon olan sistemlerde yapıda işçilik ve donatı yerleştirme kusurları bulunmasına rağmen yapının statik sistemi daha güçlü olduğundan, yapıda ağır hasar meydana gelmemektedir.



Güvenli betonarme perde sistemli yapılar deprem kuvvetleri karşısında daha az onarılabılır hasar görmektedir.



Perde kolonda donatının akmasına neden olan, perde uç bölgelerinin kolon şeklinde oluşturulmaması, buraya konulacak uç donatıların uç bölgesi etriyeleri ile çevrilmemesi ve kullanılan etriyelerin usulüne aykırı olarak yerleştirilmesidir. Perdede oluşan donatı akmasının + 1.00 kotu kat hizasında meydana gelmiştir. Bodrum kat kolonu üst bölgesinde ve zemin kat kolonu alt bölgesindeki sarmal bölgelerde gereken etriye sıklaştırmasının yapılmadığı görülüyor. + 1.00 kot hizasında etriye aralığının 5 cm olması gerekirken 50 cm - 60 cm civarında olduğu görülüyor. Bu bölgede meydana gelen etkinin gücü açıkça görülmektedir. Bu nedenle deprem yatay kuvvetlerine karşı mutlaka perde kolon tercih edilmelidir. Mevcut bu hatalara rağmen yapıda onarılabilir hasar meydana gelmiştir. Ağır hasar yoktur.



Betonarme perde sistemlerde işçilik hataları olmasına rağmen yapı çok daha az hasar görmektedir. Betonarme perdelerde donatı yerleştirilmesine ilişkin koşullara uyulmalıdır. Perdenin düşey donatılarında meydana gelen akma, etriye aralığının fazlalığı, etriyelerin uçlarının açık olarak dışarıda olması -kolon içerisine doğru 135° kıvrılmamış- ve perde uç donatılarının usulüne göre yerleştirilmemiş

olduğu görülüyor. Ayrıca perde uç donatılarının etriyelerle çevrilerek perde uç bölgesi oluşturulmadığı ve çiroz etriyelerin yerleştirilmediği görülüyor.

Yapılarda rijitliğin artırılması için perde kolonlar tercih edilmelidir. Yapılan incelemelerde yönetmeliğin öngördüğü perde boyutlarına -planda perdelerin uzun kenarının kısa kenarına oranı en az 7/1 olmalıdır- uyulmamakta, perde uç bölgeleri oluşturulmamakta ve etriyeler yönetmeliğin öngördüğü gibi beton içerisine doğru 135° kıvrılarak sokulmamaktadır. Genellikle etriye uçları çok kolay açılacak şekilde kıvrılmaktadır. Bu durumda deprem kuvvetleri karşısında etriye uçları açılıp hasara neden olmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarında yönetmeliğin öngördüğü minimum boyuna donatı koşulları sağlanmamaktadır.

Tekil temellerde her iki yönde yapılması gereken zelzele kirişlerinin tek yönde yapıldığı ve diğer yönde zelzele kirişi yapılmayan temellerin kolon alt uçlarında çeşitli hasarlar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle gerekli ölçülerde her iki yönde zelzele kirişi (bağ kirişi) mutlaka yapılmalıdır.

Genellikle zemin katları asma katlı dükkan olan yapılarda zemin katların kat yüksekliğinin fazla olması ve dükkan içerisinde kolon ile perde kolon istenmemesi neticesinde yapının yeterli rijitliğe sahip olmaması, zayıf kat oluşmasına sebebiyet vermiş ve önemli miktarda yıkımlar meydana gelmiştir. Bu gibi yapılarda dükkan içerisine de gelse mutlaka her iki yönde perde kolon yerleştirilmesi, yüksek irtifalı zemin katlarda kolon kesitlerinin artırılması ve cephelerde açılacak pencerelerin boydan boya açılmaması, kısmen dolgu duvarlar örülmesi sağlanmalıdır.

Asmolen döşemelerde döşeme ile aynı derinlikte yatık kirişler kullanılması halinde, kat düzeyindeki eğilme rijitliği düşük olacağından kolon uçlarında büyük dönmeler oluşarak yanal ötelenmeyi artıracaktır. Bu nedenle asmolen döşeme seçilen yapılarda yanal ötelenmeyi perdelerle karşılamak gerekir. Binalarda her iki yönde kat alanının 1/100 ü oranında perde kolon konulmalıdır. Her iki yönde 0.01 oranında yerleştirilen perdeler, yapılarda deprem kuvvetlerine karşı rijitliği artırmakta, deprem anında yapıda büyük şekil değiştirmelerinin olmasına rağmen yük taşıma dayanımının büyük bir kısmının kaybolmamasını ve yapının enerji tüketme kapasitesinin yüksek olmasını -sünek bir davranış- sağlamaktadır.

Kolonlarda bırakılan filiz demirlerinde TS 500'ün öngördüğü "ölçülere bindirme boyu"na uyulmamıştır. Tor çeliklerde min 60 Ø olan bindirme boyuna birçok yapıda uyulmadığı gözlemlenmiştir.

İnşaatlarda kullanılan ve kısmen döküm yoluyla hurda demirlerden elde edilen çelik çubuklar, düşük gerilme değerleri verdiği ve bu tür çelikler gerekli gerilme değerlerini karşılayamadığı için erken akmakta veya sertliği nedeni ile kırılabilmektedir. Bu nedenle yeterli çekme gerilmesini karşılamayan çelikler inşaatlarda kullanılmamalıdır.

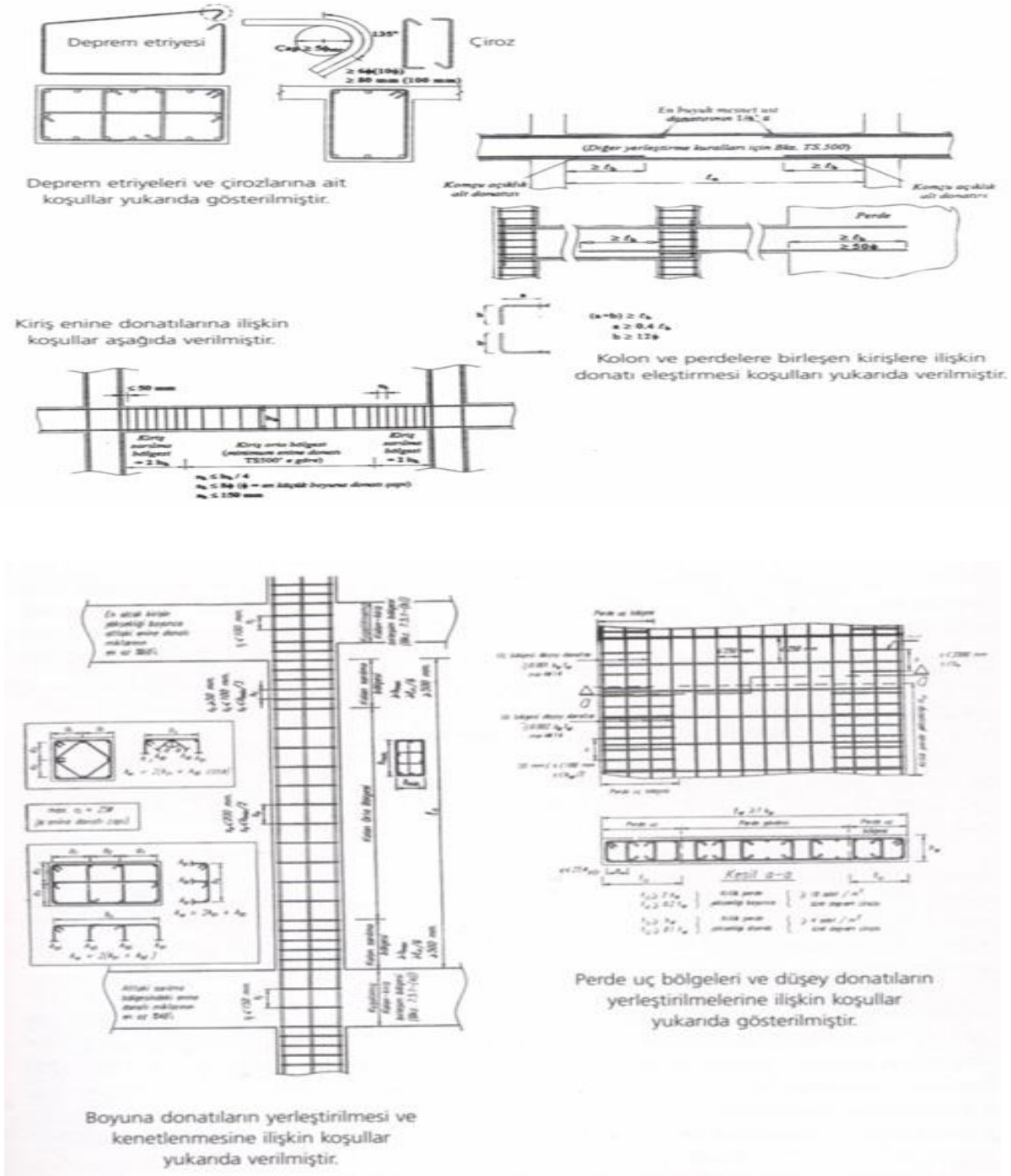
Mimari proje tanziminde ıslak hacimlerin -banyo, mutfak, wc- yerleşimi mümkün mertebe birbirine bitişik olmalıdır. Kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde, deprem kuvvetlerini düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarması sağlanmalıdır. TS 500'ün öngördüğü ölçülerde komşu döşemeye pilyelerin uzayamaması halinde kat rijitliği yeterince sağlanamayacaktır.

Perde kolonlarda özel deprem etriye ve çirozlarının yerleşimi, aynı sırada değil şaşırtmalı olarak -birer atlayarak- gerçekleştirilmelidir. Kirişlerdeki mesnetlerde bitişik sarılma bölgesi etriye sıklaştırılması yapılmalıdır. Sarılma bölgesi kiriş yüksekliğinin 2 katı kadar mesafede devam ettirilmelidir. İlk etriye, kolon yüzünden 50 mm -5 cm- mesafeden başlatılmalıdır. Kolon sarılma bölgesi etriye sıklaştırılması, kat yüksekliğinin 1/6 sı kadar ya da 50 cm'den fazla olmalıdır.

Betonarme yapıların statik sisteminde güçlü kolon - zayıf kiriş esas alınmalıdır. Her bir kolon-kiriş düğüm noktasında birleşen kirişlerin, taşıma gücü momentlerinin toplamı; o düğüm noktasında göz önüne alınan deprem yönünde birleşen kirişlerin taşıma gücü momentleri toplamından en az % 20 daha büyük olmalıdır. Yani kolonlar öylesine güçlü olmalıdır ki plastik mafsallaşmanın kolon alt veya

üst başlarından önce kiriş uçlarında oluşması sağlanmalıdır. Kirişlerdeki mafsallaşma kirişlerde aşırı derecede göçmeye dönüşmeyeceğinden binanın göçme olasılığı da azalmış olacaktır.

Depremlerde binaların göçmesi genellikle katlarası deplasmanların beklenenden büyük olması sonucu oluşan kolon göçmelerinden ileri gelmektedir. Yatay deprem yükleri, kolon-kirişlerden oluşan çerçeveler yerine, her iki deprem yönünde birbirine dik perde kolonlara taşıttırılırsa perde kolonların rijitliği sayesinde kat arası deplasmanlar küçülür ve böylece perde kolonların göçme olasılığı azalır. Binanın, simetrik bir perde kolon sistemi ile korunması deprem davranışları karşısındaki rijitliğini artıracaktır.





Zemin kat dükkan, üst katlar konut olan yapılarda, zemin katta yumuşak kat nedeni ile zemin kat kolon uçlarında oluşan kesme kuvveti aşırı büyür. Özellikle dükkan üzerindeki katlarda yaygın olarak asmölen döşemeler kullanılmaktadır ve bu, yatık kirişlerdeki kolon uçlarında büyük dönmeler meydana getirmektedir. Dolayısıyla yanal ötelenme daha fazla olacağından yıkım gerçekleşir. Bu nedenle asmölen döşemeli sistemlerde deprem yüklerinin perdelerle karşılanması gerekmektedir.



Zemin katları dükkan, normal katları konut olarak kullanılan yapılarda fotoğrafta görüldüğü gibi yapının zemin ve asma kat üzerindeki katları deplasman yaparak zemin katları yıkılmıştır. Zemindeki yumuşak kat nedeni ile yapıda meydana gelen enerjinin tüketimi burada yoğunlaşmış ve yapı bu yumuşak kat seviyesinde göçmüştür.





Ana caddeler üzerindeki bitişik nizam yapıların tamamına yakınının zemin katları işyeri olduğundan, -bu zayıf katlar nedeni ile- hemen hemen bütün yapılar yıkılmış ve ağır hasar meydana gelmiştir. Yapılarda usulüne uygun dilatasyon derzleri bırakılmamıştır. Yapıların birbirlerine uyguladıkları çekilme etkisi ise hasarı artırmıştır.



Bölme Duvarları Betonarme yapılarda, bölme duvarların yük taşımadığı varsayımı kabul edilir. Zemin katı, dükkan ve asma katlı dükkan olan binalarda, zemin kat bölme duvarları genellikle bulunmamaktadır. Üstte konut olarak kullanılan katlar ise bölme duvarlar nedeni ile daha rijit davranmakta ve tüm enerji tüketimi sözkonusu zemin katta yoğunlaştığından bu tür yapılarda yumuşak kat -zemin kat- oluşarak hasar meydana gelmektedir. Yumuşak katın deplasmanı yaklaşık olarak binanın tüm deplasmanına eşittir. Bir kat üzerinde yoğunlaşan bu aşırı deplasman, ötelenme nedeni ile tehlike katının kolonları beklenmedik şekilde aşırı hasara uğrayabilir ve çoğu zaman binanın göçmesine neden olabilir. Özellikle deprem enerjisinin bu katta karşılanacağı göz önüne alınarak burada yer alan kolon ve perdelerin rijitlikleri, kat arası deplasmanını karşılayabilecek şekilde artırılmalıdır.

Yumuşak kat oluşumu, statik taşıyıcı sistem veya bölme duvarlar nedeni ile meydana gelebilir. Duvardan duvara uzanan pencereler ise kısa kolon etkisi oluşturarak kolonun etki boyunu azaltır. Kısa kolon sorunu, kolon etkili boyunun kılması ile büyüyen kesme kuvvetidir. Kesme kuvvetini karşılamak için etriye sıklaştırılması yapılmalı ve mümkün mertebe duvardan duvara pencereler tercih edilmemelidir.

Dilatasyon -Derz Boşlukları- Farklı zemin oturmalarına karşı bitişik bloklar arasında deprem etkisi için derz bırakılmalıdır. Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 m yüksekliğe kadar en az 30 mm olacak ve 6 m'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenecektir. Bina blokları arasındaki derzler, depremde bütün blokların her doğrultuda birbirlerinden bağımsız olarak çalışmasına olanak verecek şekilde düzenlenmelidir. Bitişik olarak inşa edilen fakat aralarında yeterli derz boşluğu bulunmayan binalar deprem titreşimleri esnasında birbirine çarparak ağır hasarlara neden olabilir. Özellikle farklı fazlarda titreşen komşu binaların yatay deplasmanları belli bir anda birbirinin aksi doğrultuda gerçekleşirse o iki binanın çarpışmaması için aralarındaki en ufak boşluğun her iki binanın maksimum yatay deplasmanının mutlak değerinin toplamından daha büyük olması gerekir.

Dilatasyon derzlerinin çoğu zaman yetersiz kalması sonucu komşu binalar birbirine çarparak ağır hasarlara neden olmaktadır. Bu nedenle derz boşluklarını elasto plastik davranışa ve mafsallaşma halindeki maksimum ötelenmelere göre tayin etmek gerekir. Bitişik binaların kat döşeme kotlarının aynı olmaması da bu çekişme etkisi sonucu ağır hasarlara neden olabilir.

Binaların döşemelerinin aynı seviyede olması halinde, çarpışma; döşeme kolon ortası çarpışması yerine, döşemelerin birbirine kafa kafaya tokuşması şeklinde olur. Yüksek katlı binaların çarpışma katı üstündeki katları hasar görebilir. Bu nedenle bitişik binaların yükseklik farklarının da çok olmaması gerekir.

İkiz nizam ve bitişik nizam yapılarda gerekli olan dilatasyon boşluğunun bırakılmaması yüzünden yapılarda deprem kuvvetleri karşısında oluşan çekişme etkileri, bir kısım yapıların bu etki altında ağır hasar görmesine veya yapının tamamen düşeyden sarak devrilmesine sebep teşkil etmiştir. Bu gibi yapılarda yeteri kadar dilatasyon boşluğunun bırakılması zorunludur.



Her iki yanda bulunan komşu yapılar, ortadaki yapıda çekişme etkisi ile çökme meydana getiriyor. Zemin kattaki dükkan katı zayıf kat etkisi ile tamamen çökmüş. Bina kenarlarındaki perde kolonlar, ortada da aynı yön seçilerek -tek yönlü- yerleştirilmiş. Bu nedenle diğer yönde oluşan zayıf kesitler daha fazla ötelenmeye sebep olmuş ve ağır hasar oluşmuştur



Bitişik nizam yapılarda komşu binalar arasında dilatasyon boşluğu bırakılmamakta veya çok az bırakılmaktadır. Bunun sonucu yapı çekişme etkisi ile zayıf dükkan katından çökmüştür. Bitişik nizam yapılarda usulüne uygun dilatasyon boşluğu bırakılarak çekişme etkisi azaltılmalıdır.



Zemin katta meydana gelen mafsallaşma etkisi ve yapının normal katlarında meydana gelen aşırı ötelenme ile ağır hasar oluşmuştur.



Bodumsuz ikiz nizam yapılar, birbirine çarparak çekişme etkisi ve zayıf zemin nedeni ile devriliyor.



Zemin katında dükkan bulunan yapılarda, zemin katlardaki yüksekliğin fazlalığı nedeni ile zayıf kat oluşuyor. Komşu yapının da çekişme etkisi ile devrilme meydana geliyor.



Zemin katları ticari amaçlı dükkan, üst katları konut olarak kullanılan bu yapıdaki zemin ve asma kat, yumuşak kat etkisi nedeni ile ötelenerek yıkılmıştır. Buradaki yapının yıkılmasına zemin ve asma katta bölme duvarların olmaması, kat yüksekliğinin fazlalığı, kolon kesitlerinin yetersizliği gibi sebepler etken olmuştur.



Arka köşede, kolon-kiriş birleşme noktasındaki sarmal bölgede etriye sıklaştırması yapılmadığından, kolon düşeyden saparak ayrılmıştır. Diğer kolon-kiriş birleşme noktalarında kısmen daha az hasar mevcuttur.



Zemin katı işyeri olarak kullanılan yapılarda, bu zayıf kat kolonlarının göçmesi sonucu, yapı takriben 30° lik açı ile kendi istikametinden dönerek yıkılıyor. Bina cephesinde görülen bütün kolonlar aynı yöndedir. Arka kenarda diğer yöndeki kolon düşey aks hizasından 50 cm kadar, ön köşedeki kolonlar ise aks hizasından 3 m kadar savrulmuştur. Kolonların her iki yönde deprem kuvvetlerine karşı yeteri kadar rijit olması gerekmektedir.



Bu fotoğrafta, dükkan katlarının yüksekliği, asma katların statik ilkeler dikkate alınmaksızın değiştirilmesi ve statik olarak her iki yönde perde kolon seçilmemesinin sonuçları görülüyor. Daha çok kolon çerçeve sisteminin tercih edildiği bu dükkan da fonksiyonel kullanım düşünülerek statik ilkeler dikkate alınmamıştır. Bu zemin kat gibi zayıf katlarda göçmeler daha fazla olmaktadır.



Bodrumsuz ikiz nizam yapılar çekiçleme etkisiyle devrilme rijitliğine karşı koyamamış ve yapı diğer yönde komple devrilmiştir. Yukarıdaki yapıların sadece zemin sıvılaşması sonucu devrildiği düşüncesi eksik değerlendirme olur. İkiz nizam veya köşebaşı parsellerde yapı izni verilirken, dar cepheli yapılar için eksik katlı yapı izni verilmelidir. Ya da bu dar cepheli parseller komşu parseller ile birleştirilerek uygulama yapılmalıdır.



Zemin katı doğalgaz mağazası -iş yeri- olarak kullanılan asma katlı bu yapı, zemin katın zayıf kat oluşturması nedeniyle bu kat hizasından geçerek yıkılmıştır. Normal katlar konut olarak bölme duvarlar nedeni ile daha rijit davranmaktadır. Zemin kattaki asma katlı dükkan, bölme duvarlarının da bulunmaması nedeni ile daha az rijitliğe sahip olduğundan bu zayıf katta göçme meydana gelmektedir.



Bu fotoğrafta, zemin kat kolon alt ve üst uçlarında meydana gelen mafsallaşma görülüyor.



Fotoğraftaki binada bodrum kat bulunmadığından ve komşu arka parseldeki binanın zemin seviyesi daha aşağıda olduğundan zemin oturması ile arka cepheye doğru devrilme meydana gelmiştir



Bu binada, bitişik kenardaki dilatasyon derzi, saçak seviyesinde diğer yapının üzerine taşmıştır. Bu saçak nedeni ile yapının düşey hareketinin engellenmesi bu bölümde ağır hasar meydana getirmiştir. Saçakların komşu binaların mülkiyet sınırına taşması, hem statik sistem açısından sakıncalıdır hem de komşu binaya tecavüzdür.



Farklı yükseklikteki bu ikiz nizam iki yapıdan biri 4 kat, diğeri 5 katlıdır. 5 katlı olan yapı çekiçleme etkisi ile devrilmiştir.



Arka cephedeki binanın çekilme etkisiyle yola doğru devrilen bu yapı, aynı zamanda ulaşımın engellenmesine de neden olmaktadır.



Bu binadaki kolonlar kirişlerden daha zayıf olduğundan, zayıf kolonlar üst katlarda kırılarak göçmüştür. Deprem kuvvetleriyle oluşan enerji, kolon- kiriş birleşmelerinde, yetersiz donatı ve yetersiz kesit nedeniyle tüketilemediğinden, buralarda kırılma ve göçmeler meydana gelmiştir. Zemin katta kısmen daha güçlü kolonlar olduğundan yıkılmamıştır.



Bu binada, kolonlarda meydana gelen mafsallaşma sonucu tüm katlar üst üste yığılarak çökmüştür.

Asmölen yapılarda yatay ötelenmeler daha fazla olacağından, bu yatay ötelenmeyi karşılamak için her iki yönde perde kolonlar yerleştirilmelidir.



Zayıf katlar zaman zaman ara katlarda da oluşabilir. Bu nedenle çökmeler bu zayıf katlarda meydana gelir.



Fotoğraftaki binada, kolon-kiriş demirleri ile kolon filiz boylarının çok yetersiz olduğu görülmektedir. Ara kat daha zayıf olduğundan çökme bu katta meydana gelmiştir.



Demir doğramaların yapının statik sistemine montajı ile yapıda ilave hasar meydana gelebilir.



Bu fotoğrafta görülen kolon-kiriş düğüm noktasındaki donatı yetersizliği nedeni ile kiriş koparak ayrılıyor. Kirişteki etriye aralıkları çok fazla olduğundan etriyeler açılarak dağılmış.



Bu binanın döşeme pilye demirlerinin, bitişik döşeme içerisinde, açıklığın 1/4 ü kadar devam etmesi gerekirken daha kısa olduğu görülüyor. Döşemde meydana gelen ağır hasarın, kurtarma çalışmaları sırasında iş makinelerince meydana getirildiği vatandaşlarca ifade edilmiştir.



Bu binada, döşeme demirleri kiriş içerisine yeterince sokulmamış, döşemeler kiriş birleşme yerlerinden ayrılmıştır.



Fotoğrafta, kolon-kiriş birleşme ve düğüm noktalarında meydana gelen hasar görülmektedir. Buradaki demirlerin paslanarak kesitlerinin zayıflaması ve zamanla çürümesi sonucu, zayıflayan kesitlerde ağır hasarlar meydana gelmiştir. Demirler paslanmaya karşı koruyucu bir tabaka ile korunmalıdır. Yapılarda yağmur suları binaya zarar vermemelidir; yağmur kanalına bağlanmalıdır.



Kalitesiz Beton Yapılan incelemeler neticesinde önemli miktarda hasar gören yapılarda düşük dayanımlı beton kullanıldığı gözlemlenmiştir. Yönetmeliğin öngördüğü standartlara göre deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C 16 (BS 16)'dan daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz. Yine birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde taşıyıcı sistemi "süneklik düzeyi yüksek", sadece çerçevelerden oluşan binalar ile taşıyıcı sistemden bağımsız olarak deprem sonrası kullanımı gereken ve tehlikeli madde içeren -hastahaneler, itfaiye binaları, PTT, haberleşme, ulaşım istasyonları, okullar vs.- binalarda C20 (BS 20) veya daha yüksek dayanımlı beton kullanılması zorunludur. Tüm deprem bölgelerinde TS-500'deki tanıma uygun beton kalite denetimi olmadan beton üretimi ve vibratörsüz beton yerleştirilmesi yapılmamalıdır.



Beton kalitesinin düşük olması, betonun dayanımını azaltmakta ve bu da betonun dağılarak ağır hasar görmesine neden olmaktadır.

Betonarme yapılarda beton, yüksek basınç dayanımını ve düşük çekme dayanımını karşılar. Betonarme yapılarda çekme gerilmeleri çelik donatısı ile karşılanır. Basınç etkisi altında meydana gelen hasar ezilme şeklindedir. Beton basınç altında ezildikten sonra o bölgedeki boyuna donatının burkulması daha kolay olur. Boyuna donatının burkulmasının önlenmesi için etriye sıklaştırılması yapılmalı ve kolon kesitleri yeterli miktarda artırılmalıdır. Kolon-kiriş birleşim noktalarında betonda boşluk olmaması için beton mutlaka vibratör ile sıkıştırılarak yerleştirilmelidir.

Hazır betona dökümün kolay yapılması için döküm anında su ilave edilmesi betonun mukavemetini düşürür. Fazla su betonda boşluk yaratır. Fazla su ilave etmek sakıncalı olduğundan, bundan kaçınılmalıdır.



Fotoğrafta görülen binada beton kalitesi çok düşüktür ve betonda boşluklar vardır. Burada olduğu gibi vibratörsüz beton dökülmemelidir. Ayrıca çok sıcak havalarda beton dökülürse, beton suyunu hızla kaybeder ve çatlama yapabilir. Beton sulanmazsa yanar. Mukavemetini kaybederek el ile ufalanacak hale gelebilir. Beton döküldükten sonra betonu korumak için üzerine hasır veya koruyucu diğer malzemeler konulmalıdır. Kışın don etkisine karşı + 4 C°'nin altında beton dökülmemelidir.



Bu fotoğrafta, zemin kat ve 1 normal katlı betonarme yapıda, yetersiz kolon kesiti ve kalitesiz beton nedeni ile köşe kolon ve kiriş düğüm noktasında meydana gelen hasar görülmektedir.



Fotoğraftaki yapının tamamında 60 cm kadar oturma meydana gelmiş; zemin kat ve dükkan girişleri tretuar seviyesinden aşağıda kalarak gömülmüştür.



Fotoğrafta, deprem dalgaları sonucu zayıf zemindeki yapılarda meydana gelen oturma ve kaldırımında oluşan hasar görülmektedir. Burada kaldırım da deprem dalgaları etkisi ile yapıya nazaran yükselmiş olabilir.



Bu binadaki gibi bodrum kat bulunmayan yapılarda, deprem dalgaları zayıf zemin nedeniyle yapının farklı temel yükleri etkisi ile farklı oturmalar meydana getirmektedir. Zemindeki farklı oturmalar dolayısı yapı arkaya doğru daha fazla yatmıştır. Yapıda herhangi bir hasar görülmemekle beraber yapının bu haliyle kullanılması mümkün değildir. Yapının çeşitli tedbirler alınarak düzeltilmesi mümkün olabilir. Ancak bu ekonomik olmayabilir. Bu nedenle mutlaka yapı yapılmadan önce tüm tedbirler alınmalıdır.



Fotoğraftaki binada deprem dalgalarının etkisi ile meydana gelen, zemindeki farklı oturmalar; bodrumsuz yapının arka tarafa doğru düşeyinden ayrılarak 2 m. kadar yatmasına sebep olmuştur. Yapıda herhangi bir hasar tespit edilmemiştir.



Fotoğrafta, deprem dalgaları sonucu zayıf zeminde oluşan yoldaki kabarma ve binalardaki oturma görülmektedir.



Üç katlı olarak teşekkül etmiş yapılarda herhangi bir deprem hasarı görülmemekle beraber beş kat + çekme kat olarak inşa edilen yeni yapı, sağ kenara doğru takriben 70 cm kadar oturarak gömülmüştür. Yapının temel derinliği yetersizdir ve bodrum kat yapılmamıştır. Aynı sokakta bulunan yapılardan fazla katlı olanlarının deprem dalgalarından daha fazla etkilendiği açıkça görülmektedir.

Zayıf Zemin Deprem bölgelerindeki bazı yerlerde zemin koşullarının elverişsiz ve yeraltı suyu seviyesinin çok yüksek olduğu görülmüştür. Temel seviyesinin yeterli derinliğe indirilmediği, genellikle binalara bodrum kat yapılmadığı gözlemlenmiştir. Bina sahipleri, binalara bodrum kat yapılmamasının nedenini; 'bodrum kat yapmak maliyeti yerine, aynı maliyetle iki kat yapmayı tercih ettikleri' şeklinde ifade etmişlerdir. Konu tamamen ekonomik tercihlerden kaynaklanmıştır. Temel derinliğinin yapı yüksekliğinin 1/6'sı kadar olması gerekirken bu kurala uyulmamıştır. Cepheleri çok dar olan blok başı ve ikiz nizam yapılar devrilmeye karşı rijit davranamayacağından, bu gibi binalarda devrilmeler meydana gelmiştir.

Zeminin farklı oturması sonucu kısmen yıkılan bazı binalar ağır hasar görmüştür. Bazı binalarda yapı yeterince sağlam olduğundan herhangi bir hasar görülmemekle beraber, farklı oturma nedeni ile binalar kullanılamaz hale gelmiştir. Bu gibi yapılarda tedbir olarak bodrum kat yapılması, zeminin iyileştirilerek drenaj yapılması mutlaka sağlanmalıdır. Temel altına, mıcır serilmesi ve grobeton dökülmesi işlemi zaman zaman uygulanmamaktadır. Bunun yerine tesviye edilmiş toprak zemin üzerine demir döşenerek temel betonu dökülmektedir. Bu da temellerdeki donatıların zamanla paslanmaları sonucu çürüyerek mukavemetlerine kaybetmelerine neden olmaktadır. Temellerde grobeton ile zemin düzeltilmeli ve 5 cm paspayı bırakıldıktan sonra temel betonu dökülmelidir.



Fotoğrafta, bodrumsuz yapıda, radye temel altında yeraltı suyu görülmektedir. Yapının cephesi yüksekliğine göre çok dar olduğundan yapı temelle birlikte yan yatarak devrilmiştir. Yapı yatay deprem kuvvetlerine karşı devrilmeye engel olacak rijitliğe sahip değildir.



Zemindeki farklı oturmalarından dolayı yapının bir bölümü çökmüştür. Yapılarda zeminin farklı oturmasına izin verilmemelidir. Zemin iyileştirilerek gerekli tedbirler alınmalıdır.



Fotoğrafta deprem dalgaları sonucu oluşan zayıf mütemadi veya münferid temellerin arasından zeminin kabarak dükkan içerisinde yükselmesi görülmektedir. Zayıf zeminlerde radye temel yapılmalı ve zemin mutlaka sıkıştırılarak iyileştirilmelidir.



Bu binanın en üst katındaki döşeme üzerinde yapılan parapet duvarın yüksekliği çok fazla olduğundan, bu ağır yük en üst kattaki zayıf kolonların göçerek yıkılmasına sebep olmuştur.



Çatı katlarına sonradan yapılan ilave yüklemeler binada ağır hasarlara neden olabilmektedir.



Yapıda sonradan ilave edilen bölümler nedeniyle, zayıf katlar en üst katlarda da oluşabilmektedir



Fotoğrafta kolon-kiriş birleşim noktalarından kopan alt katlara ait kolonlar, sıyrılmış ve döşemeleri delerek geçmiştir. Üst katta sıyrılmış kolonlar görülmektedir.



Bu binada kolon-kiriş birleşme yerlerinde vibratörsüz beton dökümü nedeniyle yeterli sıkışma yapılmamış ve bu noktalardaki donatı eksikliği, betonun yetersiz kalitede olması nedeniyle de ağır hasarlar meydana getirmiştir. Kolonun içerisine yerleştirilen yağmur suyu pvc borusunun kolon kesitini zayıflatması ve pimaşın yağmur sızıntıları nedeniyle bu kesitte meydana getirdiği korozyon, hasarın nedenlerini oluşturmaktadır.



Bu binada kolon ve kiriş birleşme noktalarında kiriş donatısı kenetlenme boyu yetersizdir. Kolon ve kiriş birleşme noktasında yeterli kenetlenme boyu olmadığından ayrılma ve kopma meydana gelmiştir. Beton kalitesi yetersiz, etriye sıklaştırması yoktur; vibratörsüz beton kullanılmış olabilir. Betonda boşluklar görülmektedir. Bu noktada göçme kaçınılmaz olmaktadır.



Fotoğraftaki binada, kolonlardaki donatı çapı yetersizdir. Kiriş ve kolon hizasında beton birbirine tamamen kaynamamıştır. Kat betonu ve kolon betonları ayrı ayrı zamanlarda döküldüğü ve kolon altları iyice temizlenmediği için zayıf olan bu noktalarda ağır hasar meydana geldiği görülmektedir.



Bu binada, perde kolonlar düğüm noktalarından kırılarak kopmuştur. Perde uç donatıları ve çiroz etriyeler kullanılmamıştır. Yapının taşıyıcı sistemindeki perde kolonlar tek yönde kullanıldığından zayıf

yöne doğru göçme meydana gelmiştir. Zemin katı asma katlı işyeri olan bu yapılarda, bu zayıf katlar kat yüksekliklerinin fazlalığı nedeni ile daha fazla etkilenecek yıkılmaktadır. Bu durumu önlemek için, kolonlar her iki yönde yerleştirilmelidir.



Bu binada, perde kolonlar düğüm noktalarından kırılarak kopmuştur. Perde uç donatıları ve çiroz etriyeler kullanılmamıştır. Yapının taşıyıcı sistemindeki perde kolonlar tek yönde kullanıldığından zayıf yöne doğru göçme meydana gelmiştir. Zemin katı asma katlı işyeri olan bu yapılarda bu katlar kat yüksekliklerinin fazlalığı nedeni ile daha fazla etkilenecek zayıf katlar olarak yıkılmaktadır. Bu durumu önlemek için, perde kolonlar her iki yönde yerleştirilmelidir.



Fotoğrafta, kolonlardaki donatı çapının yetersiz olduğu, kiriş hizasında kolon içerisine tekabül eden bölümde en az üç adet etriye konması gerekirken bu etriyelerin yerleştirilmediği görülmektedir. Bina tamamen yıkılmıştır.



Binanın merdiven detayları, usulüne uygun yapılmadığından sahanlık ve merdiven bağlantıları ağır hasar görmüştür.



Binanın perde kolon boyutları yetersizdir; perdelerde uzun kenar dar kenarın yedi katı olması gerekirken, burada perde kalınlığı yaklaşık 15 cm, uzunluğu ise 1 m civarındadır. Bu nedenle yapı, deprem kuvvetleri karşısında ağır hasar görmüştür.



Zemin katı asma katlı işyeri olan bu yapıda asma kat boşluğu nedeni ile öncephedeki yüksek kolon kesitleri -kolon boyları takriben 5 m civarında- zayıf kalarak burkılmaya neden olmuş ve zeminde oluşan bu zayıf kat nedeni ile göçme meydana gelmiştir.



Kolon-kiriş birleşim noktalarının zayıf olması, bu noktalarda aşırı ötelenmeye sebep olmuş ve çökmeler meydana gelmiştir.



Kiriş açıklıklarının fazla olması nedeniyle kirişte kırılma görülmektedir. Düğüm noktaları ağır hasar görmüş ve yapı tamamen yıkılmıştır.



Bu yapıda deprem sonucu herhangi bir hasar oluşmamasına rağmen, komşu yapıların göçmesi esnasında çarpma sonucu meydana gelen hasarlar görülmektedir.



Fotoğraftaki binanın düğüm noktalarında ağır hasarlar görülmüştür. Bu düğüm noktaları usulüne uygun donatı ile detaylandırılmamıştır.



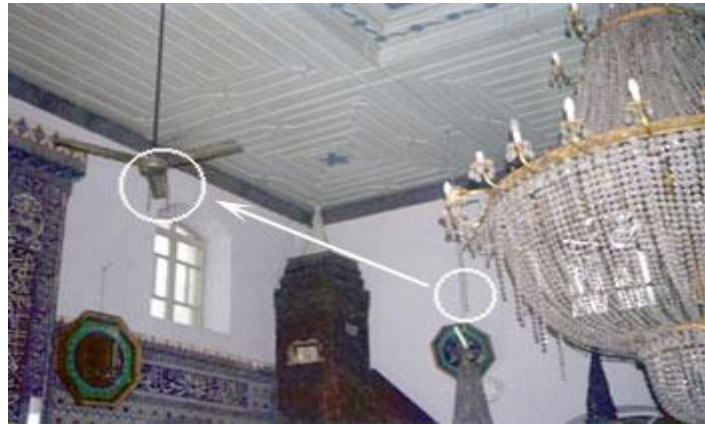
Fotoğrafta, kolon ve kirişlerde fark edilen donatı eksikliği yanında filiz boylarının da çok yetersiz olduğu açıkça görülmektedir. Kolon betonu ile döşeme kalıbının farklı zamanlarda ayrı ayrı dökülmesi ve kolon uçlarının iyi temizlenmemesi yüzünden kolon ve kiriş birleşim yerlerinde ayrılmalar meydana gelmiştir.



Burada zayıf kesitlerde meydana gelen hasar görülmektedir. Beton kalitesi, vibratörsüz beton dökümü nedeniyle düşük olmaktadır. Betondaki boşluk oranı fazla olduğundan, beton ezilerek donatının zedelenmesine sebep olmuş ve hasar meydana gelmiştir.



Fotoğrafta zayıf kesitlerdeki ayrılmalar nedeni ile oluşan ağır hasarlar görülmektedir.



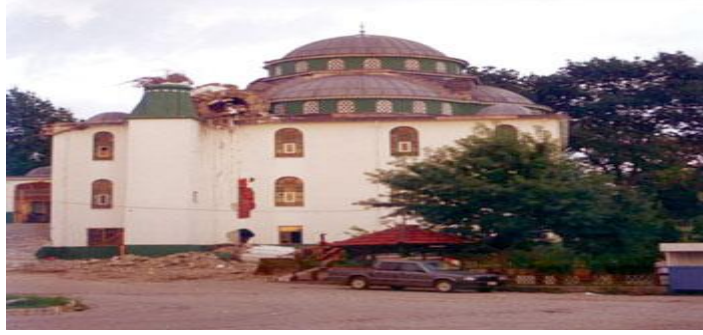
Deprem dalgalarının etkisi ile zeminde meydana gelen dalgalanmalar sonucu ortadaki avize, düşeyinden ayrılarak ahşap tavandaki pervaneye takılacak şekilde sallanmıştır. Bu dalgalanma sonucu avizenin bir parçası, tavandaki diğer pervaneye takılarak kopmuştur. Yapının kağır duvarlarında önemli bir hasar görülmemekle beraber pencere üstünde hafif hasar olarak ince bir çatlak oluşmuştur. Buradaki yapının dalgalanma hareketinin, denizdeki gemilerin dalga hareketi gibi olduğu kanaati doğmuştur.



Fotoğrafta, ortadaki avizenin dalgalanarak pervaneye çarpması sonucu pervaneye takılı kalan avize parçaları görülüyor.



Fotoğrafta, yapının taşıyıcı sistemindeki yetersizlikler nedeni ile meydana gelen ağır hasarlar görülmektedir.



Bu minarelerdeki devrilmeler görülmektedir.



Fotoğrafta betonarme yapılarda ağır hasarların meydana geldiği bir cadde üzerinde bulunan yığma kağır, bodrum katlı ahşap ev görülmektedir. Sağ yan cephedeki kağır ateş bacası yıkılmıştır, fakat yapıda önemli bir deprem hasarı meydana gelmemiştir. Yapı eski ve terk edilmiş olmasına rağmen hala ayakta durabilmektedir. Ahşap yapıların yangına karşı yeterli güvenliğe sahip olmamakla beraber deprem kuvvetlerine karşı daha güvenli olduğu görülmektedir.

Ustalık ve Kalfalık Belgeli Demirci ve Kalıpcı Ustaları İnşaatlarda kullanılacak malzeme ve yapılacak işçilik Türk Standartlarına ve Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Genel Teknik şartnamesi kurallarına uygun olmalıdır.

İnşaatlarda çalışan demirci ve kalıpcı ustalarının genellikle meslekte çalışarak yetiştikleri, herhangi bir teknik eğitim alarak belge sahibi olmadıkları görülmüştür. Pratikten yetişen bu elemanlar zaman zaman çeşitli konularda çok önemli olan hususları pratikten öğrendikleri şekli ile yaparak yanlış ve hatalı uygulamalara sebep vermekte veya çeşitli nedenlerle ihmalcilik davranmaktadırlar. İnşaatlarda çalışması öngörülen ara eleman olarak yapı tekniklerinin -sürveyanların- mutlaka görevlerinin başında olmaları sağlanmalı ve gerekli denetimler yapılmalıdır. İnşaatlarda çalışan ve yapının statik sistemini inşa eden demirci ve kalıpcı ustalarının mutlaka çeşitli meslekî bilgileri içeren kurslara tabi tutulması, başarılı olanlara belge verilmesi ve inşaatlarda belgesiz usta ve kalfa çalıştırılmaması gerekmektedir. Belge almayı teşvik için pratikten yetişen mevcut usta ve kalfalar teşvik edilmelidir.

İnşaatlarda meydana gelen hasarların bir bölümü, demirci ustası ve kalıpcı ustasının çeşitli nedenlerle yaptıkları, işçilikten doğan hatalardan kaynaklanmaktadır.

Özel inşaat yapan mal sahipleri ve müteahhitler, inşaatları genellikle kaba inşaat olarak m2 birim fiat üzerinden götürü usulde usta ve kalfalara yaptırmaktadırlar. Burada usta ve kalfalarla pazarlık yapılması sonucunda demirci ve kalıpcı ustaları işsiz kalmamak için fiyat kırmaktadırlar. Aşırı fiyat kıran usta ve kalfalar doğal olarak zarar etmemek için işçiliği gereği gibi yapmamaktadır. Örneğin kolonlarda etriye sıklaştırılmasını yapmamakta, giriş- kolon ve döşeme demirlerini yeteri kadar sıklıkta bağ teli ile sıkı bağlamamakta, etriye uçlarını kolon ve giriş içine doğru kıvırmamakta veya işi zarar etmeden bitirebilmek için çeşitli hatalar yapmaktadırlar. Kalıpcı ustaları kalıp tahtalarını yeterince sıkıştırmadıkları için beton dökülürken beton şerbeti bu kalıp aralıklarından akıp gitmektedir.

Böylece beton mukavemeti düşmektedir. Bunun için kalıbın beton şerbetini kaçırmayacak şekilde sıkı çakılması gerekmektedir. İnşaatların taşıyıcı sistemini inşa eden usta ve kalfaların yeterince denetlenmedikleri ayrıca ücretlerinin tam olarak verilmemesi yüzünden eksik iş yapmaları sonucu çeşitli hasarlar meydana geldiği müşahade edilmiştir.

Proje onaylanarak ve ruhsat alınarak yapılan inşaatlarda dahi inşaat faaliyeti esnasında teknik uygulama sorumlusunun bilgisi dışında, uygulama projelerinin değiştirildiği, ilaveler yapılarak büyütüldüğü, kat yüksekliklerinin artırıldığı tespit edilmiştir. Esasen birçok inşaatda teknik uygulama sorumlusunun bilgisi dışında imalatlar ve proje değişiklikleri yapılmaktadır. Yapının projesine uygun olarak imalatının yapılmasının sağlanması zorunludur. Tadilat yapılması gereken hallerde, mutlaka ilgili kontrol mühendisinin bilgisi dahilinde hesaplar yapılmalı ve tadilat projeleri ilgili kurumca onaylanıp ruhsata bağlanarak çalışılmalıdır.

Yine inşaatlarda yapılan çeşitli imalatlar esnasında; -örneğin elektrik, su ve kalorifer tesisatları- tesisatı döşeyen elemanların, taşıyıcı sistem elemanlarını ve yapının statik sistemini düşünmeden giriş ve kolonlara zarar verdikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca mevcut yapılarda da, doğalgaz ve kalorifer tesisatı döşenirken özellikle asmölen döşemelerde, asmölen girişinin ve donatının yeri projeye bakmadan görülemediğinden, tesisat ustaları zaman zaman bu taşıyıcı giriş ve donatıları oksijen kaynağı ile kesmektedirler. Ancak binanın statik sistemine verdikleri zararın farkında dahi olmadıkları gözlemlenmiştir. Yapılarda sonradan yapılacak imalatlar için mutlaka yapının statik projesi görülmeli ve gerekli tesisat en uygun yerlerden geçirilmelidir.

Korozyon -Paslanma-İzolasyonsuz yapıların çoğunda korozyon vardır. Yapılarda özellikle yeraltı suyu ve bodrum katlardaki rutubet, kolon paspayının dökülmesine ve kolon içerisindeki çeliğin paslanmasıyla oluşan kesit kaybına neden olur. Bu da yapıda çekme kuvvetini karşılayan çeliğin, görevini yapamamasına neden olur; bu durumda, yapıda hasar meydana gelmesi kaçınılmazdır. Yapılan incelemelerde çeliğin paslanmak suretiyle korozyona uğradığı ve mukavemetini kaybederek yapılarda hasara meydan verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle çeliğin beton içerisinde paslanmasını önlemek için gerekli olan paspaylarının mutlaka bırakılması gerekmektedir. Ayrıca bodrum katlarda rutubet nedeni ile oluşacak paslanmayı önlemek için bodrum katlara mutlaka dışarıdan temel seviyesi altına kadar su izolasyonu yapılmalı ve sular drenaj ile uzaklaştırılmalıdır. Yine paslanmayı önlemek için çeliğin pas karşı koruyucu maddelerle kaplanarak ömrü artırılmalıdır. Bu önlem, dolayısıyla binanın ömrünü de artıracaktır. "Yiğidi gam öldürür, binayı nem öldürür" atasözü unutulmamalıdır.

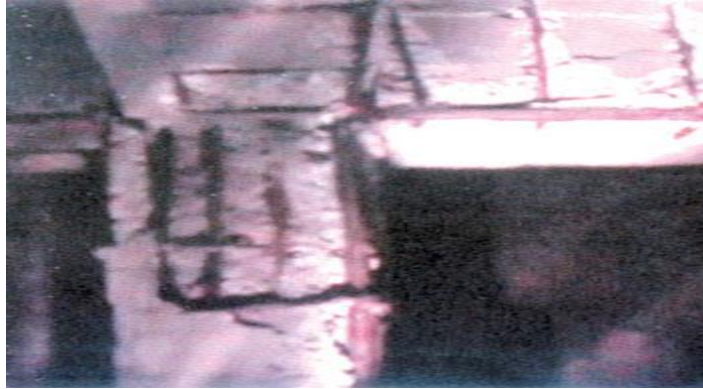
Ayrıca bazı su veya atıksu tesisatları usulüne uygun yapılmadığından, tesisatlarda su kaçakları meydana gelmekte, bu su kaçağı da özellikle kolon, giriş ve döşemelerde korozyona meydan vermektedir. Paslanan kolon ve giriş donatı elemanları kesit kaybına uğramakta ve yapının taşıyıcılığını kaybetmesine neden olmaktadır. Bu nedenle yapılarda usulüne uygun su izolasyonunun yapılması zorunludur. Yapının ömrünü artırmak onun iyi korunması ile mümkündür. Mevcut yapıların bodrum katlarında yeraltı ve yüzey sularına karşı mutlaka drenaj yapılmalı ve havalandırma sağlanarak rutubet giderilmelidir. Çeliğin korozyonunun önlenmesini sağlamak için çeliğin yüzeyi pas ve korozyona karşı koruyucu bir tabaka ile kaplanmalıdır. Ayrıca beton yüzeyi kimyasal etkilere karşı koruyucu boyalarla boyanmalıdır.



Bodrum kat düşey donatı demirlerinin paslanması neticesinde demirlerin elle koparılarak dağıldığı görülmektedir. Binaların bodrum katlarında rutubet mutlaka önlenmelidir. Çevre yüzey sularına karşı mutlaka izolasyon yapılmalıdır.



Bodrum kat kolon düşey donatı demirleri rutubet etkisi altında paslanarak donatı kesit çaplarının paslanmak suretiyle zayıfladığı görülmektedir. Bodrum katlardaki korozyon nedeniyle yapılar ciddi tehlike altına girer.



Bodrum kat kolon ve kiriş düğüm noktasında paspayları dökülerek donatıların korozyona uğramış hali gözükmemektedir.



Bodrum kat kiriş demirlerinin üzerindeki pas payları rutubet etkisiyle dökülerek boyuna donatıların paslanmak suretiyle demiri çekme mukavemetini kaybettiği bu nedenle yapılarda yatay deprem kuvvetleri olmasa dahi yapı ciddi tehlike arz etmektedir. Mutlaka gerekli güçlendirmeler yapılarak tedbirler alınmalıdır.



Sağlam zemin üzerine blokaj betonu dökülerek temel altı bohçalama metoduyla yeraltı ve çevre sularına karşı direne edilerek izolasyon yapılmaktadır. Böylece yapıların temellerinden itibaren korozyona -paslanma- karşı önlem alınmaktadır.



Sağlam zemin üzerine RADYE TEMEL olarak inşa edilen temel demirleri görülmektedir. Binanın oturduğu alan tamamen demirlerle döşenerek binanın yükleri zemine dağıtılarak güvenle taşıtılmaktadır.



Çiroz etriyeler yukarıdaki fotoğraftaki gibi 135 ° kıvrılarak beton içine doğru sokulmalıdır.



Paspayını sağlamak için fotoğraftaki aparatlar kullanılmalıdır.



Perde ve kolon filizleri yönetmelikte belirtilen koşulları sağlamalıdır. Gerektiğinden daha az filiz bırakılması yapının hasar görmesine neden olabilir.



Tünel kalıp sistemi olarak inşa edilen yapılar deprem kuvvetlerine karşı daha güvenilirdir. Tünel kalıp olarak inşa edilen bölme duvar donatıları görülmektedir.



Bölme duvarlar tamamen taşıyıcı betonarme perde duvar olarak inşa edilmektedir. Böylece yapıda meydana gelecek deprem kuvvetleri daha güvenle karşılanmaktadır



BS 20-BS 25 hazır betonu kullanılarak inşa edilen betonarme karkas sistem görülmektedir.



Betonarme bölme duvarlar yapının güvenliği için daha rijit davranış göstermektedir



İnşa edilen her bina için ayrı ayrı zemin etüdü yapılmaktadır. Bölge genel olarak sağlam zemin üzerinde inşa edilmektedir. Fotoğrafta kaya küskülük zemin görünmektedir.

YER-YAPI
İNCELEME UYGULAMA
KOŞULLARI
(Teknik Şartname)(A.Ercan,

L. YER-YAPI İNCELEME UYGULAMA KOŞULLARI (Teknik Şartname)(A.Ercan)

I. AMAÇ Bu uygulama koşulları her türlü yapının (konut, işyerleri, sağlık yapıları, eğitim kurumları, sanayi yapıları, kültürel yapılar, köprü, taşıt, spor salonları, ulaşım v.b.) yerle etkileşimli olarak incelenmesine yönelik çalışmalar için gerekli koşulları tanımlar. Uygulama koşulları oluşturulurken, 1998 yılı T.C Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'na hazırlanan, "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik", ile 2005 Taslak Yönetmeliği ölçütleri ile ilgili Türk Standartları göz önüne alınmıştır.

II. KAPSAM Çalışmalar yapının yer ile birlikte incelenmesine yöneliktir. Çalışmaların nasıl yapılacağını, ayrıca gerekli koşulları ortaya koyar. Bu bağlamda çalışma yer ile yapı olmak üzere iki ayrı başlık altında toplanmış bir bütündür.

III. YER İNCELEMELERİ Mühendislik Jeofiziği konusunda uzman, Jeofizik mühendisince yapılaşmış/yapılaşmakta olan alanın; deprem çekincesi göçmeden, kaymadan üst yapı yükünü taşıyabilme, deprem dalgalarına karşı dayanma, salınma, üst yapıya iletme, yer ıslaklığını, sığ suların donatı dizgesini paslandırma ile bu olumsuzluğu engellemek için uygulanır.

Bu işlemler sonucunda; böyle bir yerin yapılaşabilirlik koşulları, alan kullanımlığı, temel türü, yapı en / boy yüksekliği, donatısı, gerek depremsiz, gerekse deprem sırasında göçmeden dengede kalması için yer mühendislik değerlerinin ne alınacağı, yerin esnek davranış gösterebilirliğinin belirlenir. Çalışma kapsamında yapılan işlerin tanımı izleyendeki gibidir.

1. Yeraltı yapısının belirlenmesi için sismik ölçümler

Bu ölçümler, burucu kesme dalgası hızı (V_s), yer esnekliği (E), yer gevşekliği poisson oranı (ν), temel oturduğu ana birim ($V_s > 700$ m/sn) derinliği (d), uygun yapı yüksekliğini belirlemek üzere yapı ile yer sarsıntı çınlaması (rezonans) ile baskın yer titreşim dönemini (T_0) bulmak için yapılır

Aygit: Çok kanallı (12-24) sismik kırılma ile yansıma düzeninde algılama yapabilecek

jeofon: 4 – 40 Hz sıklık aralığında P ile S jeofonları kullanılmalıdır.

Re-MI ölçümlerinde yalnızca P jeofonları kullanılır.

Serim boyu: Sismik kırılma ölçümlerinde serim boyu,

*) en az yapı yüksekliğince ya da 75 metreden az olmamalı,

*) derin temelli ya da kazık temelli yapılarda; yapı temel taban derinliğinin en az 3 katı olacak biçimde tasarlanmalıdır.

*) Temelsiz yapılarda serim boyu 10 metreden az olmamalıdır.

*) Sismik yansıma ölçümlerinde kesit derinliği yapı temel derinliğinin en az 2 katı olmalıdır.

Serim Sayısı: her yapı için en az 2 sismik serim ile ölçü alınmalıdır. Serimlerin yapı taban alanında birbirlerine dik olmasına çalışılmalıdır.

Atış Sayısı:

*) Sismik Kırılma çalışmalarında, her serimde ters ile düz en az 2 P, 2 S ile orta atışı yapılmalıdır.

*) Sismik Yansıma çalışmalarında katlama en az 1/6 olmalıdır.

2. Yer Islaklığını Belirlemek için Elektro Çekimi

Donatıyı paslandıran ıslaklık ile yüzey altı su derinliği, Kazınması gereken gevşek toprak kalınlığı (h), yeraltı katmanları, kalınlık ile sayıların bulunması için yeraltı yapısının biçimini belirlemek için yapılır.

Aygıt : Doğru akım üretici (çıkışı $I_{enaz}=100mA$, $V_{enaz} = 200mV$ 'dan az olmamalıdır. Yerine göre 0.3 Hz den düşük frekanslı akımda kullanılabilir).

Elektrotlar: Doğru Akım ile yapılan elektrik sondaj ölçümlerinde uçlaşmaz (non-polarizable) elektrotlar kullanılmalıdır. Düşük frekanslarda metal elektrot kullanılabilir.

Dizilim Türü: Elektrik Delgiler için Schlumberger ya da $\frac{1}{2}$ Schlumberger dizilimi kullanılabilir.

Yarı Açılım Uzaklığı: Schlumberger ölçümlerinde serim boyu,

*) en az yapı yüksekliği ya da 75 metreden az olmamalı,

*) derin temelli ya da kazık temelli yapılarda; yapı temel taban derinliğinin en az 3 katı olacak biçimde tasarlanmalıdır.

*) Temelsiz yapılarda serim boyu 10 metreden az olmamalıdır.

*) Zaman ile frekans ortamı elektromanyetik ölçümlerde kesit derinliği yapı temel derinliğinin en az 2 katı olmalıdır.

*) Frekans ortamında alıcı verici aralığı en az yapı yüksekliğine eşit olmalıdır.

Elektrot Sayısı: Her yapı ya da kurgu için en az bir elektro çekilmelidir. Küçük oturumlu yapılarda, dört uçta, ayrı bir göbekte olmak üzere 5 ölçü alınmalıdır. Yapının tüm çevresinde temel derinliğine denk gelen r1 ile r2 açılımları için elektrik kaydırma ölçüleri alınmalıdır.

3. Yer Salınım Döneminin Belirlenmesi

Yerin salınım dönemi (T_{YER}), Yer salınım dönem aralığı ($T_A - T_B$), Yerin sarsıntıyı büyütmesi (b), söndürmesi (s), Sarsıntı tanecik hızı (V) ile titreşim sınıncaları bulmak için yapılır.

Aygıt: Çalışma sıklık aralığı $f = 1 - 20$ Hz aralığını içine alacak düzeyde olmalıdır.

Ölçü Süresi: Ölçü süresi en az 150 saniye olmalıdır. Çevre titreşim etkileri ölçü süresince en az indirgenmelidir. Uygunsa ölçüler geceleyin alınmalıdır.

Ölçü Sayısı ile Yeri: Her yapı ya da kurgu için en az dört ayrı uçta titreşimcik ölçüsü alınmalıdır. Ölçü yeri olarak, yapı temel altındaki yersel birimi imgeleyebilecek nitelikteki yerler seçilmelidir.

4. Yeraltı Radarı ile Yeraltı Yapısının Görüntülenmesi

Katmanlı yeraltı yapısının, en az temel tabanı derinliğine dek yeraltı radarı ile görüntülenmesini kapsar.

Aygıt Duyarga (Anten) Sıklığı: Duyarga Sıklık aralığı, elektromanyetik dalga hızı göz önünde bulundurarak $f = 25 - 200$ MHz arasında olmalıdır.

Alıcı Verici Aralığı : Alıcı (R_x) – Verici (T_x) arasındaki uzaklık kullanılan duyargaya göre seçilmelidir; ancak 1 metreden de az olmamalıdır.

Ölçüm Aralığı: Uzaklığa bağlı sürekli alınmalı. Ölçme aralığı $dx = 10$ cm'den küçük

5. Delici ile Yeraltından Toprak/ Kaya Örneği Alınması

- Jeofizik mühendisi gerek duyuyorsa en az bir tane, yapı taban genişliğine göre yeterli sayıda yapılacaktır.
- Delgi derinliği yapı yüksekliğinin 1/3'ünden sığ olamaz.
- Delgi bitiminden sonra jeofizik kuyu ölçüsü alınır.
- Delme koşullarında TSE ile DSİ ölçütlerine uyulur.

6.Yapının Deprem Çekincesinin Tanımlanması

Yapı ömrü içinde beklenen en büyük deprem (M), yapıda oluşturacağı ivmesi (a), yıkım gücü (I), yer değiştirmesi (d), deprem bölgelendirmesi, yerleşim ile yapılaşmayı etkileyecek diri kırıklar, beklenen depremi kestirmek, yönseme, yapı için uygun oturuş biçimi, deprem yönetmeliği değiştirgenleri ile depreme karşı yapıda önlem alınıp alınmadığı belirlemek için yapılır.

IV. YAPI GEREÇLERİ İNCELEMESİ

Yapı Jeofizik Mühendisi ile İnşaat Mühendisi iş birliğinde yapılır. Yapının taşıyıcı iskeletinin (dikme, kiriş, döşeme, duvar, temel) durumunu ile varsa depremden etkilenme ölçüsünü belirlemek için, yerinde yapı içinde küçük jeofizik aygıtlarla (jiga radar, duvar sismiği- ultrason, duvar manyetometresi-paşametre, beton elektromanyetiği, duvar öz direnç ölçeri, duvar uçlaşma ölçeri, beton örnekleyicisi) ile deneylikte yapılan deneyleri kapsar. Yapının böyle bir yerde sağlıklı oturması, bu bölgede oluşacak depremlerden yıkılmayacak biçimde tasarlanıp tasarlanmadığının, yapı denge (statik) işlemi ile uygulamanın uygunluğunun incelenmesini, sarsıntı sırasında yer ile yapıyı uyuma-çınlama (rezonansa) getirip, en büyük yıkıma neden olup olmayacağını belirlenmesini kapsar. Bu amaçla yürütülecek deneyler ile çalışmalar şunlardır.

1. Beton Niteliğini Belirleme

- Örnek (Karot) Alma:** Her yapı için en az 2 yuvak (silindir) örnek alınarak, ölçütlere uygun biçimde kırma deneyi uygulanır. Örnek çapı 100 mm az olmamalıdır. Örnek alınmadan önce donatı yerleri belirlenerek, donatının kesilmesine, dokunca görmesi engellenmelidir. Örnekler bir inşaat mühendisi gözetiminde, özellikle bodrum, giriş katları, dikme ile deprem perdelerinden alınmalıdır. Oyulan yer epoksi dolgu ile ivedilikle doldurulmalıdır.
- Duvar Sismiği (Ultrason) :** Yapı temelinde, ayrıca giriş katta en 2 şer tane, yapıda her katta en az 1 tane duvar sismiği ölçüsü alınmalıdır. Beton içi geçiş hızı belirlenerek, dönüştürme bağıntılarından, çizelgelerden beton niteliği tanımlanmalıdır.
- Schmidt çekici:** Yapıda her katta en az 1 dikme üzerinde, Schmidt çekici ile basınç deneyi yapılmalıdır. Basınç dayanımına göre beton niteliği tanımlanmalıdır. Ölçü sıva kaldırılarak, çıplak beton yüzünde, pürüzler giderilerek yapılma, açılan alanda çakılla denk gelmeyecek biçimde en az 10 ölçü alınıp ortalaması alınmalıdır.

2. Beton Kimyası

- a. Beton sıvası kaldırıldıktan sonra beton bir matkapla delinerek öğütülmüş beton toz örneği alınır. Bunun üzerinde kimyasal deneyler yapılır.
- b. pH, Na Cl, OH gibi gerekli kimyasal bileşenlerin oranlarına bakılır.

3. Beton Islaklığı Belirleme

- a. Dikme ya da deprem perdesine yerleştirilen elektrotlarla, ayrıca özdirenç ölçerle beton elektrik özdirenci ölçülür.
- b. Bu amaçla elektrik özdirenç ölçer, ya da EM38 Sığ elektromanyetik iletkenlik ölçerler kullanılır. Çıkış Ohm.metre olarak verilir.

4. Yapı Radarı ile Donatı Sayımının Yapılması, Pas Payına Bakılması

Donatı (düşey demirler ile sargılar) sıklığını, paspayı derinliğini, donatı yerlerini belirlemek için bu işlem yürütülür.

- a. *Duyarga (Anten)* : 1000 MHz sıklığından düşük olmalıdır.
- b. *Ölçü Sayısı ile Yeri*: Yapı ya da kurgu için her katta en az 3 dikme, ayrıca tüm deprem perdelerinde ölçü alınmalıdır. Uygun yerlerde kırma yaparak sıva ile paspayı gözlenerek denetlenmelidir.

5. Elektromanyetik Işınlama Aygıtı ile Donatı Sayımının Yapılması,

Yapı genelinde düşey ile yatay donatılarının yerlerinin belirlenmesi, yatay donatıların (sargı) yerlerinin belirlenmesi için uygulanmalıdır. Yapı ya da kurgu genelinde dikme-kiriş sargı sıklaştırmalarına bakılmalıdır.

6. Beton İçinde Bozukluklar, İnce Kırıklar

Deprem ya da sarsıntı sonrası beton ya da taşıyıcı duvar üzerinde çatlak oluşması durumunda, çatlak derinliği ile niteliği, ayrıca beton yorulması yapı sarsım ölçeri (ultrason) ile belirlenmelidir.

7. Yapı Salınım Dönemi (Periyodu) (T_1)

TSE ile AB ölçütlerinde belirlenen bağıntıları kullanarak ya da yapıyı yaklaşık 0.1 ile 2 saniye dönemler aralığına giren çeşitli periyotlarda sallandırarak, çıkan spektrum eğrisinden yapının doğal salınım dönemi (T_1) bulunmalıdır. Yapı içindeki titreşimcik ölçüsü yapının en üst katı ile orta katından alınacak en az 2 ölçü ile elde edilmelidir. Her bir algılama süresi 150 saniyeden az olmamalıdır.

8. Taşıyıcı Dizge ile Duvarların Diklik-Eğikliği,

Kabarcık düzeciyle, taşıyıcı dizge ile bölme duvarlarında diklik-eğikliği her oda duvarı için belirlenmelidir.

V. YAPI DENGESİNE BAKILMASI

Yapı dengesi (statik) konusunda uzman bir inşaat mühendisince üstlenilir.

1. **Yapı Denge Durumu (Statik).** Belediyeden onaylı statik tasarısı ile gerçekleşen uygulamanın karşılaştırması işidir . Statik tasarısı yoksa yapının gerçek güncel biçimi (rölövesi) çıkartılır.

2. Yapı Salındırma Deneyi. Sanal ortamda yapıyı $M = 4,5,6,7,8$ büyüklüğünde depremler için sallamayla, yapı taşıyıcılarının nerelerden kopacağını belirler. Bu amaçla uygun kalıp izlenceler kullanılır.

- a. Yapı gereçleri özellikleri ile güncel durumunun bilgisayara girilmesi
- b. SAP-2000 , BABALOĞLU yada ETABS bilgisayarla yoklama izlenceleri (computer modellings) ile yapının 7.3 'luk bir depremle sarsılması, yapının güçsüz yerlerinin belirlenmesi (öykünme – simulasyon)
- c. Güçlendirme, onarım, sarsıntı sönümleyicisi takma, yada yıkıp yapma seçeneklerinin irdelenmesi (güçlendirme tutarı, süre).

VI. ONARIM ÇALIŞMASI

Yapı dengesi (statik) konusunda uzman bir inşaat mühendisince üstlenilir. Sarsıntıdan etkilenen yapıyı eski durumuna getirmeyi amaçlar.

VII. GÜÇLENDİRME ÇALIŞMASI

a. Yapının Dayanımı Arttırmak için

1. Betonarme perde eklenmesi
2. Dikme ile kirişlerin mantolanması
3. Duvarlarda çelik çaprazlama yapılması
4. Çatlakların epoksi reçinesi ile doldurulması.
5. Çelik lama uygulaması,
6. Karbon elyafı kumaş ile sarma uygulaması gibi işlemleri kapsar.

b. Temel Dayanımı Arttırmak için

1. Boşlukların sıringalama (enjeksiyon) ile doldurulması
2. Kazık çakma, bostan kuyusu açma yer kurutma, işlemleri

c. Yeniden Yapı Denge (statik) Tasarımı Yapılması

d. Yapının Sarsıntıdan Etkilenmesini azaltmak üzere sarsıntı yalıtıcıları, sönümleyicilerin takılması. gibi işlemleri kapsar.

VII. BİLDİRGEDE YER ALACAK BİLGİLER

Çalışmalar, özellikle yerin izleyen duruk (statik) ile dirik (dinamik) özelliklerini belirlemeyi amaçlayacaktır. Yapılacak iş sonucunda izleyen bilgiler üretilecek sunulacaktır.

A. Yer İncelemelerinden Elde Edilecek Bilgiler

1. Yer-yapı yarı uyumu,
2. Olması gereken yapı temel derinliği ($V_s \geq 700$ m/sn)
3. Yapı temel tabanında hız
4. Deprem yapıya vurma yatay gücüne karşı dayanım (Ft),
5. Yer sarsıntı büyütmesi ile sarsıntı söndürmesi, baskın salınım yönü
6. Yer taşıma gücü
7. Yer oturma özelliği ,oturmaya karşı alınacak önlemler
8. Yer depremle birlikte doğal salınım dönemi (periyodu)
9. Deprem çekincesi ile dayanım arttırıcı özellikler.
10. Yer esnekliği ile basınç dayanımı

11. Kayma dayanımı ile yamaç duraylılığı
12. Yerin kurutma işlemi önerileri
13. Dolgu özellikleri, kalınlığı ile kazı tutarı(hafriyat hacmi)
14. Yapay ile doğal dolguların jeoteknik ölçeklendirilmesi, kazıdan çıkan toprağın dolgu olarak kullanılabilirliği
15. Yapı temel biçimi önerilmesi
16. Yer ıslaklık derinliği ile yan yatırımcı sığ su varlığı
17. Toprak dayanımı arttırılması gereken alanların belirlenmesi
18. Alan kullanım ile ölçekleme yuruğu(haritası)
19. Yapının oturmasına göre yeraltının üç yönlü derinlik kesiti
20. Yapının depremden etkilenmemesi için en uygun oturuş biçimi
21. Yapılaşma sırasında özen gösterilmesi gereken konular, öneriler

B. Yapı Gereci Bilgileri

1. Beton Özellikleri (Poisson Oranı, Özgül Ağırlığı, Vp sismik dalga hızı, öz direnci, pas payı, gözeneklilik, kum-çakıl karışımı, türü)
2. Beton Kimyası (pH, tuz (Cl-),OH, su/çimento oranı, karbonlaşma, yanma)
3. Beton Dayanımı (çekme, esneklik direnci, eşdeğer küp dayanımı, silindirik dayanımı,
4. Donatılar (türü, düşey sayısı, sargı aralığı, dikme-kiriş sıklaştırılması, çelik çekme uzama, akma, kopma, kırılma direnci, paslanma oranı)

C. Yapı Dikiliş Bilgileri

1. Belediye onaylı tasarıyla, gerçekleştirilen uygunluğu
2. Yapıdaki değişikliklerin yapı güvenliğine etkileri
3. Yapının dayanıksız, güçlendirilmesi gereken yerleri
4. Güçlendirme tasarısı önerileri

YAPI İNCELEMESİ

Yapının taşıyıcı iskeletinin (dikme (kolon), kiriş, döşeme, duvar, temel) durumunu ve varsa depremden etkilenme derecesini belirlemek için, yerinde yapı içinde ve deneylikte yapılan deneyleri kapsar.

Yapının böyle bir yerde sağlıklı oturması ve bu bölgede oluşacak depremlerden yıkılmayacak biçimde tasarlanıp tasarlanmadığının, yapı denge (statik) işlemi ile uygulamanın uygunluğunun incelenmesini, sarsıntı sırasında yer ile yapıyı uyuma (rezonansa) getirip, en büyük yıkıma neden olup olmayacağını belirlenmesini kapsar.

Bu amaçla yapılması gereken incelemeler ve ölçümler, yürütülecek deneyler ve çalışmalar şunlardır.

- a. **Beton niteliği belirleme** çalışmaları; bir fiske betona vurularak beton içine ses dalgaları yolları geri dönüşleri ölçülür (ultrason) böylece beton hızı bulunur. Schmidt çekici, karotla örnek alımı ve kırma deneyi yapılarak dayanımı ve ölçeği bulunur. Kum-çakıl tuzluluğu niteliği tanımlar.,
- b. **Beton nemliliği için** elektromanyetik iletkenlik ölçümü (EM 38),
- c. **Donatı niteliğine bakma işleri**, donatı ve üzengi-sargı (etriye) (yatay demirler) sıklığını belirleme (paşometre ve 1 GHz yapı radarı), paslanma, pas payı derinliği dikme, perde, kiriş kalınlığı ve kesit alanı,
- d. **Beton içinde bozukluklar ve çok ince kırıklar** (Radar-GPR), çatlak derinliğinin yapı sarsım ölçeri (ultrason) ile belirlenmesi

- e. **Salınım Dönemi (Periyodu).** Yapıyı sallandırarak salınım dönemini (periyodunu) bulma, titreşimcik (microtremor) gibi yerinde deneyler,
- f. **Taşıyıcı Dizge ile Duvarların Diklik-Eğikliği,** sayısal düzeç ile taşıyıcı dizge ile bölme duvarlarında diklik-eğikliğin belirlenmesi
- g. Tasarlanan ile Uygulananın Uyumluluğu.

Belediyeye onaylatılan proje ile uygulanan proje yerinde karşılaştırılır.

- a. Denilen yerde deprem perdesi var mı?
- b. Dikme sayıları, kalınlıkları,
- c. Kesit alanları uyuyor mu ?
- d. Arda duvar kaldırmaları olmuş mu ?
- e. Çıkma genişlikleri ?
- f. temel derinliği ve türü ?
- g. ıslaklık yalıtımı yapılmış mı?
- h. Deprem değiştirgenleri ve taşıtma değerleri doğru seçilmiş mi?

gibi konulara bakılır.

YAPILAŞMA İÇİN YER İNCELEME ÇALIŞMALARI

Boş bir alan üzerinde yapılaşma düşünüldüğünde, ilk adım, o yerin yapılaşma özelliklerinin belirlenmesidir. Çalışmaların amacı; yerin depremsiz ile depremlı (dinamik) yükler altında davranış özelliklerinin ortaya çıkarılmasıdır. Yer in olumsuz özellikleri varsa, bunlar giderilerek, yapılaşma koşulları belirlenerek yapılaşma aşamasına geçilir. Bu tür tanı ile yer onarım çalışmalarına, **yer inceleme çalışmaları** denir. Yer inceleme çalışmaları **jeofizik, jeolojik ile geoteknik** çalışmalardan oluşur. Ne yazık ki uzun yıllar boyunca kötü yapılaşma, kötü yer seçimi deneylerini kazanmış ülkemizde, ilgili meslekler arasında görev bölüşümünün olmaması sonucunda kargaşa ortaya çıkmıştır. Böylece yerleşim alanlarına güvensiz yapılar dikilmekte, deprem olduğunda da kamu göçüntüler altında kalmaktadır.

YER İNCELEMELERİ (Zemin Etüdüleri)

Yapılar, üzerine dikilecekleri yer in davranış özelliklerine göre yapı (inşaat) mühendislerince tasarlanırlar. Yapılaşmayı etkileyen başlıca koşullar;

1. Deprem çekincesi,
2. Göçmeden üst yapı yükünü taşıyabilme,
3. Yer in kaymaması, yamacın duraylılığı
4. Yer in deprem dalgalarına karşı esneme ile dayanma özellikleri,
5. Yer in baskın sarsılma salınım dönemi
6. Sarsıntının üst yapıya iletilme özelliği,
7. Yer in sarsıntıyı söndürme özelliği
8. Yer ıslaklığı ile sığ suların donatı dizgesini paslandırması,
9. Yer in türü, katmanların eğimi, ana kaya derinliği
10. Yer in geçirdiği evrimler ile yer altı süreksizlikleri,
11. Yeraltında saklı arkeolojik kalıntıların varlığı

gibi özelliklerin yapılaşma öncesi bilinmesini gerektirir. Bu tanı adımını sonucunda şunlara karar verilir;

1. Alannyapılaşabilirliği ,
2. Yerin dayanımı, yatay ile düşey yük taşıyabilme özelliği
3. Yapının temel türü biçimi,
4. Yapı en/boy yüksekliğinin,
5. Yapı uzun boyunun oturma doğrultusunun belirlenmesi,
6. Donatı tasarımı,
7. Gerek depremliler gerekse depremsiz durumda kendi ağırlığı altında yapının oturmadan, kaymadan, yan yatmadan, göçmeden ayakta kalabilmesi için koşulların ne olması gerektiği (statik proje)
8. Yapının esnek davranış gösterebilmesi için alınması gereken önlemler,
9. Yerin giderilmesi gereken sorunları ile iyileştirilme yolları
10. Yapılacak alan altında kalacak arkeolojik kalıntılar için kurtarma ile koruma kazıları(arkeolojik kazılar.)

olarak sayılabilir. Bu işlerin ilk bölümünü oluşturan **tanı** işlerinde jeofizik ile jeoloji mühendisleri, **yapı tasarımı ile yer iyileştirmelerinde** inşaat mühendisleri ve geoteknikçiler sorumluluğu üstlenirler. Tanı için kullanılan jeofizik ile jeolojik yöntemlerin her biriyle aşağıdaki özellikler bulunur.

JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

a. Yapay Sarsım(Sismik) Ölçümler

Burucu kesme dalgası (Vs),
 Kaya/toprak ayırlaması ile sökülebilirlik,
 güvenli taşıma gücü(yapı biliniyorsa),
 oturma belirleme için (Vp), ,
 Yatay ile düşey yer basınçları altında yamulmaları tanımlamak üzere yer esnekliği (E,G,k),
 Toprağın sıkışabilme özellikleri,
 Gevşeklik belirleyici Poisson Oranı (σ),
 Yer oturması (Mv),
 TC Deprem yönetmeliğine göre yapı kökünün(temelin) oturacağı ana kaya derinliği (h)
 ($V_s > 700$ m/sn), yapı kökü için uygun olmayan örtü kalınlığı
 Yerin dirik(Dinamik) dayanım özellikleri (N_{30} , c, F, q_u , q_a , n, e, k, m_v), taşıma gücü

b. Elektro Çekimi

Donatıyı paslandıran ıslaklık ile yüzey altı su derinliği
 Gevşek toprak kalınlığı (h), yeraltı katmanları, kalınlık, derinlik ile sayısı
 Derinde toprak/kaya ayrımı
 Yer altı suyu derinliği

c. Titreşimcik Ölçüleri (Yapay, Doğal (Microtremor))

Yerin sarsıntıyı büyütmesi (b) ile sönümü (s),
 Titreşim tanecik hızı (V) ile yapıya etkisi
 Yer titreşimcik ölçümü (Mikrotremör),
 Yerin baskın doğal titreşim dönemi (T0)
 Yapı katlarının doğal titreşim dönemi (T1)
 Yerin sarsıntıya karşı en güçsüz olduğu doğrultu
 Rüzgar, endüstri, trafik, sarsıntı makinalarının etkisi

d. Yer ivmesi Ölçümü (Strong motion Accelerometre)

Depremin ivmesi(a) ile yapıya vuracağı yatay güç (F), beklenen vuruş doğrultusu

Yerin sarsıntıyı büyütmesi (b),

Yerin alt-üst salınım dönemi ($T_A - T_B$)

e. Deprem Çekincesi

Yapı ömrü içinde beklenen en büyük deprem (M), ivmesi (a), yıkım gücü(şiddeti) (I), statik tasarım için önerilen değer,

75, 100,500, 2000 yıl içinde beklenen deprem büyüklükleri(M) ile beklenen ivme, kırma doğrultuları, derinlikleri, kırma atımları(yanal, düşey)

Yerleşim ile yapılaşmayı etkileyecek diri kırık konumları, kırıkların uzanımları, depremler beklentileri.

Diri kırıkların yerleri

JEOLJİK ÇALIŞMALAR

a. Yer yapısı, tortul ile ana kaya birimleri

b. Yer kırıkları, yeraltı suyu, yer kayma ile akması

c. Yer birimlerinin mühendislik özelliklerine göre ayrışması

d. Sorunlu alanların kayma, sıvılaşma, baskın periyotlara göre haritalanması

e. Tektonizma (kırıklar, kıvrımlar, devrilmeler, bindirmeler)

f. Katman ardalamaları, yanal süreksizlikler

JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR

a. Yapı denge Statik Hesapta kullanılacak yer ile deprem bilgilerinin değerlendirilmesi.

b. Yer türü, birimlerin özelliklerine göre ayrımı, depremsiz dayanım özellikleri (N_{30} , c, F, q_u , q_a , n, e, k),

c. tasarım güvenlik(emniyet) gerilmesinin temel türüne, yapı özelliğine ayarlanması,

d. yatak katsayısının seçim, deprem yüklerinin yapıya yansıtılması

e. Yerdeki sorunların iyileştirilme işleri (kayma durdurma, taşıma gücünü arttırma, sıvılaşmayı giderme, oturmayı önleme, yer kurutma ile suyu uzaklaştırma(drenaj), yapı ayağını ıslaklıktan yalıtma), temel türü seçimi, sakıncaların giderilmesi ile önlemlerin alınması, deney çukuru ile yer delgilerinin (sondaj) tasarlanması.

BİLİM DALI KAPSAMLARI

Jeofizik, Yeraltı bilimidir. Yerin iç yapısı ile yerin sarsıntı ile yük altında dirik (dinamik) davranışını araştırır, yer altı kaynaklarını elektronik aygıtlarla ölçerek arar. Deprem Bilim

(**Sismoloji**), Jeofiziğin bir alt koludur. Yersarsıntılarının(deprem) oluş kökenini, işleyişini, boyutunu, etkileri ile yer yapısını çalışır.

Jeoloji, Yer yüzeyini gözlemleyen ana bilim dalıdır. Yerin üst yapısı ile yerin geçirdiği evrimler ile değişimleri çalışır. Yer altı kaynaklarını gözlemsel bilgilerle arar.

**İNŞAAT MÜHENDİSLERİ
İÇİN PRATİK
GEOTEKNİK BİLGİSİ**

M- İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE GEOTEKNİK:

Bilindiği üzere İnşaat Mühendisliğinin 7 anabilim dalı mevcuttur. Bunlar ;

1-Yapı 2-Mekanik 3-Geoteknik 4-Ulaştırma 5-Hidrolik 6-Yapı Malzemesi 7-Yapı İşletmesi

Bu 7 anabilim dalından birisi olan geoteknik genel anlamda zeminlerin yapısını zemin uygulamalarını inceler. Geoteknik ve hidroliğin diğer anabilim dallarından farkı şudur. Diğer anabilim dalları sonradan oluşturulmuş olan sistemler üzerinde çalışma yaparken geoteknik ve hidrolik zaten mevcut olan bir sistemi irdeler.

Geoteknik bu özelliğinden dolayı daha karmaşık sistemlerin içerisine girmek zorunda kalmıştır. Ve bu geoteknik alanında daha fazla hatalar yapılmasına sebebiyet vermiştir. Örnek olarak Pizza Kulesinin her geçen gün daha fazla yatması İstanbul da ki bir çok çeşmenin nerdeyse yeraltına girmesi düşünülürse daha iyi anlaşılacaktır.

Fakat gelişen teknolojiyle birlikte geoteknik alanında da bir çok yenilikler olmuş olup ilerleyen zamanda daha da fazla yenilikler beklenmektedir. Türkiye için geotekniğin bir diğer önemi de Geoteknik biliminin öncülerinden sayılan Karl Von TERZAGHI' nin ülkemizde Robert Koleji Mühendis Mektebindeyken Haliç killerini araştırması sonucu geliştirdiği teoremlerle bu bilime önemli katkılar yapmış olmasıdır. Bu yüzden geoteknik belki de ülkemiz topraklarında doğan yegane bilim dalıdır. Geotekniğin bu özelliğinden dolayı millet olarak özellikle İnşaat Mühendisleri olarak geoteknik bilimine sahip çıkmamız milli menfaatlerimiz için hayırlı olacaktır.

GEOTEKNİĞİN TARİHÇESİ:

a-Eski Çağlardaki gelişmeler: Eski çağlarda her ne kadar günümüze çok fazla bir eser gelmemiş olsa da geoteknikle ilgili çalışmaların yapıldığına dair bilgiler vardır. Örnek olarak Büyük İskender' in ordularını kum kaynaması olan bölgelerde yürütmesi, Çin de yazılmış olan bir köprü yapım şartnamesi, eski mısırda ki insanların büyük piramitler inşa etmesi su kullanımını için bentler yapabilmesi hatta bu yapılardan bazılarının fazlaca bozulmadan günümüze kadar gelmesi eski çağdaki insanların geoteknik alanında hiçte azımsanamayacak kadar ileri gittiğinin bir göstergesidir.

b-Orta ve Yeni Çağlardaki Gelişmeler: Orta ve yeni çağlarda insanlar ulaşım olarak daha çok deniz yollarını tercih etmişler, daha çok denizciliğe önem vermişlerdir. Bu durum geoteknikte yaşanan gelişmeleri bir süre yavaşlatmıştır.

c-Yakın Çağdaki gelişmeler: Avrupa da ki Rönesans ve Reform hareketleriyle birlikte bilimsel gelişmeler de bir sıçrama yaşanmıştır. Bir çok bilimde olduğu gibi geoteknikte de bir çok yenilik ve çalışma yapılmıştır. Örnek olarak Fransa da Fransız Ordu Mühendisi olan Charles Augustin de COLOUMB sürte gerisine gizlenen toprak üzerine kayan zeminleri incelediğinde hala kullanılan toprak itkisi teoremini geliştirmiştir. Gine aynı şekilde İskoç Matematikçi RANKİN İsveçli Mühendis CULLMAN da teoremlerini gene bu çağda geliştirmişlerdir.

d-Sanayi Devrimi ve Günümüz: Sanayi devrimiyle birlikte beliren büyük güçler kapsamlı inşa çalışmalarına girişmişlerdir. Bununla birlikte artık geoteknik çalışmalarının kişisel bazda değilde artık daha çok kurumsal bazda ele alınmasını savunmuşlardır. O zamanlarda Amerika Birleşik Devletlerin' de kurulan Bureau of Reclamation (Su İşleri Bürosu), U.S. Army Corps

of Engineers (Ordu Mühendislik Örgütü), Bureau of Public Roads (Devlet Yolları Bürosu) ve Britanya’ da kurulan Building Research Establishment (Bina Araştırma Laboratuvarı) gibi kuruluşlar geoteknikte önemli çalışmalar yapmışlardır.

Bu çalışmalar örnek olarak 2, Dünya Savaşında Japonya ile uzak ara savaşan Amerika Birleşik Devletleri Japonya’ yı vurmak için Japonya etrafındaki adalara çok kısa sürede hava alanları yapmıştır. Bilindiği üzere hava alanları çok hassas yapılar olup yapılacakları yerde çok ciddi geoteknik araştırmalar yapılması lazımdır. Fakat Amerika Birleşik Devletlerinin kısıtlı zamanı olduğundan hava alanların yapımında CBR California Bearing Ratio (Kalifornia Taşıma İndisi) denilen ve bu gün hala karayollarında kullanılan bir sistem geliştirmişlerdir.

e-Ülkemizdeki Durum: Ülkemiz maalesef bilimsel çalışmaların doruk noktasını yaşadığı Rönesans ve reform hareketlerinin kaçırmıştır. Ve bilimsel gelişmelerden uzak kalmıştır. Daha sonra yaşanan sanayi devrimini yaşayamamıştır.

Birinci Dünya savaşında yıkılan Osmanlı İmparatorluğunun yerine Genç Türkiye Cumhuriyeti kurulmuş ve “Hayatta en hakiki mürşit ilimdir fendir” sözüyle bilimsel gelişmelerin önü açılmıştır.

Bilimsel gelişmeleri sıcağı sıcağına yaşayamayan Ülkemiz bir çok bilimsel çalışmayı hazır olarak Avrupa dan almıştır. Teknik standartların bir çoğunu yabancı ülkelerden alarak birebir çevirisini yaptıktan sonra kullanmaya başlamıştır.

Geoteknik açıdan ülkemize bakıldığında 1950 li yıllarda DSİ ve TCK gibi büyük uygulayıcı kuruluşların kurulmasıyla birlikte geoteknik açıdan belli ilerlemeler kaydetmiştir. Geoteknik açıdan diğer bir irdelenmesi gereken konuda Geoteknik konusunda önemli çalışmalar yapmış olan Karl Von TERZAGHI’ nin ülkemizde bulunmuş olmasıdır.

Terzaghi 1883 te Prag’ ta doğmuş Amerika Birleşik Devletlerinin Massachutes Eyaletinde ölmüştür.

Viyana Teknik Üniversitesinden mezun olduktan sonra İstanbul Robert Koleji Mühendis Mektebinde görev yaptığı sırada İstanbul Haliçteki killer üzerinde yaptığı çalışmalarla konsolidasyon ve taşıma gücü teoremlerini yapmıştır. 1925 te Amerika Birleşik Devletleri MIT (Massachutes Teknoloji Enstitüsü) nde görev yaptığı sırada Erdbaumechanic isimli ünkü kitabını yayımlamıştır. Bu sebeple geoteknik biliminin ülkemiz için ayrı bir önemi vardır.

ZEMİNLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ:

a-Zeminin Öğeleri: Bilindiği üzere maddenin 3 fiziksel hali vardır. Katı, sıvı, gaz. Bir çok malzemede olduğu gibi zeminlerde de bu 3 hal bir arada bulunmaktadır.

Katı hal: zeminlerin esas yapısını teşkil eder, ve buna zemin daneleri denir (kil, kum silt daneleri gibi). Daneler zeminin kedine has yapısını belirler. Örneğin killerin permeabilitesinin düşük olması kil danelerinin kendi özelliklerine bağlıdır.

Sıvı hal: zeminde bulunan su muhtevasıdır. Bu muhteva yapılacak deneylerle bulunabilir. Örnek olarak su muhtevasının bulunmasında yapacağımız işlem şu olabilir. Öncelikle eldeki numunenin kütlesi ölçülür ve kaydedilir daha sonra eldeki

numune yüksek sıcaklıkta kurutularak tekrar kütlesi ölçülür. Aradaki fark zemindeki su muhtevasını verir.

Gaz hal: zemindeki hava muhtevasıdır. Zeminlerde yapılacak sayısal işlemlerde havanın ağırlığı 0 kabul edilir.

b-Zeminlerin Blok Diyagramda Gösterimi:

c-Zeminde Boşluk Oranı (e)= Zeminde boşluk oranı zemindeki hava boşluğunun zemin tanelerine oranı olarak tarif edilebilir.

$$e = V_h / V_k \quad \text{ve}$$

d-Zeminde Porozite (n)=Zemindeki hava boşluğunun tüm zemin hacmine oranıdır.

$$n = V_h / (V_k + V_s)$$

e-Zeminde Su Muhtevası (w)= Zeminlerdeki su miktarının kütlesi şu şekilde bulunur. İlk önce zeminin toplam kütlesi bulunur. Daha sonra eldeki numune kurutulur. Tekrar kütlesi ölçülür. Aradaki fark bize numunenin ihtiva ettiği su miktarını verir.

$$w = [(M - M_k) / M_k] * 100$$

$$m = \text{Toplam Kütle} \quad m_k = \text{Kuru Kütle}$$

f-Zeminde Doygunluk Derecesi (Sr)=

$$S_r = (M_s / V_h) * 100$$

g-Bazı Zeminlerin Özkütlesi=

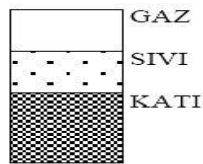
$$\text{KİL} = 2,65 - 2,76 \text{ gr / cm}^3$$

$$\text{SİLT} = 2,62 - 2,68 \text{ gr / cm}^3$$

$$\text{KUM ÇAKIL} = 2,65 - 2,68 \text{ gr / cm}^3$$

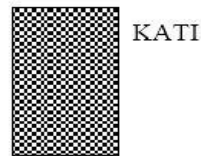
h-Zeminlerin Öz kütlesinin Bulunması=Bir katının birim hacim ağırlığını ölçmek için en basit yol numuneyi tartmak daha sonra öz kütlesi bilinen sıvı dolu bir kaba koyarak taşıdığı sıvı hacminden hacmini bularak öz kütlesinin bulunmasıdır.

GENEL ZEMİN:



KURU ZEMİN:

DOYGUN ZEMİN:



l-Likit Limit (WL)= Likit limit kil-su karışımının sıvı halden plastik hale dönüştüğü andaki su muhtevası olarak tanımlanır. Laboratuvarında yapılacak deneylerle bulunur.

j-Plastik Limit (WP)= Kil-su karışımının çatlamadan aldığı ve şeklini değiştirmediği en düşük su muhtevası olarak tanımlanabilir. Tıpkı likit limit gibi plastik limit de laboratuvar deneyleriyle bulunur.

k-Plastiste İndis (IP)= Likit limitle plastik limit arasındaki fark plastiste indisi verir. Örneğin plastiste indisi yüksek olan bir kil çamur hale gelebilmek için fazla suya ihtiyaç duyar.

$$IP = WL - WP$$

ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI:

Zeminler bir çok standarda göre sınıflandırılmıştır. Örnek olarak A.B.D. Britanya ve benzeri İngilizce konuşan ülkeler FPS (foot pound second) birim sistemi kullandığından farklı sınıflandırma sistemleri ortaya çıkmıştır. Biz burada zemin sınıflandırılmasında kanımızca en uygun gördüğümüz TS1500/1987 İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması sistemine göre sınıflandırma yapacağız.

a-Zeminlerin Dane Boyutuna Göre Ayrılması:

BLOK	= 200 mm den büyük
TAŞ	= 200 mm ile 60 mm arasında
ÇAKIL	= 60 mm ile 2 mm arasında
KUM	= 2 mm ile 0,080 mm arasında
SİLT	= 0,080 mm ile 0,002 mm arasında
KİL	= 0,002 mm den küçük
BLOK>200mm>TAŞ>60mm>ÇAKIL>2mm>KUM>0,080mm>SİLT>0,002mm>KİL	

b-TS1500/1987 İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması:

Zeminlerde sınıflandırma yapabilmek için öncelikle laboratuvar da;

- Elek analizi
- Kıvam limitleri (WL, WP)

deneylerinin yapılması gerekmektedir.

Daha sonra zemin sınıflandırmalarında kullanacağımız Üniformluluk katsayısı C_u ve

Süreklilik Katsayısı C_r değerlerinin bulunması gerekir.

$$C_u = D_{60} / D_{10} \quad C_r = (D_{30})^2 / (D_{10} * D_{60})$$

D_{60} = Elek analizinde en küçük %60 lık zeminin en büyük dane çapı

D_{30} = Elek analizinde en küçük %30 luk zeminin en büyük dane çapı

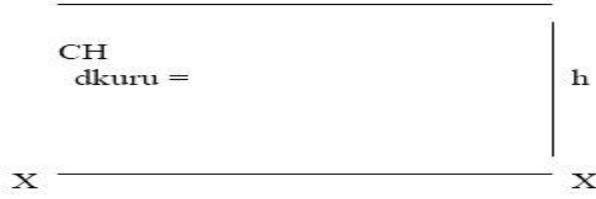
D_{10} = Elek analizinde en küçük %10 luk zeminin en büyük dane çapı

Deneylerden elde edeceğimiz sonuçlara göre aşağıdaki tabloya göre sınıflandırma yapabiliriz

GERİLME:

a-Zeminlerde Efektif Gerilme Kavramı: Zeminlerde efektif gerilme bir düzlemdeki bütün pozitif ve negatif gerilmelerin toplamından oluşan net gerilme olarak düşünülebilir.

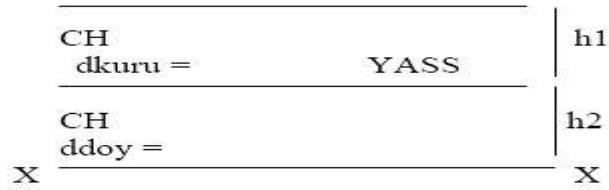
b-Kuru Durumda Efektif Gerilme:



$$\sigma_{ef} = d_{CH} * h$$

d_{CH} = Kuru durumdaki CH kilin özkütlesi (d_{kuru})

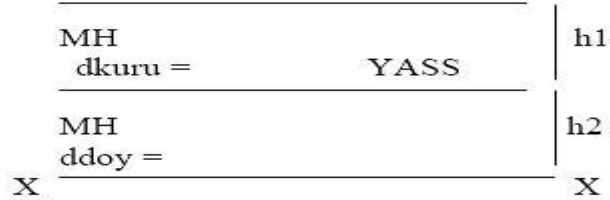
c-YASS (Yer Altı Su Seviyesi) Ve Efektif Gerilme:



$$\sigma(x-x)_{ef} = d_{CH}kuru * h1 + d_{CH}doğun * h2 - dsu * h2$$

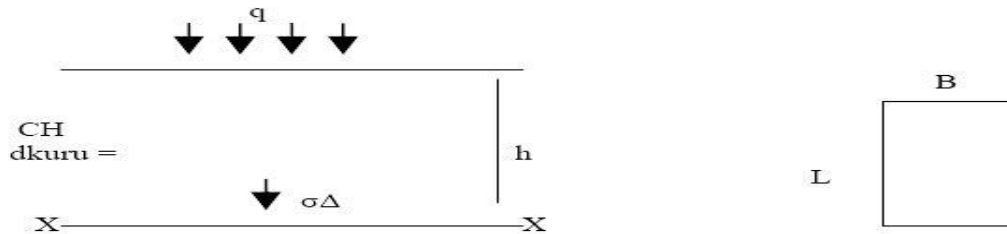
Suyun kaldırma kuvvetinden dolayı doymun zeminde negatif basınç alınarak yukarıdaki gerilmeyi buluruz.

d-Siltlerdeki Durum: Siltler ince taneli ve killer gibi kohezyonu olmayan malzeme olduğu için yer altı su seviyesinin üzerinde su kılcallık nedeniyle ilerler. Bu efektif gerilmeye ek negatif gerilme oluşturacağından bu bağlamda efektif gerilme aşağıdaki gibi olur.



$$\sigma(x-x)_{ef} = Dmh kuru * h1 + dMH doğun * h2 - dsu * h2 - dsu * h1$$

e-Dış Yük Altındaki Durum(Yük Dörtgen İse):



Eğer zeminde dış yük etkisi söz konusu ise bu durumda elbette bir efektif gerilme artışı olacağı söz konusudur. Bu artış yükün etki edeceği derinlik, yükün şekli v.b kriterlere göre değişiklik gösterir basit olarak yükün efektif gerilmeye yapacağı artışı hesaplırsa “m” ve “n”

katsayılarına ihtiyaç duyarız bu katsayılardan ve aşağıdaki tablodan yararlanırsak “k” katsayısına geçiş yapabiliriz. Buradan da;

$$m = L / h$$

$$n = B / h$$

B = Dörtgenin kısa kenarı

L = Dörtgenin uzun kenarı

h = Yükün etki edeceği derinlik

$$\sigma\Delta = q * k$$

Formülünden gerilme artışını hesap edebiliriz. Yükün sadece dörtgen olduğu zamanlarda bu sistem kullanılabilir. Eğer yük dörtgen değilse yükü eşdeğer bir dörtgen yüke çevirerek işlem yapabiliriz.

“k” Katsayısının bulunması için tablo

m = 0,1 iken alınabilecek değerler

n	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	0,0047	0,0091	0,0132	0,0167	0,0197	0,0222	0,0242	0,02576
	0	7	3	8	8	3	0	

0,9	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,5	3
0,0269	0,0279	0,0292	0,0300	0,0305	0,0309	0,0311	0,0313	0,03150
8	4	6	7	8	0	1	8	

4	5	6	8	10	Sonsuz
0,0315	0,0316	0,0316	0,0316	0,0316	0,03162
8	0	1	2	2	

“m” katsayısının değişmesi durumunda ise değişim oranına göre katsayı aynı oranda değiştirilir.

Örneğin m = 0,2 olursa katsayılar 2 ile çarpılarak “k” katsayısı bulunabilir.

KONSOLİDASYON:

a-Konsolidasyonun Tanımı:

Bir zemine dışarıdan yükleme yapıldığında zeminin yapısında değişimler olacaktır. Bunlarında başında zeminin yapacağı oturma gelir. Kimi yerlerde yapılan binaların belli bir zaman sonra çatladığı görülmektedir.

Bunun sebebi binanın zamanla oturmasıdır. Hatta bazı eski çeşmelerin yol kotundan bazı yerlerde 1m kadar oturduğu gözlemlenebilir. Konsolidasyon hesaplamalarında Karl Von TERZAGHI te boyutta konsolidasyon teoremini geliştirmiştir.

Konsolidasyonun hesaplanabilmesi için bazı laboratuvar sonuçları gereklidir. Laboratuvarda yapılacak bir yükleme deneyinden sonra elimizde;

- hacim değişimi
- boşluk oranı değişimi

- ilk boşluk oranı
- k (geçirimlilik katsayısı) Darcy Yasasından ($V = k * i$)

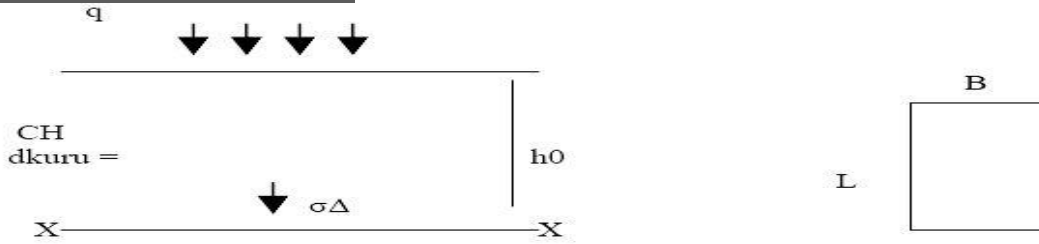
Değerleri bulunur. Biz burada tek boyutta konsolidasyonu irdeleyeceğimiz için hacim olarak yükseklik alacağız.

Konsolidasyon teoremini uygulayabilmemiz için aşağıdaki kabulleri yapacağız.

- Zemin homojendir.
- Tüm boşluklar sıvıyla doludur.
- Sıvılar sıkışmaz.
- Darcy Yasası geçerlidir. $V = k * i$
- Sıkışmalar ve suyun zeminde hareketi tek yönde oluşur.
- Danelerin sıkışabilirliği ihmal edilebilir.
- Boşluk oranı efektif gerilmenin fonksiyonu olup zamanla değişmez.
- Gerilme artışları ani olarak uygulanır.
- Sünme oluşmaz
- Oluşan sıkışmalar kilin ilk kalınlığına oranla küçük olduğundan ortalama özellikler ve ortalama boyutlar kullanılır.

Şimdi bu kabullere göre konsolidasyon teoremini inceleyelim.

b-Bakir Killerde Konsolidasyon:



Yukarıdaki profili verilen zemine sağdaki şekildeki gibi bir yük etki ettiğini varsayalım. Zemine etki eden dış yük altındaki gerilme değişimi ($\sigma\Delta$) öncelikle hesap edilmelidir.

Daha sonra laboratuardan alacağımız sonuçlardan;

- İlk boşluk oranı e_0
- Boşluk oranı değişimi Δe

Değerleri kullanılarak sıkışma katsayısı olarak tarif edeceğimiz A_v değerini hesaplarız.

$$A_v = \Delta e / \sigma\Delta$$

Daha sonra tek boyutta konsolidasyon teoremi formülünden;

$$S = h_0 * [(A_v) / (1 + e_0)] * \sigma\Delta$$

$$S = (\text{Oluşacak konsolidasyon}) \text{ hesaplanır.}$$

$$[(A_v) / (1 + e_0)] = M_v$$

Dersek $M_v =$ hacimsel Sıkışma Katsayısı oluşturmuş oluruz böylelikle formül

$$S = A_v * M_v * \sigma\Delta$$

Şeklini almış olur. Buraya kadar bakir killer için konsolidasyon teoremini irdelemiş olduk. Buradan sonra öncelikle aşırı konsolide killerin ne demek olduğunu anlatacak ve aşırı konsolide killerde konsolidasyonu irdeleyeceğiz.

c-Aşırı Konsolide Killer: Killerin mineralojisi incelenirse killerin elastik değil daha çok plastik yapıda olduğu görülür. Bu yüzden bir kil eğer daha önceden konsolide olmuşsa bir daha asla eski durumuna dönemez. Daha önce bir yük altında konsolide olmuş killere aşırı konsolide kil ismi verilir. Aşırı konsolide killerde konsolidasyon formülü daha değişiktir. Ve bakir killer için uygulanacak formül bu tür killerdeki konsolidasyon hesabında kullanılamaz.

d-Aşırı Konsolide Killerde Konsolidasyon: Öncelikle aşırı konsolide killerin konsolidasyon hesabında kullanılacak formülü yazalım.

$$S = Cr * [h0 / (1 + e0)] * \log (\sigma_c / \sigma_0) + Cr * [h0 / (1 + e0)] * \log [(\sigma_0 + \sigma\Delta) / \sigma_c]$$

Şimdi bu formülde bir önceki formülde olmayan değerlerin açıklamasını yapalım.

$C_c = 0,009 * (WL - 10)$ formülünden hesaplanan katsayı

$Cr = 0,0017 + 0,102 * C_c$ formülünden hesaplanan katsayı

σ_c = Ön konsolidasyon basıncı

e-Ön Konsolidasyon Basıncı: Bakir killere aşırı konsolide killerin yapı olarak birbirinden farklı olduğundan söz etmiştik. Aşırı konsolide killere daha önce aldıkları maksimum gerilmeye kadar aşırı konsolide kil gibi davranacaktır. Peki eğer bir aşırı konsolide kile daha önce aldığından fazla bir gerilme yüklersek ne olur sorusuna cevap vermemiz lazımdır. Aşağıdaki bakir killere için ve aşırı konsolide killere için verilmiş olan gerilme deformasyon diyagramlarını inceleyelim.

Aşağıdaki grafikler incelenirse aşırı konsolide killere belli bir gerilmeden sonra bakir kil eğrisine sahip olduğu görülecektir. Eğrinin kırılma anındaki gerilmeye ön konsolidasyon basıncı denir. Laboratuvar şartlarında hesaplanabilir.

f-Konsolidasyon ve Zaman faktörü: Buraya kadar ne kadar zeminin ne kadar konsolide olacağını hesap ettik fakat burada sorulması gereken soru hangi zamanda ne kadar konsolidasyon olacağıdır. Çünkü yapılacak olan yapının kullanım ömrünün belirlenmesinde hangi zamanda ne kadar konsolidasyon olacağını önemi büyüktür. Hatta hangi zamanda hangi önlemlerin alınacağını da zaman faktörüne göre belirlenmesi büyük önem teşkil eder. Konsolidasyonun oluşması için gerekli zaman faktörü aşağıdaki formülden hesaplanabilir.

$$T_x = [T_{vx} * (H_0 / n)^2] / C_v$$

Şimdi formülde daha önce görmediğimiz değerleri irdeleyelim.

T_x = Oluşacak konsolidasyon için geçecek süre

$$T_{vx} = [0,25 \Pi (U_v^2 / 100)^2] / [1 - (U_v^2 / 100) \exp 5,6] \exp 0,357$$

exp = Üzeri

U_v = Belirli bir andaki konsolidasyon oranının tam konsolidasyona oranı (laboratuvardan alınabilir)

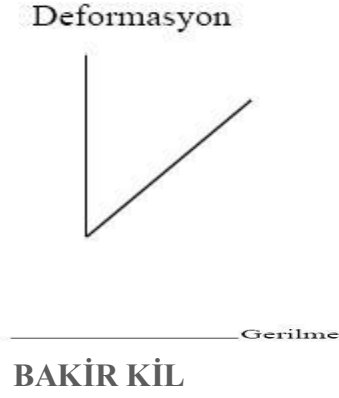
n = Drenaj süresi (Laboratuvardan alınabilir)

$$C_v = k / (M_v * ds_u)$$

k = Geçirimsizlik katsayısı (Laboratuvardan alınabilir.

M_v = Hacimsel sıkışma katsayısı [$(A_v) / (1 + e_0)] = M_v$ (daha önce tanımlandı)

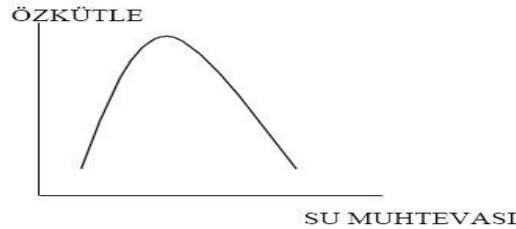
Bu formüllerden yapacağımız hesaplarla hangi zamanda ne kadar konsolidasyon olacağını veya beklediğimiz konsolidasyonun ne kadar zamanda gerçekleşeceğini hesap edebiliriz. Yapacağımız hesaplar sonucunda da karşılaşılabileceğimiz problemleri belirleyerek önlemlerimizi alabiliriz.



KOMPAKSİYON:

Gevşek zeminlerde yapacağımız yapılarda zemini bir şekilde sağlamlaştırmaya ihtiyaç duyarız. Bunlardan en ucuz ve ne yaygın olanı Kompaksiyon yani zeminin yapay yolla sıkıştırılmasıdır. Zeminin sıkıştırılmasındaki amaçlar zeminin ilerde yapacağı oturmaları engellemek ve zeminin özgül ağırlığını en yüksek seviyeye getirmektir. Bilindiği üzere zemin danelerden oluşur zemini ne kadar sıkıştırırsanız sıkıştırın zemin danelerinin arasında mutlaka boşluk kalacaktır. Bu boşlukları eğer suyla doldurursak zemin daha yüksek bir özgül kütleyle sahip olacaktır. Fakat su miktarını gerekenden fazla artırırsak bu seferde zeminin Öz kütlesi düşecektir ki bu da istenmeyen bir durumdur.

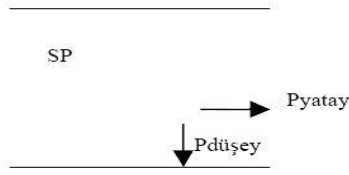
Basit bir yolla açıklarsak diyelim ki elde bir numune var. Bu numuneyi bir miktar su verip sıkıştırdık öz kütlesini ölçtük. Daha sonra tekrar biraz daha fazla su vererek bir daha öz kütlesini ölçeriz. Bu işlem en yüksek öz kütleyi bulana kadar devam eder. Burada dikkat etmemiz gereken önemli bir konuda verdiğimiz suyun zemin stabilitesine olan etkisidir. Bu hususta ayrıca göz önüne alınmalıdır.



Yukarıdaki grafikte görüldüğü üzere verilen suya ve sıkıştırmaya bağlı olarak öz kütle belli bir ana kadar yükselip daha sonra düşmektedir. İşte eğrinin kırıldığı an bizim istediğimiz optimum su muhtevasını verir verir.

ZEMİNLERDE YATAY İTKİ:

Buraya kadar gerilme açısından zeminlerin sadece düşey eksenindeki hareketlerini ve gerilmelerini inceledik. Fakat zeminler sadece düşey yönde gerilmelere sahip değildir. Elbetteki zeminlerin de bir yatay itkisi olacaktır.



Düsey kuvvetin bulunmasını biliyoruz fakat yatak kuvveti nasıl bulabiliriz. Bu konuya geçmeden önce zeminlerin iki özelliğinden daha bahsetmemiz gerekmektedir.

a-Kohezyon (c):

Killerden bahsederken killerin mineralojisinin diğer zemin türlerine göre daha farklı olduğundan bahsetmiştik. Killerde çamurlaşma ve yapışma özelliği bulunmaktadır. Örneğin bir kilde belli yüksekliğe kadar kazı yapabilirsiniz. Bunun sebebi kil danelerinin arasında diğer zeminlerden farklı olan bağların bulunmasıdır. İş bu bağlara kohezyon diyoruz.

b-“Ø” Açısı:

Bir miktar kumu ani şekilde bir yere boşalttığımızda ne olur?

Bu soruya cevap verecek olursak. Cevabımız elbette kum kayacaktır olacaktır. Peki nasıl kayacaktır. Kumun kayma açısı bize yaklaşık olarak kumun yatay itkisini verecek olan “Ø” açısını verecektir.

Yatay itkiye etki eden iki değer vardır bunlar “c” (kohezyon) ve “Ø” değerleridir. Bu değerler laboratuarda yapılacak deneyler sonucunda rahatlıkla bulunabilir. Öncelikle efektif gerilmeye bağlı basınç diyagramını çizelim



$$P_{sp} = d_{sp} * h$$

Görüldüğü üzere basınç derinlikle değiştiğinden üçgen bir basınç diyagramı elde etmiş olduk. Yatay itkide efektif gerilmeye bağlı olarak değişeceğinden efektif gerilmenin basınç diyagramı da aynı şekilde üçgen olacaktır. Üçgen basınç diyagramında ise kuvvet bileşkesi üçgenin tabanında $1 / 3 * h$ kadar yükseklikte (üçgenin ağırlık merkezinde) etki eder. Şekli tekrar yatay itkiye göre çizersek. Bulacağımız formüller.



$$P_{sp}(yatay) = d_{sp} * h * K_a$$

$$F_{sp} = (1 / 2) * d_{sp} * K_a * h^2$$

c-Ka (aktif basınç katsayısı): Zeminlerin efektif gerilmelerinin yatay gerilmeye çevrilmesinde kullanılan bir katsayı olarak tariflenebilir. Aktif basınç katsayısının bulunmasında değişik yöntemler mevcuttur. Ancak biz burada bu yöntemlerden en pratik ve akılda kalıcı olanı olan “Rankin Teoremine Göre Aktif Basınç Katsayısı” yöntemini kullanacağız.

$$K_a = \tan^2(45 - \phi / 2)$$

Formülünden aktif basınç katsayısını bulabiliriz.

d-Kp (pasif basınç katsayısı): Eğer zemini biz itersek zemin bize Newtonun “Etki = Tepki” prensibine bir tepki verecektir. Bu tepkiyi hesap etmek istersek tekrar Rankin Teoremine başvururuz.

$$K_p = \tan^2(45 + \phi / 2)$$

Formülünden de pasif basınç katsayısını bulabiliriz. Ne zaman aktif, ne zaman pasif basınç katsayısını kullanacağız sorusuna gelince ise; eğer zeminin kendi doğal itkisini tutmak istersek aktif basınç katsayısının kullanmamız gerekmektedir. Fakat zemini yatay yönde itmek istiyorsak o zaman pasif basınç katsayısını kullanmamız gerekir.

e-“Ø” Zeminlerinde Yatay İtki:



$$P_{sp}(yatay) = dsp * h * K_a$$

$$F_{sp} = (1 / 2) * dsp * K_a * h^2$$

Formüllerini kullanabiliriz.

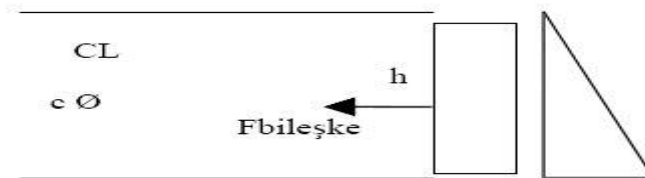
f-Killerde Yatay İtki: Eğer kil bir bakir kil ise zemin sadece bir “c” zeminidir. “c” zeminlerinde efektif gerilme derinlikle değişmez ve sürekli sabit kalır.



$$P_{sp}(yatay) = c$$

$$F_{sp} = c$$

Formüllerini kullanabiliriz. Eğer kil aşırı konsolide bir kil ise bu sefer zemin bir “c” “Ø” zeminidir. Bu durumda ise;



$$P_{sp}(yatay) = c + dsp * h * K_a$$

$$F_{sp} = c + (1 / 2) * dsp * K_a * h^2$$

Formüllerini kullanabiliriz.

TEMELLER:

Burada anlatılacak olan konu mühendisler arasında daha çok zemin emniyet gerilmesi olarak bilinmektedir. Fakat unutulmamalıdır ki zeminlerin taşıma gücü yoktur. Temellerin taşıma gücü vardır. Bu yüzden zemin emniyet gerilmesi kavramı yerine daha çok temel taşıma gücü denmesi daha yerinde olacaktır. Çünkü temelin taşıma gücü temelin şekline temeli gömdüğünüz derinliğe hatta temelin alt yüzeyinin pürüzlülüğüne göre dahi değişmektedir. Yani temel taşıma gücünde zemin faktörlerinin önemi ne kadar büyükse aynı şekilde temel faktörlerinin de önemi o derece büyüktür.

a-Yüzeysel Temeller Temel taşıma gücü hesabında bir çok metod mevcuttur. Fakat biz burada Karl Von Terzaghi' nin yapmış olduğu temel taşıma gücü bağıntısından yararlanacağız.

$$q_d = K_1 * c * N_c + D_f * N_q + K_2 * B * N_\gamma$$

K_1 = Şekil katsayısı

c = Kohezyon

N_c = Katsayı (tablodan alınacaktır)

D_f = Temel gömme derinliği

N_q = Katsayı (tablodan alınacaktır)

K_2 = Şekil katsayısı

B = Temel genişliği

N_γ = Katsayı (tablodan alınacaktır)

Formülde ki $K_1 = 1$ $K_2 = 0,5$ diyerek formülü basitleştirirsek formül;

$$q_d = c * N_c + D_f * N_q + 0,5 * B * N_\gamma$$

Şeklini alır.

N_c , N_q ve N_γ değerlerini aşağıdaki tablodan yaklaşık olarak alabiliriz.

N_c , N_q ve N_γ Yaklaşık Değerleri İçin Tablo:

YAKLAŞIK DEĞER	$\phi = 0$	$\phi = 10$	$\phi = 20$	$\phi = 30$	$\phi = 40$
N_c	5,7	9	12	37	90
N_q	1	2,8	7,6	23	70
N_γ	0	1,2	2,4	4,9	50

b-Kazık Temeller: Kazık temel hesaplarında iki kazığın iki kuvveti vardır bunlar kazık uç direnci “ q_u ” ve kazığın çevresel sürtünmesinden doğan kazık sürtünme kuvveti “ q_s ” tir. Buradan yola çıkıp denklemi oluşturursak:

$$Q_d + W = q_u + q_s$$

Formülü elde edilecektir. Bu formül de; W = Kazığın kendi ağırlığıdır.

Kazığın uç direncini bulmak için ihtiyaç duyacağımız formül;

$$q_u = L * A * N_q * d$$

Bu formül de; L = Kazığın zemin içerisindeki boyu A = Kazığın en kesit alanı N_q = Tablodan alınacak değer d = Zeminin özkütlesi

Kazığın sürtünme direnci ise kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlere göre değişim göstermektedir.

Kohezyonsuz durumda kazık sürtünme direnci;

$$q_s = 0,25 * P * L^2 * d * \tan (2 * \phi / 3)$$

Bu formül de;

P = Kazık çevre uzunluğu
L = Kazığın Zemin içerisindeki boyu
d = Zeminin özkütlesi

Kohezyonlu durum için sürtünme direnci;

$$q_s = P * L * (c / 2)$$

“c” “Ø” zeminleri için ise;

$$q_s = 0,25 * P * L^2 * d * \tan (2 * \phi / 3) + P * L * (c / 2)$$

Olmaktadır. Nq değerleri yukarıdaki tablodan alınacaktır.

KAZILAR:

İnşaat Mühendisliğindeki temel uygulamalardan bir tanesi kazıdır. Hemen hemen bütün imalatlarda kazı yapılmaktadır. Hatta kazılar bazı imalatların maliyet olarak yüksek bir kısmını teşkil eder. Örnek olarak barajlarda gövde altındaki Cut-Off kazısı çok yüksek miktarda bir kazıdır. Su yapılarında genelde alüvyon tabakada çalışıldığı için kritik yapılarda alüvyon tabakasının tamamen kaldırılması gerekebilir. Bu da çok yüksek kazı çıkarmaktadır. Kazı imalatların da dikkat çekilecek bir hususta kazı klaslarıdır.

Kazı Klası: Kazı klasını kısaca kazılacak zeminin cins ve oranlarıdır şeklinde tanımlayabiliriz. Kazı için DSİ, TCK, Bayındırlık vb kuruluşların ayrı pozları vardır. Biz burada genel bir sınıflandırma yapmaya çalışacağız.

Kazılacak Zeminin Cinsi: Kazılacak zemin cinsleri kazı zorluğu bakımından 6 sınıfa ayrılır.

a-Toprak Zeminler: Bel küreği veya kürekle kazılabilen gevşek toprak, bitkisel toprak, gevşek kum ve benzeri zeminlerdir.

b-Küsküllük Zeminler: Kazmanın sivri ucu ile kazılabilen içerisinde el ile atılabilen 0,100 m³ ile 0,400 m³ arası blok taşlar bulunabilen kazı güçlüğünden dolayı çamur ve benzeri zeminlerdir.

c-Yumuşak Kaya Zeminler: Kırıcı tabanca veya patlayıcı madde kullanılarak kazılabilen içerisinde 0,400m³ ten büyük blok taşlar bulunabilen zeminlerdir.

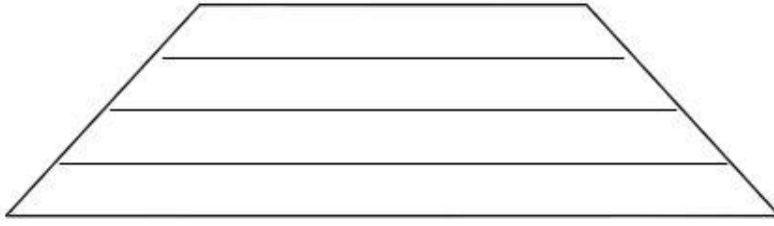
d-Sert Kaya Zeminler: Patlayıcı madde kullanılarak kazılabilen kırıcı tabanca ile sökülebilen tabaka halindeki zeminlerdir.

e-Çok Sert Kaya Zeminler: Patlayıcı madde kullanılarak kazılabilen bütün halindeki kaya zeminlerdir.

f-Batak Balçık Zeminler: Su muhtevası yüksek ve suyu kolay bırakmayan yapışkan nitelikteki zeminlerdir.

DOLGULAR:

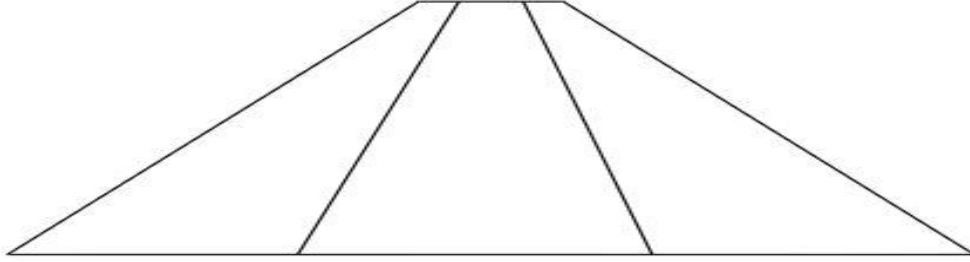
İnşaat mühendisliğinde yapılacak olan yapılar genellikle doğal araziye yapılır. Doğal arazinin topoğrafik yapısı ise bizim istediğimiz standartlara uygun değildir. Bu sebeple inşaat mühendisliğinde yapılacak bir imalat da dolgudur. Dolgular yardımcı imalatlar olabildiği gibi kendileri başlı başına da imalat olabilirler. Yapılan bir dolgunun kalitesi bizim istediğimiz kriterleri ne kadar sağlayıp sağlamadığıyla ölçülür. Yapılacak olan dolgudan ne istendiğini bilip ona göre dolgunun yapılacağı zemin cinsi yapılacak artı uygulamalar belirlenmelidir. Örnek olarak bir baraj gövdesinde yapılacak dolgudan geçirimsizlik bekleneceği için permeabilitesi düşük zeminlerden dolgu yapılmalıdır. Aynı zamanda da gövde stabilitesinin sağlanması için kohezyon çok önemlidir. İşin özelliğine göre dolgulardan beklenebilecek özellikleri kısaca sayarsak. Stabilitate, geçirimsizlik, sürtünme katsayısı, suya ve dona karşı dayanıklılık, vb. Örnek olarak bir yolun katmanlarını inceleyelim.



STABİLİZE
İNCE TANELİ ÇAKIL
İRİ TANELİ ÇAKIL

KİL DOLGU

Bir baraj gövdesinin kısımlarını inceleyelim.



YARI GEÇİRİMSİZ

YARI GEÇİRİMLİ

GEÇİRİMLİ

şimdi de zemin cinsleri ve kullanılacak dolgu yerlerini kısaca özetleyelim.

a- Çakıl (Kırmatas): İri taneli bir malzeme olan çakıl yüksek yüklere sürüklenmeye karşı dayanıklıdır. Bu sebeple yüke maruz kalan dolgularda kullanılabilir. Boşluk oranı çok yüksek olduğu için geçirimli bir malzemedir. Dolgu olarak kullanılabilen alanlar; yol alt temelleri, barajlarda filtre, temel altlarında donatının korozyonunu önlemek amacıyla izolasyonu sağlamak için vb.

b- Kum: Çakıla göre daha ince taneli olan kum da yüksek yüklere karşı dayanıklıdır. İnce taneli olmasının yanı sıra konsolide olmadığı için yüklere karşı dayanıklıdır. Boşluk oranı yüksek bir malzeme olduğundan geçirimli bir malzemedir. Kumda çakıl kadar yüksek yükler altında kullanılabilir. Fakat burada önemli bir ayrıntı kum taneleri çakıl tanelerine göre çok küçük olduğundan sürüklenmeye bozulmaya karşı dayanıklı değildir. Dış etkilere karşı kum daha çabuk bozulur. Dolgu olarak kullanılabilen alanlar; filtre malzemesi, yer altında kalan hassas yapılara yastık dolgu, vb.

c- Kil: Kil ince taneli ve kohezyonu yüksek bir malzemedir. Permeabilitesi çok düşük olduğundan geçirimsiz bir tabaka elde edilebilir. Fakat kil dolgularda çakıl ve kumdan farklı olarak sulama ve sıkıştırma gerekmektedir. Aksi halde kil dolgu yapılamaz. Örnek olarak kilin bünyesinde olan geçirimsizlik özelliğini elde edebilmemiz için kili yeterli derecede sulamalı ve sıkıştırmalıyız. Kil için kumdan ve çakıldan farklı olarak şunu söyleyebiliriz. Diğer malzemelerin özellikleri doğuştan vardır. Fakat kil özelliklerini sonradan kazanır. Dolgu olarak kullanılabilen alanlar; baraj gövdesi, kanal banketi, zemin tesviyesi, vb.

d- Stabilize: Stabilize malzemeyi kısaca uygun granülometri de kum, çakıl, az miktarda kil karışımı olarak tanımlayabiliriz. Stabilizenin en önemli özelliği suya karşı dayanıklı olmasıdır. Dolgu olarak kullanılabilen alanlar; yol üst kaplamalarında asfalt altında, asfalt kaplamaya ucuz bir alternatif vb.

KAYNAKÇA:

1-Geoteknik Bilgisi 1 Zeminler ve Mekaniği SAÜ Yayınları A. ÖNALP

2-İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği Çağlayan Kitabevi P. L. CAPPER- W. F. CASSIE Ceviri F. KİP V.KUMBASAR

N. Olası Bir Deprem Riski ve Afet Tehlike Analizini Yaparken İzlenecek Yol Ne Olmalı? Bir Yerleşim Yerinin Olası bir Depremde Karşı Karşıya Bulunacağı Riskleri Azaltılması Konusunda Yapılabilecek çalışmalar Ne Olmalıdır?

1. Adım. Yerleşim Alanının Genel ve Tektonik Jeolojisini Araştırma Çalışmaları:

Bu kavramda İmar planlarına esas 1/5000 ölçekli Jeolojik ve Yerleşime Uygunluk rapor ve haritalama çalışmaları yapılarak CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) veri tabanına sayısal olarak aktarılmalı. Burada amaç; söz konusu bölgenin olası bir depremdeki hasarları etkileyecek jeolojik özelliklerin saptanması olacaktır (yamaç eğimleri, zemin yapısı, faylar, çatlak ve kırıklar ve vd)

2. Adım. Mikrobölgeleme ve Afet Önleme/Azaltma Temel Planının hazırlanması Çalışmaları:

Senaryo depremi esas alınarak mahalle bazında tüm alt ve üst yapılarda meydana gelecek hasar miktarlarının hesaplanması çalışmaları yapılmalıdır. Bu kapsamda bölgenin ana kaya özellikleri, ana kaya ile zemin yüzeyi arasında kalan ortamın Vs hız özellikleri ile bölgeye özgün kabuk modelleme çalışmaları yapılmalıdır.

Ayrıca, bu aşamada ana kaya-zemin ara yüzeyinin yanal yöndeki değişimlerinde rejyonel olarak araştırılmalıdır.

3. Adım. Deprem Master Planı Çalışmaları:

Söz konusu bölge ile ilgili olarak kısa, orta ve uzun vadede alınacak tüm tedbir, karar ve uygulamaların belirlenmesi çalışmaları yapılmalıdır. Ayrıca, bölgenin yeniden yapılandırılmasında öncelikli stratejilerin geliştirilmesi ve tüm tarafların hukuki, teknik, mali, sosyal ve idari açılarından görev alanlarının ve icra programlarının geliştirilmesi hususlarını içermektedir. Teknik çalışmaların, İdari çalışmaların, hukuki altyapının, sosyal faaliyetlerin, mali kaynakların, eğitim çalışmalarının, risk yönetimi ve afet yönetiminin temel ilke ve esaslarının belirlenmesi bu planın içeriğini oluşturmaktadır.

4. Adım. Deprem İstasyonları Kurulmalıdır:

Bölgenin mikro deprem aktivitesinin zemin özellikleri ile ilişkilendirilmesine yönelik olarak kuvvetli yer hareketi deprem kayıt istasyonları kurulmalıdır. Bu istasyonlardan elde edilecek deprem kayıtları, aynı zamanda depreme dayanıklı bina tasarımında zemin tepki spektrum hesaplarının yapılabilmesi için veri tabanı oluşturmakta kullanılmış olacaktır.

KENTSEL DÖNÜŞÜM
UYGULAMALARI
(G.Kara)

O. KENTSEL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI (G.Kara)

Farklı nedenlerden dolayı zaman içinde kentsel standartlara uymayan, fiziki yapısı gittikçe bozulan veya terkedilen kent alanlarının yeniden kente kazandırılması kentsel dönüşüm olarak ifade edilmektedir. Günümüzde bu alanlar için kentsel dönüşüm uygulamaları başlatılmıştır. Böylece; kente yeni imar planlı alanlar kazandırmak, sosyal ve kamu kullanım alanlarını yeniden oluşturmak ve modern yerleşim alanları elde etmek amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, dünyada uygulanmış olan kentsel dönüşüm projelerinden örnekler verilmiştir. Trabzon kentsel dönüşüm proje alanında yapılan ve yapılmakta olan çalışmalar irdelenerek dünyada yapılan kentsel dönüşüm çalışmaları ile karşılaştırma yapılmıştır. Böylece kentsel dönüşüm proje alanları seçilirken ne gibi kriterlerin dikkate alınması gerektiği belirlenmeye çalışılmıştır.

1. GİRİŞ

Kentsel dönüşüm proje alanları çoğunlukla çarpık yapılaşmanın olduğu kent alanları olmaktadır. Proje alanlarına karar verildikten sonra imar planlarının hazırlanması gerekmektedir. Kentsel dönüşüm projesi kapsamında hazırlanacak olan imar planları toplum ihtiyaçlarına cevap vermek zorundadır. İmar planlarının hazırlanmasında proje alanına göre farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Örneğin; proje alanı tarihi alanları içeriyorsa, tarihi dokuya zarar vermeden mevcut durumu iyileştirmek amacıyla imar planının hazırlanması gerekmektedir. Kaçak yapılaşmanın olduğu alanlarda ise; mevcut yapılaşma kısmen veya bütünüyle yeniden imar planı üzerinde şekillenecektir.

Yapılaşma ve diğer ihtiyaçlar açısından, artık kent ihtiyaçlarını karşılayamayan bu alanların kentsel dönüşüm alanları içine alınmasında bazı kriterler göz önüne alınmaktadır. Bu alanların rantının yüksek olması, bulunduğu konum açısından kentin önemli bir noktasında bulunması, sosyal ve fiziki açıdan problem üreten bir alan olması vb. nedenlerle kentsel dönüşüm alanları belirlenmektedir. Örneğin; Kuzey Ankara Girişi Kentsel Dönüşüm Projesi, kuzey Ankara girişi ve çevresinin fiziksel durumunun ve çevre görüntüsünün geliştirilmesi ve iyileştirilmesi ve daha sağlıklı bir yerleşim düzeni sağlayarak kentsel yaşam standartlarını yükseltmek için hazırlanmıştır.

Kentsel yenileme projeleri kentsel yerleşim alanı içerisinde yenileştirme, koruma, sağlama ve sağlıklaştırma amaçları ile belli bir müdahale programı çerçevesinde yeniden düzenlenmesi gereken alanları kapsayan, temel olarak konut sorununu çözmeyi ve sorunlu alanların kente tekrar kazandırılmasını hedefleyen projelerdir. Dönüşüm projeleriyle sadece yenilenmiş konut alanları yaratılmamakta; büyük rekreasyon alanları, kent parkları, kent meydanları, ticaret merkezleri de kente kazandırılmaktadır. Bu tür dönüşüm projeleri tasarlanırken, kamuya fazla yük getirmeyecek modellerin uygulanması ve bu kapsamda gelişmiş, yaşanabilir ve güvenilir yaşama mekanlarının oluşturulması, sosyolojik uyum çalışmalarının yapılması ve finansman modellerinin geliştirilmesi gereklidir (Bayraktar, 2006).

3. DÜNYADA KENTSEL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI

Dünyada uzun bir yol katetmiş olan kentsel dönüşüm uygulamaları ülkemizde son yıllarda başlamıştır. Özellikle de II. Dünya Savaşı'ndan büyük hasarla çıkan ve tarihi zenginlikleri dolayısıyla büyük önem taşıyan kentlerde yaşanan kentsel çöküntü, ilgili çevreleri konuyla yakından ilgilenmeye ve çözüm arayışlarına itmiştir. Bu nedenlerle Avrupa ülkeleri ve Amerika'da kentsel dönüşüm 1950'lerde önem kazanmış ve zaman içinde hak ettiği yeri bulmuştur. 1970 yılları kentsel dönüşüm ile ilgili arayışların, çalışmaların sürdürüldüğü yıllar olarak ifade edilmektedir. 1980'lerden bu yana ise, kentsel dönüşüm ilkesel bazda yerleşmiş, özümsemiş ve bu yönde uygulamalarla kendini ispat etmiştir.

2.1. Dockland Projesi (İngiltere) Londra'da büyük bir çoğunluğu kamu arazisi olan limanlar bölgesinde 1980'li yıllarda kamu özel sektör işbirliği ile başlatılan en büyük dönüşüm projesidir. Proje, etaplar halinde, ticaret, ofis alanları, konut ve kamu yatırımları içeren uluslararası yatırımcıları da kapsayan bir projedir. Merkezi yönetim, yerel yönetim ve özel sektör işbirliği ile gerçekleştirilmiştir. Projenin amacı;

- Kent merkezinin uluslararası bir ticari merkez haline dönüştürülmesi,
- Projenin, bir arazi ve proje geliştirme mantığı içinde serbest piyasa koşulları içinde gerçekleşmesinin sağlanması,
- Planlama, tahsis, kamulaştırma ve pazarlama vb. gibi kamu yetkilerinin tek elde toplanması,
- Ekonominin ve iş olanaklarının canlandırılmasıdır.

2.2. Elephant&Castle Projesi (İngiltere) Proje alanı, Londra'da düşük gelir gruplarının yaşadığı ve kentsel yoksulluğun yaşandığı bir bölge konumundadır. Bölgenin kentsel dönüşüm alanı olarak seçilmesinin nedenleri; bölgede altyapı ve emlak piyasasının yarattığı artan baskılar ve bölgenin anayol ulaşım ağı üzerinde olmasıdır. Bölge yüksek oranda sosyal yoksulluğun ve hava kirliliğinin yoğun olarak görüldüğü ve kötüleşen belediye konutlarıyla çevrili bir alandır. Projenin temeli kamu-özel sektör ve yerel halkı içeren sağlam bir ortaklık stratejisine dayanmaktadır. Projenin amacı;

- Sosyal ve ekonomik yaşam şartlarını iyileştirmek,
- Yerel ekonomiyi canlandırmak,
- Sosyal dışlanmayı ortadan kaldırmak,
- Kentin sosyal ve teknik altyapısı ile ilişki kurmaktır.

2.3. Paddington Projesi (İngiltere) Paddinton, Londra'nın en zengin ilçelerinden biridir ve yatırım açısından en önemli bölgesini oluşturmaktadır. Bölgenin kentsel dönüşüm alanı olarak seçilmesinin en önemli nedeni; kente ve merkezin batı sınırına olan yakınlığı ve Heathrow Ekspresinin faaliyete geçmesiyle birlikte güçlenen ulaşım bağlantılarıdır. Metro istasyonu ve ulaşım bağlantıları nedeni ile bölge özellikle gayrimenkul odaklı gelişme açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır. Ayrıca, özellikle eğitim ve iş geliştirme boyutu ile de önemli bir projedir. Proje mülk sahipleri, girişimciler ve yerel yönetim birimleri işbirliği ile gerçekleştirilmiştir. Projenin amacı;

- Ticari merkez yaratmak,
- Bölgenin ekonomisini canlandırmak ve sürdürülebilir çevresel iyileştirmeyi gerçekleştirmek,
- İş geliştirmeye yönelik eğitim alanları geliştirmek,
- Kamu yatırımları için kentsel alanlar yaratmak,

- Proje alanında yaratılan değerin topluma kazandırmaktır.

2.4. Thebes Yerleşmesi Planlamaya Katılım Projesi (Yunanistan) Thebes yerleşmesinde yaşayan göçmenlerin başta konut ve işsizlik sorunlarını çözmek üzere yerel ve merkezi yönetim işbirliği ile halkın planlama ve uygulamaya katılımını sağlayan bir projedir. Proje merkezi yönetim ve yerel yönetim işbirliğiyle gerçekleştirilmiştir.

Projenin amacı;

- Halkın, konutların proje ve planlama boyutunda katılımını sağlamak,
- Kültür, dükkan ve diğer servisler için ortak mekanların yapımında halkın katkıda bulunmasını sağlamaktır.

2.5. Hiroşima-Danbara Kenti Yeniden İnşa Projesi (Japonya) 1945 yılında savaşta harap olan Hiroşima kentinin yeniden inşasını kamu, özel sektör ve yerel halkın komiteler aracılığı ile örgütlenerek yaptığı işbirliği ile ele alan bir projedir. Hiroşima'nın yeniden inşa edilmesi ve Danbara yerleşiminin dönüşümü projeleri halkın örgütlenerek, problemleri çözmek için ne kadar etkili olduklarını göstermesi açısından önemli bir uygulamadır. Proje kamu özel sektör ve yerel halk işbirliği ile gerçekleştirilmiştir. Projenin amacı;

- Özellikle fakir halkın konut sorunlarına çözüm bulmak,
- Geniş ölçekte yeşil alan, park ve kamu alanları elde etmek,
- Halk ile belediye arasında ihtiyaçlar konusunda sistematik bir ilişki kurmaktır.

2.6. Rio Kenti Gecekondu Sağlıklaştırma Programı (Brezilya) Rio kentinde, yaklaşık nüfusun 1/3'ü çok kötü şartlarda gecekondu alanlarında yaşamaktadır. 1994 yılında belediye tarafından başlatılan Favela-Bairro Sağlıklaştırma Programı ile kent merkezindeki gecekondu alanlarının standartlarının yükseltile çalışmaları başlatılmıştır. Proje kamu ve yerel halk işbirliği ile gerçekleştirilmiştir. Projenin amacı;

- Program çerçevesinde, konutların iyileştirilmesi,
- Yaşam şartlarının düzeltilmesi,
- İş ve eğitim olanaklarının artırılması,
- Halkın örgütlenmesi ve onların kapasitesinden yararlanılmasıdır (URL 1).

2.7. Bellenden Yenileşme Projesi (İngiltere) Bellenden, Elephant & Castle gibi Londra'nın güneyinde Southwark İlçe Sınırları içerisinde yer almakta ve küresel taleplerle birlikte emlak piyasasının yarattığı baskılardan etkilenen bir bölgedir. Bölge 19. yy. konutlarının yer aldığı ve zaman içerisinde kötüleşen fiziksel çevreye bağlı olarak ekonomik ve sosyal yoksulluğun hızla arttığı köhneleşme sürecini yaşamıştır. 1990'ların sonunda bölge, küresel baskılar altındaki emlak piyasası ve Londra genelindeki denge arayışının etkisiyle, öncelikli iyileştirme alanları arasına girmiştir (URL 2). Gayrimenkul piyasasının baskısı altında bulunan Bellenden yerleşim alanının, halkın proje geliştirme sürecine katılmasını sağlayan ve bölgenin ekonomik ve sosyal gelişmesine katkı sağlayan bir yenileşme projesidir. Proje kamu ve yerel halk işbirliği ile yapılmıştır. Projenin amacı;

- Bölgedeki, yapı stokunun yenileşmesini sağlamak,
- Fiziksel gelişimin yanı sıra toplumsal ve ekonomik gelişmeye yönelik programlar geliştirmek,
- Mülk sahiplerinin proje karar süreçlerine katılımını sağlama ve onların projeye sahip çıkmalarını temin etmektir (URL 1).

3. TÜRKİYE'DE KENTSEL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI

Türkiye, 1950'li yıllarda başlayan hızlı kentleşmeyle birlikte düzensiz bir yapılaşma sürecine girmiştir. 1980'li yıllardan günümüze kadar geçen süreçte politik ve ekonomik nedenlerden dolayı kent ihtiyaçları karşılanamaz hale gelmiştir. Kentlerde kaçak yapılaşmanın büyük oranda arttığı ve görüntü kirliliğinin had safhalara ulaştığı alanlar oluşmuştur. Bu alanların yeniden kente kazandırılması ve daha etkin kullanılabilmesi için kentsel dönüşüm gerekli hale gelmiştir.

Türkiye'de son yıllarda önem kazanan kentsel dönüşüm, büyükşehirlerde uygulanmaya başlanmıştır. Ankara, Bursa, İstanbul ve Trabzon gibi büyükşehirlerde belirlenen kent alanlarında kentsel dönüşüm projeleri hazırlanmıştır. Trabzon ilinde, Trabzon Belediyesi sınırları içinde Zağnos ve Tabakhane dere içi bölgelerini kapsayan alan kentsel dönüşüm proje alanı olarak belirlenmiştir. Trabzon'da Kentsel Dönüşüm Projesi'nin hayata geçirilmesi için Trabzon Belediye Başkanlığı ile Toplu Konut İdaresi Başkanlığı arasında protokol imzalanmıştır. Bir zamanlar mandalina ağaçlarının ve zeytinliklerin olduğu vadilerde şimdi görüntü kirliliği yaratan yapılar bulunmaktadır. Zamanla göç nedeniyle düzensiz yapı topluluklarına dönüşen bu alanlar kentin itici merkezleri haline gelmiştir.

Kentlerde kentsel dönüşüm projelerinin hazırlanması için kentsel dönüşüm ve gelişim alanlarının belirlenmesi gerekir. Bu alanların belirlenmesinde bazı kriterler dikkate alınmaktadır. 5393 sayılı Belediye Kanunu'nun (03.07.2005) 73. maddesine göre; bir yerin kentsel dönüşüm ve gelişim proje alanı olarak ilan edilebilmesi için;

- O yerin belediye veya mücavir alan sınırları içerisinde bulunması,
- En az 50.000 m² olması şarttır.

Kentsel dönüşüm ve gelişim projelerine konu olacak alanlar, meclis üye tam sayısının salt çoğunluğunun kararı ile ilân edilir (URL 3).

3.1. Portakal Çiçeği Vadisi Projesi (Ankara) Portakal Çiçeği Vadisi, mülkiyetinin yarısı kamu ve diğer yarısı şahıs mülkiyetinde bulunan, bir dönem imar hakları verilmiş, bir dönem ise imar hakları kaldırılarak, yeşil alan olarak planlanmış bir proje alanı iken, kamulaştırma maliyetinin fazla olması ve yasal sürecin uzun sürmesi nedeniyle, yeni bir yaklaşımla ele alınması gerekli bir proje alanı olmuştur. Gerçekleştirilen proje, kamu, özel sektör ve arsa sahipleri ile gecekonduda yaşayanların bir araya gelerek ürettikleri bir uzlaşma yöntemi esasına dayanmaktadır. Amaç, kamu ve arsa sahiplerinin yatırım yapmadan, proje değeri üzerinden, uzlaşma ilkeleri çerçevesinde pay almalarıdır. Projenin amacı;

- Ankara'ya çağdaş ve kentsel standardı yüksek bir alan kazandırılması,
- Belediye'nin kaynak ayırmadan, kendi kaynağını kendi yaratan bir proje gerçekleştirmesi,
- Arsa sahiplerinin, geçmişte aldıkları imar hakkı karşılığında, projede yaratılacak değeri paylaşmalarıdır.

3.2. Dikmen Vadisi Projesi (Ankara) Dikmen Vadisi Projesi, gerek örgütlenme ve planlama, gerekse yatırım büyüklüğü ve kaynak sağlama yöntemi açısından önemli bir kentsel dönüşüm projesidir. Proje, Ankara'nın önemli bir kentsel gelişme omurgası olan vadinin, kentsel ölçekte bir rekreasyon alanı ile birlikte ticaret ve kültür yatırımlarını içeren bir çekim merkezi haline gelmesini ve bunu gerçekleştirirken de özellikle vadede yaşayan hak sahibi gecekondü sahiplerinin de katılımcı bir yöntemle proje içinde yer almalarını sağlamıştır.

Proje, Ankara Büyükşehir Belediyesi, ilçe belediyeleri ve gecekonduların sahiplerinin işbirliği ile yapılmıştır. Projenin amacı;

- Ankara’da, 5 km uzunluğunda, bir rekreasyon alanı ile birlikte bir kültür ve eğlence koridoru yaratmak,
- Vadinin, 5.000 adet gecekondulardan tamamen uzlaşma yolu ile arındırılmasını sağlamaktır (URL 4).

3.3. Eski Altındağ Kentsel Dönüşüm Projeleri (Ankara) Ankara’nın en eski gecekondular bölgelerinden olan Hıdırlıktepe, Aktaş, Gültepe, Yenidoğan, Çalışkanlar, Gökçenefe, Doğanşehir gibi mahalleleri kapsamaktadır. Bu bölge 30 yıldır planlı olmasına rağmen topoğrafik engeller nedeniyle uygulanabilirliği bulunmadığından ve mülkiyetin çok dağılmış olmasından dolayı bir türlü yapılanmaya geçilememiştir. Anılan alan 1957 yılından beri planlı olmasına karşın hala gecekonduların düzenli konut alanlarına dönüşümü sağlanamamıştır. Bunun başlıca iki nedeni vardır:

Bu alanın yaklaşık %70’i belediye ve maliye adına kayıtlı kamu mülkiyetinden oluşmaktadır. Bu da alanın gecekondular tarafından süratle işgal edilmesine neden olmuştur.

1957 yılında 1/5000 ölçekli olarak onanan kat rejimi planının uygulaması yapılırken parçalanmış hisseli tapu yöntemi kullanılmıştır. Yani hak sahiplerine tek tapu verilmemiş bunun yerine hissesi adadaki tüm parsellere dağıtılarak verilmiştir (Bezcioglu vd, 2000).

3.4. Zafer Meydanı Projesi (Bursa) Bursa kent merkezinde, belediye ve şahıs mülkiyetinden oluşan bir alanda, projesi yarışma ile elde edilen alanda, alışveriş merkezi ve kent meydanı yapılması planlanmıştır. Ancak, piyasa koşullarında yapımı gerçekleştirilmesi düşünülen projenin, özel sektör ve arsa sahiplerinin istekleri doğrultusunda revize edilerek, uzlaşma yoluyla projenin gerçekleştirilmesidir. Projenin amacı;

- Kent merkezinde stratejik konuma sahip ve çok hisseli alanın kente kazandırılması,
- Projenin piyasa koşullarında gerçekleşmesi için kamu-özel sektör-arsa sahibi işbirliğinin kurulmasıdır.

3.5. Dericiler Projesi (Bursa) Bursa, kent merkezinde, artık işlevini yitirmiş ve ekonomisi olmayan deri işletmelerinin kentin bir başka bölgesine gönderilmesi ve çöküntü haline gelen bu alanın ise günün koşulları doğrultusunda katılımcı bir planlama ile çağdaş bir kent parçası haline getirmektir. Proje gerçekleştirilirken, arazi elde etme, proje geliştirme ve finans yaratma konularını bir proje ortaklığı çerçevesinde değerlendirmektedir. Projenin amacı;

- Kent merkezindeki, çöküntü alanının çağdaş kent parçasına dönüştürülmesi,
- Kültürpark ve Çekirge Bölgesi ile bir çekim merkezi yaratılmasıdır.

3.6. Kuştepe Kentsel Dönüşüm Projesi (İstanbul) İstanbul’un en önemli merkezinin hemen bitişiğinde yer alan Kuştepe, parsel bazında yoğun ve çarpık yerleşme, yetersiz teknik ve sosyal altyapı ile baraka görünümündeki sağlıksız yapı ve yerleşme biçimindedir. Sürdürülebilir Mahalle Yenileşme Projesi kapsamında, birtakım yenilikçi yaklaşımlar uygulanacak ve deprem riskini de dikkate alarak, sağlıklı yapı programları oluşturulacaktır. Projenin amacı;

- Kuştepe’de, güvenli yapı ve sağlıklı çevreler yaratmak,
- Planlama yaklaşımını klasik imar planı dışında, proje geliştirme mantığı içinde ele almak,
- Parsel bazında yapılaşma yerine proje bazında yapılaşmanın sağlanacağı yenilikçi yaklaşımları gerçekleştirmektedir.

3.7. Hacı Bayram Çevre Düzenleme Projesi (Ankara) Proje alanı, Hacı Bayram Camii, Ogüst Mabedi ve Roma Hamamı'nın yer aldığı tarihsel mekanı kapsamaktadır. Uygulama, Hacı Bayram Camii ve çevresi esas alınarak, bir kentsel tasarım ve proje geliştirme mantığı içinde mevcut esnafın, proje kararlarına katılımı ile yapılmıştır (URL 4).

3.8. Zağnos ve Tabakhane Vadileri Kentsel Dönüşüm Projeleri (Trabzon) Belediye sınırları içerisindeki Ortahisar Mahallesi ve çevresini kuşatan Zağnos ve Tabakhane Dere içi Bölgeleri Trabzon kentinin en önemli tarihi merkezi konumunda, kent merkezine yakın ve yoğun ticari faaliyetlerin komşuluğunda yer almaktadır. Söz konusu bölge çarpık yapılaşma sonucu fenni, sıhhi ve fiziki olarak çağdaş standartların oldukça altında kalmıştır. Bugünkü hali ile bölgenin ortaya koyduğu kentsel kalite düşüklüğü ve görüntü kirliliği kentte yaşayan herkesin ortak sıkıntısıdır. Alan, aynı zamanda, kale surlarının çevresinde dere yatağında ve şehrin en önemli iki hava akımı koridorunda konumlanmış durumda olup, jeolojik olarak tehlike arz etmektedir. Bu nedenlerden dolayı, Belediye Başkanlığı, alanda gerçekleştirilecek kentsel dönüşümün sağlıklı olarak hayata geçirilebilmesi için burada yaşayan insanların başka bir alana yerleştirilmesi ve aynı bölgenin güneyinde öneri bir yerleşim alanı yaratılması prensibini benimsemiştir.

Kentsel dönüşüm projesinin hazırlık aşamasında;

- Bölgenin fiziki ve demografik yapısının tespit edilebilmesi için çeşitli arazi çalışmaları,
- Özel planlama alanından tasfiye edilecek konutlarla ilgili, o bölgede yaşayan insanların görüşlerinin alınması amacıyla bir anket çalışması yapılmıştır.

Yapılan anket çalışması ile bölgede ikamet eden insanların düşüncelerinin ne yönde olduğu öğrenilmeye çalışılmıştır. Bunun için ankete katılan kişilere, bu bölgenin tasfiyesi durumunda konutlarına karşılık konut mu yoksa kamulaştırma bedeli mi istedikleri sorulmuştur. Bu soruların yanında mülk sahipliği, aile büyüklüğü ve meslek gibi sorular yöneltilerek sosyal yapı hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Yapılan anketlerin neticesinde burada oturanların genelde kiracı oldukları mülk sahiplerinin burada oturmadıkları anlaşılmaktadır. Kent açısından büyük bir öneme haiz olan bu projenin sağlıklı temeller üzerine oturması, halktan kopuk olmaması projenin başarıya ulaşması açısından önemlidir. Yapılan anketle; dönüşüm alanındaki bina sayısı, kat sayısına göre bina sayısı, boş alanlar, toplam nüfus vb. belirlenmiştir.

Trabzon'a gelecekte tekrar kazandırılması düşünülen tarihi kent misyonu açısından, Tabakhane ve Zağnos vadilerinin oynayacağı rol de çok önemlidir. Bu vadilerin tasfiyesi halinde Trabzon'un ilk yerleşim yeri olan İç Kale'nin etrafı temizlenmiş olacak böylelikle kentin tarihi dokusunun ortaya çıkması sağlanacaktır. Proje, TOKİ (Toplu Konut İdaresi) ile Trabzon Belediyesi'nin işbirliği ile gerçekleştirilmektedir (URL 5).

4. KENTSEL DÖNÜŞÜM MODEL VE YAKLAŞIMLARI

Dünyada uygulanan ve Türkiye'de de uygulanmaya başlayan kentsel dönüşüm model ve yaklaşımları, imar haklarının toplulaştırılması ve imar haklarının transferidir.

4.1. İmar haklarının toplulaştırılması

Amaç, parsel bazında klasik anlamda varolan imar haklarının, bir proje bazında bir araya getirilerek, toplulaştırılması ve yaratılan değer kamuya, özel sektör ve mülk sahipleri işbirliği

çerçevesinde paylaşılmasıdır. Sözkonusu model, Ankara’da, kapsamlı olarak, Portakal Çiçeği ve Dikmen Vadisi Kentsel Dönüşüm Projelerinde ve Bursa’da Zafer Plaza Kentsel Dönüşüm Projesinde başarıyla uygulanmıştır (URL 6).

4.2. İmar Haklarının Transferi

Amaç, dönüşümü ve korunması gerekli alanlarda, varolan imar hakkı veya imar baskısı altında oluşabilecek potansiyel imar haklarının, bir başka projeye transferini veya bu hakkın menkul kıymet hakkına dönüşümünün sağlanmasıdır. Model, özellikle, tarihi çevrede yapıların ve tarihi dokuların, imar baskısı altında dayanamayıp, yıkılıp yeni yapılar ve yerleşmelere dönüşmesi yerine, bu alanlarında imar haklarının olması gerektiğinin kabul edilmesi, ancak bu hakkın mülk sahiplerine sertifika yoluyla başka alanlara veya projelere transfer edilerek, kullanılarak verilmesidir (URL 7).

5. DÜNYADA VE TÜRKİYE’DE YAPILAN KENTSEL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARININ İRDELENMESİ

Dünya’da yapılan uygulamalarda görüldüğü gibi bütün kentsel dönüşüm uygulamaları sağlam bir ortaklık stratejisine dayanmaktadır. Bütün kentsel dönüşüm uygulamalarının, merkezi-yerel yönetim, özel sektör ve halk işbirliğiyle gerçekleştirildiği görülmektedir. Türkiye’de yapılan ve yapılmakta olan kentsel dönüşüm uygulamalarında halk katılımı hazırlık aşamasında ortaya çıkmaktadır. Yapılan uygulamalar incelendiğinde dünyada uygulanan kentsel dönüşüm projelerinde hazırlık aşamasından projenin sonuna kadar aktif halk katılımının olduğu görülmektedir.

Yoğun gecekonduların olması, kaçak yapılaşmanın giderek artması ve yaşanan 1999 depremi sonucunda kentsel dönüşüm projelerinin gerekliliğinin kaçınılmaz olduğu görülmüştür. Kentte meydana gelen çarpık yapılaşma, altyapı eksiklikleri, yeşil alan, otopark ve sosyal donatıların eksikliği kentsel dönüşüm projeleri ile giderilmektedir.

5.1. Kentsel Dönüşüm Alanlarının Belirlenmesi

Dünya ve Türkiye genelinde uygulanan kentsel dönüşüm projeleri kapsamında seçilen kentsel dönüşüm alanları:

- Hazine arazilerinin işgali sonucunda oluşturulan gecekondular alanları,
- Çok fazla yoğunluğa sahip kaçak apartmanlaşmanın görüldüğü alanlar,
- Kent merkezine yakın rantı yüksek olan alanlar,
- Deprem, sel, heyelan vb. doğal afetlerden doğrudan etkilenecek olan alanlar,
- Kent merkezindeki çöküntü alanları,
- Tarihi kentsel alanlar,
- Ekonomik ömrünü doldurmuş yapıların bulunduğu alanlardır.

Uygulamaların kapsamına bakıldığında ülkemizde uygulanan kentsel dönüşüm proje alanları genellikle gecekondular alanları olmaktadır. Hazine arazileri üzerinde yer alan bu alanlar kentlerin çöküntü alanları haline gelmiştir. Bu alanların bir an önce belirlenmesi ve kentsel dönüşüm alanı içinde yer alıp almadığının saptanması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda yapılması gereken işlemler:

- Ülke genelinde mülkiyet yapısının ve yapı envanterinin çıkarılması,
- Mevcut arazi ve arsa durumunun belirlenmesi,
- Yapılaşma talebinin yoğun olduğu alanların belirlenmesi,
- Kısa, orta ve uzun vadeli arsa üretme olanaklarının var olup olmadığının saptanması,

- Çöküntü alanları içinde yer alan tarihi dokunun ortaya çıkarılması,
- Hazine arazilerinin kesin olarak belirlenmesi ve kayıt altına alınmasıdır.

Kentsel dönüşüm alanlarının belirlenmesinde yukarıda sıralanan çalışmalar çoğaltılabilir. Bu çalışmalar tamamlandığında politik ve stratejik konumu ve diğer nedenler dikkate alınarak bu alanlar planlama kapsamına dahil edilmelidir. Kritik alanların ve özel öncelikli proje alanlarının saptanması gerekmektedir. Seçilen kentsel dönüşüm alanlarının farklı bölgelerde olması farklı sorunları ortaya çıkaracaktır. Bu nedenle seçilen her kentsel dönüşüm alanı için yapılacak olan proje program ve stratejilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Çünkü yapılan her kentsel dönüşüm projesi, o kentin geleceği ile ilgili vizyonunu geliştirmeye yöneliktir. Kentsel dönüşüm projeleriyle aynı zamanda kent alanlarındaki boş alanlar planlamaya dahil edilecektir.

5.1.1. Kentsel Dönüşüm Projesi Hazırlık Aşamasında Yapılması Gerekenler

Kentsel dönüşüm alanlarının belirlenmesinden sonra, kentsel dönüşüm projesini yapacak olan kurumlar arasında protokol imzalanır. Bu protokolde kurumlar arasında işbirliği içinde gerçekleştirilecek olan işler yer almaktadır. Dünyada ve Türkiye’de yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak kentsel dönüşüm projelerinin hazırlık aşamasında yapılması gerekenler aşağıda sıralanmıştır:

- Kentsel dönüşüm alanının ilan edilmesi,
- Kentsel dönüşüm proje alanına uygun modelin belirlenmesi,
- Kentsel dönüşüm projesinin kapsamının belirlenmesi,
- Kentsel dönüşüm alanının mülkiyet yapısının tesbit edilmesi,
- Kentsel dönüşüm alanının halihazırının güncellenmesi,
- Kentsel dönüşüm projesinde projeye özgü demografik, çevresel, ekonomik ve sosyolojik yapının incelenmesi,
- Finansman modellerinin belirlenmesi,
- Kentsel dönüşüm proje alanının kent planı ile bütünlüğünün sağlanmasıdır.

5.1.2. Kentsel Dönüşüm Projesi Uygulama Aşamasında Yapılması Gerekenler

Kentsel dönüşüm alanında proje uygulama aşamasında yapılacak olan işler; kentsel dönüşüm projesi yapılacak olan bölgenin özelliklerine, mülkiyet yapısına göre değişiklik gösterir. Dünyada ve Türkiye’de yapılan uygulamalar incelendiğinde proje ortaklarının üzerine düşen görevleri zamanında yapmaması uygulama aşamasında gecikmelere neden olmuştur. Bu nedenle aşağıda genel olarak sıralanan işlerin zamanında yapılması gerekmektedir.

- Taşınmaz değer tesbit komisyonunun kurulması,
- Taşınmazların değer tesbitlerinin yapılması,
- Kentsel dönüşüm alanındaki mülkiyet sahipleri ile uzlaşma sağlanması,
- Uzlaşma sağlanamaması durumunda kamulaştırma işlemlerinin yapılması,
- Mülkiyet devrinin yapılması,
- Kentsel dönüşüm alanının imar, jeolojik, altyapı ve çevre projelerinin hazırlanması,
- Kentsel dönüşüm alanının niteliğine göre (konut alanı, tarihi alan, zemin yapısı yapılaşmaya uygun olmayan alanlar) uygun projenin hazırlanması,
- Projenin uygulanmasında kentsel dönüşüm alanında yaşayan insanların beklentilerinin karşılanması,
- Sosyal farklılıkların ve mekansal eşitsizliklerin giderilmesi,
- Modern, gelişmiş, yaşanabilir ve güvenilir yaşama mekanlarının oluşturulması,
- Kentsel dönüşüm alanının kullanıma açılması (konut alanı, yeşil alan, tarihi alan vs.)

5.2. Trabzon Zağnos Vadisi Kentsel Dönüşüm Projesi Hazırlık ve Uygulama Aşamaları

Kentsel dönüşüm projelerinde alanın niteliğine göre yapılacak olan işler değişmektedir. Trabzon Zağnos Vadisi Kentsel Dönüşüm Projesinde yapılan ve yapılacak olan işlemler adımlar halinde Şekil 1’de verilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kentsel dönüşüm uygulamaları; hızlı kentleşme sonucu oluşan niteliksiz ve sağlıksız alanların yeniden yapılandırılması amacıyla yapılmaktadır. Tanımı gereği kentsel dönüşüm kentlerin yaşam standartlarını iyileştirmek amacını taşır. Kent merkezlerinde; kaçak yapılaşma veya hazine arazilerinin işgal edilmesiyle bozulan kent alanları kentsel dönüşüm projeleriyle tekrar kente kazandırılmalıdır. Bu nedenle, bu alanların belirlenmesi ve uygulama sırasına göre kentsel dönüşüm projeleri yapılması gerekmektedir. Söz konusu alanların belirlenmesi zaman alacak olan bir süreçtir. Öncelikle hazine arazilerinin yer tesbitlerinin yapılması, mülkiyet yapısının belirlenmesi ve zemin yapısı yapılaşmaya uygun olmayan alanların saptanması gerekmektedir.

Kentsel dönüşüm projelerinin uygulamaya konulabilmesi için öncelikle yerel yönetimler tarafından kentsel dönüşüm alanlarının belirlenmesi ve kentsel dönüşüm çalışmalarının başlatılması gereklidir. Trabzon Zağnos Kentsel Dönüşüm Projesi’nde uygulanan ve uygulanmakta olan çalışmalar Şekil 1’de gösterilmektedir. Kentsel dönüşüm alanının belirlenmesinden sonra Trabzon Belediyesi gerekli bilgilerle Toplu Konut İdaresi Başkanlığı’na başvuruda bulunmuştur. Toplu Konut İdaresi Başkanlığı yerinde tesbit işlemi sonrasında Trabzon Belediyesi ile protokol imzalamıştır. Protokol sonrası Trabzon Belediyesi ve Toplu Konut İdaresi Başkanlığınca değer tesbiti için komisyon kurulmuştur ve değer tesbit çalışmaları yapılmıştır. Değer tesbitinden sonra Zağnos Vadisi üç etap halinde kamulaştırılmıştır. Trabzon Belediyesi, 85909.71 m²,lik proje alanında 53974.85 m²,lik alanı kamulaştırmıştır.

Kentsel dönüşüm alanlarının belirlenmesinden sonra bu alanda yapılacak olan kentsel dönüşüm projesinin kapsamı belirlenmelidir. Çünkü proje kapsamına göre proje ortakları arasında yapılacak olan işlemler farklılık göstermektedir. Trabzon Zağnos Vadisi Kentsel Dönüşüm Alanı yeşil alan olarak düzenlenecektir. Böylece bu alanın tarihi kimliğini yeniden kazanması sağlanmış olacaktır.

KAYNAKLAR

Bayraktar, E., 2006. Gecekondu ve Kentsel Yenileme, Ekonomik Araştırmalar Merkezi Yayınları, sayfa: 237.

Beziçioğlu, B., Çankaya, H. G., Arslan T. M., Kalaycıoğlu, Z., Demir, V., 2000. Altındağ 2000 Kitabı, Altındağ Belediyesi Yayını, sayfa: 45.

URL 1, Kentsel Yenileme/Dönüşüm İnternet Sitesi, <http://www.kentselyenileme.org/dunya.php>, 27 Aralık 2004.

URL 2, Kentsel Yenileme/Dönüşüm İnternet Sitesi, Bellenden Yenileşme Projesi, <http://www.kentselyenileme.org/dosyalar/BellendenProjesi.pdf>, 1 Mart 2006.

URL 3, T.C. İçişleri Bakanlığı İnternet Sitesi, 5393 Sayılı Belediye Kanunu, <http://www.icisleri.gov.tr/Icisleri/Web/Gozlem2.aspx?sayfaNo=68>, 21 Şubat 2007.

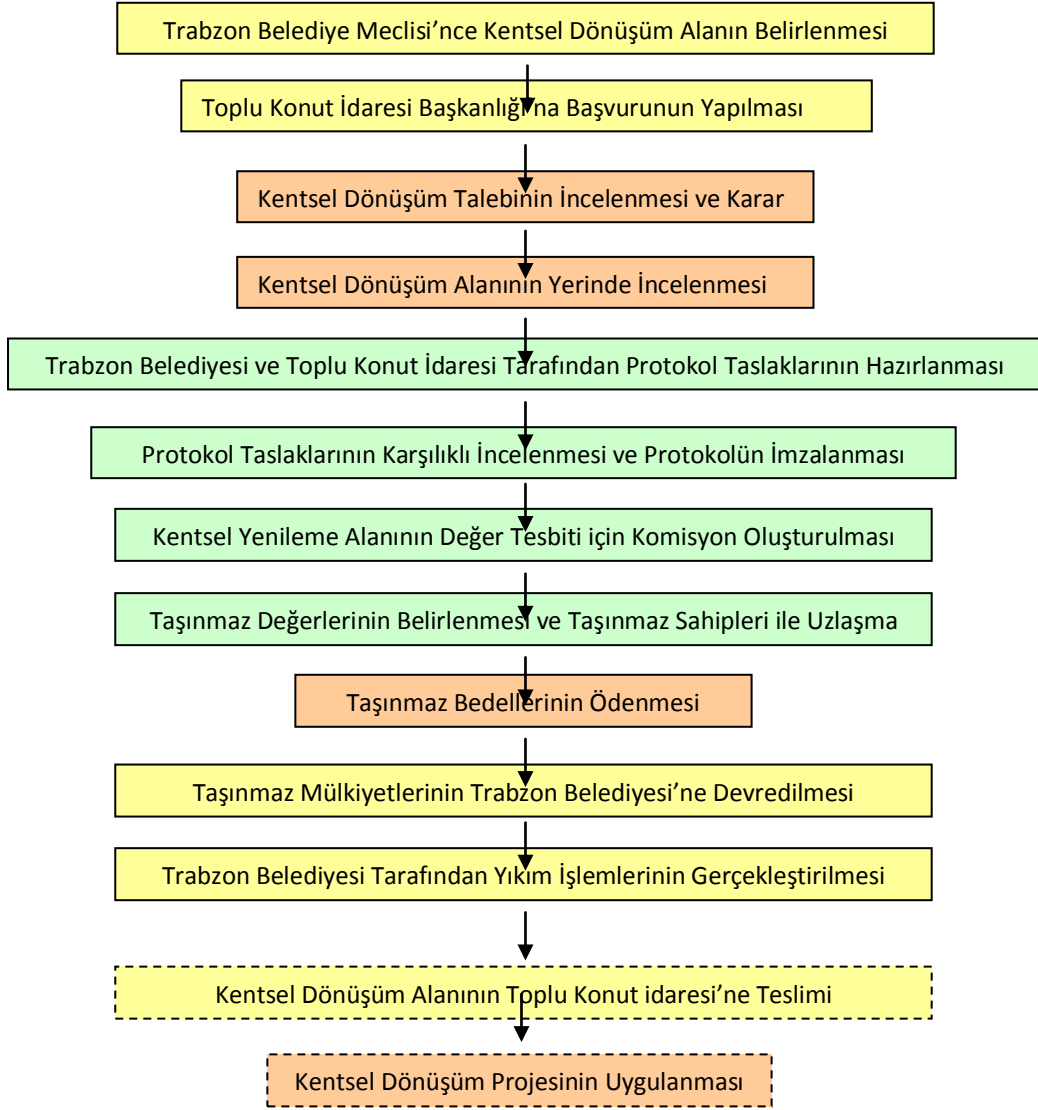
URL 4, Kentsel Yenileme/Dönüşüm İnternet Sitesi, <http://www.kentselyenileme.org/turkiye.php>, 10 Ocak 2005.

URL 5, Trabzon Belediyesi İnternet Sitesi, Zağnos ve Tabakhane Vadileri Kentsel Dönüşüm Projeleri, <http://www.trabzon.bel.tr/>, 10 Şubat 2007.

URL 6, Kentsel Yenileme/Dönüşüm İnternet Sitesi, Şehircilikte Dönüşüm: Kentsel Dönüşüm Yaklaşımları-Kasım 2004, <http://www.kentselyenileme.org/dosyalar/MersinSeminer.pdf>, 1 Mart 2006.

URL 7, Kentsel Yenileme/Dönüşüm İnternet Sitesi, Yeni Kentsel Düzen İçin Öneriler, <http://www.kentselyenileme.org/dosyalar/turdok02.doc>, 7 Ocak 2006.

- Belediye tarafından gerçekleştirilen çalışmalar
- Toplu Konut İdaresi tarafından gerçekleştirilen çalışmalar
- Belediye ve Toplu Konut İdaresi tarafından gerçekleştirilen çalışmalar
- Belediye veya Toplu Konut İdaresi tarafından gerçekleştirilecek olan çalışmalar



Şekil 1. Trabzon Zağnos Vadisi Kentsel Dönüşüm Projesi İşlem Adımları

GİRİŞ

Kentlerdeki çarpık yapılaşma ve yarattığı sorunların çözümü amacıyla çağdaş şehircilik ilkeleri ve planlama esaslarına uygun olarak yeniden yapılandırılmasını sağlamak üzere kentsel dönüşüm projeleri gündeme gelmiştir.

Kentsel dönüşüm, kentsel gelişmenin, toplumsal, ekonomik ve mekansal olarak yeniden ele alındığı ve kentteki sorunlu alanların sağlıklı ve yaşanabilir hale getirilmesi için yıkıp, yeniden yapma, canlandırma, sağlıklılaştırma veya yeniden yapılandırma için proje üretilmesi ve uygulama yapılmasıdır. Özetle kentsel dönüşüm bir kentin dokusun bozan sorunların giderilmesi anlamına geliyor.**[1]**

Bu hususta 5393 sayılı Belediye Kanunu, 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu, 5436 sayılı Yıpranan Tarihi Ve Kültürel Taşınmaz Varlıkların Yenilenerek Korunması Ve Yaşatılarak Kullanılması Hakkında Kanun ve 5104 sayılı Kuzey Ankara Girişi Kentsel Dönüşüm Projesi Kanununda düzenlemeler yer almaktadır.

Geçekonu dönüşüm.kentsel yenileme projelerinde, “kent içinde kaçak yapılaşma alanları ile ekonomik ömrünü doldurmuş bulunan çöküntü alanlarının, gerekli tüm kentsel ve sosyal donatı hizmetleri getirilerek, olası tüm doğal afet riskleri de bertaraf edilecek şekilde yeniden fenni ve sıhhi standartlara haiz bir şekilde yapılandırılması” amaçlanmaktadır.**[2]**

Kentsel dönüşüm alanlarında imar planlarının ne şekilde yapılacağına ilişkin olarak her hangi bir düzenleme bulunmamaktadır. O zaman kentsel dönüşüm alanlarında imar planları genel kurallara göre düzenlenecektir. Kentsel dönüşüm alanlarında yapılacak imar planlarının yapılmasında şehircilik ilkeleri, planlama esaslara ve kamu yararının esas alınması gerekir.

Bugün itibariyle birçok belediye kentsel dönüşüm projeleri uygulamaya çalışmaktadır. Genellikle amaçları ise belediyelere rant sağlamaktır. Hatta bazı belediyeler yapacakları kentsel dönüşüm projelerini bir kanun ile düzenlemeye çalışmaktadır. Bu tür kanun tekliflerinde de 2886 sayılı Devlet İhale Kanunu hükümlerine tabi olmamayı amaçlamaktadırlar.

KENTSEL DÖNÜŞÜM VE GELİŞİM İLE İLGİLİ MEVZUAT

5393 sayılı BELEDİYE KANUNU’NUN 73. maddesinde, “Belediye, kentin gelişimine uygun olarak eskiyen kent kısımlarını yeniden inşa ve restore etmek; konut alanları, sanayi ve ticaret alanları, teknoloji parkları ve sosyal donatılar oluşturmak, deprem riskine karşı tedbirler almak veya kentin tarihî ve kültürel dokusunu korumak amacıyla kentsel dönüşüm ve gelişim projeleri uygulayabilir.” hükmü yer almakta, 69. maddesinde de, “Belediye; düzenli kentleşmeyi sağlamak, beldenin konut, sanayi ve ticaret alanı ihtiyacını karşılamak amacıyla belediye ve mücavir alan sınırları içinde, özel kanunlarına göre korunması gerekli yerler ile tarım arazileri hariç imarlı ve alt yapılı arsalar üretmek; konut, toplu konut yapmak, satmak, kiralamak ve bu amaçlarla arazi satın almak, kamulaştırma yapmak, bu arsaları trampa etmek, bu konuda ilgili diğer kamu kurum ve kuruluşları ve bankalarla iş birliği yapmak ve

gerektiğinde onlarla ortak projeler gerçekleştirmek yetkisine sahiptir.” hükmüne yer verilmektedir.

Yine 69. maddeye gere, durumları 775 sayılı Gecekondu Kanunu’nun 25 inci maddesine uyan kimselere de bu maddeye göre arsa ve konut sağlanabilir.

775 sayılı Gecekondu Kanunu’nun 25. maddesinde, “*7 nci madde gereğince tesbit olunan önleme bölgelerindeki arsalar, öncelikle gecekonduların ıslahı ve tasfiyesi sebepleriyle açıkta kalacaklara ve diğer konutsuz vatandaşlara verilir.*” hükmü yer almış ve 7. maddesinde de, “Belediyelerin mülkiyetinde bulunan ve bundan sonra bu kanuna göre mülkiyetine geçecek olan arazi ve arsalardan, belediye meclisi kararı ile belli edilip, İmar ve İskan Bakanlığınca uygun görülenler, bu kanun hükümleri dairesinde konut yapımına ayrılır.” hükmüne yer verilmiştir.

5216 sayılı BÜYÜKŞEHİR BELEDİYE KANUNUNUN 7.e maddesinde ise “*Belediye Kanununun 69 ve 73 üncü maddelerindeki yetkileri kullanmak.*” yetkisi Büyükşehir belediyelerine verilmiş bulunmaktadır. Bu hükümlere göre gerek Büyükşehir belediyelerine ve gerekse belediyelere kentsel dönüşüm ve gelişim projesi adı altında geniş yetkiler verilmektedir. Bu durumu açıklamak bakımından denilebilir ki, belediyelerin özel bir şahıs gibi hareket edebilmelerine imkan getirilmiş ve kolaylık sağlanmıştır.

Belediyelerce, kentsel dönüşüm ve gelişim projelerine konu olacak alanlar, belediye meclis kararı ile belirlenirler. Bu kararın belediye meclis üye tam sayısının salt çoğunluğunun kararı ile ilân edilmesi gerekir. Bir yerin kentsel dönüşüm ve gelişim proje alanı olarak ilân edilebilmesi için; o yerin belediye veya mücavir alan sınırları içerisinde bulunması ve en az ellibin metrekare olması şarttır. Kentsel dönüşüm ve gelişim proje alanlarında bulunan yapıların boşaltılması, yıkımı ve kamulaştırılmasında anlaşma yolu esastır.

Kentsel dönüşüm ve gelişim proje alanlarında yıkılarak yeniden yapılacak münferit yapılarda harçlarda indirim sağlanmıştır. İlgili resim ve harçların dörtte biri alınır. Kentsel dönüşüm ve gelişim projesi kapsamında bulunan mülk sahipleri tarafından açılacak davalar, mahkemelerde öncelikle görüşülür ve karara bağlanır.

Öte yandan, büyükşehir belediyeleri, büyükşehir belediyeleri sınırları içindeki ilçe ve ilk kademe belediyeleri, il, ilçe belediyeleri ve nüfusu 50.000'in üzerindeki belediyelerce ve bu belediyelerin yetki alanı dışında il özel idarelerince, yıpranan ve özelliğini kaybetmeye yüz tutmuş; kültür ve tabiat varlıklarını koruma kurullarınca sit alanı olarak tescil ve ilan edilen bölgeler ile bu bölgelere ait koruma alanlarının, bölgenin gelişimine uygun olarak yeniden inşa ve restore edilerek, bu bölgelerde konut, ticaret, kültür, turizm ve sosyal donatı alanları oluşturulması, tabii afet risklerine karşı tedbirler alınması, tarihi ve kültürel taşınmaz varlıkların yenilenerek korunması ve yaşatılarak kullanılmasını amaçlayan 16.6.2005 tarihli ve **5436 sayılı YIPRANAN TARİHİ VE KÜLTÜREL TAŞINMAZ VARLIKLARIN YENİLENEREK KORUNMASI VE YAŞATILARAK KULLANILMASI HAKKINDA KANUN** yürürlüğe girmiştir.

Bu Kanuna göre, yenileme alanları, il özel idarelerinde il genel meclisi, belediyelerde belediye meclisi üye tam sayısının salt çoğunluğunun kararı ile belirlenir. İl özel idaresinde il genel meclisince, büyükşehirler dışındaki belediyelerde belediye meclisince alınan kararlar Bakanlar Kuruluna sunulur. Büyükşehirlerde ise ilçe ve ilk kademe belediye meclislerince

alınan bu kararlar, büyükşehir belediye meclisince onaylanması halinde Bakanlar Kuruluna sunulur. Bakanlar Kurulu projenin uygulanıp uygulanmamasına üç ay içinde karar verir.

Bakanlar Kurulunca kabul edilen alanlardaki uygulama bir program dahilinde etap etap projelendirilebilir. Etap proje ve programları, meclis üye tam sayısının salt çoğunluğunun kararı ve belediyelerde belediye başkanının, il özel idarelerinde valinin onayı ile uygulamaya konulur.

Belirlenen alan sınırları içindeki tüm taşınmazlar, belediyece ve il özel idaresince hazırlanacak yenileme projelerinin kültür ve tabiat varlıklarını koruma kurulunca karara bağlanmasını müteakip bu Kanuna göre yapılacak yenileme projesi hükümlerine tâbi olurlar. Büyükşehir belediye sınırları içinde büyükşehir belediyelerinin yapacaklarının dışında kalan yenileme projeleri, ilçe ve ilk kademe belediyelerince hazırlanması ve meclislerinde kabulünden sonra büyükşehir belediye başkanınca onaylanarak yürürlüğe girer. Buna göre kamulaştırma ve uygulama yapılır.

Yine, 5104 sayılı **KUZEY ANKARA GİRİŞİ KENTSEL DÖNÜŞÜM PROJESİ KANUNU** ile kuzey Ankara girişi ve çevresini kapsayan alanlarda kentsel dönüşüm projesi çerçevesinde fiziksel durumun ve çevre görüntüsünün geliştirilmesi, güzelleştirilmesi ve daha sağlıklı bir yerleşim düzeni sağlanması ile kentsel yaşam düzeyinin yükseltilmesi amaçlanmıştır.

Bu Kanunun 4. maddesine göre, ilgili mevzuatına göre ilçe belediyeleri ve diğer kamu kuruluşlarına ait olan, her ölçek ve nitelikteki imar plânları, parselasyon plânları ve benzeri imar uygulamalarına dair izin ve yetkiler ile proje onayı, yapı izni, yapım sürecindeki yapı denetimi, yapı kullanma izni ve benzeri inşaata dair izin ve yetkiler Proje alan sınırları içinde kalan bölgede Belediyeye aittir. (Değişik son cümle: 5.4.2006-5481.1 md.) Proje alanı içinde her ölçekteki imar planları Belediyeye yapılır, yaptırılır ve onanır.

Proje alan sınırları içindeki tüm gayrimenkuller, bu Kanunun yürürlüğe girdiği tarihten önce mevzuata uygun olarak yapılmış ve onaylanmış herhangi bir ölçek ve türdeki imar plânı kapsamında kalsalar dahi, bu Kanuna göre yapılacak plân hükümlerine tâbi olurlar.

Proje alan sınırları içinde kalan bölgede, bu Kanunun yürürlüğe girdiği tarihten önce yapılmış olan plânların uygulanması Kanunun yürürlüğe girdiği tarihten itibaren durur. Bu plânların kısmen veya tamamen uygulanmaya devam edilmesi ya da bu Kanuna göre yeniden yapılması hususunda Belediye yetkilidir.

R. KENTSEL DÖNÜŞÜM PROJESİ UYGULAMALARI

5393 sayılı Yasada yer alan kentsel dönüşüm ile ilgili hükümlerin, kanaatimize göre, Belediye Kanunundan ziyade İmar Kanununda yer alması gerekir. Çünkü anılan Yasanın 69–73. maddelerinde yer alan hükümler, imar mevzuatının uygulanmasına ilişkin düzenlemeleri içermektedir.

5393 sayılı Yasanın kentsel dönüşüm ve gelişim proje alanı olarak ilân edilebilmesi için;

1. Kentsel dönüşümün amacının, kentin gelişimine uygun olarak eskiyen kent kısımlarını yeniden inşa ve restore etmek; konut alanları, sanayi ve ticaret alanları,

teknoloji parkları ve sosyal donatılar oluşturmak, deprem riskine karşı tedbirler almak veya kentin tarihî ve kültürel dokusunu korumak olmalıdır.

2. Yerin belediye veya mücavir alan sınırları içerisinde bulunması ve en az ellibin metrekare olması şarttır. Nitekim, belediyelerin bu alanların dışında yetkileri bulunmamaktadır.
3. Meclis üye tam sayısının salt çoğunluğunun kararı ile ilân edilir.

BELEDİYELERİN KENTSEL DÖNÜŞÜM PROJESİ UYGULAMALARINDA İMAR PLANLARI

İmar mevzuatımıza baktığımızda, bir taşınmazın kullanım şekli genel olarak imar planlarıyla belirlenmektedir. Usulüne uygun olarak yürürlüğe giren imar planlarındaki kullanım amacına uygun olarak mülk sahiplerince yetkili makamlardan izinler alınarak yapılar yapılmaktadır.

İmar mevzuatında yapıların nasıl yapılacağı ve ne zaman yıkılacağı konusunda yasal düzenleme mevcuttur. Mülk sahipleri de bu yasal düzenlemedeki haklarını kullanmaktadır. Yasal ömrünü tamamlayan ve yıkılacak derecede tehlikeli yapı durumuna gelen binalar hakkında ise bu tür yapıların acil olarak yıkılabilmesi yönünden belediyelerin elinde yasal yetkiler vardır.

Danıştay İçtihatları Birleştirme Kurulu'nun 29.1.1976 gün ve E:1974.2, K:1976.2 sayılı kararına göre, kamulaştırma konusu taşınmazların imar planında belirlenmiş maksat dışında kamulaştırılamayacağı, ancak imar planlarının bu yolda usulü dairesinde değiştirildiği takdirde bu değişikliğe uygun kamulaştırma yapılabilecektir. Bu karar tüm idari mercileri ve yargı mercilerini bağlamaktır. Yani kentsel dönüşüm alanlarında kentsel dönüşüm projelerine uygun olarak yeniden planlama yapılması zorunluluğu bulunmaktadır.

Öyleyse kentsel dönüşüm projeleri açısından imar planları çok önem arz etmektedir. Bu nedenle imar planlarının yapılması ile ilgili kurallara değinmekte yarar vardır.

İMAR PLANLARI DEĞİŞİKLİKLERİNDE UYULMASI ZORUNLU OLAN ŞEHİRCİLİK İLKELERİ, PLANLAMA ESASLARI VE KAMU YARARI

İmar planlarının yapılması ve değişiklikleri sırasında uyulması gereken şehircilik ilkelerini Plan Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik hükümleri olarak özetleyebiliriz. Alt yapı alanları, resmi kurum alanları ile ilgili düzenlemeler ve artan nüfus yoğunluğu karşılığında uygulanacak kuralları şehircilik ilkelerine örnek olarak gösterebiliriz.

Planlama esaslarından ise plan hiyerarşisini anlamaktayız. İmar planlarının kendi aralarında hiyerarşi bulunmaktadır. Bu hiyerarşide 1.1000 ölçekli uygulama imar planları en alt kademede, 1.100 000 ölçekli bölge ya da ülke planları en üst seviyede bulunmaktadır. Tıpkı normlar hiyerarşisinde olduğu gibi alt ölçekli plan üst ölçekli plana aykırı olamayacaktır. Bu kural sayesinde tüm planlı saha en yüksek yüksek ölçekli plana uygun olarak kullanılacaktır.

Planlama ilkesine göre örneğin, 1.1000 ölçekli plan 1.5000 ölçekli plana aykırı olamaz. Eğer aykırı ise iptal davasına konu edilmesi halinde iptal edilmesi muhtemeldir.

Bir diğ er husus ise nazım imar planının bulunmaması halinde uygulama imar planı ve bu planda değ iş iklik yapılamayacağı hususudur. Danış tayı n istikrar kazanmış kararlarına göre nazım imar planı olmadan uygulama imar planı yapılması hukuka aykırı olmaktadır.

İdare hukukuna göre bütün idari iş lemlerin nihai amacı kamu yarar ıdır. Bu açıdan bakıld ığında kamu yararı çok geniş kavramdır. İmar planlarının da nihai amacı kamu yarar ıdır. Kamu yararı ço ğ u kez imar planı yapılacak alanın yapısına göre belirlenir.

Dar anlamda kamu yararı, kamu hizmetinin kar amacı güdülmeksizin sürekli olarak, toplumsal ihtiyaçları karşı layacak do ğ rultuda ve eş itlik ilkesini gözeterek, tarafsız bir şekilde yerine getirilmesi olarak tanımlanabilir. Geniş anlamda kamu yararı ise ülkedeki tüm insanların ortak çıkarlarını içeren “toplum yararı” nı ifade etmektedir.[3]

PLAN YAPIM ESASLARINA DAİR YÖNETMELİK HÜKÜMLERİNE GÖRE İMAR PLANLARI

Plan Yapım Esaslarına Dair Yönetmelikte imar planları ve bu planların yapımı ve değ iş tirilmesi hakkında ayrıntılı düzenlemeler bulunmaktadır. Biz burada en çok kullanılan ve uygulamaya dönük olan nazım imar planı ve uygulama imar planı tanımlarına yer vermekle yetiniyoruz.

Nazım İmar Planı: Onaylı halihazır haritalar üzerine varsa kadastral durumu iş lenmiş olan, varsa bölge ve çevre düzeni planlarına uygun olarak hazırlanan ve arazi parçalarının; genel kullanım biçimlerini, baş lı ca bölge tiplerini, bölgelerin gelecekteki nüfus yoğunluklarını, gerektiğinde yapı yoğunluğunu, çeş itli yerleş me alanlarının geliş me yön ve büyüklükleri ile ilkelerini, ulaşım sistemlerini ve problemlerinin çözümü gibi hususları göstermek ve uygulama imar planlarının hazırlanmasına esas olmak üzere 1.2000 veya 1.5000 ölçekte düzenlenen, detaylı bir raporla açıklanan ve raporu ile bir bütün olan plandır.

Uygulama İmar Planı: Onaylı halihazır haritalar üzerine varsa kadastral durumu iş lenmiş olan ve nazım imar planına uygun olarak hazırlanan ve çeş itli bölgelerin yapı adalarını, bunların yoğunluk ve düzenini, yolları ve uygulama için gerekli imar uygulama programlarına esas olacak uygulama etaplarını ve esaslarını ve diğ er bilgileri ayrıntıları ile gösteren ve 1.1000 ölçekte düzenlenen raporuyla bir bütün olan plandır.

PLAN YAPIM ESASLARINA DAİR YÖNETMELİK HÜKÜMLERİNE GÖRE İMAR PLANI DEĞ İŞ İKLİKLERİNDE UYULMASI GEREKEN ESASLAR

İmar Planı Değ iş ikliklerinde Uyulması Gereken Esaslar

Madde 27 - İmar planlarında bulunan sosyal ve teknik alt yapı alanlarının kaldırılması, küçültülmesi veya yerinin değ iş tirilmesine dair plan değ iş iklikleri zorunluluk olmadıkça yapılmaz. Zorunlu hallerde böyle bir değ iş iklik yapılabilmesi için:

1) İmar planındaki durumu değ iş ecek olan sosyal ve teknik alt yapı alanındaki tesisi gerçekleştirecek ilgili yatırımcı Bakanlık ve kuruluşların görüşü alınacaktır.

2) İmar planındaki bir sosyal ve teknik alt yapı alanının kaldırılabilmesi ancak bu tesisin hizmet götü rdü ğ ü bölge içinde eş değ er yeni bir alanın ayrılması suretiyle yapılabilir.

3) İmar planında yeni bir sosyal ve teknik alt yapı alanı ayrılması durumunda 1 inci bentdeki esaslara uyulur.

4) (Ek-R.G.:2.9.1999-23804.m.8)Plan müellifinin gerekçeli uygun görüşünün alınması şarttır.

(Ek fıkra:R.G.30.9.1998-23479) Dini yapı alanlarına ilişkin planlarda ve değişikliklerinde il müftülerinin görüşü alınır.

Madde 28 - İmar planında verilmiş olan inşaat emsalinin, kat adedinin, iflaz şartlarının değiştirilmesi sonucu, nüfus yoğunluğunun arttırılmasına dair imar planı değişikliklerinde

1) (Değişik - R.G.: 2.9.1999 - 23804 . m.9) Artan nüfusun ihtiyacı olan sosyal ve teknik altyapı alanları EK-1 de belirtilen standartlara uygun olarak plan değişikliğine konu alana hizmet vermek üzere ayrılır ve.veya arttırılır.

2) Kat adedi arttırılmasının istenmesi durumunda; önerilecek kat adetlerinin tayininde aşağıdaki formüle göre bulunacak bir yoldaki karşılıklı bina cepheleri arasındaki asgari uzaklık, sağlanacaktır.

$$K = H1 + H2 + 7 m.$$

Yukarıdaki formülde;

K = Karşılıklı bina cepheleri arasındaki mesafe (m)

$H1$ = Yolun bir cephesine önerilecek yapının irtifai

$H2$ = Yolun diğer cephesinde önerilecek yapının irtifaidir.

Madde 29 - İmar planında gösterilen yolların genişletme, daraltma ve güzergahına ait imar planı değişikliklerinde;

1) Devamlılığı olan bir yol belli bir kesimde daraltılamaz.

2) Yolların kaydırılmasında, mülkiyet ve yapılaşma durumu esas alınır.

3) İmar planlarındaki gelişme alanlarında (7.00) m. den dar yaya, (10.00) m. den dar trafik yolu açılmaz. Meskun alanlarında mülkiyet ve yapılaşma durumlarının elverdiği ölçüde yukarıdaki standartlara uyulur.

4) İmar planı değişikliği ile çıkmaz sokak ihdas edilemez.

5) İmar planı içinde kalan karayolu, kent içi geçişin değiştirilmesi durumunda, Karayolları Genel Müdürlüğü'nden alınacak görüşe uyulur.

Madde 30- İmar planlarında sosyal ve teknik alt yapı kullanımlarından başka herhangi bir amaca ayrılmış olan bir alanın kullanılmasının değiştirilmesi durumunda;

1) Nazım plan ana kararlarını bozucu fonksiyonel değişiklikler plan değişikliği yolu ile yapılamaz.

2) Yeni belirtilen kullanımın ihtiyacı olan sosyal ve teknik alt yapı alanları Ek 1`deki tabloda belirtilen standartlara ve nüfus şartı aranmaksızın otopark yönetmeliği hükümlerine uygun olarak birlikte düzenlenir.

3) Yerleşmenin gelişme yönü, büyüklüğü ve arazi kullanımlarının fonksiyonel dağılımı ve genel yoğunlukları gibi nazım plan ana kararlarının değiştirilmesi ancak imar planının yeniden yapılması için mümkün olabilir.

Sosyal ve teknik alt yapı alanları Ek 1`deki tabloda belirtilen standartlara uyulması zorunludur. Bu tabloda yer alan standartlara uyulmadan yapılan imar planı değişiklikleri, şehircilik ilkeleri, planlama esasları ve kamu yararına aykırı olmaktadır. Kentsel dönüşüm alanlarının imar planı tadilatlarında, belirtilen tabloda yer alan standartlara uyulmayacağı yönünde mevzuatta herhangi bir düzenleme bulunmamaktadır. Oysa uygulamalara bakıldığında, kentsel dönüşüm alanlarının ilan edilmesinin ve bu alanlarda imar planı tadilatı yapılmasının esas amacının yüksek bir yoğunluk getirilerek buradan rant sağlamak olduğu anlaşılmaktadır.

Hatta bazen nasıl olsa burası kentsel dönüşüm projesi alanıdır ve belediye bu alanda istediği yoğunluğu getirebilir düşüncesiyle üst imar planlarını da uyulmamaktadır. Unutulmamalıdır ki, planlama esaslarına göre üst düzey çevre veya nazım imar planlarına aykırı olarak kentsel dönüşüm alanlarının imar planları yapılamaz.

Kentsel dönüşüm alanlarının imar planı tadilatları işlemlerine karşı açılan davalar halen idare mahkemelerinde görülmektedir. Bu davalarda verilen kararların temyizi üzerine henüz Danıştay'ın bu konularda görüşü tam olarak ortaya çıkmamıştır.

SONUÇ

Bir kamu kurumu olan belediyelerin yapacağı imar planlarının nihai amacının kamu yararı olması gerekir. Yukarıda anılan Danıştay İçtihadları Birleştirme Kurulu kararına göre imar planları o yöredeki en yüksek kamu yararını göstermektedir. Bu nedenle, kentsel dönüşüm ve bölüşüm projelerinde de nihai amacın kamu yararı olması gerekir. Nihai amacın kamu yararından ayrılarak ticari amaca bir başka ifade ile belediye karına (ranta) yönelik olması halinde hemen hemen her belediyelerce kentin kar getirecek her alanında kentsel dönüşüm ve bölüşüm projeleri uygulanmaya konulmasına şaşırılmamak gerekir.

Bu nedenle kentsel dönüşüm projesi kapsamında bulunan alanlarda yapılacak imar planlarında ve uygulama imar planı tadilatlarında Plan Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği eki tabloda belirtilen standartlara uyulması zorunludur. Bu standartlara uyulmadan yapılacak imar planı tadilatlarının ileride dava konusu yapılarak iptal edilmesi durumunda geriye dönüşümü zor olan aşamaya gelmiş olabilir. Bu soruna tek çözüm, kentsel dönüşüm projesi alanlarının Plan Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği hükümlerine ekinde yer alan standartlara uygun olarak yapılması gerekmektedir.