

3.2 ENDÜSTRİYEL BETONLARIN OTURDUĞU ZEMİN ÖZELİKLERİ

Her yapı, yüklerinin tamamını zemine aktarır. Yapı ister küçük ölçekte bir bina olsun isterse yol ve baraj gibi daha geniş çaplı olsun inşaat mühendisleri zemin ile ilgili geoteknik inceleme yapmak ve bu deney sonuçlarına göre yapı zemini hakkında karar vermek zorundadırlar. Elde edilen bilgiler ışığında zeminin, yapı yüklerinin tamamını taşıyabileceği veya güçlendirilmesi gerektiği sonucu elde edilebilir.

Yapı temelinin ve dolayısıyla yapının güvenliği, zemine ait elde edilen bilgilerin doğruluğu oranında sağlanabilir. Çok iyi tasarlanmış ve inşa edilmiş bir yapının zemin özellikleri doğru olarak elde edilmemiş veya zemine ait bir araştırma yapılmamış ise sözkonu yapının tüm güvenliğinden söz etmek mümkün değildir.

Bütün yapılarda olduğu gibi, zemine oturan endüstriyel zemin betonları için de aynı şartlar geçerlidir. Hangi özellikleri olduğu bilinmeyen bir zemine oturan beton plakların, sayısal veriler bulunmadan hesaplanabilmeleri mümkün değildir. Birçok değişken içeren zeminin, beton plağın yük taşıma kapasitesinin ve düşey yerdeğiştirmelerinin elde edilebilmesi için en azından bazı değerlerinin bilinmesi gerekir.

Beton plak tarafından taşınan yüklere ek olarak plağın kendi ağırlığını da taşıyan zeminin, doğal veya güçlendirilmiş durumda olmasına bakılmaksızın elde edilmesi gereken en önemli özeliği; birim gerilme altında meydana gelen düşey yerdeğiştirmesidir. Yatak katsayısı olarak bilinen ve k olarak gösterilen bu terim, zeminin tanınması için bir anahtar niteliğindedir.

Güvenilir yollarla elde edilen zemin özelliklerini uygun biçimde kullanabilecek ve ortaya çıkan problemleri kısa sürede çözebilecek sorumlu ve yetkili bir teknik elemanın, zemine oturan plak tasarımı ve projesinin gerçekleştirilmesinin her aşamasında hazır bulundurulması, bu tip projelerde çokça karşılaşılan maliyet artışı problemlerini ortadan kaldırabilir.

Diğer bir husus; proje başlangıcında, malsahibine zemin ile ilgili özelliklerin bilinmesindeki gerekliliğin hatırlatılmasıdır. Bununla beraber sağlanması durumunda, bir geoteknik rapor hazırlanıp, zemin ile ilgili hususların belirtilmesi gerekmektedir. Bu raporda; zemin tabakaları, zemin tabakalarının elastisite modülü ve Poisson oranları, nem içeriği, zeminin taşıma gücü, zemin emniyet gerilmesi, oturma, su içeriği, zemin tane yapısı, boşluk oranı ve p permeabilite katsayısı değerleri bulunmalıdır.

Maalesef çok sık rastlanan; herhangi bir zemin ve diğer tasarım bilgisi kullanılmadan plağın tamamlandığı durumdur. Bu ise, çoğu zaman maliyetin artması ve/veya güvensiz bir plak betonu oluşmasıyla sonuçlanmaktadır. Ülkemizde tamamlanmış hemen her zemin betonunda karşılaşılan problemlerin başında; düzenli olmayan çökme, çatlama ve bazen de kıvrılma gözlenmiştir. Zemin özelliklerinin bilinmesine gereken önemin verilmemiş olması, uygulamada çalışan teknik elemanların yeterli bilgiye sahip bulunmaması ve kontrol yetersizliği bu istenmeyen sonuçlara neden olmaktadır.

3.2.1 Temel Altı Zemin ve Alt Temel

Herhangi bir yük altındaki zeminde basınç gerilmelerinin yayılışı, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde ayrı karakterdedir. Kohezyonlu zeminlerde, eğer kohezyon yüksek ise, bu zemin yükler altında elastik bir cisim gibi hareket eder. Bu durumda basınç dağılışı her yönde sonsuza kadar gider. Kohezyonsuz zeminlerde de yük alanının bir ölçüde derindeki bölgelerde, zeminin elastik bir cisim gibi hareket ettiğini deneyler göstermiştir. Her durumda zemin yüzeyinden etki eden yüklerden dolayı, zemin içindeki gerilme yayılışının hesabında; temel zemininin, Boussinesq yarım uzayda, elastik, homojen ve izotrop zemin olduğu kabul edilir. Sonuçta, bu basitleştirme altında temel zemini, ideal elastik cisim sabitliği olan ve her tarafta aynı rijitlik modülünü gösteren ideal bir cisim olarak alınabilmektedir [5].

Bununla beraber, hesap kolaylığı ve zeminlerin davranışını tanımlamayı kolaylaştırmak için iki ayrı model aşağıda verilmektedir. Bu modellerin ikisinin de, zemin davranışının tanımlanmasında birer sınır model oldukları unutulmamalıdır.

a – Yukarıda bahsedilen ve elastik davranış özeliği gösteren zemin durumunda; plağın üst yüzeyine uygulanan herhangi bir yük, plak tabanı altındaki zeminin her noktasına etki eder. Bu etki, yükün uygulama noktasından uzaklaştıkça azalır.

b- Winkler modeli olarak ta tanımlanan esnek alt zemin durumunda; sadece uygulanan yükün altında düşey yer değiştirme olduğu kabul edilir. Söz konusu yer değiştirme, uygulanan yük ile orantılıdır ve bu yük, etkidiği bölgenin hemen yanındaki yüksüz bölgeye kesme kuvveti aktarmaz.

3.2.1.1 Temel altı zemini

Eğer araştırması yapılan zemin küçük taşları ve iri çakılları da içinde bulunduruyorsa, bu durumda zemin için yükleme deneyleri iyi sonuç vermektedir. Yani bu katsayının (k_z) belirlenmesi için önerilen yöntem plaka yükleme deneyidir.

Plak yükleme deneyleri geleneksel olarak, yüzeysel temellerin ve endüstriyel betonlar altındaki zeminlerin taşıma gücünü bulmayı amaçlar. Bunun için belirli bir yük alanı ile zemine artan basınçlar uygulanır ve bu basınçlar altında yükleme plakasının zemine batma (oturma) miktarlarına dayanılarak elde edilen yük-oturma bağıntısından zeminin güvenli taşıyabileceği yük bulunur.

Plaka basınç deneyinin zemine oturan plaklardaki kullanılma alanı ilgili standartlar ile bir dereceye kadar sınırlandırılmıştır (DIN 18134) [5,6]. Buna göre, genel olarak zeminin yapı genişliğinin 2 ile 3 katı derinliğe kadar homojen olduğu, örselenmemiş zemin örneği alınmadığı veya çok güç alınabildiği, beton plak yüzeyinin biçimi ve büyüklüğü deneme yüzeyinkinden pek farklı olmadığı durumlarda plaka basınç deneyine izin verilmektedir. Kohezyonlu zeminlerde örselenmemiş örnek güvenli biçimde alınabildiğinden, bu zeminlerde deneme yüklemesi yapmaya gerek duyulmamaktadır. Ayrıca, kohezyonlu zeminlerde boşluk suyu basıncından dolayı oturmaların sona ermesi çok uzun zaman beklemeyi gerektirdiğinden, bu zeminler için yükleme deneyi ile sonuç alınması da oldukça güçtür.

Plaka yükleme deneyi 1933 yılında Kögler tarafından ayrıntılı biçimde ele alınmıştır [5]. Yükleme plakası büyüklüğünün oturma ve sıkışma üzerine önemli ölçüde etkisi vardır. Böylece bağıl olarak küçük yükleme plakaları ile ancak zeminin fazla derinde olmayan tabakaları araştırılabilir. Bunun istisnası, yol ve hava alanı ile endüstriyel zemin betonu inşaatlarındaki sıkışma kontrollerinde uygulanan üst yüzeye yakın denemelerde ve standartlaştırılmış yöntemler uygulandığında sözkonusudur. Westergaard ilk kez rijit yol kaplamalarının (beton yol) boyutlandırılmasında yatak katsayısının bulunması amacıyla plaka basınç deneyinden yararlanmıştır [5].

DIN 18134' e göre deney için rijit yükleme plakasının 300, 600 veya 750 mm standart çapında olması öngörülmüştür. Büyük çaplı plakalar kullanıldığında, rijitliği artıracak biçimde küçük plakalar daha büyüğü üzerine yerleştirilir. Normal durumlarda 300 mm çaplı plakalardan yararlanılır. Daha büyük plakalar, en büyük tane çapı plaka çapının 1/5' inden ($D/5$) büyük olmamak üzere, zeminde iri taneler bulunduğu gereklidir. Fakat burada plaka etkisinin aşağı yukarı $1,5D$ derinliğine kadar uzanabileceği varsayımı ile denenen tabaka kalınlığının gözönüne alınması gerekir. Hatta yumuşak zeminlerde bile büyük çaplı plakaların kullanılmasının yararlı olacağı söylenebilir [5].

Plaka yükleme deneyi basamak biçiminde yinelenen yükleme ve boşaltmalardan oluşan bir yük düzeni ile yapılır. 300 mm çaplı plaka kullanıldığında, en yüksek yük yaklaşık 5 mm lik bir oturmaya veya $0,5 \text{ MN/m}^2$ lik bir taban gerilmesine, 600 mm çaplı plaka kullanıldığında ise yaklaşık 7 mm lik bir oturmaya veya $0,25 \text{ MN/m}^2$ lik bir taban gerilmesine kadar çıkarılır. En yüksek yükün seçimi için ilk olarak ulaşılan kriter geçerlidir. Yük oluşturmak için karşı ağırlık olarak genellikle arka tarafına hidrolik piston takılan yüklü araçlar kullanılır. Deneyin uygulanmasına ilişkin ayrıntılar DIN 18134 te verilmektedir.

Denenen tabakaların birçok yükleme ve boşaltmalar altındaki davranışı bir basınç-oturma diyagramı olarak gösterilir. Deformasyon modülünün bulunması için gerekli doğrusal eğri bölümünün, ilk yükleme çizgisinden seçimi güçtür. Çünkü, ilk yükleme eğrisinin bükülmesi, yalnız elastisite modülüne bağlı olmayıp, yükleme plakası altındaki yatak etkisine ve toplam yükleme düzeni içindeki etkiye de bağlı olduğundan, çoğunlukla daha büyüktür. Ayrıca, 300 mm lik küçük plaka çapları kullanıldığında, sıkı yerleşmiş ve uyum içinde davranış gösteren zeminlerde orta bir yük durumunda kesme deformasyonu açıkça kendini gösterir. Buna karşılık ikinci yükleme çizgisinin orta bölgesi önemli ölçüde doğrusaldır ve zemin elastikliğini belirlemek için elverişlidir. Bundan, eğimin muhtemelen daha geniş bir bölgede hemen hemen sabit olduğu sonucu çıkarılır. Bu ilkeye göre ilk yükleme için E_{v1} ve yeniden yükleme için E_{v2} deformasyon modülleri elde edilir. Bununla birlikte deformasyon davranışının değerlendirilmesinde yalnız E_{v2} deformasyon modülü kullanılır. E_{v1} , denemeden önce kontrol edilecek tabakanın özelliklerinin E_{v2} ile karşılaştırma yoluyla değerlendirilebilmesi için belirlenir.

Eğer zemin bağıl olarak gevşek veya sıkışma değeri düşük ise, küçük plakalar altında bağıl olarak yüksek taban basıncı ve sıkışma sonucu önemli ölçüde büyük oturmalar ortaya çıkar. Bu özellikle E_{v1} değerinin düşük olduğu anlamına gelir. Fakat yeniden yükleme sırasında ve E_{v2} değerinde bu durum ortaya çıkmaz. İlk ve son yüklemedeki E_{v1} ve E_{v2} değerlerinin bulunmasında, ilk yükleme çizgisinin 0,3 ve 0,7 katı yükleme sonucunda ilk ve ikinci yük çizgisinden elde edilen s_1 ve s_2 oturmaları kullanılır. Bunun sonucu oluşan Δy_1 ve Δy_2 oturma farkı ile ilgili değer $\Delta \sigma (= 0,4\sigma_{maks.})$ elde edilir. Bu durumda, yanal genişlemesine

kısmen engel olunan zemine ilişkin E_v bağıntısından E_{v1} ve E_{v2} deformasyon modülü aşağıdaki gibi hesaplanır [5,6].

$$E_v = 0,75 \frac{\Delta\sigma}{\Delta y} D \quad (3.11)$$

Buna karşılık yatak katsayısı k , ilk yükleme çizgisine uygun olarak σ_0/y biçiminde veya kolayca $E_{v1}/550$ değerinden elde edilebilir.

Normal koşullar altında, E_{v2} / E_{v1} oranı 2,2 nin altındadır. Eğer bu oran 2,2 değerinden daha büyükse, zeminin istenen sıkılıkta olmadığı ve yük altında plastik yerdeğiştirme yapacağı söylenebilir. Bu durumda yapılacak işlem, zeminin sıkıştırılması, değiştirilmesi veya güçlendirilmesi olarak belirtilebilir.

Burada yol, havaalanı ve endüstriyel beton plak inşaatlarında, 750 mm çapındaki plaka altındaki zeminin, yalnızca ortalama 1,25 mm lik oturması için gereken yükten sonuca ulaşılmaktadır.

Zemin tabakasının 2D derinliğe kadar olan kısmı homojen olarak kabul edilebilir durumdaysa ve eğer farklı yükleme plaka çapları kullanılacaksa, k değerleri bir dönüşüm katsayısına bölünerek diğer plaka çaplı deneyler için de kullanılabilir. 300 mm çapındaki yükleme plakası için k değeri 2,3'e ve 160 mm çapındaki yükleme plakası için k değeri 3,8'e bölünmelidir. k değeri $[N/mm^3]$ olarak ifade edilir.

Yatak katsayısı saf bir zemin tanım sayısı olmayıp, taban yüzeyinin biçim ve büyüklüğü ile etki eden yükün büyüklüğüne de bağlıdır. Bu nedenle bir zemin türü için yatak katsayısı değeri verilirken, taban alanı ile ilgili bilgilerle birlikte verilmelidir.

Aşağıda, yatak katsayısının elde edilmesinde Westergaard tarafından tanımlanmış bir bağıntı bulunmaktadır [3,7,8]. Kolay uygulanabilir ve hesaplanabilir olması bakımından bu bağıntı, günümüzde hala yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bununla beraber, k değerinin aşağıda verilen yöntemle elde edilmesi yanında, zeminin plastik hareketini ve sıkılığını kontrol eden ve yukarıda açıklanan DIN 18134 bilgilerinin pratik amaçlar için kullanılması önerilmektedir. İlerideki sayfalarda konuyla ilgili farklı ülke yönetmelikleri kısaca gözden geçirilecektir.

$$k = \frac{P_s}{W} \quad [N/mm^3] \quad (3.12)$$

Burada:

$$W = \frac{\pi D^2}{4} y$$

D : plaka çapı

y : düşey yer değiştirme

P_s : kuvvet

olarak alınmaktadır.

k değerinin elde edilmesinde yapılan titiz çalışmaların önemi, yük altında zeminin yaptığı düşey yerdeğiştirmenin yeter yaklaşıklık ile temini içindir. Zemine oturan endüstriyel plakların kalınlık hesaplarında da kullanılan yatak katsayısı k_z değerinin kalınlık seçimine etkisi çok fazla değildir. Bu konu NCHRP adlı komitenin 1995 yılında yayınladığı 372 nolu raporda belirtilmiştir [2].

Tablo 3.2 Yatak katsayısının elde edilmesinde yapılan hatanın, döşeme kalınlığı hesabına etkisi

k değerindeki % hata	Beton plak kalınlığı (h_f) hesabındaki % hata
10	1
25	2,5
50	5

Yukarıdaki tablodan görüldüğü üzere, k değeri % 50 hata ile elde edilse bile, bu hatanın döşeme kalınlığına etkisi sadece % 5 kadardır. k kesit tesirlerini az, oturma ve taban basıncını doğrudan etkiler. Çeşitli tip zemin, yük ve plak üzerinde daha kapsamlı bir araştırmanın yapılması halinde, bu durumun pek değişmeyeceği tahmin edilebilir. Bununla beraber, yukarıda hatırlatıldığı gibi, k değerinde yapılacak hatanın en büyük etkisi zemin yerdeğiştirmelerinin yanlış hesaplanmasına neden olmasıdır. Bu durumda beton plağımızın hangi ek yükler altında kalacağının araştırılması, zemindeki yerdeğiştirme nedeniyle maruz kalınacak büyük gerilmelerin hesaplanması ve belki de donatı düzeninin değiştirilmesi gerekecektir. Pratikte bu tip ek tedbirlerin alınmasına neden olacak farklı durumlarla karşılaşılmaması için, zemin ile ilgili bilgilerin gereği kadar hassasiyetle elde edilmesi ve k değerinin doğru hesaplanması önerilmektedir.

Büyük ölçekli zemin betonlarının imal edileceği zeminler için hassas deneyler yapılarak k değerinin elde edilmesi gerekirken, daha küçük çaplı imalatlarda, ön incelemeler sonucunda eğer zemin yapısının homojenliği ve biçimi hakkında karar verilebiliyorsa, çeşitli tip zeminler için hazırlanmış tablolardan k değerleri yeter doğrulukla alınarak kullanılabilir.

Zemin plağının oturacağı zemin kohezyonlu ise, örnek alınıp, laboratuvarda denenerek veya yerinde deney yapılarak sonuca ulaşılması önerilir. Esasen bu tip zeminlerde daha kapsamlı deneyler yapılmalı veya zemin uygun biçimde ayarlanmış taneli yeni zemin ile değiştirilmelidir. Günümüzde kohezyonlu ve suya doymuş zeminler, örneğin kil üzerinde arđermeli zemin plağı çeşitleri yaygın biçimde tasarlanmaktadır.

3.2.1.2 Zeminin eşdeğer elastisite modülü

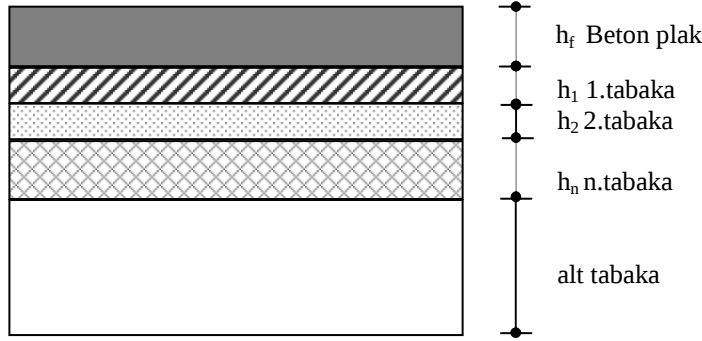
Alt zemin elastik, izotrop ve homojen bir yarı sonsuz ortam olarak kabul edilmektedir. Elastik zeminin elastisite modülü E_s ve Poisson oranı ν_s aşağıdaki gibi karakterize edilir ve “Modifiye Elastisite Modülü” sabitinin elde edilmesinde kullanılır [1,3,8].

$$C = \frac{E_s}{(1 - \nu_s^2)} \quad (3.13)$$

Burada $\nu_s = 0,5$ olarak alınmaktadır.

Bu tasarım yöntemi dört farklı alt zemin tabakası ve bir alt temel ile hesap yapabilmeyi olanaklı kılar (Her bir alt temelin elastisite modülü E_i , en alt tabaka elastisite modülü E_n). Zeminin eşdeğer elastisite modülü (E_g) şu formülle hesaplanır [1,3].

$$E_g = \frac{n(n-1)}{\left[\left(\sum_{i=1}^{n-1} h_i \right) \left(\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{h_i E_i} \right) + \frac{n-1}{E_n} \right]} \quad (3.14)$$



Şekil 3.10 Elastik zemin durumunda eşdeğer elastisite modülünde tarif edilen zemin tabakaları

Sadece 2 tabakanın tanımlı olduğu (1 alt temel ve 1 temel altı zemin) durumda aşağıdaki formül kullanılır. ($E_2 \geq E_1$ olduğu nadir durumlarda ise yukarıdaki formül kullanılmalıdır) [3].

$$E_g = E_2 e^a \quad (3.15)$$

Burada:

$$a = 0,34 h_1^3 \sqrt{(E_1 - E_2) / E_c I}$$

I : Betonun atalet momenti,
 E_c : Betonun elastisite modülü
 EI : $E_c h_f^3 / 12$ [MNm²/m]

olarak alınmalı ve EI için çatlamamış kesit özellikleri kullanılmalıdır. Beton plak kalınlığının bilinmemesi durumunda yukarıdaki 3.15 bağıntısına ardışık yaklaşım uygulanması gerekmektedir.

Tablo 3.3 Zemin türüne bağlı olarak tahmin edilen k değerleri [3]

Zemin Cinsi	k değeri (N/mm ³)	
	Alt değer	Üst değer
Humuslu toprak	0,0050	0,015
Önceki toprak set	0,010	0,02
İnce veya az sıkıştırılmış kum	0,015	0,03
İyi sıkıştırılmış kum	0,050	0,10
Çok iyi sıkıştırılmış kum	0,100	0,15
Kil veya KK (nemli)	0,030	0,06
Kil veya KK	0,080	0,10
Kum kil	0,080	0,10
Kumlu kırmataş	0,100	0,15
İri kırmataş	0,200	0,25
İyi sıkıştırılmış kırmataş	0,200	0,30

KK ⇒ kum kil karışımı zemin

Not: Tasarım için k değerinin en düşük değeri 0,03 N/mm³ olmalıdır.

3.2.1.3 Su muhtevasının etkisi

İnce taneli zeminin nem içeriği, zemin reaksiyon katsayısını hem deney sırasında hem de plağın servis ömrü sırasında etkiler. Nem içeriği düştükçe ölçülen k değerleri artar. Tablo 3.4 çeşitli zemin türleri için nem içeriğinin alt zemin yatak katsayısına yaklaşık etkisini göstermektedir.

Tablo 3.4 Değişik zemin türleri için nem içeriğinin alt zemin yatak katsayısına etkisi [3]

Malzeme türü	Deney sırasındaki su muhtevası (kuru ağırlığın yüzdesi olarak)						
	5-10	11-14	15-18	19-21	22-24	25-28	28 üzeri
Silt ve kil $W_L < 50$	0,35	0,50	0,65	0,75	0,85	1,00	1,00
Silt ve kil $W_L > 50$	0,25	0,35	0,50	0,63	0,75	0,85	1,00
Killi kum veya killi çakıl	0,75	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

W_L : ASTM D 4318'e göre likit limit

Tablo 3.4'ün kullanılması:

1- Kil üzerinde ($W_L < 50$) uygulanan plaka deneyinde nem içeriği % 23 iken k değerinin 0,05 N/mm³ olduğunu varsayalım. Uzun süreli nem içeriği % 15 olarak kabul edilirse $k_{\text{tasarım}}$ değeri:

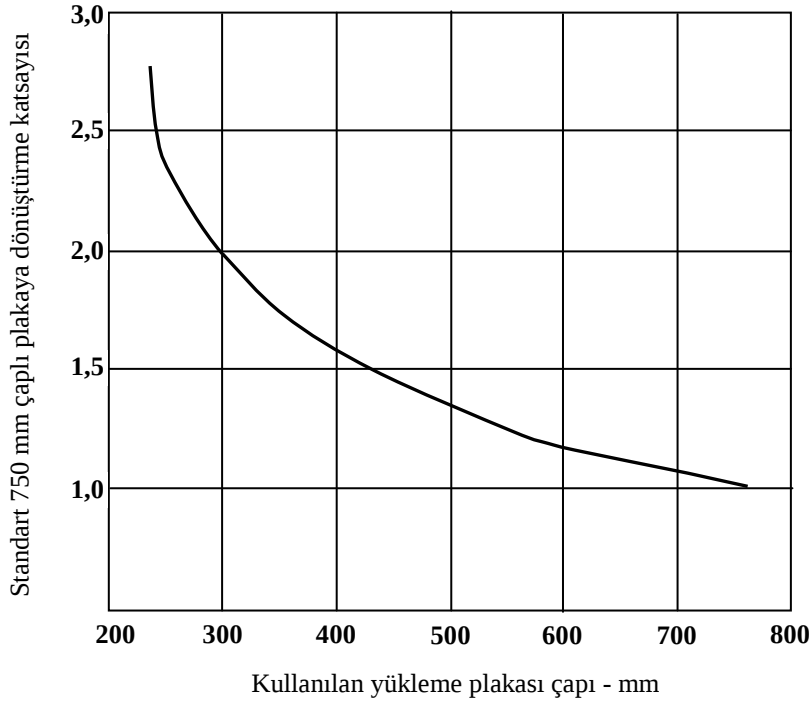
$$k_{\text{tasarım}} = 0,05 \times (0,85/0,65) = 0,065 \text{ N/mm}^3 \text{ alınmalıdır.}$$

2- Kil üzerinde ($W_L < 50$) uygulanan plaka deneyinde nem içeriği % 15 iken k değerinin 0,05 N/mm³ olduğunu varsayalım. Uzun süreli nem içeriği % 23 olarak kabul edilirse $k_{\text{tasarım}}$ değeri:

$$k_{\text{tasarım}} = 0,05 \times (0,65/0,85) = 0,038 \text{ N/mm}^3 \text{ alınmalıdır.}$$

3.2.1.4 Modifiye temel altı zemini yatak katsayısı

Eğer istenen yükün çok büyük olmasını gerektiren bir zemin varsa veya 750 mm çapında plaka yoksa daha küçük plaka ile deney yapılabilir. Ölçülen değerler “Deneysel Grafik” (Şekil 3.11) kullanılarak düzeltilmelidir [2]. Plaka deneyi plaka çapının 1,5 katı kadar bir tabakayı etkiler. Bundan dolayı 750 mm çapında plaka kullanılması önemlidir. Çünkü, bu plak üzerindeki yüklerin etkileyeceği tabakalara yakındır.



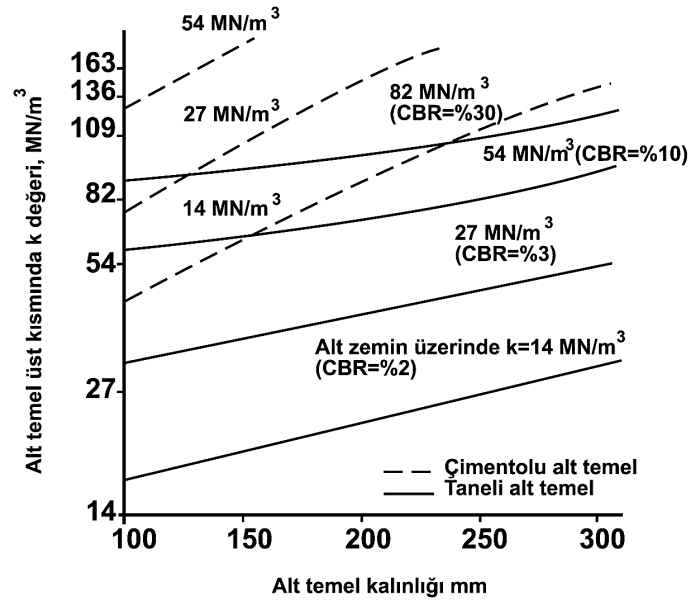
Şekil 3.11 Plaka yüklemeye deneylerinde farklı çaplı plakaların kullanımının düzeltme değerleri

3.2.1.5 Alt temelin temel altı zemin yatak katsayısı üzerindeki etkisi

Alt temel üç ana sebepten dolayı yapılmaktadır [2].

- a - Yapım anında kullanılan araçların zemin üzerinde tekerlek izi bırakarak zeminin örselenmesine engel olan bir tabaka oluşturmak,
- b- Zemin plağının inşaatı için düzgün bir yüzey elde etmek,
- c - Yükü plaktan alt zemine daha belirgin bir tabaka oluşturarak aktarabilmek.

Alt temeller genellikle uygun dolgu taneli malzemesi kullanılarak oluşturulur. Bunun yanında, çimento içeren malzemeler ile imal edilen alt temeller de sıkça kullanılmaktadır. Bu durumda alt temelin, plak ve temel altı zeminin yük taşıma kapasitelerine olumlu olarak önemli katkıları sağlanır. Alt temelin taneli malzemeden yapılması durumunda, kalınlık en az 150 mm olmalıdır. Aynı zamanda bu malzemenin donma etkilerine karşı olumsuz davranış göstermemesi de gerekmektedir. Kapalı bölge içerisinde inşa edilen zemin plaklarının altındaki alt temel malzemesinin donmaya karşı özelliklerin araştırılmasına gerek duyulmamakla birlikte, ilk temin sırasında bu taneli malzemenin kuru olması sağlanmalıdır. Yerinde yapılan incelemeler ile mevcut zeminin özellikleri yükün doğrudan zemine oturmasına imkan veriyorsa, başka deyişle k değeri $0,1 \text{ N/mm}^3$ ten daha fazla ise, alt temelin kullanılmasına gerek görülmeyebilir. Bununla beraber, mevcut zeminin yağmur gibi hava şartlarından etkilenme ihtimali varsa, bu durumda kalınlığı 60 mm den az olmayan düşük dozajlı beton tabakası tavsiye edilir. Bu tabakanın yeterli biçimde imal edilmesi, kalıp ve varsa çubuk donatı yerleşimi için düzgün bir yüzey oluşturulması bakımından önemlidir. BS 8204-2 yönetmeliği, alt temel hassasiyeti için bazı değerler vermektedir. Burada alt temel üst yüzeyi kot farkının 0 ila 25 mm arasında değişebileceği belirtilmektedir. Bu hassasiyette pozitif (+) değer verilmemesi, doğrudan plak kalınlığını etkileyeceğinden haklı olarak yönetmeliklerde yer bulmamıştır. Mühendis veya kalfanın mevcut kotları bilmesi için yeter yaklaşıklıkla (derzler boyunca veya $3 \times 3 \text{ m}^2$ karolaj ile) ölçme yapılmalı ve kalıp, seviye tutucu veya donatı yerleşimi bu ölçmeler yardımıyla düzenlenmelidir. Esasen yapılan deneyler, alt temelin etkisinin k değerini değiştirmediğini göstermiştir. Bundan dolayı tasarımda ve plak kalınlığının hesabında alt temel özelliklerinin hesaba katılmaması önerilmektedir. Bu özellik dışında, alt temel yapılmasının avantajları gözardı edilmemelidir.



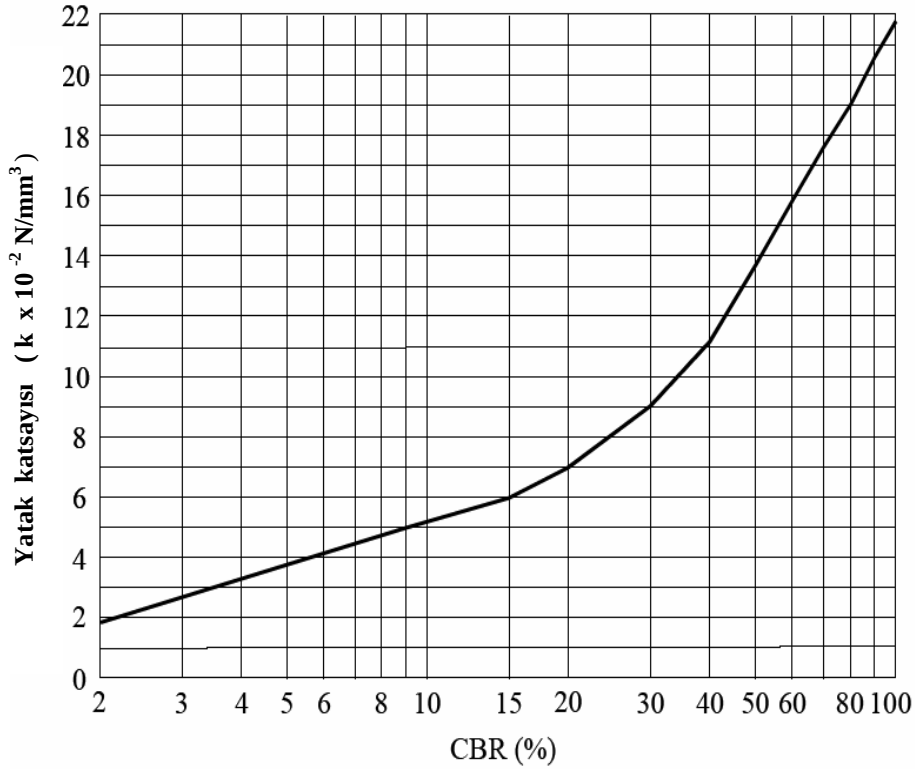
Şekil 3.12 Taneli alt temel kalınlığının alt zemin yatak katsayısı (k) etkisi [1,3,9]

3.2.1.6 Kaliforniya taşıma oranı (CBR)

CBR, ASTM D 1883'e göre ölçülebilir. CBR alt zeminin batmaya direncinin standart kırmataş temel malzemesinin direncine oranıdır. Bu oran; dakikada 1,27 mm hareket eden 1935 mm² alana sahip batıcı ucun 1000 psi (6,9 kN/m²) basınç değeri için elde edilir [1,3].

$$\text{CBR} = [(\text{batıcı uçtaki yükleme değeri})(\text{psi}) \times 100] / 1000$$

CBR deneyi için laboratuvarında optimum su içeriğindeki zemin örneği sıkıştırılır ve döşeme plağının oluşturacağı basınca eşit yükleme yapılmadan önce 4 gün boyunca su içinde tutulur. Ardından numune 15 dakika kurumaya terk edilir ve deneye tabi tutulur. Bu deney sahada hazırlanmış alt zemin örneğinde de yapılabilir. Şekil 3.13'te görülen grafik CBR değeri ile Westergaard tarafından tanımlanan şekliyle yatak katsayısı (k) arasındaki ilişkiyi verir.



Şekil 3.13 CBR değeri ile Westergaard yatak katsayısı (k) değeri arasındaki ilişki

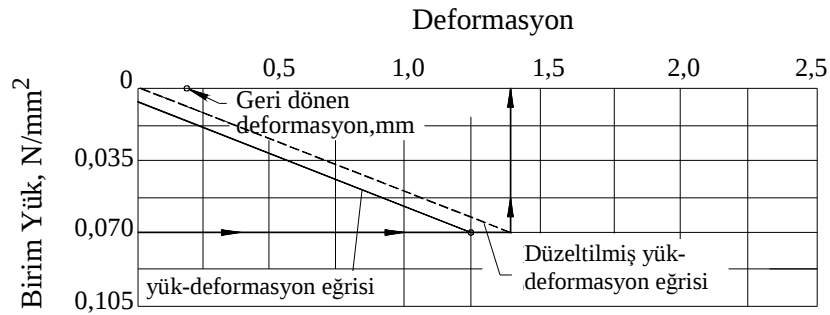
3.2.2 Farklı Yönetmeliklere Göre Plaka Deneyleri

ASTM D 1196'ya göre plaka deneyi yöntemi

Deney yapılacak zemin ve alt zeminin yüzeyindeki gevşek malzemeler kaldırılır. Bu alan üzerine, yükleme plakası altında düzgün bir dağılım sağlamak üzere ince bir kum tabakası serilir. Plaka hazırlanan alan üzerine yerleştirilir ve plakanın zeminle tamamen temas etmesi için plaka yavaşça çevrilir. Plaka üzerine yerleştirilen en az üç komparatör ile deformasyonlar gözlenir. Üç deformasyon komparatörü kullanılması durumunda, komparatörlerin plaka üzerindeki konumları 120 derece açı yapacak şekilde düzenlenir. Komparatörler hareket etmeyen noktalarda mesnetlenir. Yükleme ağırlığı olarak ağır bir iş makinası kullanılabilir. Hidrolik krika yükleme plakasının ortasına yerleştirilir ve ortalama 0,25 mm sehim oluşturacak şekilde yaklaşık 3-4 kN deney yükü uygulanır. Oturma miktarı sabit oluncaya kadar yük tutulur. Ardından yük kaldırılır ve komparatörler sıfıra ayarlanır. Bu hazırlıktan sonra bir dizi yük uygulanıp plağın çökmeleri kaydedilerek deney yapılır. Genelde üç yük çevrimi yeterlidir. Oturma hızı dakikada 0,025 mm'den az olana kadar yük uygulamaya devam edilmelidir. Ardından veriler yük – sehim grafiğine işaretlenir ve alt zemin yatak katsayısı k elde edilir. Deney başlamadan önce komparatörler sıfıra ayarlanmamış ise, eğrinin başlangıç noktasını kesmesini sağlayacak bir düzeltme gereklidir (Şekil 3.15) [3].



Şekil 3.14 Plaka yükleme deneyi uygulama aşaması



Şekil 3.15 Zemin yatak katsayısı

Elastisite modülü ve k-değeri arasındaki ilişki (Eurocode 7-3; prENV 1997-3: 1996)

$$E_{PLT} = \frac{\Delta P}{\Delta s} \cdot \frac{\pi b}{4} (1 - \nu^2) f_d \quad (3.16)$$

Burada:

ΔP : Göz önüne alınan temas basıncı aralığı (N/mm²)

Δs : ΔP ' ye karşı gelen ve sünme oturmalarını da içeren toplam oturma (mm)

b : Plaka çapı (mm)

ν : Deney koşullarına bağlı olarak Poisson oranı,

Eğer başka yollardan bulunmamış ise

- Kohezyonlu zeminlerin kurumamış koşullarında $\nu = 0,5$,
- Kohezyonsuz zeminler için $\nu = 0,3$

f_d : Derinlik düzeltme katsayısı. Kazı yoksa $f_d = 1$

$$E_{PLT} = k \frac{\pi b}{4} (1 - \nu^2) \quad (3.17)$$

Drenajı olmayan kohezyonlu zeminlerde 750 mm'lik plaka için $k = E_{PLT} / 442$, kohezyonsuz zeminlerde 750 mm'lik plaka için $k = E_{PLT} / 536$ olarak hesaplanabilmektedir.

Tablo 3.5 Zemin türüne bağlı olarak tahmini elastisite modülleri [3]

Zemin Türü	Elastisite modülü (N/mm ²)
Örselenmiş kil	36
Kil klinkeri	18
Kırmataş	60
Sürtünmeli, sıkıştırılmış zemin	36
Çakıl, gevşek tabakalar	12
Çakıl, sıkı tabakalar	48
Kum kil karışımı toprak, gevşek tabakalar	6
Kum kil karışımı toprak, sıkı tabakalar	12
Karışık gevşek tabakalar	12
Karışık, sıkı tabakalar	36
Sıkıştırılmış taş yığını	36
Polistren plaka	0,1 x yoğunluk
Taşıyünü plaka	0,003 x yoğunluk
Kum	6
Kum, sıkı tabakalar	24
Rijit kil üst tabakası	12
Ayrışmış taş yığını üst tabakası	12
Diğer taş yığınlarından oluşan üst tabaka	24

Not: Tablo 3.5'deki E değerleri uzun süreli (10 yıldan fazla) değerlerdir. Kısa süreli değerler 3 ile 10 kat daha fazla olabilir.

Koni penetrasyon deneyi ve elastisite modülü arasındaki ilişki (Eurocode 7-3; prENV 1997-3: 1996)

Koni penetrasyon deneyi (CPT); nispeten yavaş ve sabit hızda bir batıcı ucun zemine batırılarak bir koni ve silindirik bir shaft oluşturmaya, koninin uç direncinin ve sürtünmenin ölçülmesinden oluşur. Tüm parametreler içinde uç direnci q_c en önemlisidir. q_c 'nin bulunması için deney yöntemi hakkındaki ayrıntılı bilgi, Eurocode 7. Bölüm – 3'te ve diğer ile ilgili literatürde bulunmaktadır. Elastisite modülü E ve uç direnci q_c arasında aşağıdaki eşitlik Eurocode 7 de sözkonusu alt bölümde verilmektedir.

$$E = \alpha q_c \quad (3.18)$$

α katsayısı yerel deneyime bağlı olarak tahmin edilir.

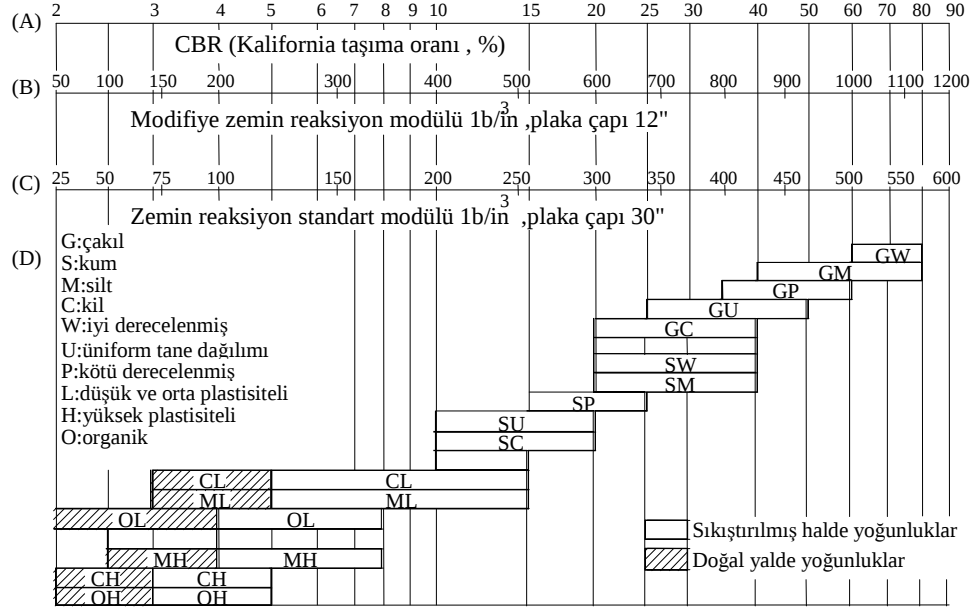
Tablo 3.6 Çeşitli zeminler için q_c değerleri [3]

CL – Düşük plastisiteli kil	$q_c < 0,7 \text{ N/mm}^2$	$3 < \alpha < 8$
	$0,7 < q_c < 2 \text{ N/mm}^2$	$2 < \alpha < 5$
	$q_c > 2 \text{ N/mm}^2$	$1 < \alpha < 2,5$
ML – Düşük plastisiteli silt	$q_c < 2 \text{ N/mm}^2$	$3 < \alpha < 6$
	$q_c > 2 \text{ N/mm}^2$	$1 < \alpha < 2$
CH – Yüksek plastisiteli kil	$q_c < 2 \text{ N/mm}^2$	$2 < \alpha < 6$
MH – Yüksek plastisiteli silt	$q_c > 2 \text{ N/mm}^2$	$1 < \alpha < 2$
OL – Organik silt	$q_c < 1,2 \text{ N/mm}^2$	$2 < \alpha < 8$
T – OH – turba ve aşırı organik kil	$q_c < 0,7 \text{ N/mm}^2$	
	$50 < w < 100$	$1,5 < \alpha < 4$
	$100 < w < 200$	$1 < \alpha < 1,5$
	$w > 300$	$\alpha < 0,4$
Tebeşir	$2 < q_c < 3 \text{ N/mm}^2$	$2 < \alpha < 4$
	$q_c > 3 \text{ N/mm}^2$	$1,5 < \alpha < 3$
Kumlar	$q_c < 5 \text{ N/mm}^2$	$\alpha = 8$
	$q_c > 5 \text{ N/mm}^2$	$\alpha = 1,5$

Proktor sıkılığı ile alt zemin yatak katsayısı (k-değeri) arasındaki ilişki

Zemine karıştırılabilen veya zeminle birleşebilen kimyasal malzemeler kullanılarak zayıf temel malzemesi iyileştirilebilir. Kireç, alt zemin ve alt temel ile temel malzemelerinin plastisite indislerini azaltmak için de kullanılır. Siltli zeminler için portland çimentosu etkili olabilir. Zemin ve alt temel malzemeleri genellikle mekanik işlemlerle k değerinde iyileşme sağlanarak sıkıştırılır. Kilin mekanik sıkıştırılması standard Proktor yoğunluğunun (ASTM D 698) yüzdesi olarak veya Modifiye Proktor sıkılığı (ASTM D 1557) olarak ölçülür. Bu malzemeler için nominal hedefler Modifiye Proktor sıkılığının %90~%95'i dir. Bu ve diğer sıkıştırma çalışmalarından elde edilecek tahmini k değerleri laboratuvar CBR değerlerinden de tahmin edilebilir. Sıkıştırılmış tabaka kalınlıkları zemin cinsi ve sıkıştırma araçlarına göre değişir, esas olarak deneme dolgusu yapılarak kararlaştırılır ancak çoğu durumda 150 ile 225 mm arasında olmalıdır. Taneli zeminler titreşimli ekipmanlara en duyarlı olanlardır;

kohezyonlu zeminler ise keçi ayağı ve lastik tekerlekli sıkıştırıcılara en iyi tepkiyi verir. Buna karşın Proktor sıklığı ile alt temel reaksiyon katsayısı arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Şekil 3.16, zemin türleri için k değerleri ile doğal zemin ve sıkıştırılmış zemin arasındaki ilişkiyi vermektedir. Verilen bir zemin için, %95'den büyük Proktor sıklığının sıkıştırılmış zeminin k değerine karşılık geldiği kabul edilmektedir. %95'den küçük Proktor sıklığı doğal zemin için sonuçlar verir. Ancak bu kaba bir yaklaşımdır ve sahadaki plaka deneylerinin gerekliliğini ortadan kaldırmaz.



Şekil 3.16 Zemin türü ile k'nın karşılaştırılması ($1\text{lb/in}^3 = 27,7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$, $1'' = 25,4 \text{ mm}$)

Tablo 3.6 ve Şekil 3.16'de sırasıyla ASTM' e göre zemin sınıflandırması ve alt zemin türüne göre k ile CBR değerleri verilmektedir.

Sonuç

Yukarıda açıklandığı gibi, zeminin değişik özelliklerini tanımlayan bazı ilişkilerden söz edilebilir. Bu ampirik bağıntılar bazı durumlarda iyi tanımlanmıştır. Ancak, diğer durumlarda çok yanlış tahminler verebilirler. Bu nedenle k değeri veya elastisite modüllerinin geoteknik verilerinden başka verilerle hesaplanması sadece zemin betonu ön tasarımı için kullanılmalıdır. Zemin betonunu inşa etmeden önce alt zeminin veya alt temelin plaka deneyleriyle kontrol edilmesi çok önemlidir.

3.2.3 Bağıl Rijitlik Yarıçapı

Alt zemin reaksiyon modülüne ek olarak, bağıl rijitlik yarıçapı kavramı Westergaard tarafından önerilmiştir [1,2,3,7,8].

Plağın rijitliği aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$E_{cm} h_f^3 / 12(1 - \nu^2) \quad (3.19)$$

Burada,

E_{cm} : N/mm² cinsinden betonun elastisite modülü,

h_f : mm cinsinden plak kalınlığı,

ν : Poisson oranı

olarak ifade edilmektedir.

Bağıl rijitlik yarıçapı ise şöyle hesaplanır:

$$l = \left[\frac{E_{cm} h_f^3}{12(1 - \nu^2)k} \right]^{0,25} \quad (3.20)$$

Bağıl rijitlik yarıçapının fiziksel anlamı şu şekilde özetlenebilir; Şekil 3.17'deki P_1 yükünün tam altında eğilme momenti pozitif ve en büyüktür. Yükten 1,0*l* mesafeye kadarki noktada bu moment sıfır olur. Bu noktadan uzaklaştıkça eğilme momenti negatif değer alır ve yükten 2,0*l* mesafede en büyük değerine ulaşır. En büyük negatif moment değeri, en büyük pozitif moment değerinden belirgin oranda küçüktür. Yükten 3,0*l* mesafede moment tekrar sıfıra yaklaşır.

A noktasından x mesafedeki ilave bir P_2 yükünün etkisi şu şekildedir:

- Eğer $x < l$ ise, A noktasındaki pozitif eğilme momenti artar.
- Eğer $l < x < 3l$ ise, A noktasındaki pozitif eğilme momenti az miktarda azalır.
- Eğer $x > 3l$ ise, ilave yükün A noktasındaki eğilme momenti etkisi ihmal edilebilir.

Denklem 3.20'deki katsayıların *l* değeri üzerindeki etkilerini incelemek yararlıdır;

- a) Eurocode 2'de betonun Poisson Oranı 0,2 olarak verilmektedir. Bu durumda $(1 - \nu^2) = 0.96$ olur ve *l* değeri üzerindeki etkisi azdır.
- b) Betonun kısa süreli elastisite modülü şu formülle bulunabilir;

$$E_{cm} = 22(f_{cm}/10)^{0,3} \quad (3.21)$$

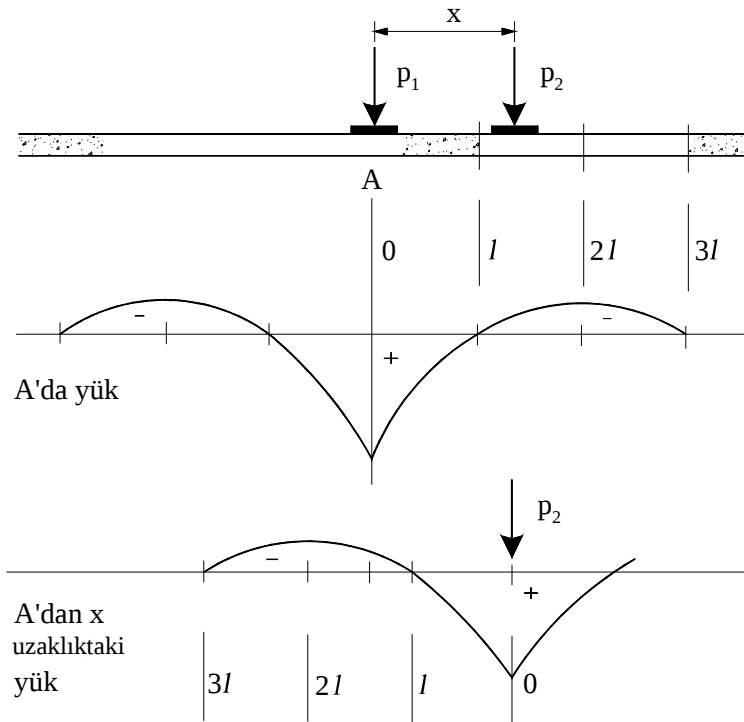
Burada f_{cm} ; betonun ortalama silindir basınç dayanımıdır. E_{cm} değeri arttıkça *l* artar.

- c) *k* değeri azaldıkça *l* değeri artar.
- d) Plak kalınlığı h_f arttıkça *l* artar.

Plak kalınlığı ve alt zemin reaksiyon modülünün bağıl rijitlik üzerindeki etkisi Tablo 3.7’de gösterilmektedir. Bu tablodaki değerlerin hesabı için $E_{cm} = 33 \text{ kN/mm}^2$ alınmıştır.

Tablo 3.7 Plak kalınlığı ve alt zemin reaksiyon modülünün bağıl rijitlik üzerindeki etkisi [3]

Plak kalınlığı (mm)	k'nın 0,01 ila 0,10 aralığında l (mm) değerleri									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
150	992	834	753	701	663	634	610	590	572	558
175	1113	936	846	787	744	711	684	662	643	626
200	1230	1035	935	870	823	786	756	732	710	692
225	1364	1130	1021	950	899	859	826	799	776	756
250	1455	1223	1105	1029	973	929	894	865	840	818
275	1562	1314	1187	1105	1045	998	960	929	902	879
300	1688	1402	1267	1179	1115	1066	1025	992	963	938



Şekil 3.17 Kenardan uzakta yükleme sonucu oluşan eğilme momentlerinin yaklaşık dağılımı [2]

3.2.4 Temel Zeminin İyileştirilmesi

3.2.4.1 Genel bilgiler

Eğer bir zemin, ortaya çıkan yükler altında çok fazla deforme olursa veya taşıma gücü yönünden yeterli değilse, *zayıf zemin* olarak ele alınır. Bu durumda üst kısımdan gelen yüklerin taşınması için zeminin iyileştirilmesi yoluna gidilir [5].

Temel zeminin iyileştirilmesi amacıyla;

- 1- Taşıma gücü yeterli olmayan zeminin boşluk hacmi büyük ölçüde azaltılır (Sıkıştırma),
- 2- Plak sistemin amacına uygun düşmeyen zeminler için, zeminin tümü veya bir bölümü uygun bir malzeme ile değiştirilir (Zemin değiştirme),
- 3- Taşıma gücü yetersiz zemin taneciklerinin bağıl hareket imkanına engel olunur (Zemin sağlamlaştırması, zemin donatılması).

Zeminin iyileştirilmesi, kesme dayanımında bir yükselme ve sıkışabilirlikte bir azalma anlamına gelir. Bilinen tüm iyileştirme yöntemleriyle zeminin taşıma gücü daima geniş ölçüde yükseltilebilmesine karşın, oturmaların azaltılması ancak bir dereceye kadar mümkündür. Bununla birlikte daha büyük masraflarla oturmaya duyarlı kalın zemin tabakalarında yapı için daha küçük oturma ve oturma farkları elde edilebilir.

3.2.4.2 Sıkıştırma ile zemin iyileştirilmesi

Doğal bir zeminde sıkışma yeteneğinin değerlendirilmesi amacıyla temel geoteknik raporda yeralan sınıflandırmadan, taşıma gücü yetersiz (gevşek yerleşmiş veya yumuşak) zemin tabakalarının varlığı anlaşılırsa ve zeminin kohezyonu küçükse, bu zemin sarsma ile sıkıştırılabilir. Bu anlamda kohezyonsuz zemin, kum ve çakılda olduğu gibi hiç bir plastik özeliğe sahip olmamalıdır. Tane dağılımı eğrisinde silt oranının % 20 nin altında, kil oranının ise % 5 in altında bulunması istenir. Tane çapı için teorik bir üst sınır verilememektedir [5].

Üst yüzey sıkıştırması, oturmaya karşı duyarlı olmayan yol kaplamaları ve oturmaya karşı az duyarlı homojen yüklü veya yüksek değerde olmayan tekil yüklerin bulunduğu zemin plaklarının oturduğu zeminlerin iyileştirilmesi için uygundur. Üst yüzey sıkıştırması için pek çok araç geliştirilmiştir. Bunların en önemlileri; üç tekerlekli silindir, keçi ayaklı silindir ve tokmaklardır. Plak zemininin üst yüzey sıkıştırması ile iyileştirilmesi yalnız ince bir üst zemin tabakası üzerinde etkilidir. Dolgu zeminlerde, zeminin 200 ile 250 mm lik ince tabakalar halinde sıkıştırılması durumunda bu problem ortadan kalkar. Mevcut zeminin üst yüzey sıkıştırması ile iyileştirilmesinde, her ne kadar sıkıştırma derinlerde etkili olmasa da, plak yükünden oluşan basıncın zeminin derinliklerine doğru hızla azalması, derindeki sıkışmanın önemini büyük ölçüde azaltır.

Silindirle sıkıştırma taneli zeminler ile ıslak fakat boşlukları suya doygun olmayan kohezyonlu zeminler için elverişlidir. Keçi ayaklı silindirler ise, kohezyonlu zeminlerde silindirme sırasında ortaya çıkan düz yüzeyleri önleyerek, zemin tabakalarının birbirleriyle yeterince birleşmelerini sağlar. Taneli zeminler, silindirlerin giremediği yerlerde tokmaklama ile de sıkıştırılabilir. Zeminin tokmaklanması amacıyla 1 kN veya 2 kN ağırlığındaki farklı tip tokmaklar (örneğin patlamalı tokmak) kullanılmaktadır.

Günümüzde boyutları nispeten küçük fakat işlevleri yeterince güvenilir olan ve bir kişinin elle kumandasıyla yönlendirilebilen silindirler mevcuttur.

Yüzey sıkıştırması yapılacak killi dolgularda, tekil durumdaki su muhtevası optimumunun ya kuru ya da yaş tarafta bulunması amaca uygundur. Buna karşılık doğal durumluk kohezyonlu zeminler, eğer doygunluk dereceleri yüksek ise, üst yüzey sıkıştırma ile iyileştirilemez.

Kohezyonlu bir zemin tabakasının sıkıştırılmasında en basit yöntem, zemin üzerinde düzgün yayılı bir üst yüzey yükü oluşturmaktır. Yüzey yükü olarak sonradan uzaklaştırılacak olan kum ve çakıl dolgular kullanılır. Konulan dolgu malzemesinin bir bölümü sıkışma ve yanlara kaçma nedeniyle, zemin içine batar ve o bölgede kalır. Böylece zemin plağı bu kum ve çakıl tabakası üzerine inşaa edilir.

Ön yüklemenden oluşan sıkışma, kohezyonsuz zeminlerde boşluk hacminin azalması biçiminde ortaya çıkar ve yük konulduktan hemen sonra tamamlanır. Kohezyonlu zeminlerde ise sıkışma, boşluk suyunun dışarı çıkma hızına bağlı olarak uzun bir zamana gerektirir. Bu nedenle konsolidasyonsuz sıkıştırma yönteminde, konsolide olmuş (sıkışma sonucu suyunu kaybetme aşamasında olan) kalın bir tabakadaki sıkıştırılmış boşluk suyu uzun bir düşey dren yolunu geçmek zorundadır. Bu durumda boşluk suyunun dışarı atılması için çok uzun bir zaman beklemek gerekir. Eğer önyüklemeye için kohezyonlu bir zemin öngörölmüş ise, suyun dışarı atılma süresi daha da artar. Böyle durumlarda geçirimsiz malzeme ile gerçekleştirilen ön yüklemeye, ilave yükü oluşturan dolgu tabakası ile sıkıştırılan zeminin üst yüzeyi arasına amaca uygun bir kum filtresi teşkil edilerek, drenaj sağlanması gerekir.

Taneli zeminlerde, kum veya taş kolonlar ile de sıkıştırma yapmak mümkündür. Burada bir dökme borusu gevşek kum içine sarsılarak veya çakılarak sokulur. Daha sonra boru sarsma yardımıyla içine kum doldurularak çekilir. Bu yöntem kum kazıkların çabuk imali için elverişlidir. Burada zeminin sıkıştırılması hem borunun çakılması sırasında deplasman, hem de bundan sonraki dinamik etki yardımıyla olur. Böylece kum zeminlerde bu etki, kum tam suya doygun veya tam kuru olduğunda en fazla olur. Kum kazıkların aralığı için 1,0 ila 1,5 m lik bir ölçü önerilmektedir. Ahşap veya beton çakma kazıklar, kohezyonsuz zeminlerde kum kazıklara benzer bir sıkıştırma etkisi yapar.

3.2.4.3 Zemin değıştirme ile zemin iyileştirilmesi

Eğer, bundan önceki bölümde anlatılan zemin sıkıştırma teknikleri amaca uygun değilse veya ekonomik olmazsa, zemin tabakalarının değıştirilmesi düşünölebilir. Bu amaçla, normal temel zemini bilgileri ve zemin araştırmalarından başka, aşağıda belirtilen özel araştırmaların da yapılması gerekir [5].

- a - Değıştirilecek zemin için su içinde kazı sorunu olup olmadığı araştırılır,
- b- Çıkarılan zeminin nerede depo edileceğı, hangi zemin mekaniğı ve temel tekniğı düşöncelerinin gerekli olduğı ve depolamanın güvenli olup olmadığının açıklığa kavuşturulması,
- c - Dolgu malzemesi olarak nasıl bir malzeme temin edilebileceğinin kontrolü,

d- Dolgu malzemesinin nasıl yerleştirileceği ve sıkıştırmanın gerekli olup olmadığının kontrolü,

e - Kazı çukurunun boş ve muhtemelen bir bölümünün dolu olması durumunda, çukur yan yüzeylerinin stabilitesinin araştırılması,

f - Kazı çukuru tabanında dolgu işlemi başlamadan önce bir düzeltme yapılmasının gerekli olup olmadığının kontrolü.

Zemin plak çukurunun yeraltı su seviyesi altında bulunması durumunda, kazının kuruda yapılması isteniyorsa, bu durumda yukarıdaki araştırmalardan başka yeraltı suyunun tutulması da gözönüne alınmalıdır. Çünkü, bu konu ekonomik düşünceleri de içine almaktadır. Bu tip problemlerle özellikle Organize Sanayi Bölgelerinde karşılaşmaktadır. Daha önceleri tarım yapılan araziler, tarım için elverişsiz hale geldiklerinde sanayi kuruluşları için tahsis edilmektedir. Tamamiyle suya doygun kohezyonlu zeminler içeren bu arazilerin tamamında yeraltı su seviyesi yüksektir. Ekonomik açıdan uygun olduğu düşünülen bu arazilere inşaa edilen fabrikaların zemin betonlarında, zemin iyileştirmesi için önceden tedbirler alınmadığından, daha önceden öngörülmeleyen büyük çapta hasarlar oluşmaktadır. Hasarın giderilmesi ve zemin betonunun tamiri için harcanan maliyet ve bu arada fabrikanın çalışmamasından doğan iş kaybı düşünüldüğünde, tasarım ve inşaa öncesi zemin iyileştirmesinin önemi anlaşılmaktadır.

Dolgu malzemesinin c maddesine göre kontrolü sırasında, sıkışabilirliği ve dayanıklılığı gözönüne alınarak, istenen amaca göre araştırma yapılmalıdır. Bu nedenle farklı dolgu malzemelerinin kullanılması ilginç olabilir. Örneğin, mekanik özellik olarak sağlam, fakat pahalı bir dolgu malzemesi doğrudan yük etki bölgesine konabilir. Buna karşılık yük etki bölgesinin dışında daha ucuz bir malzeme kullanılabilir. Zemin plak yükünün zemin içinde yatayla 60° lik açı yapacak biçimde yayıldığı varsayılabilir.

Taşıma gücü yetersiz zemin tabakalarının kalınlığı 2-3 m den daha az olduğunda, yeraltı suyuyla karşı özel önlem almak gerekmiyorsa, bu zemin tabakalarının istenen kısmı ekskavator veya dozer ile kazılabilir. Değiştirme malzemesinin mutlaka çakıl veya kum olması gerekmez. Ekonomik düşüncelerle, değişme malzemesi koşullarına uygun elek atığı veya endüstri atığı (cüruf gibi) gibi malzemeler de kullanılabilir. Değişme malzemesi tabaka tabaka ve üst yüzey sıkıştırma koşullarına uyularak uygulanmalıdır.

Zemin değiştirilmesinde ana amaç; yük altında bulunan zeminin iyileştirilmesi ve böylece taşıma gücü artırılarak oturmaların azaltılmasıdır. Oturma beklentisi yumuşak kohezyonlu zeminlerde en fazla olur. Böyle bir durumda taşıma gücü yetersiz zeminin yalnız en üstteki bölümünün değiştirilmesi ile plak için izin verilen oturma sınırının altına düşülebilir. Plak için yeterli alt temel tabakası kalınlığı oturma hesabı sonucu deneme ile bulunur. Bu alt temel tabakası, dengeleme yaparak oturmaları azaltır. Yastık tabakası kalınlığı arttıkça oturmalar hızla azalır. İzin verilen oturmaya veren en küçük kalınlık en ekonomik çözümü verir. Daha önceki bölümde sözü geçen alt temel kalınlığı, buradaki ile aynıdır. Taneli veya kohezyonlu malzemeden oluşan bu kalınlık arttıkça, tabakayı dolgu tabakası olarak varsaymak pek anlamsız olmayacaktır.

Güçlendirme teknikleri kullanılarak zemin iyileştirilmesi bu kitabın kapsamı dışında tutulmaktadır. Özellikle havaalanı ve kazıklı yol uygulamalarında bu tip iyileştirmeler ile karşılaşılabilir.