

# Geoteknik Etüt Raporlarındaki Yaygın Hataların Belirlenmesi ve İstatistiksel Değerlendirilmesi\*

## Özet

Zemin etüt raporlarında sunulan bilgilerin, yapılacak olan yapının tasarımı, maliyeti ve dayanıklılığı üzerindeki etkisi büyüktür. Bu nedenle etüt raporlarının kalitesi ve güvenilirliği önem arz etmektedir. Ancak ülkemizde, geoteknik mühendisliği ikinci plana itilmekte ve özellikle parsel bazındaki zemin etüt incelemelerine gereken önem verilmemektedir. Bu çalışmada, yapıların ruhsatına esas üstyapı projelerinin hazırlanması için gerekli olan ada/parsel bazında zemin-temel etüdü raporlarının incelenmesi yapılmış olup, bu raporlardaki yanlış/eksik arazi araştırmaları, laboratuvar çalışmaları, geoteknik hesaplar ve geoteknik öneriler tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, bulunan hata ve eksikliklerin istatistiksel değerlendirilmesi yapılmış, geoteknik mühendislerinin sıkça karşılaşılan hatalardan kaçınmasını kolaylaştıracak tavsiyeler ve çözüm yolları sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Geoteknik rapor, saha araştırmaları, arazi testleri, laboratuvar testleri, sığ temeller, geoteknik mühendisliği.

## 1. Giriş

Mühendislik yapıları zemin ile doğrudan ilişki halindedir. Yapıları oluşturan beton, çelik, tuğla gibi malzemeler insan yapımı olup, özellikleri istenildiği gibi ayarlanıp, istenilen şekilde tasarlanabilirler. Ancak, yapıların üzerinde veya içerisinde bulunduğu zemin hakkındaki bilgimiz kısıtlıdır ve zemin davranışlarını tam anlamıyla kontrol etme imkânımız yoktur (Shaik, 2007). Bu nedenle mühendislik yapılarının güvenilirliğini ve maliyetini büyük ölçüde belirleyecek olan zeminin çok iyi araştırılması ve karakteristiğinin olabildiğince doğru belirlenmesi gereklidir. Ancak ülkemizde zemin etüt incelemelerine gereken önemin verilmemesi ve özellikle az ve orta kat sayılı, ada/parsel bazındaki konut inşaatları için hazırlanan geoteknik etüt raporlarının yanlış, eksik, yetersiz oluşu zemin mühendisliğinin en büyük sorunlarından birisidir.

Bu çalışma, çeşitli zemin araştırma firmaları tarafından çoğunluğu Ankara ilinde olmak üzere Türkiye'nin değişik yerlerinde yapılan parsel bazındaki zemin-temel etütlerinin raporlarında yer alan hataların veya yanlış geoteknik önerilerin belirlenmesini, sınıflandırılmasını ve bu hataların istatistiksel değerlendirilmesini, bunlara ek olarak, sık karşılaşılan hatalardan kaçınmayı kolaylaştıracak tavsiyeler ve çözüm yolları önerilmesini kapsamaktadır. Ankara'nın merkez ilçe belediyelerinden (Altındağ, Çankaya, Etimesgut, Gölbaşı, Keçiören, Mamak, Sincan ve Yenimahalle) rastgele

\* Bu yazı, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi'ndeki aynı adlı bildiriden uyarlanmıştır.

toplanmış 60 adet zemin etüdü raporu ile çalışma kapsamındaki veri sayısını arttırmak ve bu çalışmanın sonuçlarını tüm ülkeye atfetmek amacıyla diğer şehir belediyelerinden elde edilen 6 adet rapor, 30 farklı teknik kritere göre incelenmiş ve değerlendirilmiştir. İnceleme sadece geoteknik açıdan yapılmış olup, jeoloji ve jeofizik ile ilgili kısımlar dâhil edilmemiştir.

## 2. Geoteknik Rapor Formatı

Saha ve laboratuvar çalışmalarının sonunda geoteknik raporun hazırlanması ve bu raporun belli bir formatla sunulması da en az araştırma çalışmaları kadar önem taşımaktadır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından kabul edilen ve ülkemizde kullanılmaya devam edinilen zemin ve temel etüdü raporu genel formatı aşağıdaki gibidir (Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 2005):

1. Genel Bilgiler
  - 1.1 Etüdün Amacı ve Kapsamı
  - 1.2 İnceleme Alanının Tanıtılması
  - 1.3 Jeoloji
2. Arazi Araştırmaları ve Deneyleer
  - 2.1 Arazi, Laboratuvara ve Büro Çalışma Metotlarının Tanıtılması
  - 2.2 Araştırma Çukurları
  - 2.3 Sondaj Kuyuları
  - 2.4 Yeraltı ve Yerüstü Suları
  - 2.5 Arazi Deneyleeri
3. Laboratuvar Deneyleeri ve Analizler
  - 3.1 Zeminlerin İndeks / Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi
  - 3.2 Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi
  - 3.3 Kayaların Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi
4. Değerlendirme
  - 4.1 Bina-Zemin İlişkisinin Belirlenmesi
  - 4.2 Zemin ve Kaya Türlerinin Değerlendirilmesi
5. Sonuç ve Öneriler
6. Ekler ve Referanslar

Bu format genel itibariyle mühendisler mantıklı bir şablon teşkil etmiştir ve bu şablona mühendisler tarafından kolayca uyulmaktadır. Ancak bu konuda başka hiçbir bağlayıcı dokümanın olmaması, görünümde bu şablona uyan fakat içerik olarak yetersiz raporların yazılmasını olağanlaştırmış, etüt raporlarını denetleme mekanizmalarını da sadece rapor başlıklarının formata uygunluğunu kontrol eder hale getirmiştir.

## 3. Saha Araştırmaları ile İlgili Kriterler

Saha araştırmaları, çalışılacak saha hakkında bilgi toplamayı, toplanan verilerin yorumlanmasını ve raporlanmasını kapsar. Saha çalışmalarının amacı; güvenli, verimli ve ekonomik tasarımlar yapabilmek için söz konusu yapının oturacağı zemin ile ilgili olarak jeolojik ve geoteknik bilgilerin toplanması ve değerlendirilmesidir. Saha araştırmalarının hem proje sahasındaki zemin ve arazi şartlarına, hem de yapılması düşünülen yapıya uygun bir şekilde tasarlanıp, düzgün bir şekilde tatbik edilmesi gereklidir. Yetersiz ya da uygun olmayan zemin etüt incelemelerinin inşaat gecikmeleri, ekstra maliyetler ve hatta yapısal çöküş gibi problemlere sebebiyet verebileceği unutulmamalıdır. Institution of Civil Engineers (1991), Littlejohn vd.(1994), Whyte (1995), zemin mühendisliği riskinin inşaat mühendisliği ve bina projelerindeki en önemli teknik ve finansal risklerden biri olduğunu öne sürmektedirler. Ekstra maliyet ve bina yıkılma riskini azaltmak için, arazi çalışmaları için ayrılan ve genellikle toplam maliyetin %0,1 ile %0,2 arasında değişen (Building Research Establishment, 1987) bütçenin arttırılması gerekmektedir. Ancak, günümüzdeki genel saha araştırmaları minimum harcama ile maksimum hızda gerçekleştirilmektedir. Bu da şüphesiz ki düşük kalitede çalışmalar ve doğru olmayan tasarım parametreleri ile sonuçlanmaktadır. ABD'deki National Research Council (1984)'e göre toplam proje tutarının %3'ü saha araştırmaları için ayrılmalıdır.

### 3.1. Ofis Ön Çalışmaları

Zemin etüdünden önce yapılacak ofis çalışması ve arazi gezisi, saha araştırmalarındaki gerekli iki içeriktir. Ofis ön çalışmaları, arazi etütlerindeki maliyeti düşürmede en önemli bölümdür (Clayton vd., 1995). Ofis ön çalışmasında, ilgili arazinin hali hazır jeolojik haritaları, ilgili kesim için daha önce hazırlanmış jeolojik raporları, hava fotoğrafları ve hidrojeolojik özelliklerini içeren dokümanlar toplana-

nır ve olası problemler değerlendirilir. Arazi gezileri ile toplanan dokümanlardaki bilgiler yoğrulur ve olası problemler yerinde gözlenir. Ofis çalışmaları ve arazi gezileri neticesinde oluşturulan saha etüt planlamalarında, inşa edilecek yapının mimari özellikleri, boyutları, temel-bodrum derinliği gibi özellikler dikkate alınmalıdır.

### 3.2. Yeraltı Araştırmaları

Yeraltı araştırmaları, özel ekipmanlar kullanılarak çalışılacak saha hakkında detaylı bilgi edinmeyi kapsar. Yeraltı araştırmaları aşağıdaki sebeplerden dolayı gerçekleştirilir (Clayton vd., 1995):

- Katmanların genel özelliklerini belirlemek
- Zeminin yanal ve düşeydeki değişkenliğini ortaya koymak
- Laboratuvar deneyleri için numune almak
- Arazi deneyleri yapmak
- Yerinde basınç ve deformasyon ölçümleri yapmak

Saha araştırma metodlarının türü, yerleşimi ve sayısı proje tasarımının ihtiyaçlarını karşılamalıdır. Sondaj ve araştırma çukurlarının yerleri ve sayıları arazi ve zemin şartları ile inşası planlanan yapıya bağlıdır. Parselde yapı yerleşiminin belli olduğu durumlarda etüt noktaları yerlerinin seçimi bu konuma göre yapılmalıdır. Büyük parsellerde (>1000 m2) yapı planının dört köşesi ve ortasında birer sondaj, daha küçük parsellerde, çok değişken zemin koşullarının bulunduğu haller dışında, her 300 m2 için en az bir adet sondaj yapılması doğru olur (Ergun vd., 2005). Tüm etüt noktalarının kot ve koordinat bilgileri geleneksel ölçme yöntemleri kullanılarak ya da bir küresel konumlandırma sistemi (GPS) ile belirlenmeli ve kaydedilmelidir. Bu, gerektiğinde doğru bir zemin profili oluşturulabilmesi ve etüt noktaları arasındaki zemin koşullarının düzgün yorumlanabilmesi açısından önemlidir.

Sondaj derinliğinin belirlenmesi yapı ve temel şartlarına bağlıdır. Bina temelleri için genel olarak temel tabanından başlayarak bina genişliğinin en az bir buçuk katı kadar derinliğe veya yüksek dayanımlı bir zemin tabakası ile karşılaşmadığı sürece temel taban basıncının zemindeki gerilmenin %10'u mertebesine düştüğü derinliğe kadar inmek gerekir (Ergun vd., 2005). Özdemir (2005)'in önerileri ise aşağıdaki gibidir:

- Sondaj zeminde devam ediyorsa, sondaj derinliği en az 12 metre olmak kaydıyla, 3 kez üst üste SPT-N>50 değeri elde edilene kadar sondaja devam edilmelidir. Sondaj derinliği hiçbir şekilde 12 metreden, bodrumlu binalarda 15 metreden, yapı yüksekliği on kat ve daha fazla olan yapılarda 20 metreden az olmamalıdır.
- Sondajlarda kayayla karşılaşıldığı takdirde bu tabakada en az 3 metre ilerlenmeli ve karotlu örnek alınmalıdır. Eğer kaya çatlaklı bir özellik gösterirse, bu tabakada en az 5 metre ilerlenmelidir.

Burada sunulan çalışma kapsamında, zemin etüt raporlarında sunulan yeraltı araştırmalarının tasarlanan projeye uygunluğu, koordinat ve derinlik bilgilerinin sunumu yukarıda anlatılan esaslar çerçevesinde Tablo 1'de sunulan sorular ile kontrol edilmiştir.

**Tablo 1** - Ofis çalışmaları ve yeraltı araştırmaları ile ilgili kriterler ve sonuçların yüzdesel değerleri

	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>	<b>Diğer</b>
Proje bilgisi var mı? (Yerleşim planı, yapı boyutları, kat adedi)	%9	%14	%77 sadece kat bilgisi
Sondajlar yatayda düzgün dağıtılmış mı?	%14	%7	%79 bilgi yok
Sondajlar yeterli sayıda mı?	%73	%27	-
Sondajlarda yeterli derinliğe inilmiş mi?	%32	%68	-
Sondajların kot, koordinat bilgileri verilmiş mi?	%2	%98	-

Tablo 1 incelendiğinde, ofis ön çalışmalarının ve arazi etüt planlarının ne denli yetersiz olduğu gözlemlenmektedir. Yapılması düşünülen yapının oturma alanı, kat sayısı, temel-bodrum derinliği

gibi bilgiler raporların sadece %9'ünde sunulurken, %14'ünde hiçbir bilgi verilmemiştir. Raporların %77'sinde ise sadece kat bilgisi verilerek bu kısım geçiştirilmiştir. Aynı özensizliğin sondaj yerlerini, sayılarını ve derinliklerini planlarken de sürdürüldüğü görülmektedir. Sadece bir raporda kot ve koordinat bilgilerinin verilmesi dikkat çekici olup, %79'unda ise arazide nerede tatbik edildikleri ölçekli bir plan üzerinde gösterilmemiştir. Arazi etütlerinin birçoğunda ise hem sondaj sayıları hem de derinlikleri yetersizdir.

### 3.3. Numune ve Karot Alımı

Zemin ve kayaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin laboratuvar ortamında belirlenebilmesi için numune ve karot alımı gerçekleştirilir. Laboratuvar deneylerinde doğru sonuçların elde edilebilmesi için numune alım standartlarına uyulmalı, kuyu temizliği ve numunelerin korunması gibi hususlara dikkat edilmelidir. Arazide genellikle uygulanan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) neticesinde elde edilen örselenmiş numune alma sıklığı her 1,5 metrede 1 adet olarak gerçekleştirilir. Örselenmemiş numune almaya müsait zeminlerde ise SPT numuneleri ile bilgi toplanan profilde her tabakanın özelliklerini belirlemeye yönelik yeterli sayıda ve zeminin kıvamına göre ince cidarlı tüp veya pistonlu tüple örselenmemiş numune alınmalıdır (Ergun vd., 2005). Zemin profilinde temel altında homojen ve derin bir kohezyonlu tabaka olması durumunda üçer metre arayla örselenmemiş tüp numune alınmalıdır. Tabakalı zemin durumunda ise örselenmemiş numune almaya uygun her tabakadan en az bir adet numune alınmalıdır. Kaya sondajlarında ise formasyonun özelliğine göre karotiyer ve vidye tipi seçilmelidir. Toplam karot verimi (TCR) ve kaya kalitesi (RQD) değerleri belirlenmelidir.

Çalışmanın bu konudaki kriterleri kapsamında laboratuvar çalışmaları için proje sahasından alınan numunelerin sayı ve sıklıkları, inceleme alanının zemin yapısı da göz önünde bulundurularak kontrol edilmiş olup, sonuçlar Tablo 2'de sunulmaktadır.

Numune ve karot alımı konusunda raporlarda sıklıkla gözlenen bir durum, çoğunlukla yüzeyden iki-üç metre derinlikte 1-2 adet örselenmemiş numune alınıp, daha derinlerden numune alınmamasıdır. Temel alt kotundan başlanmak suretiyle, belirli aralıklarla ve tabakalaşma mevcut ise uygun her tabakadan örselenmemiş numune alımı gerekli iken, raporların tamamına yakınında bu hususa dikkat edilmediği görülmektedir.

### 3.4. Yerinde Yapılan Geoteknik Deneyler

Yerinde yapılan geoteknik deneylerinin amacı, zemin mühendislik özellikleri ile ilgili arazide direkt olarak bir fikir edinmektir. Arazi deneyleri, sahada doğru bir şekilde tatbik edildikleri takdirde, en düşük seviyede örselenme oluşturacaklarından zemin incelemelerinde önem ve öncelik taşırlar (Ergun vd., 2005). Analitik ve numerik hesaplarda kullanılacak zemin parametreleri ya arazi deney sonuçlarından korelasyonlar yoluyla ya da laboratuvar deneylerinden elde edilmekte olup, olağan şartlarda numune alma imkânı bulunmayan iri taneli zeminlerde, yerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar tek kıstastır. Bu nedenle yerinde yapılan deneylerin uygulanış kurallarına dikkat edilmelidir. Ayrıca, zemin özelliklerinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için yerinde yapılacak deney seçimlerinde hangi tip deneyin uygulanacağına, arazinin jeolojisine, topoğrafyasına, zeminin ve yapının türüne göre karar verilmeli, uygun deneyler seçilmelidir. Ülkemizde yapılan başlıca arazi testleri, Standart Penetrasyon Testi (SPT), Koni Penetrasyon Testi (CPT) ve Presiyometre Testidir (PMT).

Ülkemizde en çok uygulanan deney olarak öne çıkan standart penetrasyon testi (SPT), birçok zemin tipi üzerinde uygulanabilir. Ancak çakıllı veya yumuşak kil zeminlerde kullanılmamalıdır (Mayne vd., 2001). Hızlı uygulanabilir ve ucuz bir test olan SPT, hem örselenmiş numune elde etmemizi sağlar, hem de zemin parametrelerini tespit etmemizi kolaylaştıran SPT değeri (N değeri) sunar. Ancak, elde edilen ham SPT değerlerine enerji, tij boyu, kuyu çapı vb. düzeltme faktörleri uygu-

**Tablo 2** - Numune ve karot alımı ile ilgili inceleme kriterleri ve sonuçların yüzdesel değerleri

	<b>Evvet</b>	<b>Hayır</b>
Her tabakadan örselenmemiş numune alınmış mı?	%7	%93
Kayada karot alınmış mı?	%86	%14
Alınan numune veya karot sayıları yeterli mi?	%17	%83
Karot parametreleri belirtilmiş mi? (RQD, TCR)	%100 RQD, %75 TCR	

**Tablo 3** - Yerinde yapılan geoteknik deneyler ile ilgili kriterler ve sonuçların yüzdesel değerleri

	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>
Yapılan arazi deneyi zemin türüne uygun mu?	%87	%13
SPT düşeyde yeterli sıklıkta yapılmış mı?	%79	%21
Ham SPT değerlerine düzeltme faktörleri uygulanmış mı?	%29	%71

siyometre testi (Ergun vd., 2005) ise diğer arazi deneylerinin daha pratik ve ekonomik oluşu nedeniyle, ülkemizde henüz tamamıyla standart testler arasına girememiştir. Ancak, kritik durum arz eden özel zemin etütlerinde mutlaka presiyometre deneyinden faydalanılmalıdır (Gürsoy, 2008).

Geoteknik etüt raporlarında sunulan yerinde yapılan deney verileri incelenmiş olup, tatbik edildikleri zemine uygunlukları, sayıları, sıklıkları ve elde edilen ham verilerin düzeltme kriterleri zemin yapısı da göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Sonuçlar Tablo 3'de sunulmaktadır.

Yerinde yapılan geoteknik deneyler ile ilgili incelemelerde, SPT'den başka herhangi bir arazi deneyine yer verilmediği görülmüştür. "Yapılan arazi deneyi zemin türüne uygun mu?" sorusuna karşılık %87 oranında olumlu bir cevap alınmasının nedeni, araştırma konusu saha için uygun arazi deneyinin araştırılıp seçilmesi değil, SPT deneyinin birçok zemin tipine uygun olmasıdır. Zemin tipine uygun arazi deneyinin seçilmediği, uygulanmadığı, SPT deneyinin her türlü zemin ve kaya ortamında uygulandığı saptanmıştır. Raporların %71'inde, arazide elde edilen ham SPT değerlerine (N değerleri) hiçbir düzeltme faktörü uygulanmamış, kullanılan test sisteminin enerji verimi hakkında bilgi dahi verilmemiştir.

### 3.5. Laboratuvar Deneyleri

Geoteknik laboratuvar deneylerinin yapılmasının amacı, elde edilen numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenerek zemin tanımlanmasının yapılması ve temel tasarımları için gerekli mühendislik parametrelerinin elde edilmesidir (US Army Corps of Engineers, 2001). Numune kalitesi sağlandığı sürece, arazi deneylerine kıyasla kontrollü koşullarda yapılan laboratuvar deneylerinde mühendislik parametreleri en hassas şekilde ölçülebilir. Güvenli ve ekonomik temel tasarımları yapılabilmesi için araziden gelen numunelerin amaca uygun olması ve laboratuvar testlerinin yeteri kadar uygulanması gerekmektedir.

Yapılacak olan laboratuvar deneyleri etüt alanındaki ortam özelliklerini en çok 2 metre aralıklar ile tanımlayacak şekilde programlanmalıdır (Ergun vd., 2005). Buna göre bütün örselenmiş ve örselenmemiş numunelerde yapılacak deneyler, zemin sınıflandırma deneyleri olan doğal su içeriği, kıvam limitleri ve elek analizi deneyleridir. Sınıflandırma deneyleri zeminin mukavemeti, geçirgenliği, sıkıştırılabilirliği, şişme/büzülme potansiyeli gibi birçok fiziksel özelliği hakkında fikir verir. Örneğin, yüzeysel temel altında bulunan kil tabakasının suya doygunluk derecesi %100 ise, bu tabakanın yüksek derecede sıkışabilir olması muhtemeldir. Ancak, aynı kil tabakasının %5 su içeriği var ise, o zaman bu kuru kil tabakasının şişme potansiyeli yüksek, üzerindeki temele yukarı yönlü bir kuvvet uygulaması olasıdır (Day, 2006). Eğer ki ince taneli parçacıkların zemin içerisindeki dağılımı yüksek oranda ise sıvılaştırma tehlikesinin belirlenmesi amacıyla ilk 15 metrede de bütün numuneler üzerinde pipet veya hidrometre deneyi yapılmalıdır.

Mühendislik özellikleri ile ilgili laboratuvar deneyleri zeminin ve inşası düşünülen yapının özelliklerine göre planlanmalıdır. Yüksek su içerikli veya suya doygun ince taneli zemin numuneleri üzerinde yapılan konsolidasyon (ödometre) deneyi, sıkıştırılabilirlik katsayılarını ( $C_c$ ,  $C_s$ ,  $C_r$ ) belirler. Zemin tabakasının elastik özelliklerini tam olarak kavrayabilmek ve doğru konsolidasyon oturması hesapları yapabilmek için deneylerden bazıları esnasında boşaltma-yeniden yükleme işlemi yapılmalıdır. Kohezyonlu zeminlerin drenajsız kesme dayanımını belirlemede tek eksenli serbest basınç deneyi ve konsolidasyonsuz-drenajsız (hızlı) üç eksenli basınç deneyi kullanılmaktadır. Elde edilen örselenmemiş tüp numuneler üzerinde en uygun basınç deneyi uygulanmalı, mümkün ise yukarı-

lanmalı, gerekli zemin koşullarında ise su tablası ve jeolojik yük düzeltmeleri uygulanarak doğru sonuçlar elde edilmelidir.

Penetrometre testleri arasında en başarılı yöntem olan koni penetrasyon testi (CPT), yumuşak kil, silt, kum ve ince çakıl gibi zeminlerde başarıyla uygulanırken; bol çakıllı, bloklu zeminlerde ve çok sıkı zeminlerde uygun değildir (Das, 2011). CPT kolay ve hızlı uygulanmasının yanı sıra sürekli olarak kayıt olanağı sağlar.

Yumuşak kaya ve her tür zeminde, temellerin tasarımında en etkin deneylerden biri olan pre-

da belirtilen her iki deney de yapılmalıdır. Bu sayede, numune alımlarında veya laboratuvar testleri sırasında oluşabilecek hatalar elde edilen sonuçları karşılaştırmak suretiyle belirlenebilir. Kaya karot numuneleri üzerinde ise, kaya kalitesinin (RQD) uygun olması durumunda her 3 metrede bir tek eksenli basma veya nokta yükleme deneyi, birim hacim ağırlık/porozite tayini ve projenin önemine göre ek deneyler yapılmalıdır (Ergun vd., 2005).

Çalışmanın bu kısmında, zemin etüt raporlarında sunulan laboratuvar deney sonuçları incelenmiştir. Deney tiplerinin zemin yapısına ve projeye uygunluğu, yapılan laboratuvar deneylerinin sayı ve sıklıkları kontrol edilmiş olup, raporlarda sunulan test sonuçları irdelenmiştir (Tablo 4).

**Tablo 4** - Laboratuvar deneyleri ile ilgili inceleme kriterleri ve sonuçların yüzdesel değerleri

	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>
Laboratuvar testleri her bir katman için yapılıyor mu? (mühendislik parametreleri belirlenmesi)	%3	%97
Laboratuvar testleri her bir katman için yapılıyor mu? (İndeks ve sınıflandırma)	%17	%83
Konsolidasyon deneyi var mı?	%70	%30
Konsolidasyon deneyinde boşaltma-yeniden yükleme işlemi yapılmış mı?	%0	%100
Üç eksenli basınç deneyi yapılmış mı?	%49	%51
Yenilme zarfının belirlenmesinde üç adet Mohr dairesi kullanılmış mı?	%0	%100
Mohr daireleri birbirinden yeterince uzak mı?	%67	%33
Üç eksenli deney sonucuna göre yenilme zarfı düzgün/uygun çizilmiş mi?	%83	%17
Karot örnekleri üzerinde hangi laboratuvar testleri yapılmış? (Nokta yükleme deneyi, Tek eksenli basınç dayanımı)	%96 nokta yükleme %4 tek eksenli sıkışma	

Laboratuvar deneyleri ile ilgili kriterler incelendiğinde tablonun, diğer aşamalar gibi yeterli seviyede olmadığı rahatlıkla söylenebilir. Yeterli miktarda örselenmemiş numune alınmamasının sonucu olarak mühendislik özellikleri ile ilgili laboratuvar deneylerinin gerekli sayıda yapılmadığı gözlemlenmektedir. Uygun olan numunelerin neredeyse üçte birinde konsolidasyon testi yapılmadığı, yapılan konsolidasyon testlerin hiçbirinde ise boşaltma-yeniden yükleme döngüsünün uygulanmadığı görülmüştür. Yine uygun olan numunelerin %51'inde üç eksenli basınç deneyi yapılmamıştır. Kaya birimlerinden çoğunlukla karot numunesi alınmış, RQD-TCR değerleri belirlenmiştir. Ancak, yalnızca %4'ünde tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Kaya dayanım parametreleri sadece nokta yükleme deneyi ile elde edilmeye çalışılmıştır.

#### 4. Temel Tasarımı ile İlgili Kriterler

Temel, üzerine gelen yapı yüklerini destekleyen ve altındaki zemine ileten yapı elemanıdır (Day, 2006). Temeller genellikle iki gruba ayrılır: yüzeysel (sığ) temeller ve derin temeller. Temel tipi seçimi ve temel tasarımı genel olarak iki ana faktöre dayanır. Bunlar, taşıma gücü kapasitesi ve izin verilebilir oturma miktarıdır.

Taşıma gücü, temel yapısının zeminde kırılmaya sebebiyet vermeden, zemine aktarabileceği maksimum taban basıncıdır. Taşıma gücü kapasitesi genellikle Terzaghi, Meyerhof veya başka araştırmacılar tarafından önerilen denklem ve faktörler ile belirlenmektedir. Taşıma gücü hesabı için kullanılacak kayma direnci parametrelerinin arazideki gerilme ve drenaj şartlarına uygun laboratuvar deneylerinden elde edilmesi gerekir. Ayrıca literatürde, kayma dayanımı ve zemin parametreleri ile yerinde yapılan SPT, CPT, PMT gibi arazi deneyleri arasında uluslararası kabul görmüş bağıntılar mevcuttur. Laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler ile arazi deneyleri sonuçları kullanılarak elde edilen veriler karşılaştırılmalı, idealize zemin profili oluşturularak söz konusu yapı için gerçekleştirilecek analizlerde kullanılacak geoteknik tasarım parametreleri belirlenmelidir. Ancak, incelenen 66 adet zemin etüt raporunun birçoğunda taşıma gücü hesapları ya sadece laboratuvar

sonuçlarına göre ya da sadece arazi deney verilerine göre yapılmıştır. Zemin parametrelerinin belirlenmesinde arazi deneyleri kullanılmamıştır. Raporlarda gözlenen diğer bir yanlışlık ise sunulan izin verilebilir taşıma gücü değerleri ile ilgilidir. İzin verilebilir taşıma gücü değerleri, direkt olarak taşıma gücü kapasitesinin güvenlik katsayısına bölünmesiyle bulunmuştur. Ancak, izin verilebilir taşıma gücü sadece kaymaya karşı olan güvenliği değil, aynı zamanda kabul edilebilir oturma kriterini de kapsamaktadır. Bu nedenle temel tipi seçiminde ve temel tasarımında, hem taşıma kapasitesine karşı olan güvenlik değerleri hem de oturma limitleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Zeminlerde ani oturma, birincil konsolidasyon oturmaları ve ikincil konsolidasyon oturmaları olmak üzere üç çeşit oturma tipi vardır. Toplam oturmalar bunlardan biri veya daha çoğunlukla bir kaçının bileşimi olarak ifade edilir. Ani oturma analizleri, suya doygunluk derecesi yüzde 90'dan az olan ince taneli zeminlerde ve bütün kaba taneli zeminlerde kullanılmaktadır (Bowles, 1996). Birincil konsolidasyon oturmaları, suya tam ya da yaklaşık olarak doygun olan ince taneli zeminlerde kullanılmaktadır. İkincil konsolidasyon oturmaları ise her zemin türünde görülen zamana bağlı ve miktarı nispeten küçük oturmalardır. Buna göre, farklı zemin tipleri veya katmanları için uygun olan oturma analizleri yapılmalı, hem toplam oturma miktarının hem de oturma farklarının belli (izin verilebilir) değerleri aşmadığı kontrol edilmelidir. Ancak, incelenen geoteknik etüt raporunun birçoğunda bahsedilen tarzda bir uygulama yapılmadığı, bazı raporlarda ise hiçbir oturma analizine yer verilmediği gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında, etüt raporlarında sunulan taşıma gücü kapasitesi ve temel oturma hesapları incelenmiş, laboratuvar ve arazi deneylerinden elde edilen sonuçların hesaplarda ne denli doğru olarak kullanıldıkları irdelenmiştir. Elde edilen sonuçların yüzdesel değerleri Tablo 5'de sunulmaktadır.

Temel tasarımı ile ilgili kriterleri ve yüzdesel sonuçları içeren Tablo 5 incelendiğinde, zemin etüt raporlarının neredeyse tamamında idealize zemin profilinin oluşturulmadığı görülmektedir. Ayrıca, geoteknik hesaplarda kullanılan ve temel tipi seçimi ile tasarım esaslarını doğrudan etkileyen zemin parametreleri, raporların %91'inde tek bir teste veya metoda bağlı kalınarak elde edilmiştir. İncelenen raporların hiçbirinde SPT'den başka arazi deneyine rastlanılmamış, kapsamında SPT olan raporlarda ise SPT sonuçlarının sadece %32'sinin taşıma kapasitesi hesaplarında kullanıldığı tespit edilmiştir. Zeminin yerindeki özelliklerini güvenilir şekilde yansıtan arazi deneyi sonuçlarının, etüt raporlarının birçoğunda hiç dikkate alınmaması şaşırtıcıdır. Raporların %78'sinde ise zemin taşıma kapasitesi hesaplarında izin verilen oturma limitlerinin göz önünde bulundurulmamıştır. Ayrıca, incelenen raporların üçte birinde taşıma kapasitesi veya oturma hesapları hatalıdır. Yapı yükünün zeminde oluşturduğu gerilmenin, derinlikle sönümlenmesi sadece bir raporda göz önünde bulundurulmuştur. Zemin yatak katsayısının belirlenmesinde temel boyutları hesaba katılmamış, ilgili korelasyonlardan yararlanılmamış, sadece tablolardan katsayı seçimi yapılmıştır.

**Tablo 5** - Temel tasarımı ile ilgili inceleme kriterleri ve sonuçların yüzdesel değerleri

	<b>Evet</b>	<b>Hayır</b>
İdealize zemin profili oluşturulmuş mu?	%3	%97
Zemin parametreleri birden fazla şekilde bulunup ortalamaları alınmış mı? ( $c_v$ , $\phi$ , $E$ , $m_v$ )	%9	%91
Taşıma kapasitesi hesaplarında SPT sonuçları kullanılmış mı?	%32	%68
Temel taşıma gücü hem taşıma kapasitesi hem de oturma limitleri yönünden hesaplanmış mı?	%22	%78
Taşıma kapasitesi ve oturma hesapları doğru mu?	%67	%33
Taşıma kapasitesi ve oturma hesapları aynı temel ebatları için hesaplanmış mı?	%29	%71
Gerilme sönümlenmesi hesaplanmış mı?	%2	%98
Hesaplarda kullanılan temel alt kotu uygun mu?	%67	%33
Yatak katsayısının belirlenmesinde temel boyutları hesaba katılmış mı?	%0	%100



## 5. Sonuç ve Öneriler

Söz konusu çalışma için Ankara'nın merkez ilçe belediyeleri ile diğer şehir belediyelerinden (Antalya, Çankırı, Çorum, İskenderun, Kırıkkale ve Konya) toplanan bina statik hesaplarına esas olacak parsel bazında hazırlanan zemin etüt raporları incelenmiş, incelemelerde yukarıdaki tablolarda sunulan toplam 30 kriter göz önünde bulundurulmuştur. Sonuç olarak, araştırma programının ekonomik ve proje gereksinimlerini karşılayacak yeterliliğe sahip olabilmesi için, proje sahası ile ilgili mutlaka ofis çalışmaları yapılarak ön bilgi toplanmalıdır. Sondaj derinlikleri ve sıklığı belirlenirken bölgenin jeolojik yapısı, depremselliği ve inşası planlanan yapının zemine uygulayacağı yük ve zemindeki gerilme dağılımı mutlaka hesaplanmalıdır.

Yerinde yapılan geoteknik deneyler, eğitilmiş teknisyenlerce, deneyimli mühendis kontrolünde yapılmalıdır. Numune alımında kullanılan sondaj ekipmanlarının kalitesine özen gösterilmelidir. Yerinde yapılan geoteknik deneyler sık aralıklarla yapılmalı ve alınan numuneler üzerinde gerekli laboratuvar testleri gerçekleştirilmelidir. Örselenmemiş numunenin sayısının artırılmasına özen gösterilmeli ve temel altı oturumların hesaplanabilmesi için uygun zeminlerden alınan örnekler üzerinde mutlaka konsolidasyon deneyi gerçekleştirilmelidir. Konsolidasyon deneyi yüklemelerinde bina yükü göz önünde bulundurulmalıdır. Yine uygun zeminlerden alınan örnekler üzerinde konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli basınç deneyi mutlaka yapılmalıdır. Söz konusu deneyin zeminin kısa dönem (drenajsız) parametrelerini belirlemek için yapıldığı unutulmamalı ve suya doygun kohezyonlu zeminlerin yenilme zarfının  $\phi=0^\circ$  olacak şekilde çizilmesine özen gösterilmelidir. Alınan karot numuneleri üzerinde tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve nokta yükleme deneyleri gerçekleştirilmelidir.

Zemin dayanım parametreleri belirlenirken, hem laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar, hem de arazi değerlerinin ampirik yaklaşımları ile belirlenen mukavemet değerleri göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, numerik modelleme ile hesap kontrolünün gerçekleştirilmesi için, mutlaka gerçekçi yaklaşımlara sahip bir idealize zemin profili oluşturulmalıdır.

Netice itibarıyla ülkemizde geoteknik etüt raporlarının sadece zorunlu bir prosedür olarak görüldüğü açıktır. Güvenli ve ekonomik yapıların inşa edilebilmesi için zemin etütlerine daha çok önem verilmesi ve hem meslek odalarının hem de devlet kurumlarının denetimlerini ciddiyetle ve daha fazla vakit kaybetmeden arttırması gerekmektedir.

Raporların tamamı jeofizik veya jeoloji mühendisleri tarafından hazırlanmış olup, bu durum özellikle eğitimini almadan yapmayı denedikleri temel hesapları ve tasarımı kısmında yüksek hata oranlarıyla kendini göstermektedir. Zemin etüdü raporunun nihai muhatabı inşaat mühendisleri olacağı için, hazırlanmasında ve/veya denetlenmesinde inşaat mühendislerinin sisteme dâhil olması teknik ve mantıklı bir zorunluluktur.

## Kaynaklar

- Bayındırlık ve İskân Bakanlığı (2005), *Bina ve Bina türü Yapılar için Zemin ve Temel Etüdü Raporu Genel Formatı*, <http://www.csb.gov.tr/turkce/dosya/zemin.pdf> [ziyaret tarihi 27 Ocak 2013].
- Bowles, J. E. (1996), *"Foundation Analysis and Design"*, McGrawhill, Fifth Edition
- Clayton, C.R.I., Matthews, M.C., Simons, N.E. (1995), *"Site Investigation"*, Department of Civil Engineering, University of Survey.
- Das, B. M. (2011), *"Geotechnical Engineering Handbook"*, J. Ross Publishing Co., USA.
- Day, R. W. (2006), *"Foundation Engineering Handbook"*, The McGrawhill Companies.
- Ergun, U., Özkan, Y., Önalp, A., Keçeli, A. (2005), *"Parsel Bazında Zemin-Temel Etütleri ve Zemin İyileştirme İşleri Hakkında Yönetmelik Taslağı Ön Raporu"*, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Gürsoy N. (2008), *"Jeoteknik Etütlerde Presiyometre Deneyi"*, Haziran 2008.
- Institution of Civil Engineers (1991), *"Inadequate Site Investigation"*, London.
- Littlejohn, G. S., Cole, K. W. and Mellors, T. W. (1994). *"Without Site Investigation Ground is a Hazard"*, Proc. Instn. Civil Engrs., Vol. 102, May, pp. 72-78.
- Mayne, P. W., Christopher, B. R., DeJong, J. (2001), *"Manual on Subsurface Investigations"*, Federal Highway Administration, Washington D.C.
- Özdemir, A., Ülgen, D., Özkan, Y. (2007), *"Ülkemizde Yapılan Geoteknik Etüt Sondajları İle İlgili Bazı Değerlendirmeler"*, İnşaat Mühendisleri Odası 2. Geoteknik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s. 473-479.
- Shaik, A.W. (2007), *"Towards More Reliable Site Investigation Information"*, Jurutera Perunding GEA (M) Sdn Bhd, Malaysia.
- U.S. Army Corps of Engineers (2001), *"Geotechnical Investigations"*, Engineering Manual.
- U.S. National Research Council (1984), *"Geotechnical Site Investigations for Underground Projects"*, Washington, D.C.
- Whyte, I. L. (1995), *"The Financial Benefit From Site Investigation Strategy"*, Ground Engineering, Oct., pp. 33-36.