

## GEOTEKNİK DEPREM MÜHENDİSLİĞİ BAKIŞIYLA DEPREM YÖNETMELİKLERİNDEN BEKLENTİLERİMİZ

**B. Siyahi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Profesör, Deprem ve Yapı Müh. Ana Bilim Dalı, Gebze Teknik Üniversitesi, Çayırova-Gebze  
E-mail: bilge.siyahi@gtu.edu.tr

### ÖZET:

Mevcut deprem yönetmeliği'nde (2007) zemin sınıfları, temel ve zemin yapılarının sismik tasarımı, geoteknik tehlikeler, zemin-yapı etkileşimi gibi konularda herhangi bir yaklaşım yer almamaktadır. Türkiye'de geoteknik deprem mühendisliği tasarım ve uygulamalarının belirli bir sistematik içinde ele alınmasına ve düzenlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Deprem bölgelerinde yapılacak yeni binalar ve deprem performansı değerlendirilecek veya güçlendirilecek mevcut binalar için gerekli zemin araştırmalarının kapsamı; zemin sınıfları, parametreleri, her türlü yapının temelleri ve istinat yapılarının tasarımı ve genel duraylılık kontrolleri gibi konular oldukça önemlidir. Deprem sırasında ve sonrasında oluşabilecek; sıvılaşma, aşırı yer değiştirme, yumuşama veya şev duraysızlığı gibi olası zemin hareketleri ve mukavemet kayıpları da deprem yönetmeliklerinde bulunması istenen konulardır. Ayrıca bahsedilen durumlarda ne tür zemin iyileştirmelerin gerekebileceği konusu da yer almalıdır. Bildiri de güncel deprem yönetmeliklerinden zemin yapılarında ve yapıların temel tasarımında yer alan geoteknik mühendislerinin tasarım gereksinimleri ve beklentileri irdelenmektedir.

**ANAHTAR KELİMELEER:** güncel deprem yönetmelikleri, sismik tasarım, geoteknik değerlendirme, zemin hareketleri, temel tasarımı

### 1. ZEMİNLERİN TANIMLANMASI

Her türlü yapıda yüzeysel veya derin temel tasarımında veya dolgu, dolgu baraj, istinat yapısı, iksa sistemleri gibi zemin yapılarının depreme dayanıklı tasarımında mevcut deprem yönetmelikleri çoğu zaman yetersiz kalabilmektedir. Günümüze kadar gelen son bilgiler ve değişik ölçeklerde yapılan yönetmelikler ışığında temel tasarımı ve zemin yapılarının tasarımlarını yapan geoteknik mühendislerinin güncel deprem yönetmeliğinden beklentileri olduğu açıktır. Bu kapsamda sözü edilen beklentiler sırasıyla açıklanmaya çalışılmıştır:

- 1) Zeminde arazi araştırmaları (minimum sondaj sayısı, derinliği, yapılacak yapının ve zemin yapısının türüne göre bunların nasıl değişebildiği açıklanmalı),
- 2) Yapılacak arazi deneylerinin çeşitleri ve kalitesi, alınacak örselenmiş ve örselenmemiş numunelerin özellikleri, numune alma yöntemleri, gerekli görüldüğü takdirde özel deneylerin (CPTu) deneylerinin tanımlanması,
- 3) Gerekli laboratuvar deneylerinin özellikleri ve kalitesi, bunları yapacak olan laboratuvarların kalitesi, sertifika ve akreditasyonu,
- 4) Arazide yer altı su seviyesi konusunda ölçüm düzeneklerinin tanımlanması, gerekiyorsa piyozometrelerin kullanımı ve ölçümlerinin tanımlanması,
- 5) Zemin araştırmaları sonuçlarının sunulduğu "veri raporu" ve üstyapı ile birlikte değerlendirilerek uzman inşaat mühendislerince tasarıma yönelik "geoteknik rapor"un tanımlanması ve kapsamında;
  - inceleme alanına ait jeolojik oluşumlar,
  - sondaj logları,
  - tipik zemin tabakalaşması,
  - yapı yükleri,
  - deprem etkisi altında zemin tabakalarının geoteknik tasarım parametreleri,

- bu parametrelerden yararlanarak yapı tipi, yapı davranışı ve temel sistemi ile uyumlu taşıma gücü ve zemin yer değiştirme değerleri,
- zemin iyileştirme ve/veya güçlendirmeye ihtiyaç duyulması halinde uygulama esaslarının tanımlanması ve uygulama sonrası yeni zemin sınıfı taşıma gücü ve yer değiştirme değerlerinin hesabı,
- temel tasarımında zeminlerin şişme davranışı, net temel basınçları ve kaldırma kuvvetlerinin dikkate alınması,
- geçici veya kalıcı temel kazılarında uygulanacak iksa sistemlerinin tasarımı için gereken zemin parametrelerinin hesabı,
- şev duraylılık problemi olan eğimli arazilerde yapılacak yapılarda şev duraylılığı analizleri yapılmalı ve kaymaya karşı alınacak uygun önlemler bulunmalıdır.

### 1.1. Zemin Parametrelerinin Belirlenmesi

Temel ve zemin yapılarının tasarımlarında kullanılan parametrelerin doğru tanımlanması gerekmektedir:

- geoteknik değerlendirmede yükleme hızı ve sahadaki zeminlerin geçirimsizlik koşullarına göre belirlenmiş drenajlı veya drenajsız koşullarla uyumlu mukavemet parametrelerinin belirlenmesi,
- deprem etkisinde oluşabilecek mukavemet kayıpları/yumuşama etkisi ve boşluk suyu basıncı artışları ve içsel sürtünme değeri azalması dikkate alınmış drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin bulunması,
- kayalar için tek eksenli basınç mukavemeti, jeolojik mukavemet indisi ve kaya kütle sınıflandırma parametreleri kullanılarak uygun mukavemet parametreleri verilmesi,
- malzeme güvenlik katsayılarının önerilmesi,
- analizlerde kullanılacak maksimum kayma modülünün ( $G_{max}$ ) bulunması,
- saha deprem davranış analizleri ve dinamik zemin yapı etkileşimi problemlerinde zemin sınıfı, kayma birim şekil değiştirme ile uyumlu kayma rijitlik modülü ve eşdeğer sönüm katsayısının bulunması,
- statik zemin yapı etkileşimi analizlerinde ise kayma birim şekil değiştirme ile uyumlu kayma rijitlik modülünün bulunması gerekir.

### 1.2. Zemin Sınıflarının Tanımlanması

Zemin araştırmalarından sonra temel zeminlerinin bir sınıflandırma sistemine göre sınıflandırılması ve buna göre sismik etkilerin belirlenmesi gerekir. Zemin sınıfı tanımlanmasının temel alt kotundan itibaren yapılması beklenir. Zemin profilinin üst 30 m'si için nasıl belirleneceği tanımlanmalıdır. Zemin sınıfını tanımlarken zemin tabakalarının eşdeğer kayma dalgası hızları,  $V_s$ , standart penetrasyon testi sonuçları,  $N_{60,30}$  ve serbest basınç mukavemeti,  $c_{u,30}$  değerleri esas alınmalıdır. Kaya profilleri için de kayma dalgası hızı,  $V_s$  kullanılmalıdır.

### 1.2. Zeminin Büyütme/Küçültme Etkileri

Deprem tehlikesine maruz bölgelerde, zeminlerde sahaya özel dinamik tepkileri (deprem sırasında oluşacak maksimum ivme, maksimum deformasyon, yüzeydeki ivme–zaman kayıtları vb.) tahmin edebilmek gerekmektedir. Farklı zeminler, maruz kaldıkları deprem yüklerini üst yapıya farklı şekillerde iletirler. Zemin kesitlerindeki değişiklikler, frekans özelliklerine bağlı olarak, bu deprem yüklerinin büyümesine (amplifiye olmasına) ya da küçülmesine (de-amplifiye olmasına) yol açabilir. Bu büyüme ve küçülmeler, zemin yüzeyinde farklı ivme–zaman değerlerine ve dolayısı ile farklı tepki spektrumlarının elde edilmesine sebep olmaktadır. Güncel deprem yönetmeliğinde farklı zeminlerde bu tür etkilerin tanımlanması gerekmektedir. Benzer deprem yönetmeliklerinde (BSSC2015, Eurocode 8-Part 5), maksimum yer ivmesi (PGA) ve spektral ivmeler cinsinden bu değerler mevcuttur.

### 1.3. Zemin Profilinin Sismik Talebi

Zemin profilinin sismik talebi yapısal hesaplarda kullanılmak üzere tasarım tepki spektrumu olarak belirtilmelidir. Tanımlanacak olan tasarım tepki spektrumu kısa periyottaki ( $S_{DS}$ ) ve 1.0 sn periyottaki ( $S_{D1}$ ) spektral ivme değerlerini içermelidir. Zemin sınıfının tasarım tepki spektrumuna etkileri yansıtılmalı ve uzun periyot geçiş bölgesine geçiş periyodu tanımlanmalıdır. Sahaya özel tasarım ivme spektrumunun belirlenmesi gereken durumların da belirtilmesi gerekmektedir.

#### 1.4. Özel Zemin Problemleri

Deprem sırasında temel altında derin ve yumuşak alüvyon tabakalarının yer alması nedeniyle zeminler doğrusal olmayan (nonlinear) davranış gösterebilmektedir. Deprem yükleri bazı koşullarda üst yapının doğrusal olmayan davranış göstermesine neden olabildiği gibi, derin ve yumuşak zemin tabakalarının da doğrusal olmayan davranış gösterebilmesine sebep olabilmektedirler. Bu nedenle deprem hareketinin yüzeyde büyüme etkilerinin belirlenmesinde yönetmelik kapsamında olmasa bile Ek kısmında yer alması tarafımca önemli görülmektedir.

Deprem etkisi altında zemin sıvılaşması değerlendirmesinin geçerli ve güncel yöntemleri hakkında yönetmelikte önerilerin bulunması gerekmektedir. Türkiye’de hazırlanan geoteknik veya jeoteknik etüd raporlarının oldukça büyük bir kısmında zemin sıvılaşması konusunda konuyla ilgili olarak kavram karmaşıklıklarının olduğu tarafımca gözlenmiştir. Bu nedenle özellikle zemin sıvılaşma tehlikesi değerlendirilmesi ve bunun üst yapılara etkisi konusunda mutlaka yönetmeliklerin kapsamında olmasa bile Ek kısmında mutlaka yol gösteren yaklaşımlara gereksinim duyulmaktadır.

## 2. YÜZEYSEL VE DERİN TEMELLER

Yapıların temel tasarımının ana amacı, statik varsa dinamik veya deprem etkisi altında temellerin yeteri kadar mukavemetli olması ve güvenle taşımasıdır. Aynı zamanda zeminde oluşacak kalıcı veya geçici yer değiştirmelerinde izin verilen sınırlar içinde kalmasına dikkate edilmek zorunluluğu vardır. Deprem sırasında veya sonrasında oluşan zemin şekil değiştirmeleri yapının ana fonksiyonu ile de uyumlu olmalıdır. Türkiye’deki depreme dayanıklı temel tasarımı konusunda güncel ve geçerli analizler yapabilmek için tasarım felsefesinin oldukça açık ve kararlılıkla ortaya konulması görüşündeyim. Analiz yaklaşımlarının dayanım veya şekil değiştirme esaslı mı olacağına karar verilmelidir. Performansa dayalı tasarım yaklaşımının her türlü temel tasarımında uygulanabileceği konusu önemlidir. Benimsenen yaklaşıma göre her türlü temel tasarımında tasarım istikrarla yapılabilir. Mevcut güncel yönetmeliklerdeki diğer tasarım yaklaşımları da incelenmeli (LFRD gibi) ve tercih yapılmalıdır.

Yönetmelikte temellere gelen etkilerin; yatay ve normal kuvvetler ve eğilme momentlerinin zemine aktarılması, temel tabanı ve yan yüzeylerde meydana gelecek sürtünme dirençlerinin ve toprak basınçlarının nasıl ele alınacağını açık olması gerekir. Temeller boyutlandırıldıktan sonra kayma göçmesine, taşıma gücü göçmesine ve lokal göçmelere göre kontrol edilmesi yer almalıdır. Yüzeysel ve derin temel tasarımının her türlü zeminde deprem dayanıklı tasarımını sağlayabilecek kapsamda olmalıdır.

Kazıklı temelerde deprem sırasında üst yapıdan aktarılan atalet kuvvetleri ile kazık ve çevre zemini arasındaki kinematik etkileşiminde nasıl göz önüne alınacağı konusunda yol göstermelidir. Tasarımda kullanılacak yöntemlerde kazık eğilme rijitliğinin, kazık boyunca oluşacak zemin reaksiyonlarının (tekrarlı yüklemeler altında şekil değiştirme seviyeleri dikkate alınarak) belirlenmesi, dinamik kazık grup etkisinin ve kazık ile kazık başlığı veya üst yapı birleşim noktasındaki dönmeleri göz önüne alabilecek olup olmaması konusunda bir şeyler söyleyebilir. Kazık aralarındaki zeminin iyileştirme yapılacaksa varsa iyileştirilmiş zemin parametrelerinin kullanılabilmesi hakkında bazı bilgilerin de bulunması uygun olur.

### 2.1 Zemin-Temel-Yapı Etkileşimi

Güncel deprem yönetmeliğinde deprem sırasında zemin davranışının üst yapı hareketini, yapı tepkisinin de zemin davranışını etkilemesi durumunun yani kısaca “*zemin-yapı etkileşimi*” nin göz önüne alınabileceği durumu iyi bir şekilde tanımlaması gerekir. Yapı-zemin etkileşiminin iki ana bileşeni olan eylemsizlik ve kinematik etkileşimin hangisinin daha önemli olabileceği durumlar ve yapı tipleri konusunda kapsamı önemlidir.

## 5. DAYANMA (İSTİNAT) YAPILARI VE ŞEVLER

Zemin, kaya ve su kütlelerini tutmak veya desteklemek için yapılan yapılar dayanma yapıları olarak tanımlanır. Dayanma yapılarının genel tasarımı ya da depreme dayanıklı tasarımı konusunda temelerde olduğu gibi

Yaklaşımların belirlenmesi önemlidir. Dayanma yapıları hangi limit denge durumlarında tasarlanacaktır. Tasarımda, geri dolgu malzemesi, suyun kütlesi, sürşarj yükleri, sızıntı kuvvetleri, çarpma ve darbe etkileri, sıvılaşma ve yanıl yayılma gibi ele alınacak etkiler, su seviyeleri, boşluk suyu basıncı değişimleri, yüklemdeki değişiklikleri, oyulma, çökme vb. gibi dikkate alınacak durumlar yer almalıdır. Tasarımda geçerli olabilecek limit ve servis durumları tanımlanmalıdır. Eğer varsa parametrelere ve dirençlere uygulanacak kısmi faktörler de yer almalıdır. Tasarımda toprak basınçlarının belirlenmesi çok önemlidir. Dayanma yapılarında depreme dayanıklı tasarımda kullanılacak yaklaşım ve yöntemler basitten karmaşığa doğru sıralanmalıdır, sismik etkiler ve yaklaşımların kullanılabilceği durumlar tariflenmelidir. Dayanma yapısı boyutlandırıldıktan sonra toptan göçmeye ve lokal göçmelere karşı duraylılığını koruyabildiği kontrol edilmeli ve bu yöntemler yönetmelikte yer almalıdır. Dayanma yapılarında yer alabilecek geçici ve kalıcı ankrajların da tasarım kuralları bulunmalıdır.

Güncel deprem yönetmeliğinde temel kazısı ve şevlerin limit durumları, göçme tipleri ve yenilme durumları, kısa ve uzun dönem duraylılık analizleri ve uygun analiz seçimleri konusunda da esaslar yer almalıdır. Zemin cinslerine göre yükleme kombinasyonları, analiz yaklaşımları ve sismik etkilerin tanımlanması gerekir.

Ayrıca mukavemet ve rijitlik açısından sorunlu zeminlerde yapılacak iyileştirmelerin zemin tiplerine göre en uygun seçim ve yapım yöntemleri hakkında gerekli olan tanımları ve değerlendirmeleri kapsamalıdır.

## **KAYNAKLAR**

AASHTO LRFD Load And Resistance Factor Design for Highway Bridge Structures,

Eurocode 7: Geotechnical Design- Part1: General Rules, 2004.

Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance- Part 5: Foundations, Retaining Structures and Geotechnical Aspects, 2004.

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2004) NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Building and Other Structures, Rep. No: 450-1(450-2, FEMA, Washington, D.C.

Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2015) NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Building and Other Structures, Volume 1: Part 1 Provisions, Part 2 Commentary, FEMA p-1050-1/2015. Washington, D.C.

TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Deprem Araştırma Dairesi, <http://www.deprem.gov.tr>