

**YÜZEYSEL TEMELLERİN TS 500'E GÖRE HESAP VE TASARIM
YÖNTEMLERİ**

Özgen KÖKTEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2008
ANKARA**

Özgen KÖKTEN tarafından hazırlanan YÜZEYSEL TEMELLERİN TS 500'E GÖRE HESAP VE TASARIM YÖNTEMLERİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Süleyman PAMPAL

.....

Tez Danışmanı, İnşaat Müh. Anabilim Dalı

Dr. Ünsal SOYGÜR

.....

Ortak Tez Danışmanı, İnşaat Müh. Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Sadık BAKIR

.....

İnşaat Müh. Anabilim Dalı, O.D.T.Ü.

Prof.Dr. Süleyman PAMPAL

.....

İnşaat Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Prof.Dr. Nail Ünsal

.....

İnşaat Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd.Doç.Dr. Özgür ANIL

.....

İnşaat Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Dr. Ünsal SOYGÜR

.....

İnşaat Müh. Anabilim Dalı, G.Ü.

Tarih: 27/06/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Özgen KÖKTEN

YÜZEYSEL TEMELLERİN TS 500'E GÖRE HESAP VE TASARIM YÖNTEMLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Özgen KÖKTEN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2008

ÖZET

Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları ile ilgili olan Türk Standardı TS 500 (2000) temellerin hesap ve tasarımlarının, elastik zemine oturan elemanlar olarak yapılmasını istemektedir. Ülkemiz mühendislik bürolarında, elastik zemine oturan temellerin hesap ve tasarımlarında kullanılan yerli ve yabancı bilgisayar programları, elastik zemine oturan temellerin hesap ve tasarımlarında genellikle Winkler modelini kullanmaktadırlar. Winkler modelinde, zeminin birbirinden bağımsız sonsuz sayıda elastik yaylardan oluştuğu ve temel zemininin her noktada, burada etkiyen gerilme ile orantılı olarak sıkıştığı ve oturduğu kabul edilmektedir. Bu yöntem, ülkemizde yaygın olarak kullanılan adıyla, yatak sayısı yöntemi olarak bilinmektedir. Yatak sayısı yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, bilgisayar programları kullanıcılardan girdi olarak yatak sayısı değerlerini istemektedir. Ülkemizde yatak sayısı değerleri genellikle, yerli veya yabancı kaynaklarda yer alan tablolardan, sanki bir zemin parametresiymiş gibi alınmaktadır. Halbuki, yatak sayısının hesaplanması için, temel tabanında oluşan gerilmelerin ve oturmaların hesaplanması gerekir. Temel tabanında oluşan gerilmelerin ve oturmaların hesaplanmasında üst yapıya, temele ve zemine ait birçok etken belirleyicidir. Bu nedenle yatak sayısı bir zemin parametresi değildir. Bu çalışmada, çok tabakalı

elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımlarına esas yatak sayılarının, temel tabanında oluşan gerilmelerin ve oturmaların hesaplanmasında belirleyici olan etkenlere bağlı olarak hesaplanabilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ile yapılan hesaplamalarda, çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tabanında oluşan oturmaların, çok tabakalı elastik zeminin, denk tabaka kalınlığına ve denk rijitlik modülüne sahip, tek tabakalı elastik zemine dönüştürülerek hesaplanabilmesi için de bağıntılar önerilmiştir. Ayrıca bu çalışmada, çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımlarına esas yatak sayılarını ve temel tabanında oluşan oturmaları, önerilen yöntem ile hesaplayabilen bir bilgisayar programı geliştirilerek sunulmuştur.

Bilim Kodu : 911.1.050

Anahtar Kelimeler : Yatak sayısı, Winkler modeli, elastik yarı mekan modeli, çok tabakalı elastik zemin, denk elastik yöntem, elastik zemine oturan plaklar, temellerin zemine göre rijitliği, oturmalar, sürekli temeller, radye temeller

Sayfa Adedi : 147

Tez Yöneticileri : Prof. Dr. Süleyman PAMPAL
: Dr. Ünsal SOYGÜR

**CALCULATION AND DESIGN METHODS FOR SHALLOW
FOUNDATIONS DUE TO TS 500**

(M.Sc. Thesis)

Özgen KÖKTEN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2008

ABSTRACT

Turkish Standard that requirements for design and construction of reinforced concrete structures as TS 500 (2000) record that, the calculations and designs of foundations should be done as foundation elements on elastic foundations. In our country, lots of computer programs are used in engineering offices for calculations of foundation elements on elastic foundations. These programs generally use Winkler model for calculations of foundation elements on elastic foundations. In Winkler model assumed that, the soil originate with independent infinite elastic springs and settlement of subgrade at some point of its surface as proportional to the stress between the foundation and the subgrade at the same point. This method, is known that the common name which is used in our country as subgrade reaction approach. In analyses are done with subgrade reaction approach, computer programs want that modulus of subgrede reaction values an input from users. In Turkey, the values of modulus of subgrade reaction (bedding module) generally are taken from tables as soil physical quantity, which were published in native or foreign sources. But, for determining modulus of subgrade reaction, the stresses and the settlements which occur at the base of foundation must be calculated. For calculation of stresses and settlements which occur at the base of foundation, there are lots of

factors are active, which are related with soil, foundation and superstructure. Because of this, the modulus of subgrade reaction is not a soil physical quantity. In this study, a method is proposed that involve factors acts for calculation of stresses and settlements for calculation of modulus of subgrade reaction due to rigid foundations which are supported by multi layered soil system. The calculations are done with proposed method, the settlements that occurs at base of foundation which are supported by multi layered soil system are calculated as converting single layered soil system. The converted single layered soil system involves equivalent layer thickness and equivalent constraint modulus. Besides in this study, a computer program is developed which can calculate the modulus of subgrade reaction for design and the settlements of rigid foundations which are supported by multi layered soil system.

Science Code : 911.1.050
Key Words : Bedding module, modulus of subgrade reaction, Winkler model, elastic half space model, multi layered soil systems, equivalent elastic method, plates on elastic foundations, relative stifnes of the foundations and soils, settlements, combined footings, mat foundations
Page Number : 147
Advisers : Prof. Dr. Süleyman PAMPAL
: Dr. Ünsal SOYGÜR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Prof.Dr.Süleyman PAMPAL'a ve yine değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, bana yeni ufuklar açan, çok değerli hocam Öğr.Gör.Dr.Ünsal SOYGÜR'e, ayrıca manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan annem Melek Fevziye MAVİOĞLU'na, ablam Özlem KÖKTEN'e ve çok değerli arkadaşlarım Esra ERCAN ve Yunus Emre KÖSE'ye teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	xi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xx
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. TS 500'E Göre Sürekli Temellerin Tasarım İlkeleri	3
2.2. Ülkemizde Yüzeysel Temellerin Hesap Ve Tasarımlarında Kullanılan Bilgisayar Programları Ve Kullandıkları Yöntemler	3
3. WINKLER ZEMİN MODELİ	5
4. YATAK SAYISI	10
4.1. Plaka Yükleme Deneyi	10
4.2. Yatak Sayısı Değerlerinin Yerli Veya Yabancı Kaynaklardan Alınması	12
4.2.1 Yerli veya yabancı kaynaklarda zemin sınıflarına göre tablolar halinde verilen yatak sayısı değerleri	13
4.3. Yatak Sayısı Değerleri İçin Önerilen Düzeltme Bağlantıları	19
4.4. Yatak Sayısının Temel Tabanında Dağılımı	23
4.5. Örnek Bir Şerit Temelin İncelenmesi	26
4.5.1. Temel zeminin orta katı kil olması ve yatak sayısının temel tabanında üniform olarak dağılması durumu	29

Sayfa

4.5.2. Temel zeminin orta katı kil olması ve yatak sayısının temel tabanında değişken olarak dağılması durumu	35
4.5.3. Temel zeminin sıkı kum olması ve yatak sayısının temel tabanında üniform olarak dağılması durumu	43
4.5.4. Temel zeminin sıkı kum olması ve yatak sayısının temel tabanında değişken olarak dağılması durumu	49
4.5.5. İzostatik hesap yöntemlerine göre hesap sonuçları	57
4.5.6. Şerit temelin eğilme rijitliğinin değişmesi durumu.....	58
4.5.7. Sonuçların değerlendirilmesi	61
5. WINKLER VE ELASTİK YARI MEKAN MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	62
6. ÇOK TABAKALI ELASTİK ZEMİNE OTURAN RİJİT TEMELLERİN TASARIMLARINA ESAS YATAK SAYISI DEĞERLERİNİN, ELASTİK YARI MEKAN MODELİ VE RİJİTLİK MODÜLÜ YÖNTEMİNE UYGUN OLARAK HESAPLANMASI.....	68
6.1. Çok Tabakalı Elastik Zemine Oturan Rijit Temellerin Tabanında Oluşan Gerilmelerin Zemin İçerisinde Düşey Dağılımı	71
6.2. Çok Tabakalı Elastik Zeminde Tabakları Oluşturan Zeminlerin Hacimsel Sıkışma Modülü Ve Rijitlik Modülü Değerlerinin Elde Edilmesi	84
6.3. Çok Tabakalı Elastik Zeminin Denk Tek Tabakalı Elastik Zemine Dönüştürülmesi	90
6.4. Denk Tek Tabakalı Elastik Zemine Oturan Temellerin Zemine Göre Rijitliklerinin Belirlenmesi.....	101
6.5. Denk Tek Tabakalı Elastik Zemine Oturan Rijit Temellerin Tabanında Oluşan Oturmaların Belirlenmesi	110
6.6. Çok Tabakalı Elastik Zemine Oturan Rijit Temellerin Tasarımlarına Esas Yatak Sayısı Değerlerinin Elastik Yarı Mekan Modeli İle Hesaplanması	117

Sayfa

7. ÇOK TABAKALI ELASTİK ZEMİNE OTURAN RİJİT TEMELLERİN TASARIMLARINA ESAS YATAK SAYISI DEĞERLERİNİ ÖNERİLEN YÖNTEM İLE HESAPLAYAN BİLGİSAYAR PROGRAMI.....	128
7.1. Geliştirilen Bilgisayar Programı İle İlgili Genel Bilgiler	128
7.2. Geliştirilen Programda Önerilen Yöntemin Basamakları ve Bağıntıları Kullanılan Kayıtlar	129
7.3. Geliştirilen Programla Yapılan Hesaplamalar İçin Kullanıcılardan İstenen Girdiler.....	130
7.4. Geliştirilen Programda Analiz İçin Kullanılan Akış Şeması.....	133
7.5. Geliştirilen Program İle Yapılan Analizlerin Sonuçlarının Görülmesi.....	135
7.5.1. Temel tabanında oluşan oturmalar, denk tabaka kalınlığı ve denk rijitlik modülü değerleri.....	136
7.5.2. Denk tek tabakalı elastik zemine oturan temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi	137
7.5.3. Çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımına esas yatak sayısı ve temel tabanında dağılımı	139
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	140
KAYNAKLAR	142
ÖZGEÇMİŞ.....	147

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. [12] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	13
Çizelge 4.2. [13] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	14
Çizelge 4.3. [14] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	14
Çizelge 4.4. [15] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	15
Çizelge 4.5. [11] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	15
Çizelge 4.6. [2] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	16
Çizelge 4.7. [16] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	16
Çizelge 4.8. [17] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	17
Çizelge 4.9. [18] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	17
Çizelge 4.10. [19] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	17
Çizelge 4.11. [20] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	18
Çizelge 4.12. [21] No'lu kaynağa göre yatak sayısı değerleri	19
Çizelge 4.13. Orta katı kil için tablolardan alınan yatak sayısı değerleri	29
Çizelge 4.14. Orta katı kil için düzeltilmiş yatak sayısı değerleri	30
Çizelge 4.15. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	31
Çizelge 4.16. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	32
Çizelge 4.17. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	33

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.18. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	34
Çizelge 4.19. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	35
Çizelge 4.20. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	36
Çizelge 4.21. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	37
Çizelge 4.22. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	38
Çizelge 4.23. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	39
Çizelge 4.24. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	40
Çizelge 4.25. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	41
Çizelge 4.26. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	42
Çizelge 4.27. Sıkı kum için tablolardan alınan yatak sayısı değerleri.....	43
Çizelge 4.28. Sıkı kum için düzeltilmiş yatak sayısı değerleri	44
Çizelge 4.29. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	45

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.30. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	46
Çizelge 4.31. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	47
Çizelge 4.32. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	48
Çizelge 4.33. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	49
Çizelge 4.34. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	50
Çizelge 4.35. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	51
Çizelge 4.36. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	52
Çizelge 4.37. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	53
Çizelge 4.38. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	54
Çizelge 4.39. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	55
Çizelge 4.40. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri	56

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.41. İzostatik hesap yöntemleriyle elde edilen, en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri.....	57
Çizelge 4.42. Elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri.....	59
Çizelge 6.1. Kany (1974) tarafından önerilen $f(\sigma_o)$ katsayıları	81
Çizelge 6.2. Rijitlik modülü, elastisite modülü, ve dinamik elastisite modülü değerleri arasındaki ilişki.....	89
Çizelge 6.3. Granüler zeminler için zemin rijitlik modülleri	90
Çizelge 6.4. Kohezyonlu zeminler için zemin rijitlik modülleri	90
Çizelge 6.5. Kany (1974) tarafından önerilen $f(s_o)$ katsayıları	116
Çizelge 6.6. Değişik temel genişliği ve zemin rijitlik modüllerine bağlı olarak elde edilen yatak sayısı değerleri.....	126
Çizelge 7.1. Önerilen yöntemin basamakları	129

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Elastik zemine oturan kiriş ve Winkler zemin modeli	5
Şekil 3.2. Winkler yarı uzayında tekil yük etkisindeki temel kirişi	7
Şekil 3.3. Bilgisayar programlarında Winkler yayları ile modellenen temeller	9
Şekil 4.1. Plaka yükleme deneyi ve yatak sayısı ilişkisi	10
Şekil 4.2. Plaka ve temel boyutlarına bağlı olarak, zemin içerisinde gerilmelerin etkin olduğu derinlikler	20
Şekil 4.3. Yatak sayısının temel tabanında dağılımı	24
Şekil 4.4. DIN 4019 ve Dörken - Dehne'ye göre sürekli temel tabanında yatak sayısı dağılımı	25
Şekil 4.5. Hahn'a göre sürekli temel tabanında yatak sayısı dağılımı	25
Şekil 4.6. Cotudo'ya göre radye temel tabanında yatak sayısı dağılımı	26
Şekil 4.7. Örnek olarak incelenen şerit temel	28
Şekil 5.2. Winkler modeli ve elastik yarı mekan modeli	63
Şekil 5.3. Winkler ve elastik yarı mekan modellerinin karşılaştırılması	64
Şekil 5.4. Winkler ve elastik yarı mekan modellerinin karşılaştırılması	64
Şekil 5.5. Yatak sayısı yöntemi, rijitlik modülü yöntemi ve izostatik hesap yöntemleri ile elde edilen eğilme momentleri ve temel tabanında oluşan gerilme dağılımlarının karşılaştırılması	67
Şekil 6.1. Düzgün yayılı yük etkisinde, çok tabakalı elastik zemine oturan B genişliğinde ki temel	69
Şekil 6.2. Çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımlarına esas yatak sayılarının, önerilen yöntemle belirlenebilmesi için izlenmesi gereken adımlar	70

Şekil	Sayfa
Şekil 6.3. Çok tabakalı elastik zemine oturan, rijit ve fleksibl temellerden zemine aktarılan gerilmelerin derinlikle azalımı ve tabakaların ortalarında hacimsel sıkışma modülü değerlerinin hesaplanması.....	72
Şekil 6.4. Boussineq, Zeeavert, Westergard ve Frochlich tarafından önerilen yöntemlerin karşılaştırılması.....	77
Şekil 6.5. Boussinesq, $\chi = 1,5$ ve $\chi = 4$ eğrilerinin arasında kalan çözümlerin karşılaştırılması.....	79
Şekil 6.6. Kany'ye göre, düzgün yayılı yüklerle yüklenen temellerin karakteristik noktaları altında, gerilmelerin zemin içerisinde derinlikle azalımı	80
Şekil 6.7. Tomlinson'a göre, düzgün yayılı yüklerle yüklenen dikdörtgen temellerin tabanında oluşan gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımı.....	82
Şekil 6.8. Newmark'ın önerdiği etki diyagramı	83
Şekil 6.9. Gerilme artışına bağlı olarak boşluk oranlarındaki değişim	85
Şekil 6.10. Boşluk oranlarındaki değişimin derinlikle ilişkisi	86
Şekil 6.11. Çok tabakalı elastik zeminin denk tek tabakalı elastik zemine Dönüştürülmesi	93
Şekil 6.12. Ullidtz tarafından denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülen iki tabakalı elastik zemin	95
Şekil 6.13. Ullidtz tarafından dört tabakalı elastik zeminin, üçüncü tabakaya bağlı olarak, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi... ..	96
Şekil 6.14. Poulos ve Small tarafından çok tabakalı elastik zeminin denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi.....	98
Şekil 6.15. Hirai tarafından önerilen yöntemle çok tabakalı elastik zeminin denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi	100
Şekil 6.16. Yapı ve temellerin değişik rijitlik oranları için, temellerde oluşan farklı oturma şekilleri	102

Şekil	Sayfa
Şekil 6.17. Kany, Grashoff, Sherif – König ve yatak sayısı yöntemine göre temellerin zemine göre rijitlikleri	110
Şekil 6.18. Temellerde oluşan oturma şekilleri ve karakteristik noktalar	111
Şekil 6.19. Temel tabanında oluşan oturmalar	112
Şekil 6.20. Temelin karakteristik noktası altında oluşan gerilmelerin ve oturmaların zemin içerisinde derinlikle değişimi ve oturma hesabında kullanılan rijitlik modülü değerlerinin elde edilişi	113
Şekil 6.21. Kany tarafından, ($f_{s,0}$) değerleri için önerilen eğriler	114
Şekil 6.22. Elastik yarı mekan	117
Şekil 6.23. Yatak sayısının, temel tabanında etkiyen net gerilmeler ile yapılacak bir oturma hesabı ile belirlenmesi	121
Şekil 6.24. Bilgisayar programlarında Winkler yayları ile modellenen tekil temel	122
Şekil 6.25. Geotechnisches Institut Magar + Partners tarafından önerilen yöntem ile yatak sayısı değerlerinin hesaplanması	123
Şekil 6.26. Değişik zemin rijitlik modülü değerlerine sahip, tek tabakalı elastik zemine oturan rijit temeller için, yatak sayısı değerlerindeki değişimin belirlenmesi	125
Şekil 6.27. Hesaplamalar sonucu elde edilen yatak sayısı değerleri.....	127
Şekil. 7.1. Geliştirilen programda kullanılan ana ekran ve hesaplamalar için kullanıcılardan istenen girdiler.....	131
Şekil. 7.2. Zemin tabakaları için kullanıcılardan istenen tabakalara ait birim hacim ağırlık değerleri ve boşlu oranları	132
Şekil. 7.3. Her tabaka için hesaplanan hacimsel sıkışma modülü ve rijitlik modülü değerleri	133
Şekil. 7.3. Geliştirilen programa ait akış şeması	134
Şekil. 7.4. Geliştirilen program ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilebilen sonuçlar	135

Şekil	Sayfa
Şekil. 7.5. Temel tabanında oluşan oturma değerleri denk tabak kalınlığı denk zemin rijitlik modülü değerleri	136
Şekil. 7.6. Temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi ve temellerin fleksibl olması durumunda kullanıcıların uyarılması	137
Şekil. 7.7. Temellerin zemine göre sonsuz rijit olmaya yaklaşımları durumunda da kullanıcıların uyarılması	138
Şekil. 7.8. Çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımına esas yatak sayısı ve temel tabanında dağılımı	139

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile beraber aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
B	Temel genişliği
E	Zemin elastisite modülü
E_v	Zemin dinamik elastisite modülü
E_b	Temel malzemesinin elastisite modülü
E_s	Zemin rijitlik modülü
e_0	Zemin boşluk oranı
k_o	Plaka yükleme deneyi ile elde edilen yatak sayısı
k_s	Temel tasarımına esas yatak sayısı
m_v	Hacimsel sıkışma modülü
σ_o	Temel tabanında oluşan gerileme
σ_z	Zemin içerisinde belirtilen z derinliğindeki gerilme
$\Delta\sigma_z$	Zemin içerisinde belirtilen z derinliğinde oluşan gerilme artışı
s	Temel tabanında oluşan oturma
v	Zemin poisson oranı

1. GİRİŞ

Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları ile ilgili olan Türk Standardı TS 500 (2000), temellerin hesap ve tasarımlarının, elastik zemine oturan elemanlar olarak yapılmasını istemektedir [1].

Ülkemiz mühendislik bürolarında, elastik zemine oturan temellerin hesap ve tasarımlarında yerli ve yabancı bilgisayar programları kullanılmaktadır. Kullanılan bilgisayar programları, elastik zemine oturan temellerin hesap ve tasarımlarında genellikle Winkler modelini kullanmaktadırlar.

Esasları Winkler tarafından verilen ve sonrasında Zimmerman tarafından geliştirilen Winkler – Zimmerman modelinin esası, zeminin elastik olduğu ve birbirinden bağımsız sonsuz sayıda yaylardan oluştuğu kabulüne dayanmaktadır. Bu yöntem, ülkemizde yaygın olarak kullanılan adıyla, yatak sayısı yöntemi olarak bilinmektedir.

Yatak sayısı yöntemi ile yapılan analizlerde, bilgisayar programları kullanıcılardan girdi olarak yatak sayısı değerlerini istemektedir.

Winkler modelinde, temel zemininin her noktada, burada etkiyen gerilme ile orantılı olarak sıkıştığı ve oturduğu kabul edilmektedir.

$$k_s = \frac{\sigma_0}{s} \quad (1.1)$$

Belirtilen bağıntıda, bir yay sabitine karşılık gelen yatak sayısının hesaplanması için temel tabanında oluşan gerilmelerin ve oturmaların hesaplanması gerekir. Temel tabanında oluşan gerilmelerin ve oturmaların hesaplanmasında üst yapıya, temele ve zemine ait birçok etken belirleyicidir.

Bu nedenle yatak sayısı zeminin fiziksel bir büyüklüğü değildir. Yatak sayısı temel tabanında oluşan gerilmelerin ve oturmaların hesaplanmasında belirleyici olan etkenlere de bağlıdır.

Bu çalışmada, çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin, tasarımlarına esas yatak sayısı değerlerinin hesaplanması için bir yöntem önerilmiştir. Çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tasarımlarına esas yatak sayılarının doğru olarak hesaplanabilmesi için, temel tabanında oluşan oturmalarında doğru olarak hesaplanması gerekir.

Bu amaçla, çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tabanında oluşan oturmaların, çok tabakalı elastik zeminin, denk tabaka kalınlığına ve denk rijitlik modülüne sahip tek tabakalı elastik zemine dönüştürülerek hesaplanabilmesi için de bir yöntem önerilmiştir.

Çalışmanın sonunda, çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımlarına esas yatak sayılarını ve temel tabanında oluşan oturmaları, önerilen yöntem ile hesaplayabilen bir bilgisayar programı geliştirilerek sunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. TS 500'E Göre Sürekli Temellerin Tasarım İlkeleri

Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları ile ilgili olan Türk Standardı TS 500 (2000) betonarme sürekli temellerin tasarım ilkeleri ile ilgili olarak aşağıdaki kayda sahiptir [1].

“Tasarım yükleri etkisiyle temel altında oluşacak zemin basınçlarının belirlenmesinde, üst yapının, temelin ve yarı elastik (veya inelastik) ortam durumundaki zeminin karşılıklı etkileşim ilişkileri temel alınmalıdır. Üst yapıdaki özel rijitlik dağılımları bir yana bırakılarak, temel tabanındaki ve zemin yüzeyindeki yer değiştirmelerin eşitliğinin sağlanması genelde yeterlidir. Bu amaçla zemin, yarı elastik ortam veya daha basit olarak, yeterli rijitlikte ve yeterli sayıda, birbirinden bağımsız yaylarla temsil edilebilir.”

TS 500 (2000) temel zemininin yarı elastik ortam olarak kabul edilebileceğini kaydetmektedir. Ancak bu ifade hatalıdır. Doğru ifadenin elastik yarı mekan olması gerekir. Ayrıca TS 500 (2000) temel tabanında oluşan basınç dağılımı ile ilgili olarak aşağıdaki kayda sahiptir [1].

“Ayrıntılı hesap gerektirmeyen durumlarda temel ve zemin rijitlikleri arasındaki oranın belli sınır değerlerin üstünde olması durumunda temel tabanında oluşacak zemin basınç dağılımının doğrusal olduğu varsayılabilir .”

TS 500 betonarme sürekli temellerin tasarımlarında temel zemininin elastik yaylarla modellenilebileceğini ve elastik zemine oturan elemanlar olarak çözülebileceğini kaydetmektedir.

2.2. Ülkemizde Yüzeysel Temellerin Hesap Ve Tasarımlarında Kullanılan Bilgisayar Programları Ve Kullandıkları Yöntemler

Ülkemiz mühendislik bürolarında, elastik zemine oturan temellerin hesap ve tasarımlarında yerli ve yabancı bilgisayar programları kullanılmaktadır.

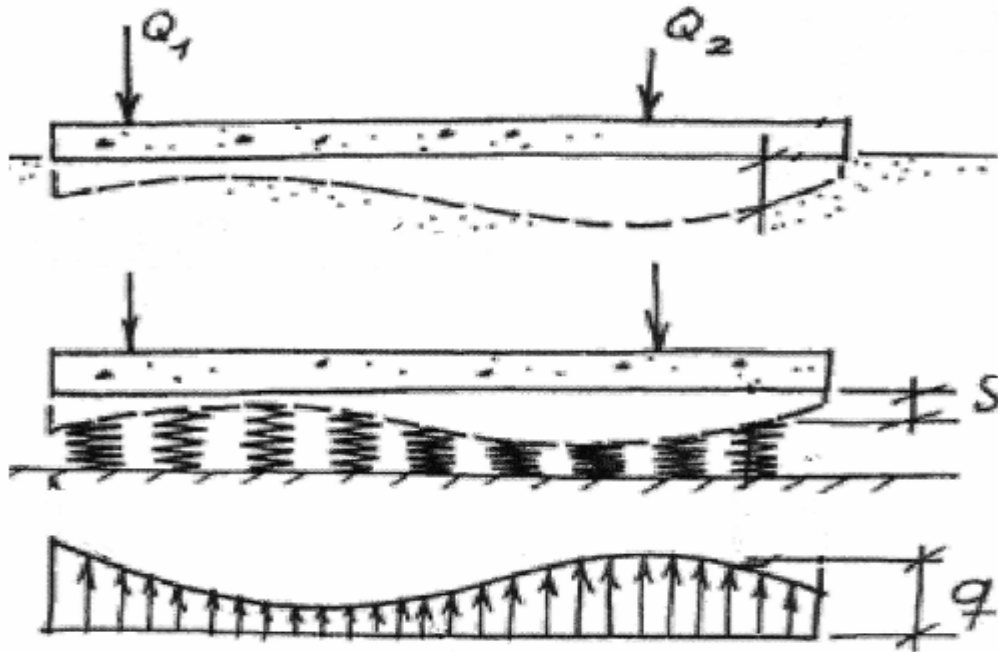
Bu programlar; Babalıoğlu, Probina, Sta4cad, Idecad, Sap, Ansys ve Lira olarak örneklenebilir.

Belirtilen bilgisayar programları elastik zemine oturan plakların hesap ve tasarımında genellikle Winkler modelini kullanmaktadırlar. Bu yöntem, ülkemizde yaygın olarak kullanılan adıyla, yatak sayısı yöntemi olarak bilinmektedir.

3. WINKLER ZEMİN MODELİ

Elastik zemine oturan kiriş yöntemi ilk olarak Winkler tarafından 1867 yılında demir yolları traverslerinin hesabında kullanılmıştır. Winkler (1867) hesaplamalarında, trenlerin geçmesi sırasında traverslerde oluşan sehimleri incelemiştir.

Zimmerman (1930) ve Schwedler (1889) Winkler'in hesap yöntemini, travers zemininde oluşan oturmaları da hesaba katarak geliştirmişlerdir [3, 8]. Winkler – Zimmerman modelinin esası, zeminin elastik olduğu ve birbirinden bağımsız sonsuz sayıda yaylardan oluştuğu kabulüne dayanmaktadır. Winkler – Zimmerman modelinde, temel zemininin her noktada burada etkiyen gerilme ile orantılı olarak sıkıştığı ve oturduğu kabul edilmektedir.



Şekil 3.1. Elastik zemine oturan kiriş ve Winkler zemin modeli [58]

Alman demiryolları hesaplamalarında kullanılan bu yöntem yatak sayısı yöntemi olarak adlandırılmıştır.

Ancak ülkemizde, yatak sayısı yöntemi dilimize çevrilen hali ile yatak katsayısı yöntemi olarak kullanılmaktadır. Türk Dil Kurumu yayımladığı sözlükte katsayı sözcüğünü aşağıdaki gibi tanımlamaktadır [59].

- a) Bir yasayı anlatan formülün yazılışında yer alan değişmeyen sayı
- b) Cisimlerin fiziksel özelliklerini belirten değişmeyen büyüklük

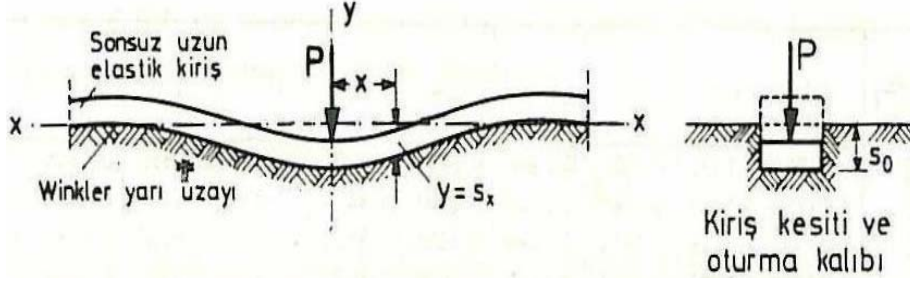
Yatak sayısı, hesaplamalarda kullanılan sabit bir değer değildir. Bu nedenle yatak katsayısı ifadesi bu değeri yansıtmamakta ve anlam olarak da yanlış kullanılmaktadır. Zimmerman (1930) tarafından geliştirilen yatak sayısı yöntemi, günümüzde birçok temel yapısının hesap ve tasarımında kullanılmaktadır.

Açıklığı A ve genişliği B olan elastik zemine oturmuş, p_x dış yükü ve q_x taban basıncı etkisi altındaki, eğilme rijitliği EJ olan kirişin, eğilme eğrisinin diferansiyel denklemi aşağıdaki gibidir [5].

$$\frac{d^4 s}{dx^4} = -\frac{B}{E \cdot J} \cdot (q_x - p_x) \quad (3.1)$$

Yatak sayısı (k_s) bir yay sabitine karşılık gelmekte olup, kirişin herhangi x mevkiinde oluşan s_x çökmesi ve aynı mevkideki q_x taban basıncı ile orantılıdır.

$$s_x = \frac{q_x}{k_s} \quad (3.2)$$



Şekil 3.2. Winkler yarı uzayında tekil yük etkisindeki temel kirişi [41]

Eş. 3.1 ve Eş. 3.2 numaralı denklemlerden yararlanılarak, $q_x=0$ olması durumunda aşağıdaki denklem elde edilmektedir [5].

$$\frac{d^4 s}{dx^4} = -\frac{4 \cdot s}{L_b^4} \quad (3.3)$$

Burada (L_b) elastik boyu ifade etmekte ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$L_b = \frac{4 \cdot E \cdot J}{(k_s \cdot B)^{0,25}} \quad (3.4)$$

Eş. 3.1, Eş. 3.2 ve Eş. 3.3 numaralı denklemlerden yararlanılarak elastik zemine oturan kirişlerin genel denklemi aşağıdaki elde edilmektedir.

$$\frac{d^4 s}{dx^4} + \left(\frac{4}{L_b^4} \right) \cdot s(x) = \frac{q_x}{E \cdot J} \quad (3.5)$$

Eğilme ölçü değeri olan (λ) aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır [7].

$$\lambda = \frac{1}{L_b^4} \quad (3.6)$$

Elde edilen (λ) değeriyle birlikte diferansiyel denklemin kısmi çözümler içeren genel çözümü aşağıdaki gibi elde edilmektedir [7].

$$s(x) = (A_1 \cdot \cos \lambda x + A_2 \cdot \sin \lambda x) \cdot e^{\lambda x} + (A_3 \cdot \cos \lambda x + A_4 \cdot \sin \lambda x) \cdot e^{-\lambda x} + \left(\frac{q_x}{B \cdot k_s} \right) \quad (3.7)$$

Burada A_1 , A_2 , A_3 , A_4 değerleri integral sabiti olmakta ve kirişin sınır şartlarına bağlı olarak belirlenmektedir. Eş. 3.7 numaralı denklemden yararlanılarak açısai dönme, taban basıncı, temelini eğilme momenti ve temelini kesme kuvveti gibi statik fonksiyonlar aşağıdaki gibi elde edilmektedir [7].

a) Açısai dönme;

$$\varphi_x = s'(x) \quad (3.8)$$

b) Temel tabanında oluşacak zemin basıncı;

$$\sigma_0 = k_s \cdot s(x) \quad (3.9)$$

c) Temelde oluşacak eğilme momenti;

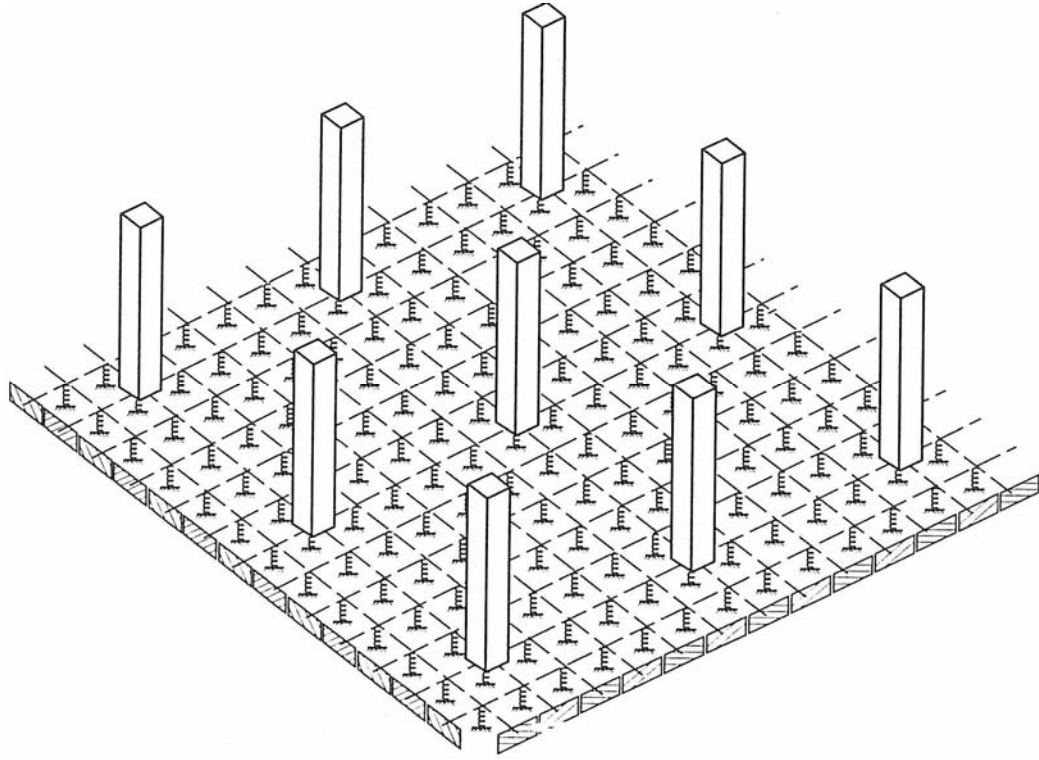
$$M(x) = E \cdot J \cdot s''(x) \quad (3.10)$$

d) Temelde oluşacak kesme kuvveti;

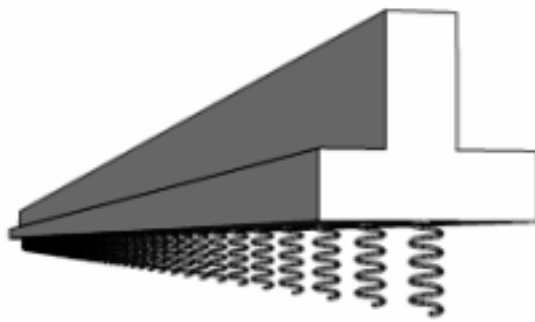
$$Q(x) = E \cdot J \cdot s'''(x) \quad (3.11)$$

Ülkemiz mühendislik bürolarında kullanılan bilgisayar programları, elastik zemine oturan temellerin, hesap ve tasarımlarında genellikle Winkler – Zimmerman modelini kullanmaktadırlar. Bu yöntem, ülkemizde

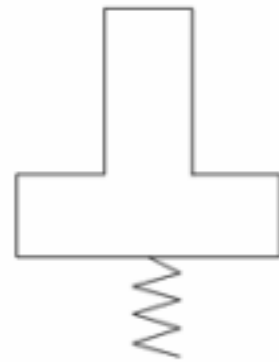
kullanılan yaygın adıyla, yatak sayısı yöntemi olarak bilinmektedir. Yatak sayısı yöntemi ile yapılan analizlerde kullanıcılardan girdi olarak yatak sayısı değerleri istenmektedir.



a)



b)



c)

Şekil 3.3. Bilgisayar programlarında Winkler yayları ile modellenen temeller

[9]

a) Radye temel

b) Sürekli temel

c) Tekil temel

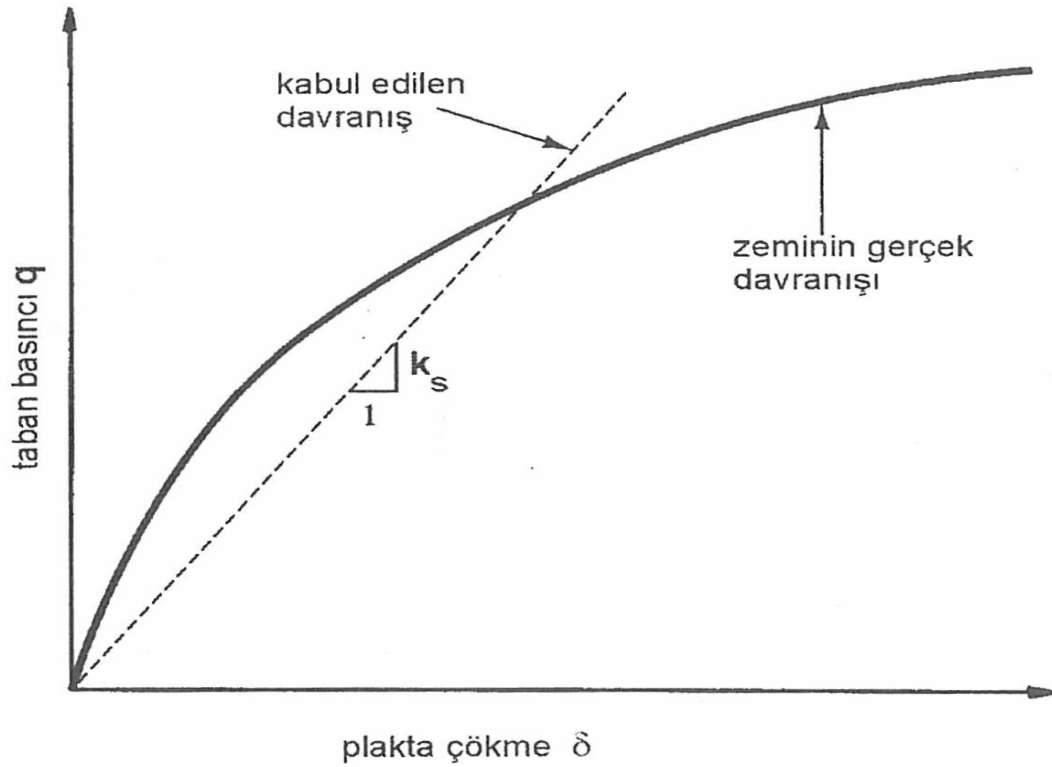
4. YATAK SAYISI

Ülkemiz mühendislik bürolarında kullanılan bilgisayar programlarında, yatak sayısı yöntemi ile yapılan analizler için programlara girdi teşkil eden yatak sayısı değerleri farklı yollarla elde edilebilir.

- a) Yerli veya yabancı kaynaklarda yer alan tablolardan
- b) Plaka yükleme deneylerinden
- c) Zeminin elastik parametreleri kullanılarak (Rijitlik modülü ve hacimsel sıkışma modülü)

4.1. Plaka Yükleme Deneyi

Yatak sayısı değerleri plaka yükleme deneyleri ile elde edilebilir. Plaka yükleme deneyi sonucunda elde edilen gerilme - oturma eğrisinin, lineer kabul edilen parçasının eğimi, yatak sayısı olarak ifade edilmektedir.



Şekil 4.1. Plaka yükleme deneyi ve yatak sayısı ilişkisi [11]

İnşaat mühendisliğinde temel zemini özelliklerinin yerinde ölçümü ile ilgili olan Türk Standardı TS 5744 (1988), plaka yükleme deneyinin amacı ile ilgili olarak aşağıdaki kayda sahiptir [9].

“Bu deney, zeminin rijit bir plakayla yüklenerek plaka çapının iki katı bir derinlikte, son taşıma gücü, deformasyon modülü ve yatak sayısının hesaplanmasını sağlayacak verileri elde etmede kullanılır.”

Eurocode 7 (2004) ise plaka yükleme deneyinin amacı ile ilgili olarak aşağıdaki kayda sahiptir [10].

- a) Zemin üzerinde yüklenen rijit plakanın yük deformasyon ilişkisi kaydedilerek, zemin ve kaya kütlelerinin düşey deformasyonları ve dayanım özellikleri elde edilebilir.
- b) Plaka yükleme deneyi sonucunda kaydedilen düşey deformasyonlar sayesinde yatak sayısı elde edilebilir.

Plaka yükleme deneylerinde, kare veya dairesel plakalar kullanılabilmektedir. Ülkemizde, plaka yükleme deneylerinde genellikle, kenar uzunlukları 30 cm olan kare plakalar veya alanları 900 cm^2 olan dairesel plakalar kullanılmaktadır.

TS 5744 (1988), plaka yükleme deneylerinde kullanılan plakaların özellikleri ile ilgili olarak aşağıdaki kayda sahiptir [9].

“ Plaka yükleme deneylerinde kullanılan plakaların; çelikten, kalınlığı 25 mm den az olmayan, 300 mm, 600 mm ve 762 mm çaplarında 3 adet olması gerekmektedir.”

Plaka yükleme deneyleri ile elde edilen değerler, temel tasarımında direkt olarak kullanılabilirler. Ancak bunun için bazı koşulların sağlanması gerekir. Weissman ve White, plaka yükleme deneyi sonuçlarının temel tasarımında direkt olarak kullanılabilmeleri için aşağıda belirtilen koşulların sağlanması gerektiğini kaydetmişlerdir [23].

- a) Plaka yükleme deneyinde kullanılan plaka alanları, tasarımı yapılan temel alanlarının %10 veya %15 i kadar olmalıdır.
- b) Plaka yükleme deneyi temel seviyesi ile aynı derinlikte yapılmalıdır.
- c) Plaka yükleme deneyi sırasında, temel tabanında oluşacak ortalama gerilme değerine yakın bir gerilme değeri, plaka tabanında oluşturulmalıdır.
- d) Yatak sayısı değerleri, yük kademeleri arttırılarak plaka tabanında oluşan en büyük gerilme ve temel tabanında oluşan gerilmeye yakın bir gerilme değeriyle yinelenerek hesaplanmalıdır.

Eurocode 7 (2004) ise plaka yükleme deneyi sonuçlarının, temel tasarımlarında direkt olarak kullanılabilmesi için sağlanması gereken koşulları aşağıdaki kaydetmektedir [10].

- a) Plaka altında yüklenen zemin, homojen ve plaka genişliği veya çapının en az 2 katı derinlikte olmalıdır.
- b) Deneyde kullanılan plaka boyutları, tasarımı yapılan temel boyutlarına yakın olmalıdır.

4.2. Yatak Sayısı Değerlerinin Yerli Veya Yabancı Kaynaklardan Alınması

Yatak sayısı değerleri yerli veya yabancı kaynaklarda yer alan tablolardan da alınabilir. Ülkemizde, yatak sayısı değerleri genellikle, sanki zemin sınıfına bağlı bir zemin parametresiymiş gibi, zemin sınıflarına göre düzenlenmiş tablolardan alınmaktadır.

Yerli veya yabancı kaynaklarda, zemin sınıflarına göre tablolar halinde verilen yatak sayısı değerleri, kenar uzunlukları 30 cm olan kare plakalar veya alanları 900 cm² olan dairesel plakalarla yapılan plaka yükleme deneyleri ile elde edilen değerlerdir.

Yerli veya yabancı kaynaklarda yer alan tablolarda, aynı zemin sınıfı için farklı yatak sayısı değerleri gözlemlenmektedir.

4.2.1 Yerli veya yabancı kaynaklarda zemin sınıflarına göre tablolar halinde verilen yatak sayısı değerleri

Yerli veya yabancı kaynaklarda zemin sınıflarına göre tablolar halinde verilen (k_0) yatak sayısı değerleri, aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.1. [12] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
Balçık, Turba	<2000
Plastik Kil	5 000 – 10 000
Yarı Sert Kil	10 000 – 15 000
Sert Kil	15 000 – 30 000
Sert Kil	15 000 – 30 000
Dolma Toprak	10 000 – 20 000
Gevşek Kum	10 000 – 20 000
Orta Sıkı Kum	20 000 – 50 000
Sıkı Kum	50 000 – 100 000
Sıkı Kumlu Çakıl	100 000 – 150 000
Sağlam Şist	>500 000

Çizelge 4.2. [13] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
Katı Kil	24 000 – 48 000
Sert Kil	48 000 – 96 000
Çok Sert Kil	>96 000
Gevşek Kum	8000 – 12 800
Orta Sıkı Kum	19 600 – 41 600
Sıkı Kum	96 000 – 160 000

Çizelge 4.3. [14] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
Kuru Gevşek Kum	8000 – 25 000
Kuru Orta Sıkı Kum	25 000 – 125 000
Kuru Sıkı Kum	125 000 – 375 000
Doygun Gevşek Kum	10 000 – 15 000
Doygun Orta Sıkı Kum	35 000 – 40 000
Doygun Sıkı Kum	130 000 – 150 000
Katı Kil	12 000 – 25 000
Yarı Sert Kil	25 000 – 50 000
Sert Kil	>50 000

Çizelge 4.4. [15] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
Gevşek Kum	4800 – 16 000
Orta Sıkı Kum	9600 – 80 000
Sıkı Kum	64 000 – 128 000
Killi Orta Sıkı Kum	32 000 – 80 000
Siltli Orta Sıkı Kum	24 000 – 48 000
Killer	
$\bar{\sigma}_{emn} < 200 \text{ kN/m}^2$	12 000 – 24 000
$200 < \bar{\sigma}_{emn} < 800 \text{ kN/m}^2$	24 000 – 48 000
$\bar{\sigma}_{emn} > 800 \text{ kN/m}^2$	>48 000

Çizelge 4.5. [11] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
OH-CH-MH	6800 – 47 500
OL-CL-ML	13 600 – 54 300
SM-SC	40 700 – 81 500
SW-SP	61 100 - >81 500
GM-GC	67 900 - >81 500
GW-GP	>81 500

Çizelge 4.6. [2] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
Balçık, Turba	<2000
Plastik Kil	5 000 – 10 000
Yarı Sert Kil	10 000 – 15 000
Sert Kil	15 000 – 30 000
Dolma Toprak	10 000 – 20 000
Gevşek Kum	10 000 – 20 000
Orta Sıkı Kum	20 000 – 50 000
Sıkı Kum	50 000 – 100 000
Sıkı Kumlu Çakıl	100 000 – 150 000
Sağlam Şist	>500 000
Kaya	>2 000 000

Çizelge 4.7. [16] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
Gevşek Kum	10 000 – 20 000
Orta Sıkı Kum	20 000 – 50 000
Sıkı Kum	50 000 – 100 000
Sıkı Kumlu Çakıl	100 000 – 150 000
Yumuşak Kil	5 000 – 10 000
Orta Sert Kil	10 000 – 15 000
Sert Kil	15 000 – 30 000

Çizelge 4.8. [17] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
Gevşek Kum	6 400 – 19 200
Orta Sıkı Kum	19 200 – 96 200
Sıkı Kum	96 200 – 320 100
Katı Kil	16 000 – 32 100
Yarı Sert Kil	32 100 – 64 200
Sert Kil	96 000

Çizelge 4.9. [18] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
Kuru Gevşek Kum	9 000 – 27 000
Kuru Orta Sıkı Kum	27 000 – 135 000
Kuru Sıkı Kum	135 000 – 450 000
Katı Kil	4 500 – 9 000
Yarı Sert Kil	9 000 – 18 000
Sert Kil	18 000 – 180 000

Çizelge 4.10. [19] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
Turba	5 000 – 20 000
Plastik Kil	30 000 – 60 000

Çizelge 4.10.(Devam) [19] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Yarı Sert Kil	50 000 – 90 000
Sert Kil	100 000 – 120 000
Kumlu Kil	80 000 – 100 000
Gevşek Kum	10 000 – 30 000
Orta Sıkı Kum	80 000 – 100 000
Sıkı Kum	180 000 – 240 000
Kumlu Sıkı Çakıl	200 000 – 300 000

Çizelge 4.11. [20] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
Turba	5 000 – 15 000
Orta Katı Kil	20 000 – 30 000
Katı Kil	40 000 – 50 000
Yarı Sert Kil	60 000 – 80 000
Sert Kil	100 000
Gevşek Kum	10 000 – 15 000
Orta Sıkı Kum	80 000 – 100 000
Sıkı Kum	120 000 – 150 000
Kumlu Sıkı Çakıl	200 000 – 250 000

Çizelge 4.12. [21] No'lu kaynağa göre (k_0) değerleri;

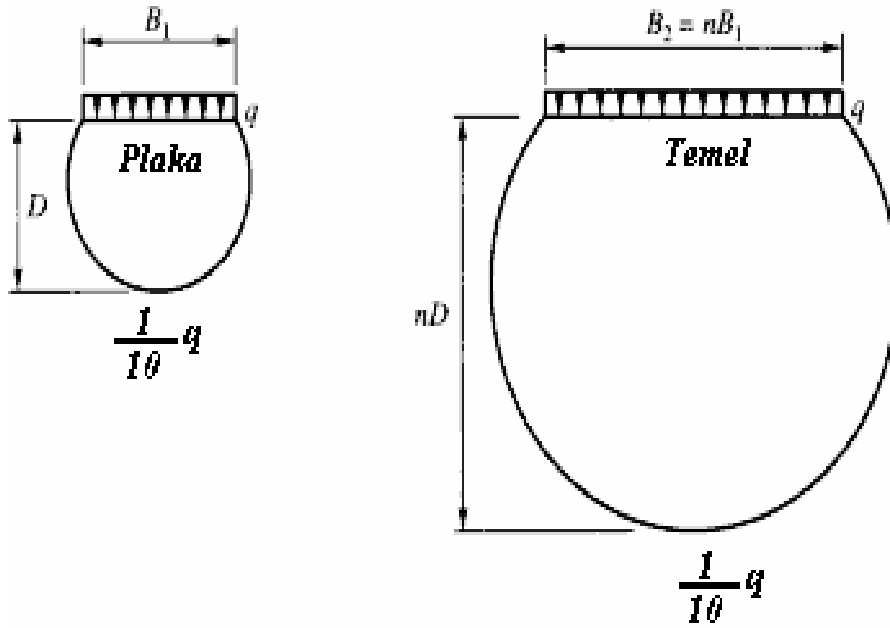
Zemin Sınıfı	Yatak Sayısı Değerleri (kN/m^3)
Turba	10 000 – 15 000
Orta Katı Kil	20 000 – 30 000
Katı Kil	40 000 – 50 000
Yarı Sert Kil	60 000 – 80 000
Sert Kil	100 000
Gevşek Kum	10 000 – 15 000
Orta sıkı Kum	80 000 – 100 000
Sıkı Kum	120 000 – 150 000
Kumlu Sıkı Çakıl	200 000 – 250 000

Ancak, plaka yükleme deneyleri ile elde edilen yatak sayısı değerlerinin, TS 5744'de (1988) kayda alınan koşullara uygun olarak belirlenmesi gerektiği unutulmamalıdır.

4.3. Yatak Sayısı Değerleri İçin Önerilen Düzeltme Bağlantıları

Köseoğlu (1986) plaka yükleme deneyleri ile elde edilen yatak sayısı değerleri için şöyle demektedir [41].

"Bu yatak sayısı değerleri yüksek yapılar altında bulunan geniş temel plakalarının hesabında kullanılamaz. Çünkü plaka yükleme deneyi temel büyüklüğüne oranla çok küçük çaplı bir plaka ile yapıldığından, zeminin ancak üst yüze yakın yerleri yüklenebilir. Bunun sonucu olarak zemindeki plastikleşme olayı oturmalar üzerinde çok etkili olur."



Şekil 4.2. Plaka ve temel boyutlarına bağlı olarak, zemin içerisinde gerilmelerin etkin olduğu derinlikler [62]

Bu nedenle plaka yükleme deneyleri ile elde edilen yatak sayısı değerleri, düzeltilmeden kullanılmaları halinde ancak hareketli yükler altındaki uçak pisti ve yol kaplamalarının hesabında kullanılabilir.

Plaka yükleme deneyleri ile elde edilen yatak sayısı değerlerinin, temel tasarımında kullanılabilmeleri için temel boyutlarına bağlı olarak düzeltilmeleri gerekir.

Eurocode 7 plaka yükleme deneyi ile elde edilen verilerin temel tasarımında kullanılmaları ile ilgili olarak aşağıdaki kayda sahiptir [20].

”Plaka yükleme deneylerinde kullanılan plakaların boyutlarının, tasarımı yapılmak istenen temel boyutlarına göre seçilmesi durumunda deney sonucu elde edilen veriler tasarımda direkt olarak kullanılabilir. Aksi hallerde plaka boyutlarının tasarımı yapılan temel boyutlarından küçük olması durumunda, deney sonuçlarının temel tasarımlarında kullanılabilmeleri için; deney sonuçlarının temel boyutlarına bağlı olarak ampirik yaklaşımlarla düzeltilmeleri gerekir.”

Bu amaçla başta Terzaghi olmak üzere birçok araştırmacı, yatak sayısı değerlerinin temel boyutlarına göre düzeltilmesi için bağıntılar önermişlerdir.

Terzaghi (1955), temellerin granüler zemine oturmaları durumunda, plaka yükleme deneyleri ile elde edilen yatak sayısı değerlerinin düzeltilmesi için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir [13].

$$k_s = k_o \cdot \left(\frac{B + 0,305}{2 \cdot B} \right)^2 \quad (4.1)$$

Bu bağıntıda k_o , 305 mm genişliğindeki plakayla yapılan plaka yükleme deneyi sonucu elde edilen yatak sayısı değeridir. B ise metre olarak temel genişliğidir.

Terzaghi (1955), kohezyonlu zemine oturan temeller için aşağıdaki düzeltme bağıntısını önermiştir [13].

$$k_s = 0,305 \cdot \frac{k_o}{B} \quad (4.2)$$

Terzaghi (1955), aynı yayılı yük ve B genişliğine sahip temellerde L temel uzunluğu artışının yatak sayısı değerlerini düşürdüğünü kaydetmiştir [13].

$$k_s = \frac{2}{3} \cdot k_o \cdot \left(1 + \frac{B}{2 \cdot L} \right) \quad (4.3)$$

Terzaghi (1955), yatak sayısı değerlerinin, zemin içerisinde (D) derinliğine bağlı olarak düzeltilmeleri için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir [13].

$$k_s = k_o \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{D}{B} \right) \quad (4.4)$$

Derinlik ve temel boyutlarının etkileri birleştirilerek granüler zemine oturan kare temeller için aşağıdaki bağıntı elde edilmektedir [13].

$$k_s = k_o \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{D}{B}\right) \cdot \left(\frac{B + 0,305}{2 \cdot B}\right)^2 \quad (4.5)$$

Ancak düzeltilerek elde edilen yatak sayısı değerlerinin aşağıdaki bağıntıdan büyük olmaması önerilmiştir [13].

$$k_s = 2 \cdot k_o \cdot \left(\frac{B + 0,305}{2 \cdot B}\right)^2 \quad (4.6)$$

Kohezyonlu zeminlerde derinliğe bağlı olarak düzeltme bağıntısı önerilmemektedir. Ancak kısmen granüler kısmen kohezyonlu zeminlere oturan temeller için aşağıdaki düzeltme bağıntısı önerilmiştir [13].

$$k_s = k_{oa} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{D}{B}\right) \cdot \left(\frac{B + 0,305}{2 \cdot B}\right)^2 + \frac{k_{ob}}{B} \cdot 0,305 \quad (4.7)$$

Burada k_{oa} ve k_{ob} değerleri ayrı boyutlardaki plakalarla yapılan plaka yükleme deneyleri ile elde edilen yatak sayısı değerleridir.

Vesic ve Broms, eğilme rijitliği (EI) olan temel kirişlerinde, yatak sayısı değerlerinin düzeltilmesi için bağıntılar önermişlerdir.

Broms tarafından önerilen düzeltme bağıntısı aşağıdaki gibidir [4, 32].

$$k_s = \alpha \cdot \frac{k_o}{B} \quad (4.8)$$

Vesic tarafından önerilen düzeltme bağıntısı ise aşağıdaki gibidir [4].

$$\alpha = 0,52 \cdot 12 \sqrt{\frac{k_0 \cdot B^4}{E \cdot I}} \quad (4.9)$$

Broms, α değerlerini, zemin dayanım özelliklerine ve temel özelliklerine bağlı olarak, n_1 ve n_2 değişkenleri ile aşağıdaki gibi kaydetmiştir [4, 32].

$$\alpha = n_1 \cdot n_2 \quad (4.10)$$

Broms, katı killer için n_1 ve n_2 değerlerinin 0,40 olarak kabul edilebileceğini ve bu durumda α değerinin de 0,160 olacağını kaydetmiştir [4, 32].

4.4. Yatak Sayısının Temel Tabanında Dağılımı

Winkler modeli zeminin sürekli yapısını göz ardı etmesi nedeni ile üniform yüklemeye maruz temellerde üniform deplasman öngörmekte ve kesit tesirlerini sıfır olarak vermektedir. Bu durum temel tabanındaki her noktada aynı yatak sayısı değerinin kullanılmasından ileri gelmektedir.

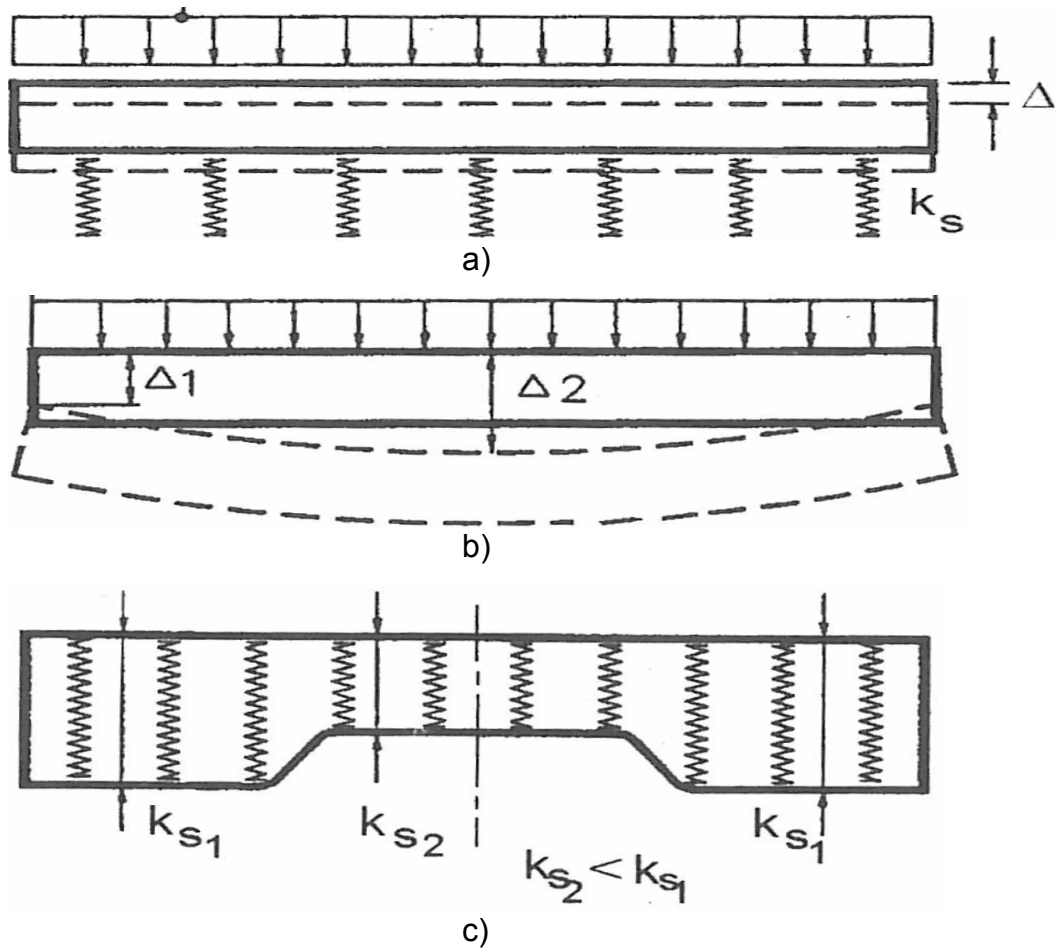
Ayrıca, Winkler modeli üniform yüklemeye maruz rijit temellerin tabanlarında üniform gerilme dağılımı ön görmektedir. Ancak elastik yarı mekana oturan, üniform yüklemeye maruz rijit temellerin tabanlarında, kenarlara doğru artış gösteren bir gerilme dağılımı oluşmaktadır.

Bu nedenle, yatak sayısı değerleri temel tabanı boyunca değişken olarak dağıtılmalıdır.

Ulrich (1995) ve Önalp (2006), boyutları küçük olan temellerde, yatak sayısının temel tabanı boyunca aynı değerde olması veya doğrusal olarak dağılmasının aşırı hatalar getirmeyeceğini ancak temel boyutları büyüdükçe bu hataların kabul edilemez düzeylere çıkacağını uygulamalarda görüldüğünü kaydetmişlerdir [11,28].

Ulrich (1995) ve Önalp (2006), bu hataların giderilebilmesi için yatak sayısı değerlerinin temel tabanında değişiminin, peşinen kabul edilmesi gerektiğini kaydetmişlerdir [11].

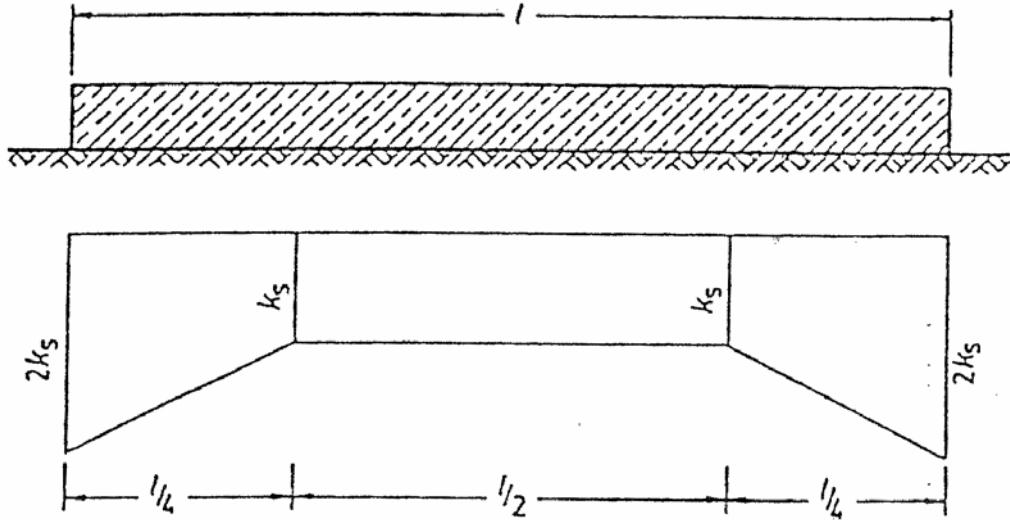
Önalp (2006), rijit temellerin tabanında değişken yatak sayısı değerleri ile hataların giderilebileceğini ve üniform yüklemeye maruz temellerde, eğilme momentlerine ulaşılabilceğini kaydetmiştir [11].



Şekil 4.3. Yatak sayısının temel tabanında dağılımı [11]

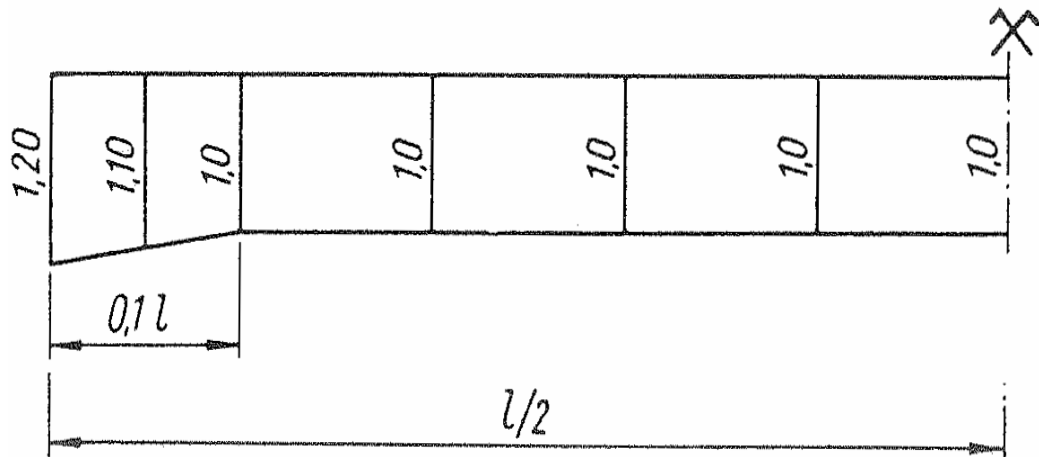
- a) Temel tabanında üniform yatak sayısı dağılımı
- b) Yatak sayısının temel tabanında değişken dağılımı durumunda oluşan eğilme eğrisi
- c) Temel tabanında değişken yatak sayısı dağılımı

DIN 4019 (1979) ve Dörken - Dehne (1995), (k_s) yatak sayısının, uzunluğu (L) olan temel kirişinde, ortadan ($0,50.L$) uzunlukta (k_s) ve uçlardan ($0,25.L$) uzunluktan itibaren doğusal artarak uçlarda ($2.k_s$) olacak şekilde dağıtılmasını önermişlerdir [21, 24].



Şekil 4.4. DIN 4019 ve Dörken - Dehne'ye göre sürekli temel tabanında yatak sayısı dağılımı [20, 24]

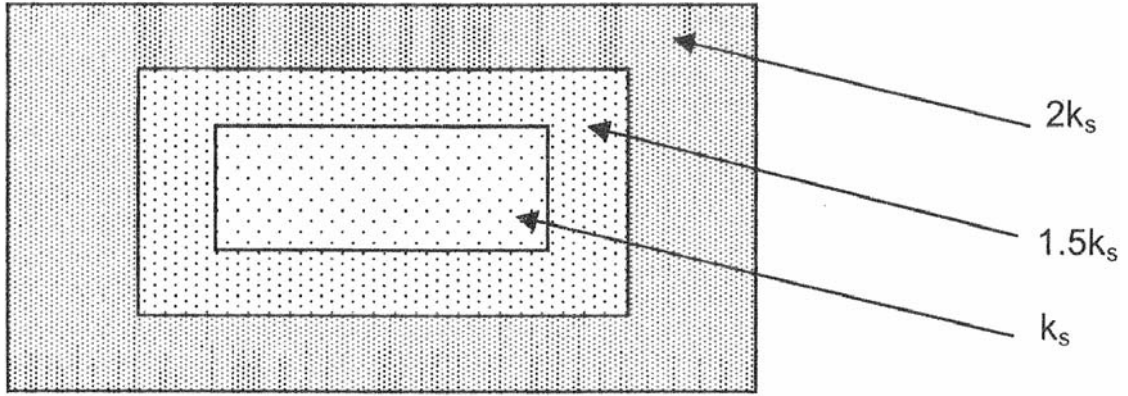
Hahn (1981), (k_s) yatak sayısının, uzunluğu (L) olan temel kirişinde, ortadan ($0,80.L$) uzunlukta (k_s) ve uçlardan ($0,10.L$) uzunluktan itibaren doğrusal artarak uçlarda ($1,2.k_s$) olacak şekilde dağıtılmasını önermiştir [25].



Şekil 4.5. Hahn'a göre sürekli temel tabanında yatak sayısı dağılımı [25]

Coduto (2000) radye temeller için temel alanının üç parçaya bölünerek yatak sayısı değerlerinin dağıtılmasını önermiştir [25]. Coduto (2000) genişliği (B) ve uzunluğu (L) olan radye temellerin tabanında, (k_s) yatak sayısı değerlerinin, ortadan kenarlara doğru aşağıdaki gibi dağıtılmasını önermiştir.

- a) ($0,5.L$) ve ($0,5.B$) ile belirlenen alanda (k_s) olarak;
- b) ($0,5.L$) ve ($0,5.B$) ile ($0,625.B$) ve ($0,625.L$) ile belirlenen alanlar arasında kalan alanda ($1,5.k_s$) olarak;
- c) ($0,625.B$) ve ($0,625.L$) ile (B) ve (L) ile belirlenen alanlar arasında kalan alanda ise ($2.k_s$) olarak.



Şekil 4.6. Coduto'ya göre radye temel tabanında yatak sayısı dağılımı [11]

Ülkemiz mühendislik bürolarında kullanılan bilgisayar programlarında, yatak sayısının sürekli ve radye temellerin tabanında dağılımı ile ilgili olarak, genel kabul görmüş standart bir kullanım yoktur. Kullanılan bilgisayar programlarında yatak sayısı değerleri, temellerin tabanında genellikle üniform olarak dağıtılmaktadır. Ancak bazı bilgisayar programlarında; yatak sayısı değerleri temel tabanında değişken olarak dağıtılmaktadır.

4.5. Örnek Bir Şerit Temelin İncelenmesi

Ülkemiz mühendislik bürolarında, elastik zemine oturan temellerin hesap ve tasarımlarında kullanılan bilgisayar programlarında, yatak sayısı yöntemi ile yapılan analizler için kullanıcılardan yatak sayısı değerleri istenmektedir.

Ülkemizde yatak sayısı değerleri genellikle, sanki bir zemin parametresiymiş gibi yerli veya yabancı kaynaklarda, zemin sınıflarına göre düzenlenmiş tablolardan alınmaktadır.

Yatak sayısı değerleri bu tablolarda, alt ve üst sınırları olan değer aralıkları ile verilmektedir. Bu nedenle verilen değer aralıklarında, yatak sayılarının hangi değeri ile alınacağı bir belirsizlik oluşturmaktadır. Ayrıca aynı zemin sınıfları için yerli veya yabancı kaynaklarda verilen tablolarda farklı yatak sayısı değerleri de gözlemlenmektedir.

Yerli ve yabancı kaynaklarda tablolar halinde verilen yatak sayısı değerleri, 30 cm genişliğindeki kare plakalarla veya 900 cm² alana sahip dairesel plakalarla yapılan plaka yükleme deneyleri ile elde edilen değerlerdir. Bu nedenle yatak sayılarının, tasarımı yapılan temel boyutlarına göre düzeltilmeleri gerekir. Ancak ülkemizde yatak sayıları genellikle düzeltilmeden kullanılmaktadır.

Ülkemizde, yatak sayısının sürekli ve radye temellerin tabanında dağılımı ile ilgili olarak da genel kabul görmüş bir kullanım yoktur. Bazı bilgisayar programları yatak sayısını, sürekli ve radye temellerin tabanında üniform olarak dağıtırken, bazı bilgisayar programları da değişken olarak dağıtmaktadır.

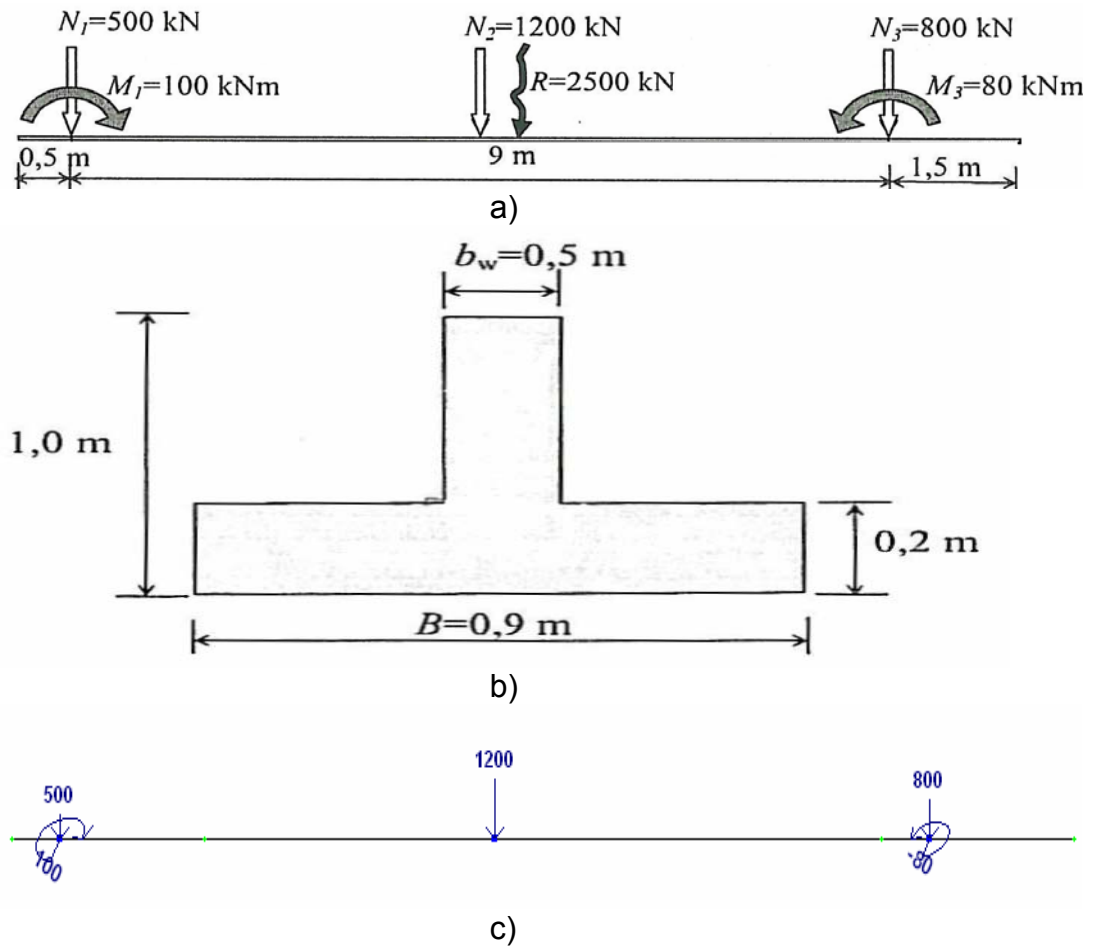
Belirtilen farklılıklar, aynı zemin ve temel özelliklerine sahip sistemler için yatak sayısı yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, farklı analiz sonuçlarının elde edilmesine neden olmaktadır.

Belirtilen farklılıkların, analiz sonuçlarına olan etkisinin araştırılması amacıyla; örnek bir şerit temel, belirtilen farklı durumlar için Lira v.9.4 sonlu elemanlar bilgisayar programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Örnek olarak incelenen şerit temelin, orta katı kil ve sıkı kum zeminlere oturması durumları için yatak sayısı yöntemine göre hesaplamalar

yapılmıştır. Belirtilen zemin sınıfları için yatak sayısı değerleri, yerli veya yabancı kaynaklardaki tablolarda verilen değer aralıklarının, alt ve üst sınırları ile alınmıştır.

Farklı durumlar için örnek olarak incelenen şerit temelde oluşan mesnet momentleri, açıklık momentleri ve temel tabanında oluşan gerilmeler elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler, izostatik hesap yöntemleri kullanılarak yapılan hesaplamalarla elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Örnek olarak incelenen şerit temelin boyutları ve şerit temeile etkiyen yükler aşağıdaki gibidir.



Şekil 4.7. Örnek olarak incelenen şerit temel [16]

- a) Şerit temeile etkiyen yükler
- b) Şerit temelin kesiti
- c) Şerit temel için oluşturulan sonlu elemanlar modeli

4.5.1. Temel zeminin orta katı kil olması ve yatak sayısının temel tabanında üniform olarak dağılması durumu

Temel zemininin orta katı kil olması durumunda, yerli veya yabancı kaynaklarda yer alan tablolarda, yatak sayısı değerleri için verilen değer aralıklarının, alt ve üst sınır değerleri aşağıdaki gibidir [2, 11–21].

Çizelge 4.13. Orta katı kil için tablolardan alınan yatak sayısı değerleri (k_0)

Orta Katı Kil	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri (kN/m^3)	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri (kN/m^3)
[13] No'lu Kaynağa Göre	24 000	24 000
[12] No'lu Kaynağa Göre	12 000	25 000
[15] No'lu Kaynağa Göre	12 000	24 000
[11] No'lu Kaynağa Göre	13 650	27 150
[17] No'lu Kaynağa Göre	16 000	32 100
[18] No'lu Kaynağa Göre	15 000	30 000
[20] No'lu Kaynağa Göre	10 000	30 000
[2] No'lu Kaynağa Göre	10 000	15 000
[16] No'lu Kaynağa Göre	10 000	15 000
[19] No'lu Kaynağa Göre	20 000	30 000
[21] No'lu Kaynağa Göre	30 000	50 000

Tablolardan alınan yatak sayısı değerlerinin, temel boyutlarına göre düzeltilmesi durumunda elde edilen yatak sayısı değerleri aşağıdaki gibidir [2, 11–21].

Çizelge 4.14. Orta katı kil için düzeltilmiş yatak sayısı değerleri (k_s)

Orta Katı Kil	Düzeltilen Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri (kN/m^3)	Düzeltilen Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri (kN/m^3)
[13] No'lu Kaynağa Göre	16 632	16 632
[12] No'lu Kaynağa Göre	8316	17 325
[15] No'lu Kaynağa Göre	8316	16 632
[11] No'lu Kaynağa Göre	9459	18 814
[17] No'lu Kaynağa Göre	11 088	22 245
[18] No'lu Kaynağa Göre	10 395	20 790
[20] No'lu Kaynağa Göre	6930	20 790
[2] No'lu Kaynağa Göre	6930	10 395
[16] No'lu Kaynağa Göre	6930	10 395
[19] No'lu Kaynağa Göre	13 860	20 790
[21] No'lu Kaynağa Göre	20 790	34 650

Tablolardan düzeltilmeden alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında üniform olarak dağılması durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.15. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	213,0	643,6	231,1
[12] No'lu Kaynağa Göre	217,0	653,5	229,2
[15] No'lu Kaynağa Göre	217,0	653,5	229,2
[11] No'lu Kaynağa Göre	216,4	653,5	229,5
[17] No'lu Kaynağa Göre	215,6	652,1	229,8
[18] No'lu Kaynağa Göre	216,0	650,1	229,7
[20] No'lu Kaynağa Göre	217,7	651,0	228,9
[2] No'lu Kaynağa Göre	217,7	655,3	228,9
[16] No'lu Kaynağa Göre	217,7	655,3	228,9
[19] No'lu Kaynağa Göre	214,3	646,8	230,5
[21] No'lu Kaynağa Göre	211,1	639,1	232,0

Çizelge 4.16. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	213,0	643,6	231,1
[12] No'lu Kaynağa Göre	212,6	642,9	231,2
[15] No'lu Kaynağa Göre	213,0	643,6	231,1
[11] No'lu Kaynağa Göre	212,0	641,2	231,6
[17] No'lu Kaynağa Göre	210,5	637,6	232,3
[18] No'lu Kaynağa Göre	211,1	639,1	232,0
[20] No'lu Kaynağa Göre	211,1	639,1	232,0
[2] No'lu Kaynağa Göre	216,0	651,0	229,7
[16] No'lu Kaynağa Göre	216,0	651,0	229,7
[19] No'lu Kaynağa Göre	211,1	639,1	232,0
[21] No'lu Kaynağa Göre	205,5	625,5	234,9

Tablolardan temel boyutlarına göre düzeltilerek alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında üniform olarak dağılması durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.17. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	215,4	649,6	229,9
[12] No'lu Kaynağa Göre	218,3	656,8	228,6
[15] No'lu Kaynağa Göre	218,3	656,8	228,6
[11] No'lu Kaynağa Göre	217,9	655,8	228,8
[17] No'lu Kaynağa Göre	217,3	654,3	229,1
[18] No'lu Kaynağa Göre	217,6	655,0	228,9
[20] No'lu Kaynağa Göre	218,9	658,1	228,4
[2] No'lu Kaynağa Göre	218,9	658,1	228,4
[16] No'lu Kaynağa Göre	218,9	658,1	228,4
[19] No'lu Kaynağa Göre	216,3	651,9	229,5
[21] No'lu Kaynağa Göre	214,0	646,2	230,6

Çizelge 4.18. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	215,4	649,6	229,9
[12] No'lu Kaynağa Göre	215,2	649,0	230,0
[15] No'lu Kaynağa Göre	215,4	649,6	230,1
[11] No'lu Kaynağa Göre	214,7	647,8	230,3
[17] No'lu Kaynağa Göre	214,7	647,8	230,3
[18] No'lu Kaynağa Göre	214,0	646,2	230,6
[20] No'lu Kaynağa Göre	217,6	655,0	228,9
[2] No'lu Kaynağa Göre	217,6	655,0	228,9
[16] No'lu Kaynağa Göre	217,6	655,0	228,9
[19] No'lu Kaynağa Göre	214,0	646,2	230,6
[21] No'lu Kaynağa Göre	209,7	635,7	232,7

Tablolardan, düzeltilerek veya düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt ve üst sınır değerlerinin, temel tabanında üniform olarak dağılması durumunda, elde edilen en büyük iç mesnet momenti değerlerinin; en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %4,8 mertebesinde dir.

Benzer şekilde, temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerlerinin, en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %2,8 mertebesinde dir.

4.5.2. Temel zeminin orta katı kil olması ve yatak sayısının temel tabanında değişken olarak dağılması durumu

Yatak sayısının temel tabanında Hahn'ın önerdiği şekilde dağılması durumu

Tablolardan düzeltilmeden alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında Hahn'ın önerdiği şekilde dağılması durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.19. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	233,1	655,3	267,4
[12] No'lu Kaynağa Göre	231,9	672,0	266,6
[15] No'lu Kaynağa Göre	231,9	672,0	266,6
[11] No'lu Kaynağa Göre	232,0	669,5	266,8
[17] No'lu Kaynağa Göre	232,3	666,2	266,9
[18] No'lu Kaynağa Göre	232,2	667,6	266,9
[20] No'lu Kaynağa Göre	231,6	675,1	266,5
[2] No'lu Kaynağa Göre	231,6	675,1	266,5
[16] No'lu Kaynağa Göre	231,6	675,1	266,5
[19] No'lu Kaynağa Göre	232,7	660,6	267,2
[21] No'lu Kaynağa Göre	233,6	647,9	267,6

Çizelge 4.20. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	233,1	655,3	267,4
[12] No'lu Kaynağa Göre	233,2	654,0	267,4
[15] No'lu Kaynağa Göre	233,1	655,3	267,4
[11] No'lu Kaynağa Göre	233,4	651,3	267,5
[17] No'lu Kaynağa Göre	233,8	645,4	267,7
[18] No'lu Kaynağa Göre	233,6	647,9	267,6
[20] No'lu Kaynağa Göre	233,6	647,9	267,6
[2] No'lu Kaynağa Göre	232,2	667,6	266,9
[16] No'lu Kaynağa Göre	232,2	667,6	266,9
[19] No'lu Kaynağa Göre	233,6	647,9	267,6
[21] No'lu Kaynağa Göre	235,3	626,3	268,1

Tablolardan temel boyutlarına göre düzeltilerek alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında Hahn'ın önerdiği şekilde dağılması durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.21. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	232,3	665,3	267,0
[12] No'lu Kaynağa Göre	231,4	677,8	266,5
[15] No'lu Kaynağa Göre	231,4	677,8	266,5
[11] No'lu Kaynağa Göre	231,6	675,8	266,4
[17] No'lu Kaynağa Göre	231,8	673,4	266,6
[18] No'lu Kaynağa Göre	231,7	674,4	266,5
[20] No'lu Kaynağa Göre	231,2	680,1	266,3
[2] No'lu Kaynağa Göre	231,2	680,1	266,3
[16] No'lu Kaynağa Göre	231,2	680,1	266,3
[19] No'lu Kaynağa Göre	232,0	669,3	266,9
[21] No'lu Kaynağa Göre	232,8	669,5	267,2

Çizelge 4.22. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	232,3	665,3	267,0
[12] No'lu Kaynağa Göre	232,4	664,3	267,1
[15] No'lu Kaynağa Göre	232,3	665,3	267,0
[11] No'lu Kaynağa Göre	232,6	662,2	267,2
[17] No'lu Kaynağa Göre	232,9	657,6	267,3
[18] No'lu Kaynağa Göre	232,8	659,5	267,2
[20] No'lu Kaynağa Göre	232,8	659,5	267,2
[2] No'lu Kaynağa Göre	231,7	674,4	266,5
[16] No'lu Kaynağa Göre	231,7	674,4	266,5
[19] No'lu Kaynağa Göre	232,8	659,5	267,2
[21] No'lu Kaynağa Göre	234,0	642,5	267,8

Tablolardan, düzeltilerek veya düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt ve üst sınır değerlerinin, temel tabanında Hahn'ın önerdiği şekilde dağılması durumunda, elde edilen en büyük iç mesnet momenti değerlerinin; en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %7,9 mertebesindedir. Benzer şekilde, temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerlerinin, en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %0,6 mertebesindedir.

Yatak sayısının temel tabanında DIN 4019'un önerdiği şekilde dağılması durumu

Tablolardan düzeltilmeden alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında DIN 4019'un önerdiği şekilde dağılması durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.23. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	301,2	818,8	353,2
[12] No'lu Kaynağa Göre	314,0	841,0	355,3
[15] No'lu Kaynağa Göre	314,0	841,0	355,3
[11] No'lu Kaynağa Göre	312,0	837,8	355,1
[17] No'lu Kaynağa Göre	309,4	833,2	354,7
[18] No'lu Kaynağa Göre	310,5	835,1	354,8
[20] No'lu Kaynağa Göre	316,4	845,1	355,7
[2] No'lu Kaynağa Göre	316,4	845,1	355,7
[16] No'lu Kaynağa Göre	316,4	845,1	355,7
[19] No'lu Kaynağa Göre	306,2	822,1	356,7
[21] No'lu Kaynağa Göre	295,4	808,8	352,1

Çizelge 4.24. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	301,2	818,8	353,2
[12] No'lu Kaynağa Göre	300,2	817,1	353,0
[15] No'lu Kaynağa Göre	301,2	818,8	353,2
[11] No'lu Kaynağa Göre	298,1	813,4	352,6
[17] No'lu Kaynağa Göre	293,5	805,5	351,7
[18] No'lu Kaynağa Göre	295,4	808,8	352,1
[20] No'lu Kaynağa Göre	295,4	808,8	352,1
[2] No'lu Kaynağa Göre	310,5	835,1	354,8
[16] No'lu Kaynağa Göre	310,5	835,1	354,8
[19] No'lu Kaynağa Göre	295,4	808,8	352,1
[21] No'lu Kaynağa Göre	276,4	772,9	354,6

Tablolardan temel boyutlarına göre düzeltilerek alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında DIN 4019'un önerdiği şekilde dağılması durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.25. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	308,5	831,7	354,3
[12] No'lu Kaynağa Göre	318,6	848,2	355,7
[15] No'lu Kaynağa Göre	318,6	848,2	355,7
[11] No'lu Kaynağa Göre	317,1	846,2	355,8
[17] No'lu Kaynağa Göre	315,0	842,8	355,5
[18] No'lu Kaynağa Göre	315,9	844,3	355,6
[20] No'lu Kaynağa Göre	319,8	850,9	355,7
[2] No'lu Kaynağa Göre	319,8	850,9	355,7
[16] No'lu Kaynağa Göre	319,8	850,9	355,7
[19] No'lu Kaynağa Göre	310,8	834,9	357,3
[21] No'lu Kaynağa Göre	304,4	824,2	353,8

Çizelge 4.26. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	308,5	831,7	354,3
[12] No'lu Kaynağa Göre	307,9	830,6	354,3
[15] No'lu Kaynağa Göre	308,5	831,7	354,3
[11] No'lu Kaynağa Göre	306,3	827,8	353,9
[17] No'lu Kaynağa Göre	302,9	821,8	353,5
[18] No'lu Kaynağa Göre	304,4	824,2	353,8
[20] No'lu Kaynağa Göre	304,4	824,2	353,8
[2] No'lu Kaynağa Göre	315,9	844,3	355,6
[16] No'lu Kaynağa Göre	315,9	844,3	355,6
[19] No'lu Kaynağa Göre	304,4	824,2	353,8
[21] No'lu Kaynağa Göre	289,0	796,1	355,8

Tablolardan, düzeltilerek veya düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt ve üst sınır değerlerinin, temel tabanında DIN 4019'un önerdiği şekilde dağılması durumunda, elde edilen en büyük iç mesnet momenti değerlerinin; en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %8,5 mertebesindedir. Benzer şekilde, temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerlerinin, en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %0,9 mertebesindedir.

4.5.3. Temel zeminin sıkı kum olması ve yatak sayısının temel tabanında üniform olarak dağılması durumu

Temel zemininin sıkı kum olması durumunda, yerli veya yabancı kaynaklarda yer alan tablolarda, yatak sayısı değerleri için verilen değer aralıklarının, alt ve üst sınır değerleri aşağıdaki gibidir [2, 11–21].

Çizelge 4.27. Sıkı kum için tablolardan alınan yatak sayısı değerleri (k_0)

Sıkı Kum	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri (kN/m ³)	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri (kN/m ³)
[13] No'lu Kaynağa Göre	96 000	160 000
[12] No'lu Kaynağa Göre	125 000	375 000
[15] No'lu Kaynağa Göre	64 000	128 000
[11] No'lu Kaynağa Göre	61 000	81 500
[17] No'lu Kaynağa Göre	96 200	320 100
[18] No'lu Kaynağa Göre	90 000	300 000
[20] No'lu Kaynağa Göre	150 000	200 000
[2] No'lu Kaynağa Göre	50 000	100 000
[16] No'lu Kaynağa Göre	50 000	100 000
[19] No'lu Kaynağa Göre	180 000	240 000
[21] No'lu Kaynağa Göre	120 000	150 000

Tablolardan alınan yatak sayısı değerlerinin, temel boyutlarına göre düzeltilmesi durumunda elde edilen yatak sayısı değerleri aşağıdaki gibidir [2, 11–21].

Çizelge 4.28. Sıkı kum için düzeltilmiş yatak sayısı değerleri (k_s)

Sıkı Kum	Düzeltilen Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri (kN/m^3)	Düzeltilen Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri (kN/m^3)
[13] No'lu Kaynağa Göre	105 600	176 000
[12] No'lu Kaynağa Göre	138 750	416 250
[15] No'lu Kaynağa Göre	70 400	140 800
[11] No'lu Kaynağa Göre	67 210	89 650
[17] No'lu Kaynağa Göre	105 820	352 110
[18] No'lu Kaynağa Göre	99 000	333 000
[20] No'lu Kaynağa Göre	165 000	220 000
[2] No'lu Kaynağa Göre	55 000	110 000
[16] No'lu Kaynağa Göre	55 000	110 000
[19] No'lu Kaynağa Göre	198 000	264 000
[21] No'lu Kaynağa Göre	132 000	165 000

Tablolardan düzeltilmeden alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında üniform olarak dağılması durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.29. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	196,3	600,6	240,6
[12] No'lu Kaynağa Göre	197,3	588,1	243,8
[15] No'lu Kaynağa Göre	202,0	617,1	236,7
[11] No'lu Kaynağa Göre	202,7	618,8	236,4
[17] No'lu Kaynağa Göre	196,4	600,5	240,7
[18] No'lu Kaynağa Göre	196,2	603,5	239,9
[20] No'lu Kaynağa Göre	198,1	878,7	246,2
[2] No'lu Kaynağa Göre	205,5	625,5	234,9
[16] No'lu Kaynağa Göre	205,5	625,5	234,9
[19] No'lu Kaynağa Göre	198,9	568,8	248,9
[21] No'lu Kaynağa Göre	197,2	590,1	243,3

Çizelge 4.30. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	198,3	575,2	247,1
[12] No'lu Kaynağa Göre	198,1	578,7	246,2
[15] No'lu Kaynağa Göre	197,4	586,8	244,1
[11] No'lu Kaynağa Göre	198,0	607,7	238,9
[17] No'lu Kaynağa Göre	201,7	535,1	258,4
[18] No'lu Kaynağa Göre	201,4	539,0	257,3
[20] No'lu Kaynağa Göre	199,6	562,8	250,5
[2] No'lu Kaynağa Göre	196,5	598,8	241,1
[16] No'lu Kaynağa Göre	196,5	598,8	241,1
[19] No'lu Kaynağa Göre	200,2	552,3	253,5
[21] No'lu Kaynağa Göre	198,1	578,7	246,2

Tablolardan temel boyutlarına göre düzeltilerek alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında üniform olarak dağılması durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.31. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	196,7	596,2	241,7
[12] No'lu Kaynağa Göre	197,9	281,2	245,6
[15] No'lu Kaynağa Göre	200,5	613,5	237,6
[11] No'lu Kaynağa Göre	201,2	615,3	237,1
[17] No'lu Kaynağa Göre	196,7	596,1	241,7
[18] No'lu Kaynağa Göre	196,5	599,2	241,0
[20] No'lu Kaynağa Göre	198,5	573,6	247,6
[2] No'lu Kaynağa Göre	204,2	622,4	235,5
[16] No'lu Kaynağa Göre	204,2	622,4	235,5
[19] No'lu Kaynağa Göre	199,3	563,4	250,4
[21] No'lu Kaynağa Göre	197,5	585,3	244,5

Çizelge 4.32. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	198,8	570,0	248,5
[12] No'lu Kaynağa Göre	198,5	573,1	247,7
[15] No'lu Kaynağa Göre	197,8	582,0	245,3
[11] No'lu Kaynağa Göre	196,3	603,6	239,9
[17] No'lu Kaynağa Göre	202,2	529,4	260,1
[18] No'lu Kaynağa Göre	201,9	533,3	258,9
[20] No'lu Kaynağa Göre	199,8	557,4	252,0
[2] No'lu Kaynağa Göre	196,8	594,3	242,2
[16] No'lu Kaynağa Göre	196,8	594,3	242,2
[19] No'lu Kaynağa Göre	200,7	546,6	255,1
[21] No'lu Kaynağa Göre	198,5	573,6	247,6

Tablolardan, düzeltilerek veya düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt ve üst sınır değerlerinin, temel tabanında üniform olarak dağılması durumunda, elde edilen en büyük iç mesnet momenti değerlerinin; en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %14,7 mertebesindedir. Benzer şekilde, temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerlerinin, en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %9,6 mertebesindedir.

4.5.4. Temel zeminin sıkı kum olması ve yatak sayısının temel tabanında değişken olarak dağılması durumu

Yatak sayısının temel tabanında Hahn'ın önerdiği şekilde dağılması durumu

Tablolardan düzeltilmeden alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında Hahn'ın önerdiği şekilde dağılması durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.33. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	238,1	589,4	267,8
[12] No'lu Kaynağa Göre	239,4	571,8	267,2
[15] No'lu Kaynağa Göre	236,2	613,6	268,1
[11] No'lu Kaynağa Göre	236,0	616,1	268,1
[17] No'lu Kaynağa Göre	238,1	589,0	267,8
[18] No'lu Kaynağa Göre	237,7	593,5	267,9
[20] No'lu Kaynağa Göre	240,4	559,0	266,5
[2] No'lu Kaynağa Göre	235,3	626,3	268,1
[16] No'lu Kaynağa Göre	235,3	626,3	268,1
[19] No'lu Kaynağa Göre	241,5	545,6	265,7
[21] No'lu Kaynağa Göre	239,2	574,6	267,3

Çizelge 4.34. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	240,8	554,3	266,3
[12] No'lu Kaynağa Göre	240,4	559,0	266,5
[15] No'lu Kaynağa Göre	239,5	570,2	267,1
[11] No'lu Kaynağa Göre	237,3	599,6	268,0
[17] No'lu Kaynağa Göre	245,1	549,9	262,1
[18] No'lu Kaynağa Göre	244,6	549,5	262,5
[20] No'lu Kaynağa Göre	242,1	546,2	265,2
[2] No'lu Kaynağa Göre	238,3	586,8	267,7
[16] No'lu Kaynağa Göre	238,3	586,8	267,7
[19] No'lu Kaynağa Göre	243,2	548,0	264,1
[21] No'lu Kaynağa Göre	240,4	559,0	266,5

Tablolardan temel boyutlarına göre düzeltilerek alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında Hahn'ın önerdiği şekilde dağılması durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.35. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	238,5	583,2	267,6
[12] No'lu Kaynağa Göre	240,0	564,5	266,8
[15] No'lu Kaynağa Göre	236,6	608,2	268,1
[11] No'lu Kaynağa Göre	236,4	610,9	268,1
[17] No'lu Kaynağa Göre	238,5	583,1	267,6
[18] No'lu Kaynağa Göre	238,2	587,5	267,7
[20] No'lu Kaynağa Göre	241,0	552,0	266,1
[2] No'lu Kaynağa Göre	235,6	621,6	268,1
[16] No'lu Kaynağa Göre	235,6	621,6	268,1
[19] No'lu Kaynağa Göre	242,1	546,1	265,2
[21] No'lu Kaynağa Göre	239,9	568,0	267,0

Çizelge 4.36. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	241,4	547,3	265,8
[12] No'lu Kaynağa Göre	241,0	551,4	266,1
[15] No'lu Kaynağa Göre	240,1	563,5	266,8
[11] No'lu Kaynağa Göre	237,7	593,8	267,9
[17] No'lu Kaynağa Göre	245,7	550,3	261,3
[18] No'lu Kaynağa Göre	245,3	550,0	261,8
[20] No'lu Kaynağa Göre	242,7	547,2	264,6
[2] No'lu Kaynağa Göre	238,7	580,5	267,5
[16] No'lu Kaynağa Göre	238,7	580,5	267,5
[19] No'lu Kaynağa Göre	243,8	548,7	263,5
[21] No'lu Kaynağa Göre	241,0	552,0	266,1

Tablolardan, düzeltilerek veya düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt ve üst sınır değerlerinin, temel tabanında Hahn'ın önerdiği şekilde dağılması durumunda, elde edilen en büyük iç mesnet momenti değerlerinin; en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %12,9 mertebesindedir. Benzer şekilde, temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerlerinin, en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %2,2 mertebesindedir.

Yatak sayısının temel tabanında DIN 4019'un önerdiği şekilde dağılımı durumu

Tablolardan düzeltilmeden alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında DIN 4019'un önerdiği şekilde dağılımı durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.37. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	251,8	728,5	339,5
[12] No'lu Kaynağa Göre	239,2	703,5	334,5
[15] No'lu Kaynağa Göre	269,5	762,2	345,5
[11] No'lu Kaynağa Göre	271,3	765,5	345,9
[17] No'lu Kaynağa Göre	236,6	698,3	341,6
[18] No'lu Kaynağa Göre	254,8	734,3	340,6
[20] No'lu Kaynağa Göre	230,3	684,8	330,5
[2] No'lu Kaynağa Göre	279,0	779,9	348,2
[16] No'lu Kaynağa Göre	217,9	779,9	348,2
[19] No'lu Kaynağa Göre	217,9	654,6	346,2
[21] No'lu Kaynağa Göre	237,8	697,7	349,3

Çizelge 4.38. Tablolardan, düzeltilmeden alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilmeden Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	227,0	678,0	329,0
[12] No'lu Kaynağa Göre	230,3	684,8	330,5
[15] No'lu Kaynağa Göre	240,7	706,9	341,7
[11] No'lu Kaynağa Göre	259,1	742,9	342,2
[17] No'lu Kaynağa Göre	194,0	599,6	310,3
[18] No'lu Kaynağa Göre	196,7	607,1	312,2
[20] No'lu Kaynağa Göre	216,1	653,6	323,5
[2] No'lu Kaynağa Göre	249,9	724,8	338,8
[16] No'lu Kaynağa Göre	249,9	724,8	338,8
[19] No'lu Kaynağa Göre	204,7	622,2	344,3
[21] No'lu Kaynağa Göre	230,3	684,8	330,5

Tablolardan temel boyutlarına göre düzeltilerek alınan yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında DIN 4019'un önerdiği şekilde dağılması durumunda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.39. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının alt sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Alt Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	247,3	719,8	337,8
[12] No'lu Kaynağa Göre	232,6	689,8	331,6
[15] No'lu Kaynağa Göre	265,5	754,8	344,3
[11] No'lu Kaynağa Göre	267,3	758,2	344,6
[17] No'lu Kaynağa Göre	247,2	719,5	337,8
[18] No'lu Kaynağa Göre	250,4	725,7	339,0
[20] No'lu Kaynağa Göre	225,4	674,7	329,3
[2] No'lu Kaynağa Göre	275,5	773,2	347,2
[16] No'lu Kaynağa Göre	275,5	773,2	347,2
[19] No'lu Kaynağa Göre	213,3	644,0	345,5
[21] No'lu Kaynağa Göre	232,2	687,9	348,6

Çizelge 4.40. Tablolardan, düzeltilerek alınan yatak sayılarının üst sınırları için hesaplanan en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Tablolardan Düzeltilerek Alınan Yatak Sayılarına Göre	Yatak Sayılarının Üst Sınır Değerleri		
	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
[13] No'lu Kaynağa Göre	221,6	664,8	320,7
[12] No'lu Kaynağa Göre	224,5	672,0	319,6
[15] No'lu Kaynağa Göre	232,2	690,4	331,5
[11] No'lu Kaynağa Göre	254,9	734,6	340,7
[17] No'lu Kaynağa Göre	189,8	588,4	307,4
[18] No'lu Kaynağa Göre	192,6	596,0	309,4
[20] No'lu Kaynağa Göre	211,3	642,9	320,0
[2] No'lu Kaynağa Göre	245,3	715,9	337,0
[16] No'lu Kaynağa Göre	245,3	715,9	337,0
[19] No'lu Kaynağa Göre	213,4	563,1	380,5
[21] No'lu Kaynağa Göre	225,4	674,7	328,3

Tablolardan, düzeltilerek veya düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt ve üst sınır değerlerinin, temel tabanında DIN 4019'un önerdiği şekilde dağılması durumunda, elde edilen en büyük iç mesnet momenti değerlerinin; en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %24,1 mertebesindedir. Benzer şekilde, temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerlerinin, en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %10,7 mertebesindedir.

4.5.5. İzostatik hesap yöntemlerine göre hesap sonuçları

Örnek olarak incelenen şerit temel, izostatik hesap yöntemleri kullanılarak da hesaplanabilir.

Etki alanı yöntemi veya rijit temel kabulü yapılarak, izostatik hesap yöntemleri ile yapılan hesaplamalarda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.41. İzostatik hesap yöntemleriyle elde edilen, en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

İzostatik Hesap Yöntemlerine Göre	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
Rijit Temel Kabulü İle	200,0	690,9	227,2
Etki Alanı Yöntemi İle	225,0	450,0	266,6

Temel zemininin orta katı kil olması durumunda tablolardan, düzeltilerek veya düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt ve üst sınır değerlerinin, temel tabanında uniform olarak dağılması durumunda elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri ve rijit temel kabulü ile elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri arasındaki fark %5,2 mertebesindedir. Temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerleri arasındaki fark ise %3,0 mertebesindedir.

Yatak sayısının, temel tabanında Hahn'ın önerdiği şekilde dağılması durumunda ise elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri ve rijit temel kabulü ile elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri arasındaki fark %2,3 mertebesindedir. Temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerleri arasındaki fark ise %15,2 mertebesindedir.

Yatak sayısının, temel tabanında DIN 4019'un önerdiği şekilde dağılması durumunda ise elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri ve rijit temel kabulü ile elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri arasındaki fark %18,2 mertebesindedir. Temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerleri arasındaki fark ise %36,4 mertebesindedir.

Temel zemininin sıkı kum olması durumunda tablolardan, düzeltilerek veya düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt ve üst sınır değerlerinin, temel tabanında uniform olarak dağılması durumunda elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri ve rijit temel kabulü ile elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri arasındaki fark %9,6 mertebesindedir. Temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerleri arasındaki fark ise %12,7 mertebesindedir.

Yatak sayısının, temel tabanında Hahn'ın önerdiği şekilde dağılması durumunda ise elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri ve rijit temel kabulü ile elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri arasındaki fark %9,4 mertebesindedir. Temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerleri arasındaki fark ise %15,3 mertebesindedir.

Yatak sayısının, temel tabanında DIN 4019'un önerdiği şekilde dağılması durumunda ise elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri ve rijit temel kabulü ile elde edilen en büyük iç mesnet momenti değeri arasındaki fark %11,3 mertebesindedir. Temel tabanında elde edilen en büyük gerilme değerleri arasındaki fark ise %40,3 mertebesindedir.

4.5.6. Şerit temelin eğilme rijitliğinin değişmesi durumu

Temellerin eğilme rijitliklerindeki artışın, yatak sayısı yöntemi ile yapılan hesaplamaların sonuçlarına olan etkisini incelenmek amacı ile örnek olarak incelenen şerit temel, artan temel kalınlıklarına göre yatak sayısı yöntemi ile analiz edilmiştir.

Örnek olarak incelenen şerit temel için yatak sayısı yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, yatak sayısı 20 000 kN/m³ olarak alınmış ve temel tabanında üniform olarak dağıtılmıştır.

Şerit temelin kalınlığındaki artışın belli bir değerinden sonra yatak sayısı değerleri de arttırılmıştır. Belirtilen şekilde yapılan hesaplamalarda elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.42. Elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

Temel Kalınlığı (m)	Yatak Sayısı (kN/m ³)	En Büyük Açıklık Momenti (kN.m)	En Büyük İç Mesnet Momenti (kN.m)	Temel Tabanında Oluşan En Büyük Gerilme (kN/m ²)
0,2	20 000	184,5	450,7	353,4
0,25	20 000	188,9	467,7	318,4
0,30	20 000	188,0	481,0	295,8
0,35	20 000	188,0	481,0	295,9
0,4	20 000	188,0	481,0	295,1
0,45	20 000	188,3	491,8	279,8
0,50	20 000	195,8	564,2	252,3
0,55	20 000	199,4	580,9	247,1
0,60	20 000	202,2	594,6	243,2
0,65	20 000	204,5	605,8	240,2
0,7	20 000	206,3	614,9	237,8
0,75	20 000	207,8	622,5	236,0
0,8	20 000	209	628,6	234,5

Çizelge 4.42. (Devam) Elde edilen en büyük eğilme momenti ve temel tabanında oluşan gerilme değerleri

0,85	20 000	210	633,8	233,4
0,9	20 000	210,8	638,0	232,5
0,95	20 000	212,1	641,6	231,7
1,0	20 000	213,3	644,5	231,0
1,5	20 000	218,9	658,3	228,4
2,0	20 000	220,4	662,0	227,0
2,5	20 000	221,0	663,3	227,5
3,0	20 000	221,2	663,9	227,4
3,5	20 000	221,3	664,2	227,3
4,0	20 000	221,4	664,2	227,3
4,0	25 000	221,4	664,4	227,3
4,0	30 000	221,3	664,3	227,3
4,0	35 000	221,3	664,2	227,3
4,0	40 000	221,3	664,2	227,3
4,0	45 000	221,3	664,2	227,3
4,0	50 000	221,3	664,2	227,3

Belirtilen şekilde yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, temelin eğilme rijitliğindeki artışın belli bir değerinden sonra, yatak sayısı değerlerinin temelde oluşan momentler ve temel tabanında oluşan gerilmeler üzerindeki etkisinin yok denecek kadar azaldığı gözlemlenmektedir.

4.5.7. Sonuçların değerlendirilmesi

Temel zemininin orta katı kil olması durumunda tablolardan, düzeltilerek veya düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt ve üst sınır değerlerinin; temel tabanında, uniform olarak veya değişken olarak (DIN 4019 veya Hahn'ın önerdiği şekilde) dağılması durumunda; elde edilen en büyük iç mesnet momenti değerlerinin; en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %26,0 mertebesindedir. Benzer şekilde, temel tabanında oluan en büyük gerilme değerleri arasındaki fark ise %35,7 mertebesindedir.

Temel zemininin sıkı kum olması durumunda tablolardan, düzeltilerek veya düzeltilmeden alınan yatak sayılarının alt ve üst sınır değerlerinin; temel tabanında, uniform olarak veya değişken olarak (DIN 4019 veya Hahn'ın önerdiği şekilde) dağılması durumunda; elde edilen en büyük iç mesnet momenti değerlerinin; en büyük değeri ve en küçük değeri arasındaki fark %31,5 mertebesindedir. Benzer şekilde, temel tabanında oluan en büyük gerilme değerleri arasındaki fark ise %32,7 mertebesindedir.

Örnek olarak incelenen şerit temel için yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar incelendiğinde, aşağıdaki yargılara varılmaktadır. Sommer (1965), yatak sayısı yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, yatak sayısı değerlerindeki değişimin, sürekli ve radye temellerde oluşan eğilme momentlerine ve temel tabanında oluşan gerilmelere olan etkisini, aşağıdaki gibi kaydetmiştir [5].

- a) Yatak sayısı değerleri küçülürken; momentler büyür, gerilme pikleri küçülür ve gerilmeler uyumluluğa yönelir.
- b) Yatak sayısı değerleri büyürken; momentler küçülür, gerilme pikleri büyür ve gerilmeler uyumsuzluk sergiler.
- c) Uyumlu bir gerilme dağılımı elde edilinceye kadar, yatak sayısı değerleri ve gerekirse radeye veya sürekli temel tabanında ki dağılımları değiştirilmelidir.
- d) Bu nedenle, tek bir yatak sayısı değeri ile değil, değer aralıkları ile çalışılması gerekir.

5. WINKLER VE ELASTİK YARI MEKAN MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

DIN 4018 (1974) yüzeysel temellerin hesap ve tasarımlarında aşağıdaki zemin modellerinin ve yöntemlerin kullanılabileceğini kaydetmektedir [30].

- a) Winkler modeli ve yatak sayısı yöntemi
- b) Elastik yarı mekan modeli ve rijitlik modülü yöntemi
- c) Winkler modeli ve elastik yarı mekan modelinin birleştirilmesi

Kany (1974) temel zemininin, elastik yarı mekan olarak modellenmesi ve rijitlik modülü yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, temel tabanında gerilme dağılımı yapılırken; komşu yüklerle oluşan gerilmeler için süperpozisyon yapıldığını kaydetmiştir [5]. Rijitlik modülü yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, temel tabanında oluşan oturmalar, komşu noktaların oturmaları ile ilişkilendirilerek hesaplanmaktadır.

Ohde (1942), Grashoff (1951), De Beer (1956), Kany (1974), Hahn (1981), Wölfer (1965), Biot (1937), Vesic (1961) ve EVB (1992) elastik zemine oturan temellerin hesap ve tasarımlarında, zeminin elastik yarı mekan olarak modellenmesini önermişlerdir [36].

Grashoff (1951), De Beer (1956), Kany (1974), Hahn (1981) ve Wölfer (1965) elastik yarı mekana oturan rijit ve fleksibl temellerin hesap ve tasarımları ile ilgili olarak bağıntılar önermişlerdir [5, 25, 29, 31, 33].

Boussinesq (1885), Borowicka (1936), Schulze (1966), Lee (1963) ve Brown (1969) elastik yarı mekana oturan temellerin tabanında oluşan gerilmelerin hesaplanması için bağıntılar önermişlerdir [5, 25, 31, 34].

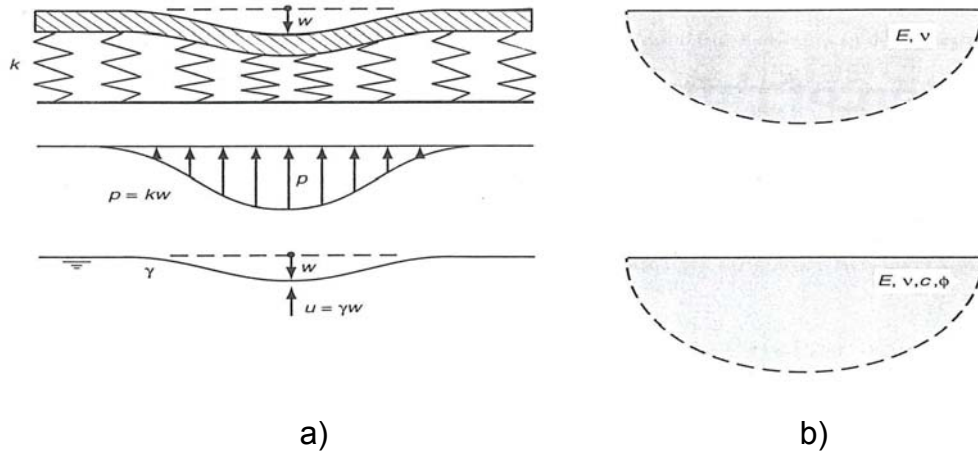
Zeminin elastik yarı mekan olarak modellenmesinde en önemli kabul, zeminin Hook kanununa uyan, homojen ve izotrop bir ortam olduğu varsayımdır. DIN 4018 (1974) rijitlik modülü yönteminin daha çok yeter

derecede kalın kohezyonlu zeminlerde ve kumlarda etkili olacağını kaydetmektedir [30].

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan yatak sayısı yöntemi, rijitlik modülü yöntemi ile yapılan hesaplamaların özel bir halidir. Bu özel duruma uygulamalarda nadiren rastlanmaktadır [5]. Yatak sayısı yöntemi ile yapılan hesaplamalarda temel zemini, Winkler yarı uzayı olarak tariflenmekte ve belli rijitliğe sahip yaylarla modellenmektedir.

Rijitlik modülü yöntemi ile yapılan hesaplamalarda ise temel zemini, zeminin kayma parametrelerini ve rijitlik modülü değerlerini içerecek şekilde; elastik yarı mekan olarak modellenmektedir.

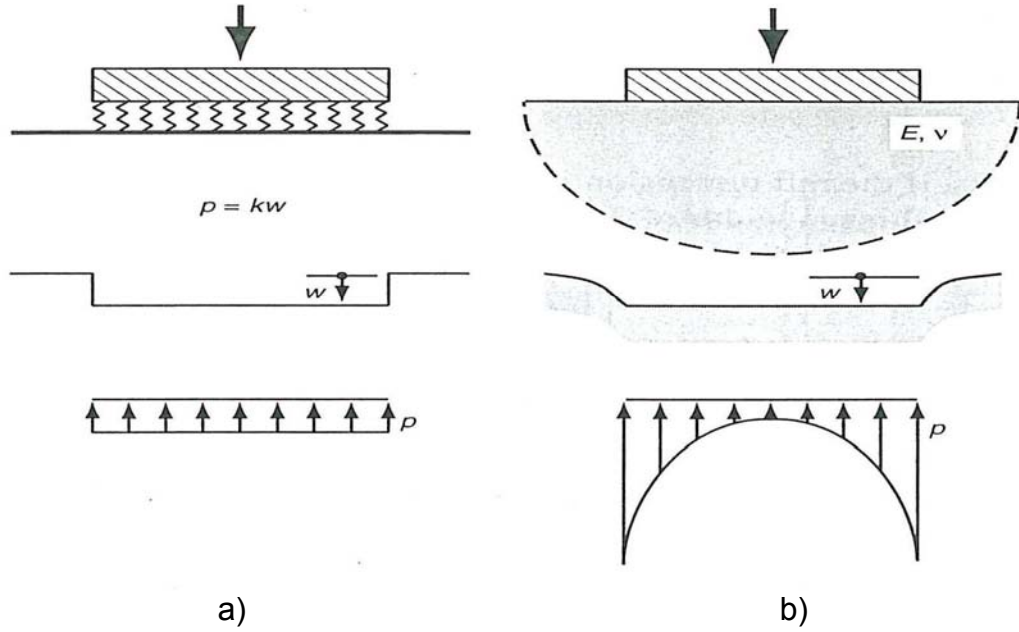
Her iki yöntem için temel zemininin modellenme şekilleri aşağıdaki gibidir [35].



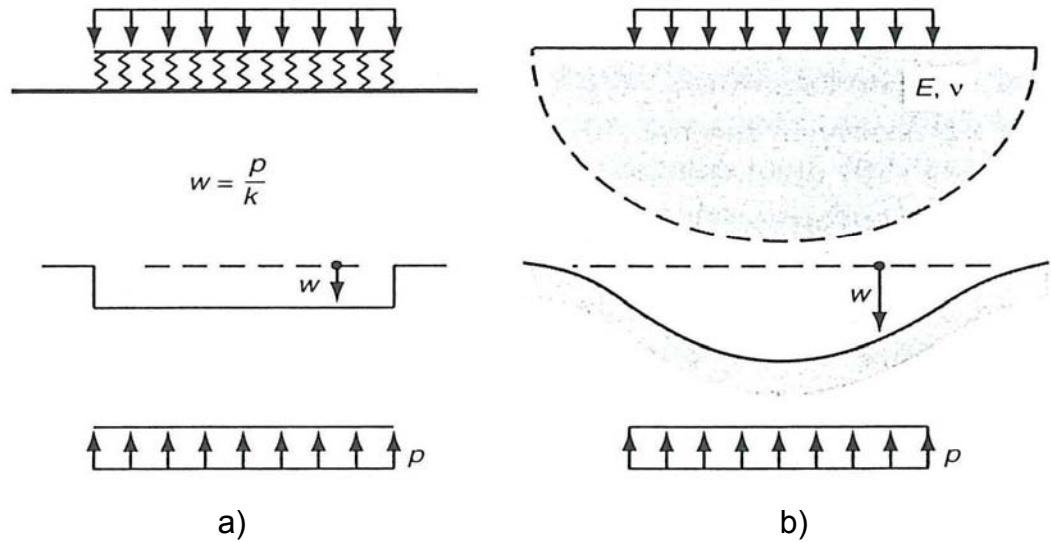
Şekil 5.2. Winkler modeli ve elastik yarı mekan modeli [35]

- a) Winkler modeli
- b) Elastik yarı mekan modeli

Winkler modeli ve elastik yarı mekan modeli ile modellenmiş zeminlere oturan, fleksibl ve rijit temellere ait oturma şekilleri ve temel tabanında oluşan gerilme dağılımları aşağıdaki gibidir [35].



Şekil 5.3. Winkler ve elastik yarı mekan modellerinin karşılaştırılması [35]
 a) Winkler modelinde, rijit temel tabanında oluşan gerilme dağılımı ve oturma kalıbı
 b) Elastik yarı mekan modelinde, rijit temel tabanında oluşan gerilme dağılımı ve oturma kalıbı



Şekil 5.4. Winkler ve elastik yarı mekan modellerinin karşılaştırılması [35]
 a) Winkler modelinde, fleksibl temel tabanında oluşan gerilme dağılımı ve oturma kalıbı
 b) Elastik yarı mekan modelinde, fleksibl temel tabanında oluşan gerilme dağılımı ve oturma kalıbı

Ülkemiz mühendislik bürolarında, elastik zemine oturan temellerin hesap ve tasarımında kullanılan bilgisayar programları, çözümlerini genellikle Winkler modeli ile yapmaktadır. Bu yöntem ülkemizde yaygın olarak kullanılan adıyla yatak sayısı yöntemi olarak bilinmektedir.

Yatak sayısı yöntemi ile yapılan analizlerde kullanıcılardan yatak sayısı değerleri istenmektedir. Ülkemizde genellikle yatak sayısı değerleri sanki bir zemin parametresiymiş gibi yerli ve yabancı kaynaklardaki tablolardan alınmaktadır.

Yatak sayısı bir zemin parametresi değildir ve tablolardan alınmamalıdır. Yatak sayısı, zemin davranışının modellenmesi amacı ile kurulan Winkler modelinin gerekli kıldığı sayısal bir sistem büyüklüğüdür.

Ülkemizde, yatak sayısı değerlerinin belirlenmesinde ve sürekli veya radye temellerin tabanında ki dağılımında mevcut olan belirsizlikler nedeni ile aynı zemin ve temel özelliklerine sahip sistemler için yatak sayısı yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, farklı analiz sonuçları elde edilebilmektedir.

Kolymbas (1982), yatak sayısı yöntemi ile elde edilen hesap sonuçlarının, iteratif bir yaklaşım içerisinde karşılaştırma hesapları ile uyumlu hale getirilmesi gerektiğini kaydetmiştir [22].

Önalp (2006) yatak sayısı yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, yalnız tekil yük etkisi altında yapılan çözümlerde gerçek değerlere yaklaşıldığını, diğer yüklemeler altında yatak sayısı yöntemi ile elde edilen değerlerin gerçek değerlerden uzaklaştığını kaydetmiştir [11].

Ersoy (1995) zemine göre rijit temellerde, yatak sayısı yöntemi ile yapılan hesaplamalar yerine, temelin tam rijit olduğu kabulünün yapılarak, hesapların izostatik yöntemlerle yapılabileceğini kaydetmiştir. Ersoy (1995) rijit temel kabulü ile yapılan hesaplamaların genelde yeterli olduğunu kaydetmiştir [2].

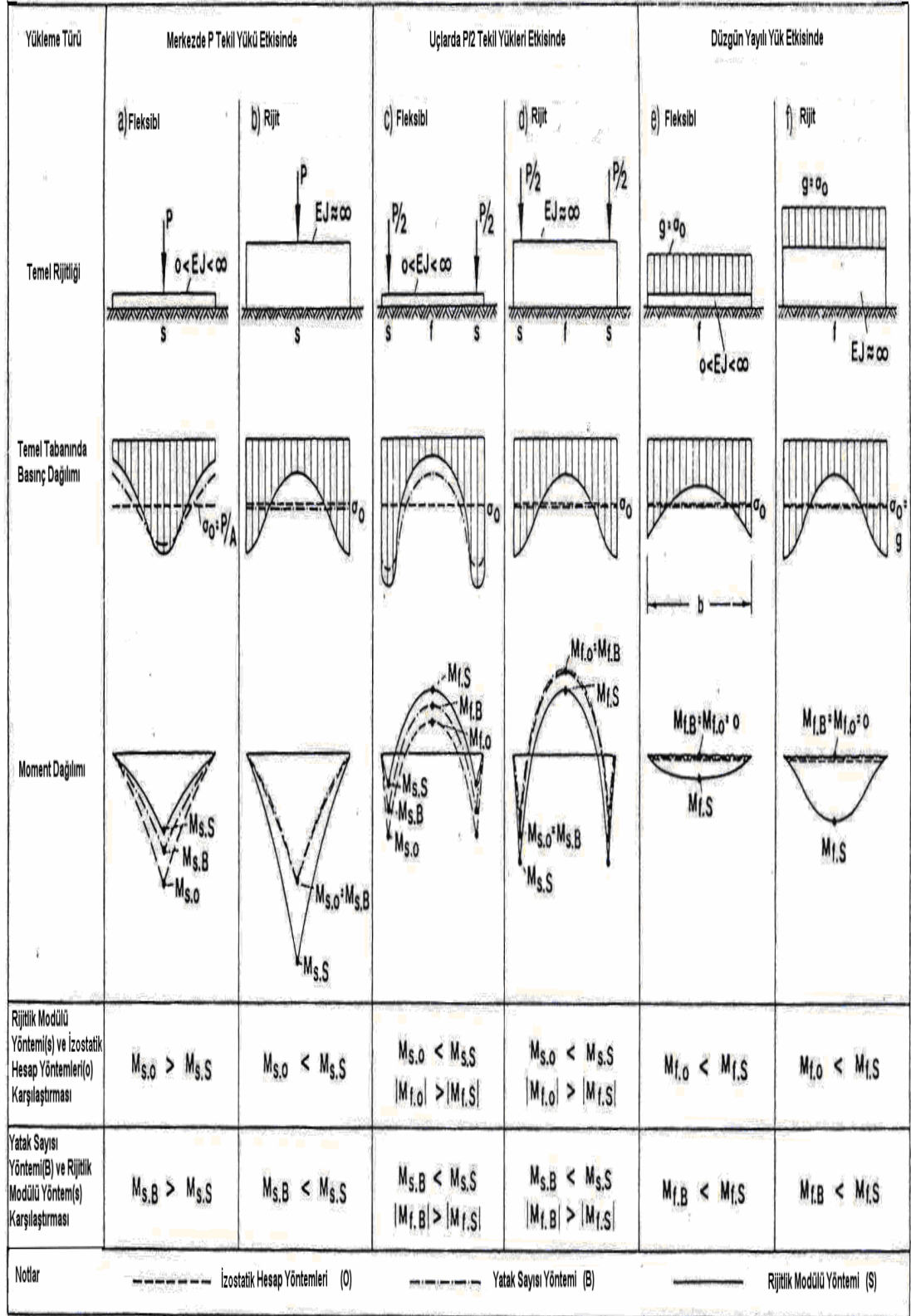
Bowles (1996) temel tabanında oluşan oturmaların ihmal edilebilecek mertebelerde olması ve temel rijitliğinin, yaylarla tariflenen zeminin rijitliğinin 10 katından büyük olması durumunda; yatak sayısı değerlerinin, temelerde oluşan eğilme momentlerinde ki etkisinin azalacağını kaydetmiştir [15].

Winkler modeli üniform yüklemeye maruz rijit ve fleksibl temellerin tabanlarında üniform gerilme dağılımı ve oturma öngörmektedir. Elastik yarı mekana oturan üniform yüklemeye maruz rijit temellerin tabanlarında ise, kenarlara doğru artış gösteren bir gerilme dağılımı oluşmaktadır.

Winkler modeli ile yapılan hesaplamalarda, üniform yüklemeye maruz rijit ve fleksibl temelerde eğilme momentleri oluşmamaktadır. Ancak elastik yarı mekana oturan üniform yüklemeye maruz rijit ve fleksibl temelerde eğilme momentleri oluşmaktadır.

Bu nedenle, elastik yarı mekana oturan temeller için, rijitlik modülü yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, temel tabanında oluşan gerilme dağılımı ve oturmalar gerçeğe yakın olarak elde edilmektedir.

Değişik rijitliğe ve yükleme şekillerine sahip temeller için; yatak sayısı yöntemi, rijitlik modülü yöntemi ve izostatik hesap yöntemleri ile elde edilen eğilme momentleri ve temel tabanında oluşan gerilme dağılımları aşağıdaki gibidir.



Şekil 5.5. Yatak sayısı yöntemi, rijitlik modülü yöntemi ve izostatik hesap yöntemleri ile elde edilen eğilme momentleri ve temel tabanında oluşan gerilme dağılımlarının karşılaştırılması

6. ÇOK TABAKALI ELASTİK ZEMİNE OTURAN RİJİT TEMELLERİN TASARIMLARINA ESAS YATAK SAYISI DEĞERLERİNİN, ELASTİK YARI MEKAN MODELİ VE RİJİTLİK MODÜLÜ YÖNTEMİNE UYGUN OLARAK HESAPLANMASI

Ülkemizde yatak sayısı yöntemi ile yapılan hesaplamalarda kullanıcılardan girdi olarak istenen yatak sayısı değerleri genellikle yerli veya yabancı kaynaklarda yer alan tablolardan, sanki bir zemin parametresiymiş gibi alınmaktadır. Yatak sayısı en basit olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [7].

$$k_s = \frac{\sigma_o}{s} \quad (6.1)$$

Bu bağıntıda, (σ_o) temel tabanında oluşan gerilmeyi, (s) ise temel tabanında oluşan oturmaya göstermektedir. Yatak sayısının hesaplanabilmesi için temel tabanında oluşan gerilmelerin ve oturmaların hesaplanması gerekir.

DIN 4019 (1979) yatak sayısı değerlerinin yapı yüklerine bağlı olarak, temel tabanında oluşan gerilme dağılımına ve temelin bu yüklemeler altında sergileyeceği oturma şekline uyumlu olarak belirlenmesi gerektiğini kaydetmektedir [24].

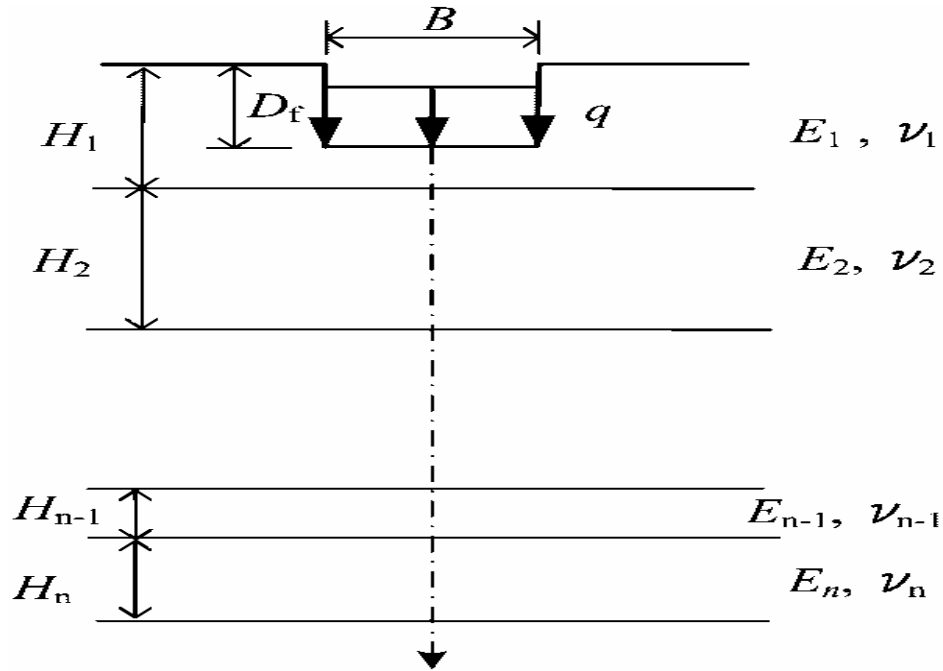
Temel tabanında oluşan gerilmelerin ve oturmaların hesaplanmasında yapıya, temele ve zemine bağlı birçok etken belirleyicidir. Bu nedenle yatak sayısı bir zemin parametresi değildir ve yerli veya yabancı kaynaklarda yer alan tablolardan alınmamalıdır.

Yatak sayısı, temel tabanında oluşan oturmaların belirlenmesinde etkin olan; yükleme şekli, yüklenen alanın şekli ve boyutları, temelin zemine göre rijitliği, zeminin çok tabakalı olması ve zeminin hacimsel sıkışma modülü gibi birçok etkene bağlı olarak da değişmektedir.

Bu nedenle, yatak sayılarının doğru olarak hesaplanması için, çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tabanında oluşan oturmaların da doğru olarak hesaplanması gerekir.

Bu çalışmada, çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımlarına esas yatak sayılarının, temel tabanında oluşan gerilmelerin ve oturmaların hesaplanmasında belirleyici olan etkenlere bağlı olarak hesaplanabilmesi için bir yöntem önerilmiştir.

Bu amaçla, çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tabanında oluşan oturmaların, çok tabakalı elastik zeminin, denk tabaka kalınlığına ve denk rijitlik modülüne sahip denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülerek hesaplanabilmesi için de bir yöntem önerilmiştir.



Şekil 6.1. Düzgün yayılı yük etkisinde, çok tabakalı elastik zemine oturan B genişliğinde ki temel [48]

Çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımlarına esas yatak sayılarının, bu çalışmada önerilen yöntemle belirlenebilmesi için izlenmesi gereken adımlar aşağıdaki gibidir.



Şekil 6.2. Çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımlarına esas yatak sayılarının, önerilen yöntemle belirlenebilmesi için izlenmesi gereken adımlar

6.1. Çok Tabakalı Elastik Zemine Oturan Rijit Temellerin Tabanında Oluşan Gerilmelerin Zemin İçerisinde Düşey Dağılımı

Çok tabakalı elastik zeminlerde, yapılardan zemine aktarılan net gerilmeler sonucu, zemin tabakalarında gerilme artışları oluşmaktadır. Temellerden zemine aktarılan net gerilmeler, zemin içerisinde düşey doğrultuda, derinlik arttıkça azalmaktadır. Zemin içerisinde derinlik arttıkça azalan gerilme artışları, belli bir etkin derinlikte, zeminlerin oturmasına neden olmaktadır.

DIN 4019 (1979) zemine aktarılan net gerilmelere bağlı olarak, etkin derinliği; gerilmelerin %20 mertebesine indiği veya temel genişliğinin iki katı olan derinlik olarak kaydetmektedir [24].

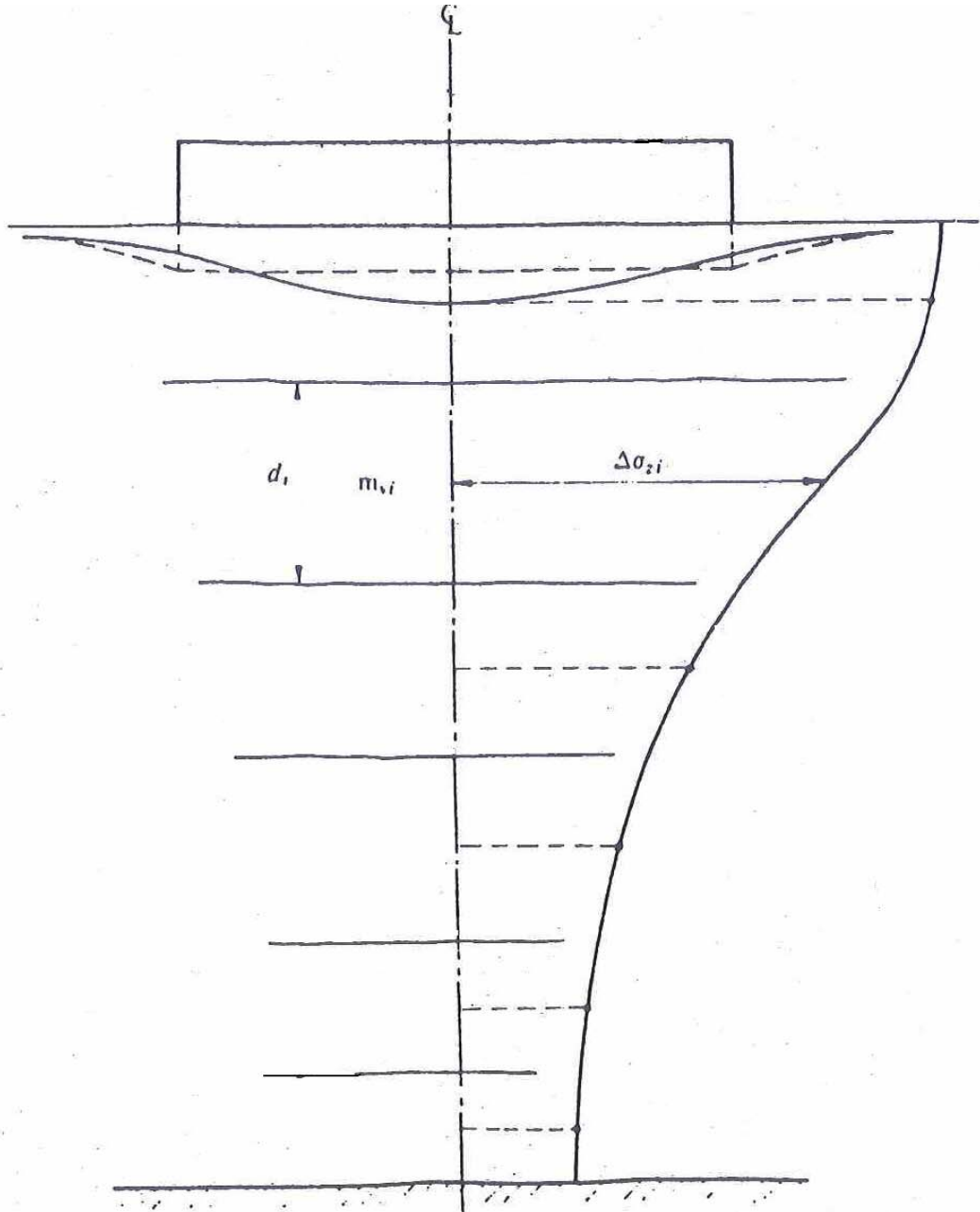
Çok tabakalı elastik zemini oluşturan tabakaların, hacimsel sıkışma modülü ve rijitlik modülü değerlerinin hesaplanabilmesi için, yapılardan zemine aktarılan gerilmelerin, zemin içinde düşey dağılımının ve bu tabakaların ortalarında oluşan gerilme artışlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Tomlinson (1963), Bowles (1996), Perloff (1975) ve Hirai (2007) basit hesaplamalar için, gerilmelerin zemin içerisinde düşey dağılımının doğrusal olarak kabul edilebileceğini kaydetmişlerdir [14, 43, 46].

Fox (1948) değişik rijitliğe sahip iki tabakadan oluşan elastik yarı mekan için, doğrusal yayılı yükler sonucu oluşan gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesi için bağıntılar önermiştir. Fox (1948) önerdiği bağıntılarda, tabakaları oluşturan zeminlerin elastisite modülü oranlarını ve zeminlerin poisson oranlarını kullanmıştır [34].

Gerrard (1969) değişik rijitliğe sahip iki tabakadan oluşan elastik yarı mekanda, gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesi için, tabaka kalınlıklarını, zeminlerin elastisite modüllerini ve temel genişliğini kullanarak bağıntılar önermiştir [34].

Jones (1962) ve Kirk (1966) değişik rijitliğe sahip üç tabakadan oluşan elastik yarı mekanda, gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesi için, tabakaların elastisite modülü oranlarına ve tabakaların poisson oranlarına bağlı olarak bağıntılar önermişlerdir [34].



şekil 6.3. Çok tabakalı elastik zemine oturan, rijit ve fleksibl temellerden zemine aktarılan gerilmelerin derinlikle azalımı ve tabakaların ortalarında hacimsel sıkışma modülü değerlerinin hesaplanması [17]

Steinbrenner (1934) boyutları (L) ve (B) olan rijit temellerin tabanında oluşan gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesi için, derinlik faktörlerine ve zeminlerin poisson oranlarına bağlı olarak bağıntılar önermiştir [34].

Verstraeten değişik rijitliğe sahip dört tabakadan oluşan elastik yarı mekana oturan, rijit dairesel temellerin tabanında oluşan gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenebilmesi için bağıntılar önermiştir [34].

Vesic (1963) çok tabakalı elastik zemine oturan temeller için, elastisite modülü oranlarına ve poisson oranlarına bağlı olarak, gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenebilmesi için bağıntılar önermiştir [34].

Ueshcita (1968) ve Meyerhof (1968) düzgün yayılı yüklerle yüklenen dairesel temeller için, elastisite modülü oranlarına ve poisson oranlarına bağlı olarak gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenebilmesi için bağıntılar önermiştir [34].

Hirai (2007) derinlik ve oturma faktörlerine bağlı olarak, çok tabakalı elastik zeminler ve iyileştirilmiş zeminler için gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımı ile ilgili olarak, elastisite modülü oranlarına bağlı olarak bağıntılar önermiştir [48, 56].

Sowers (1962) deneysel araştırmalarında, çok tabakalı elastik zeminlerde gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımıyla ilgili olarak, yol kaplamalarını hesaplarında kullanarak bağıntılar önermiştir [44].

Benzer şekilde Mc Mahon (1960) ve Yoder (1960), kil zemin üzerine yerleşmiş taş parçacıklarından oluşan iki tabakalı zeminlerde, gerilmelerin zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenebilmesi için bağıntılar önermişlerdir [44].

Burmister (1958) yol kaplamaları hesabında, düzgün yayılı yük etkisi altında ki, iki tabakalı elastik zeminler için, zeminlerin elastisite modülleri oranlarına bağlı olarak, gerilmelerin zemin içerisinde düşey dağılımı için bağıntılar önermiştir [45, 54].

Harr (1997) çok tabakalı elastik zeminlerde, gerilmelerin zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenebilmesi için, olasılıksal ve sayısal yöntemlere dayalı, istatistiksel bağıntılar önermiştir [46].

Peattie (1962) değişik rijitliğe sahip üç tabakadan oluşan elastik yarı mekan için, elastisite modülü oranlarına bağlı olarak, gerilmelerin zemin içerisinde düşey dağılımının ve zeminlerin temas yüzeylerinde oluşan gerilmelerin belirlenebilmesi için, grafiksel bağıntılar önermiştir [45].

Bu aşamaya kadar incelen literatürde genellikle, gerilmelerin zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesinde, tabakaların kendi içlerinde sıkışmadığı kabulü yapılarak, temas yüzeylerindeki basınçların elde edilebilmesi için bağıntılar önerilmiştir. Önerilen bağıntıların birçoğunda zeminlerin elastisite modülü ve poisson oranları kullanılmıştır.

T.W.Hu (1970) zeminlerde gerilmelerin zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesinde, tabakaların kendi içlerinde sıkışmadığı kabulünün yapılmasının ve temas yüzeylerindeki basınçların elde edilmesinin, önemli hataların oluşmasına neden olduğunu kaydetmiştir [44].

T.W.Hu (1970) çok tabakalı elastik zeminlerde, gerilmelerin zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesinde deneysel yöntemlerin, zeminlerin gerçek davranışlarının yakalanmasında oldukça başarılı olduğunu kaydetmiştir [44].

T.W.Hu (1970) çok tabakalı elastik zeminlerde, gerilmelerin tabakalar arasında ki dağılımının, tabakaların kendi içlerinde sıkışmadığı kabulünün

yapıldığı teorik yöntemlerle incelenmesi durumunda oluşacak önemli hataları aşağıdaki gibi kaydetmektedir [44].

a) Teorik çözümler, tabakaların etkileşim yüzeylerinde çekim kuvvetleri olduğu ve temas basınçları olduğu ilkesine dayanmaktadır. Ancak deneysel çalışmalarda bazı zeminlerin gerçek davranışlarında olduğu üzere, böyle bir temas basıncı oluşmayacaktır. Çünkü bazı zeminlerde zemin danecikleri arasındaki çekim kuvvetleri yok denecek kadar azdır.

b) Granüler zeminlerde elastisite modülü sabit bir değer değildir. Bunun yanı sıra zemin içerisinde yanal basınçlar da, gerilmelerin derinlikle azalışlarında etkilidir. Bu nedenle elastisite modülüne bağlı olarak verilen teorik çözümler, gerek elastisite modülünün sabit bir değer olmayışı, gerek de zemin içerisinde oluşan yanal basınçları hesaplarına katmadıkları için deneysel yöntemlere göre zayıf kalmaktadırlar.

Boussineq (1885), Westergard (1938), Frochlich (1934), Newmark (1942), Zeeavert (1972) ve Kany (1974) temel tabanında oluşan gerilmelerin, zemin tabakaları içerisinde düşey dağılımları ile ilgili olarak, deneysel çalışmalara dayalı bağıntılar önermişlerdir [17].

Zeeavert (1972) düzgün yayılı yükü yüklenen rijit temellerin tabanında oluşan gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesi ile ilgili olarak deneysel yöntemlere dayalı bağıntılar önermiştir [17].

Düzgün yayılı (q) yüküyle yüklenen rijit temellerin tabanında oluşan gerilmelerin, belirtilen z derinliğindeki değerinin belirlenmesi için önerilen bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_z = \sigma_0 \cdot i_c \quad (6.1)$$

Önerilen bağıntıda yer alan parametreler aşağıdaki gibidir.

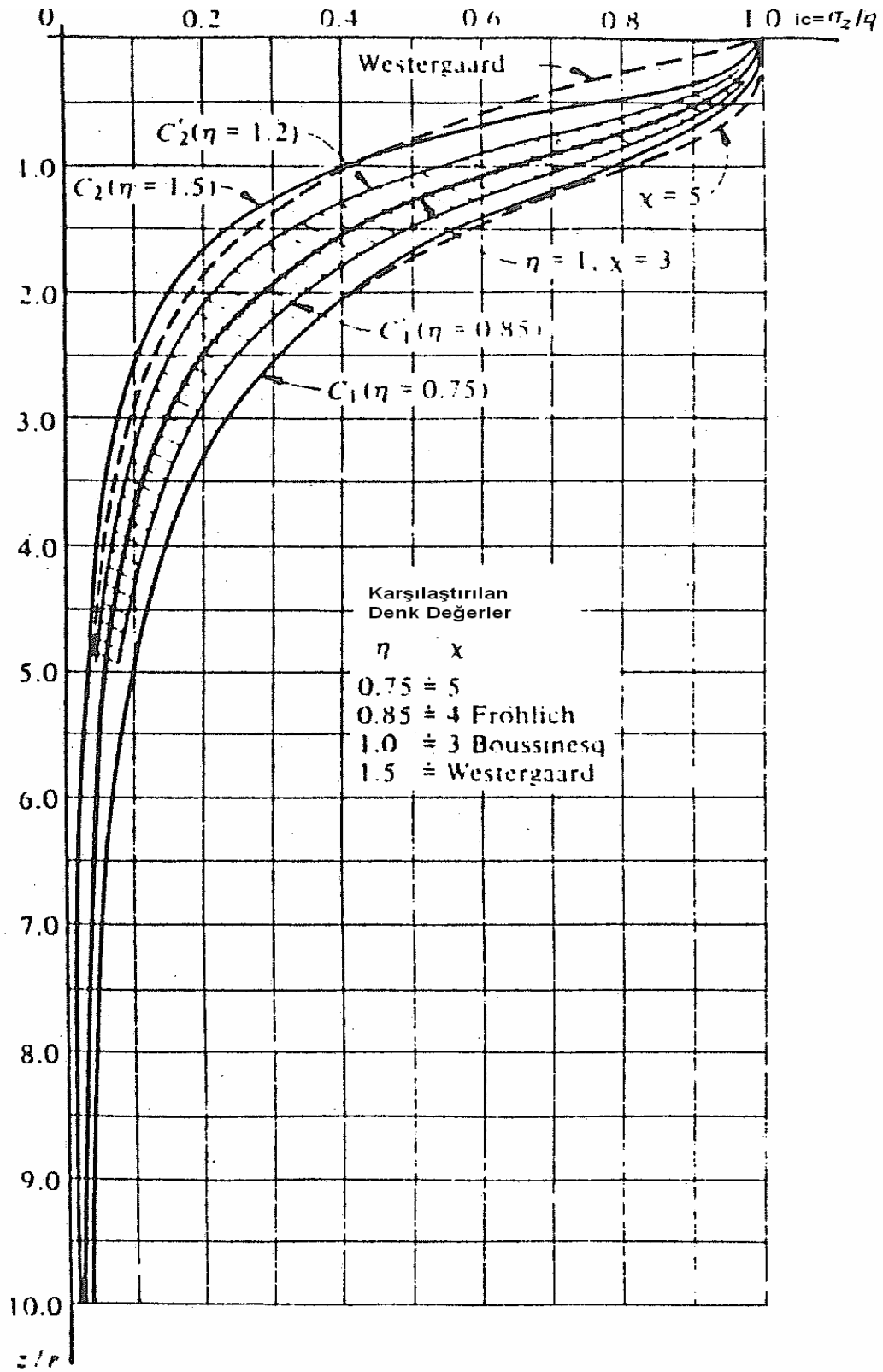
σ_z : Belirtilen z derinliğindeki gerilme

σ_0 : Temel tabanında oluşan gerilme

$$i_c = \frac{\sigma_z}{\sigma_0} \quad (6.2)$$

Zeeavert (1972) düzgün yayılı yükü yüklenen rijit temellerin tabanında oluşan gerilmelerin çok tabakalı elastik zemin içinde dağılımı ile ilgili olarak eğriler önermiştir [17]. Önerilen bağıntıda yer alan i_c katsayısı bu eğrilerden alınmaktadır.

Zeeavert (1972) önerdiği eğrileri, Boussineq (1885), Westergard (1938) ve Frochlich (1934) tarafından önerilen ve deneysel yöntemlerle elde edilen eğrilerle aşağıdaki gibi karşılaştırmıştır [17].



Şekil 6.4. Boussineq, Zeeavert, Westergard ve Frochlich tarafından önerilen yöntemlerin karşılaştırılması [17]

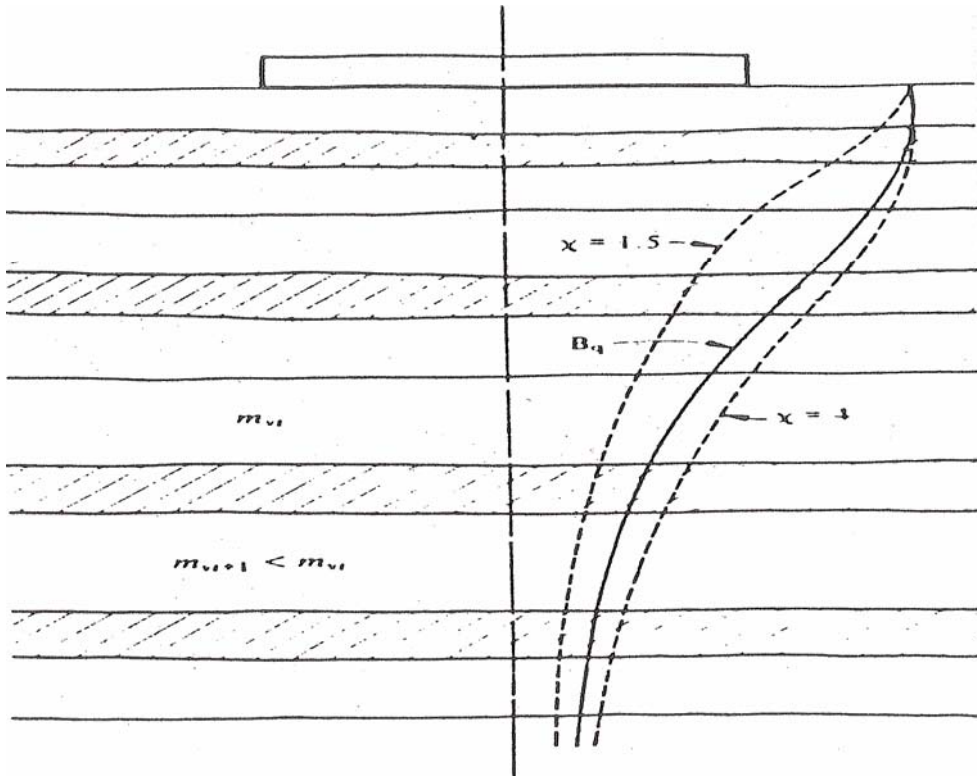
Zeeavert (1972), şekilde yer alan (η) değerlerinin derinlik faktörü ve (C) değerlerinin de eğri numaraları olduğunu kaydetmiştir. Zeeavert (1972) (η) değerlerinin izotropik zeminler için $\eta = 1$, çok tabakalı elastik zeminler için $\eta = 1,5$ olacağını kaydetmiştir.

Zeeavert (1972) derinlik faktörüne bağlı olarak önerdiği eğrilerin, sıkı ya da yarı sıkı kum tabakalarının, kil veya siltli kil tabakalarının içerilerine gömülmeleri durumunda, doğru sonuçlar verdiğini kaydetmiştir.

Zeeavert (1972) önerdiği eğrilerin, $\eta = 0,75$ olması durumunda Frochlich'in eğrisi ile, $\eta = 1,5$ olması durumunda Westergard'ın eğrisi ile ve $\eta = 1$ olması durumunda da Boussinesq'in eğrisi ile örtüştüğünü kaydetmiştir [17].

Zeeavert (1972), çok tabakalı elastik zeminlerde, gerilmelerin zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesinde $\chi = 2$ veya $\chi = 3$ numaralı eğrilerin kullanılabileceğini önermiştir [17].

Çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tabanında, , gerilmelerin zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesi ile ilgili olarak; (m_v) hacimsel sıkışma modülünü ve (B_q) Boussinesq'in çözümünü göstermek üzere $\chi = 1,5$ ve $\chi = 4$ eğrileri arasında kalan çözümlerin karşılaştırılması aşağıdaki gibidir [17].



Şekil 6.5. Boussinesq, $\chi = 1,5$ ve $\chi = 4$ eğrilerinin arasında kalan çözümlerin karşılaştırılması [17]

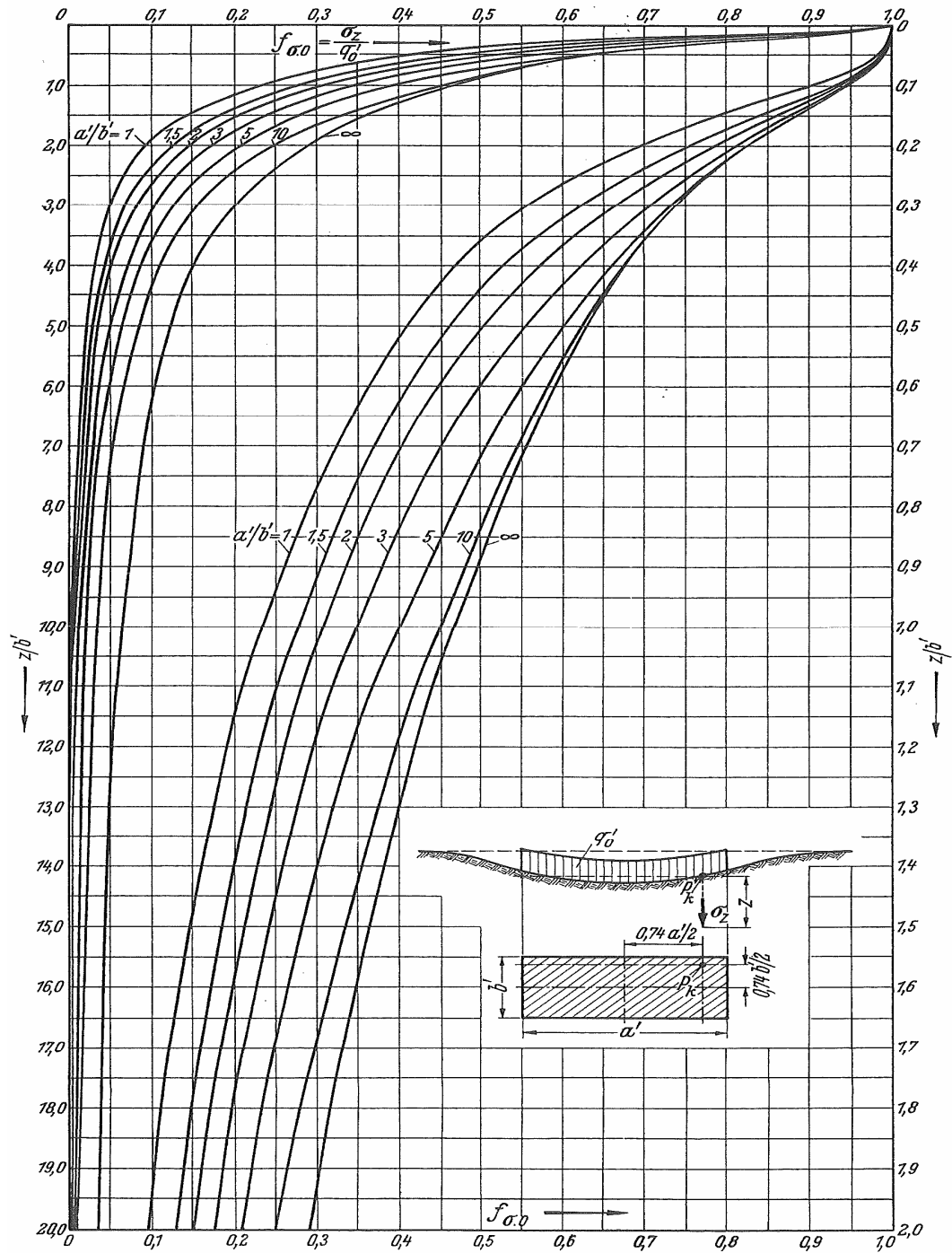
Kany (1974) düzgün yayılı yükü yüklenen temellerin tabanında oluşan gerilmelerin, derinlikle azalışı ile ilgili olarak, temellerin karakteristik noktalarına göre eğriler önermiştir [5].

Kany (1974), (P_k) olarak tanımladığı karakteristik noktayı, temel tabanında oluşan gerilme ve oturmaların, temelin rijitliğinden bağımsız olduğu nokta olarak kaydetmiştir. Kany (1974) boyutları (A) ve (B) olan dikdörtgen temellerde, karakteristik noktanın yerinin bulunması için aşağıdaki bağıntıları önermiştir [5].

$$P_k = 0,74 \cdot \frac{A}{2} \quad (6.3)$$

$$P_k = 0,74 \cdot \frac{B}{2} \quad (6.4)$$

Temellerin tabanında oluşan gerilmelerin, zemin içerisinde derinlikle azalışının belirlenmesi ilgili olarak, Kany (1974) tarafından önerilen eğriler aşağıdaki gibidir [6, 31].



Şekil 6.6. Kany'ye göre, düzgün yayılı yükü yüklenen temellerin karakteristik noktaları altında, gerilmelerin zemin içerisinde derinlikle azalışı

$$\sigma_z = \sigma_0 \cdot f(\sigma_0) \quad (6.5)$$

Önerilen bağıntıda yer alan parametreler aşağıdaki gibidir.

σ_z : Belirtilen z derinliğindeki gerilme

σ_0 : Temel tabanında oluşan net gerilme

$f(\sigma_0)$: Belirtilen z derinliğindeki gerilmelerin elde edilmesi için Kany tarafından önerilen bir katsayı

Kany (1974), $f(\sigma_0)$ katsayılarının temel boyutları ve etki derinliğine bağlı olarak tablolardan da alınabileceğini kaydetmiştir. Kany (1974) tarafından önerilen tablolar aşağıdaki gibidir [6].

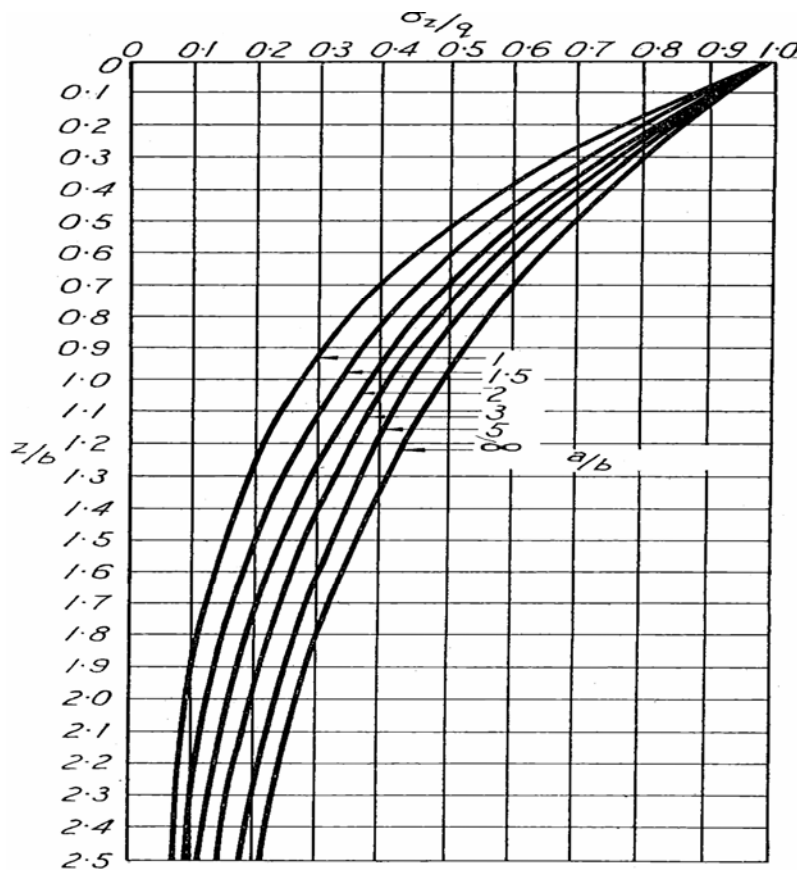
Çizelge 6.1. Kany (1974) tarafından önerilen $f(\sigma_0)$ katsayıları [6]

$\frac{z}{b}$	Kare	Dikdörtgen				Şerit
	$\frac{a}{b} = 1$	$\frac{a}{b} = 1,5$	$\frac{a}{b} = 2$	$\frac{a}{b} = 3$	$\frac{a}{b} = 5$	$\frac{a}{b} \rightarrow \infty$
0	0	0	0	0	0	0
0,10	0,898	0,927	0,937	0,942	0,944	0,944
0,15	0,790	0,842	0,863	0,877	0,882	0,883
0,20	0,693	0,756	0,788	0,812	0,823	0,826
0,30	0,556	0,621	0,662	0,705	0,730	0,738
0,40	0,469	0,528	0,570	0,621	0,660	0,677
0,50	0,408	0,462	0,501	0,555	0,603	0,629
0,70	0,322	0,370	0,404	0,452	0,508	0,555
1,00	0,234	0,279	0,307	0,347	0,399	0,467
1,50	0,143	0,183	0,208	0,239	0,278	0,360
2,00	0,093	0,125	0,147	0,175	0,205	0,288

Tabloda verilen $\frac{a}{b}$ ve $\frac{z}{b}$ oranlarının arasında kalındığı durumlarda, $f(\sigma_o)$ katsayıları interpolasyon yapılarak elde edilebilir.

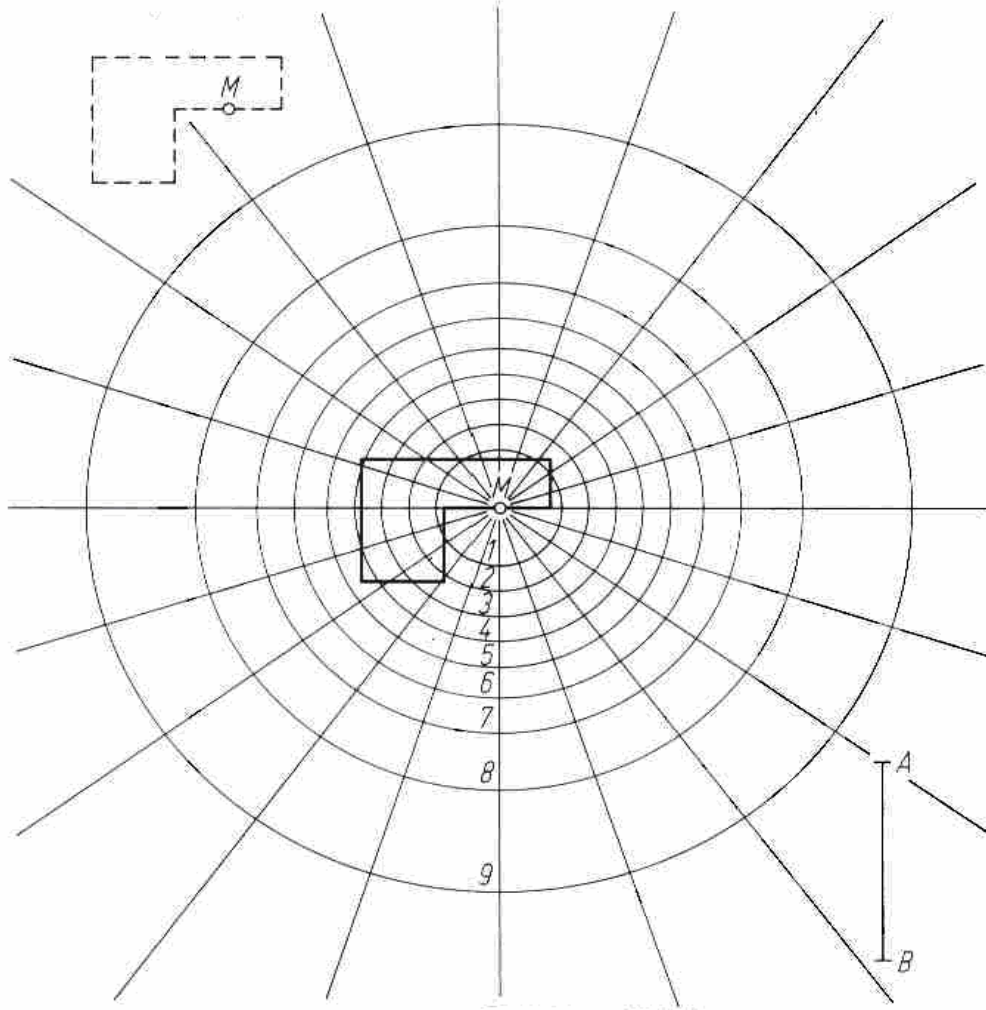
DIN 4019 (1979), Grashoff (1978), Wölfer (1971), Hahn (1981), EVB (1992) ve Kanada Temel Mühendisliği Şartnamesi (1992) temel tabanında oluşan gerilmelerin derinlikle azalışı ile ilgili olarak, Kany (1974) tarafından verilen eğrilerin kullanılmasını önermişlerdir [24].

Tomlinson (1963) boyutları (A) ve (B) olan, düzgün yayılı yükle yüklenen dikdörtgen temellerin tabanında oluşan gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesi için aşağıdaki eğrilerin kullanılmasını önermiştir [43].



Şekil 6.7. Tomlinson'a göre, düzgün yayılı yükle yüklenen dikdörtgen temellerin tabanında oluşan gerilmelerin, zemin içerisinde düşey dağılımı [43]

Newmark (1942) düzgün yayılı yükü yüklenen temel alanlarında, gerilmelerin zemin içerisinde düşey dağılımının belirlenmesi için, gerilmelere bağlı etki diyagramları önermiştir. Newmark'ın önerdiği etki diyagramı aşağıdaki gibidir [52].



Şekil 6.8. Newmark'ın önerdiği etki diyagramı [52]

Newmark (1942) değişik şekillere sahip temellerin kenar noktaları altında, gerilmelerin derinlikle azalımı ile ilgili olarak bağıntılar önermiştir. Newmark'ın önerdiği bağıntıların dikkat çekici yanı, değişik şekillere sahip temeller için gerilmelerin derinlikle azalışının belirlenebilmesidir.

Newmark (1942) düzgün yayılı yükle yüklenen dairesel rijit temeller için, belirtilen z derinliğine karşılık gelen gerilme değerinin belirlenmesinde aşağıdaki bağıntıyı önermiştir [48].

$$\sigma_z = \left[q \cdot 1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{r^2}{z^2}} \right)^{1,5} \right] \quad (6.6)$$

6.2. Çok Tabakalı Elastik Zeminde Tabakları Oluşturan Zeminlerin Hacimsel Sıkışma Modülü Ve Rijitlik Modülü Değerlerinin Elde Edilmesi

Hacimsel sıkışma modülü ve rijitlik modülü kavramları, ilk olarak Terzaghi (1925) tarafından tek boyutlu konsolidasyon teorisi ile açıklanmıştır.

Terzaghi'nin (1925) tek boyutlu konsolidasyon teorisi genel olarak, tüm killerin tamamen suya duygün olduğu ve zeminde oluşan oturmaların, zemin içerisindeki fazla boşluk suyunun dışarı çıkması sonucunda oluştuğu ilkesine dayanmaktadır [50]. Terzaghi (1925) havanın ve suyun sıkışabilirliğini ihmal ederek zeminlerin oturma hesaplarında kolaylık sağlamıştır.

Zeminlerin oturmaları, zemin daneciklerinin sıkışması, zemin içindeki suyun sıkışması ve zemin içerisinde ki fazla boşluk suyunun dışarı atılması sonucunda oluşabilir.

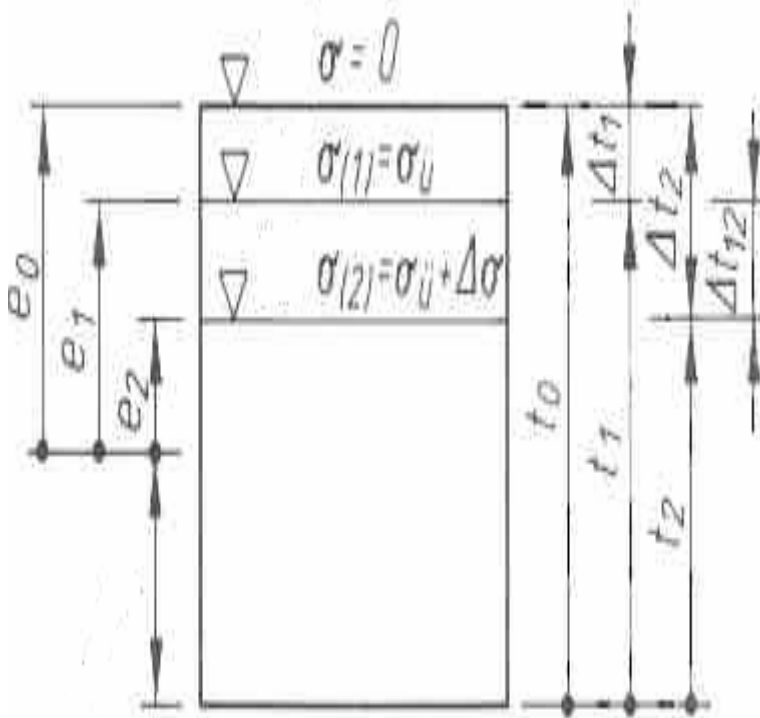
Terzaghi, fazla boşluk suyunun dışarı atılmasında, suyun sadece düşey yönde hareket ettiği ve oturmaların da sadece düşey yönde oluştuğu kabulünde bulunmuştur.

Terzaghi'nin tek boyutlu konsolidasyon teorisi, yaptığı kabuller nedeni ile sadece, zemin içerisinde ki fazla boşluk suyunun dışarı atılması durumunu kapsamaktadır.

Gerilme artışı sonucu zeminde oluşan oturmalar, gerilmelerin düzeyine, zamana ve zeminin fiziksel özelliklerine bağlıdır [51]. Suyu doymun killerde oluşan oturmalar, zamanın etkili olduğu bilinmektedir. Ancak kumlarda oluşan oturmalar ani ve hızlıdır.

Suyu doymun olmayan killerde oluşan oturmalar ise zamandan bağımsız ve gerilme artışına bağlı olarak, zemin daneciklerinde ki sıkışmalardan dolayı oluşmaktadır.

Çok tabakalı elastik zemini oluşturan zemin tabakalarının ortalarında, ($\Delta\sigma$) gerilme artışına bağlı olarak hacimsel sıkışma modülü ve zemin rijitlik modülü değerleri belirlenebilir.



Şekil 6.9. Gerilme artışına bağlı olarak boşluk oranlarındaki değişim [52]

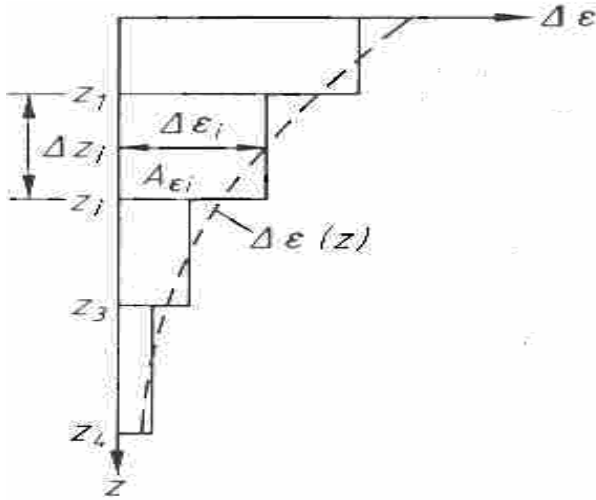
Hacimsel sıkışma modülü (m_v) ve zemin rijitlik modülü (E_s), boşluk oranlarına ve gerilme artışına bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [43].

$$m_v = \frac{e_0 - e_1}{(1 + e_1) \cdot \Delta \sigma_z} \quad (6.7)$$

Burada e_0 , zeminin jeolojik gerilmeler altında ki mevcut boşluk oranını ve e_1 de gerilme artışı sonucu oluşan boşluk oranını göstermektedir.

Zemin rijitlik modülü, hacimsel sıkışma modülüne bağlı olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [24].

$$E_s = \frac{1}{m_v} \quad (6.8)$$



Şekil 6.10. Boşluk oranlarındaki değişimin derinlikle ilişkisi [52]

Zemin rijitlik modülü ve hacimsel sıkışma modülü değerleri, killer için laboratuvar deneylerinden olan odeometre deneyi ile belirlenebilir. Deney sonucu elde edilen gerilme – boşluk oranı grafikleriyle ile bu değerler elde edilebilmektedir.

Kumlar için hacimsel sıkışma modülü değerlerinin herhangi bir laboratuvar deneyi ile belirlenebilmesi mümkün değildir. Zira kumlarda, artan gerilme düzeylerine bağlı olarak oluşan oturmalar ani ve hızlıdır.

Yatak sayısı değerlerinin bu çalışmada önerilen yöntem ile belirlenebilmesi için, değişik gerilme düzeyleri altında, boşluk oranlarında oluşan değişimlerin odeometre deneyi ile güvenilir şekilde belirlenmesi gerekir.

Zemin rijitlik modülü ve hacimsel sıkışma modülü değerleri, arazi deneylerinden olan standart penetrasyon testiyle de belirlenebilir.

Japon Milli Demiryollarının, Yapılar İçin Tarsım Şartnamesinde, zemin rijitlik modülünün, SPT N değerlerine bağlı olarak elde edilmesinde, aşağıdaki bağıntının kullanılması önerilmiştir [36].

$$E_s = 25 \cdot N \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (6.9)$$

Japon Yol Köprü Şartnamelerinde ise aşağıdaki bağıntının kullanılması önerilmiştir [42].

$$E_s = 28 \cdot N \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (6.10)$$

Stroud, (m_v) hacimsel sıkışma modülünü ve (f_2) de bir katsayıyı göstermek üzere, hacimsel sıkışma modülü ve zemin rijitlik modülünün hesaplanmasında aşağıdaki bağıntıların kullanılmasını önermiştir [37].

$$m_v = \frac{1}{f_2 \cdot N} \quad (6.11)$$

$$E_s = f_2 \cdot N \quad (6.12)$$

Stroud, yüksek plastisiteli zeminlerde f_2 değerinin 400 kN/m^2 , orta veya düşük plastisiteli zeminlerde f_2 değerinin 600 kN/m^2 olacağını kaydetmiştir.

Mayne (1988) ve Kemper (1988) düzeltilen SPT N' değerlerine bağlı olarak, zemin rijitlik modülün belirlenmesinde aşağıdaki bağıntıların kullanılmasını önermişlerdir [38].

Kum için;

$$E_S = 500 \cdot (N' + 15) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (6.13)$$

Killi Kum için;

$$E_S = 320 \cdot (N' + 15) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (6.14)$$

Siltli Kum için;

$$E_S = 300 \cdot (N' + 6) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (6.15)$$

Çakıllı Kum için;

$$E_S = 1200 \cdot (N' + 6) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (6.16)$$

Zemin rijitlik modülü, elastisite modülü ve poisson oranına bağlı olarak da hesaplanabilir. Zemin rijitlik modülünün, zemin elastisite modülüne ve poisson oranına bağlı olarak hesaplanabilmesi için, poisson oranlarının laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi gerekir.

Ancak heterojen zeminler için poisson oranları, laboratuvar deneyleri ile hassas olarak belirlenememektedir.

Schulze (1959), Böck (1982), Weiss(1971) ve EVB (1992), E elastisite modülü, E_s rijitlik modülü ve E_v dinamik elastisite modülü değerlerinin birbirleriyle ilişkili olduğunu kaydetmişlerdir [52].

Poisson oranlarının $0 \leq \nu \leq 0,50$ olması durumunda, elastisite modülü, rijitlik modülü ve dinamik elastisite modülü değerleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir [52].

Çizelge 6.2. Rijitlik modülü, elastisite modülü, ve dinamik elastisite modülü değerleri arasındaki ilişki [52]

		1	2	3
		Elastisite Modülü (E)	Rijitlik Modülü (E_s)	Dinamik Elastisite Modülü (E_v)
1	E	1	$E = \frac{1-\nu-2\cdot\nu^2}{1-\nu} \cdot E_s$	$E = \left(1-\nu^2\right) \cdot E_v$
2	E_s	$E_s = \frac{1-\nu}{1-\nu-2\cdot\nu^2} \cdot E$	1	$E_s = \frac{(1-\nu) \cdot \left(1-\nu^2\right)}{1-\nu-2\cdot\nu^2} \cdot E_v$
3	E_v	$E_v = \frac{1}{1-\nu^2} \cdot E$	$E_v = \frac{1-\nu-2\cdot\nu^2}{(1-\nu) \cdot \left(1-\nu^2\right)} \cdot E_s$	1

Zemin rijitlik modülü, zemin sınıflarına göre verilen tablolardan da alınabilir. Ancak, zemin rijitlik modülünün, zeminde oluşan gerilmelere bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Alman H.T.G Sahil Yapıları Komisyonu ve Alman Zemin ve Temel Yapıları Kurumunun tavsiyesi aşağıdaki gibidir [6, 31].

Çizelge 6.3. Granüler zeminler için zemin rijitlik modülleri

Zemin Sınıfı	Zemin Rijitlik Modülü (kN/m ²)
Gevşek Kum, Yuvarlak	40 000 – 80 000
Gevşek Kum, Köşeli	50 000 – 100 000
Orta Sıkı Kum, Yuvarlak	80 000 – 160 000
Orta Sıkı Kum, Köşeli	100 000 – 200 000
Kumsuz Çakıl	100 000 – 200 000
Blok Taş	150 000 – 300 000

Çizelge 6.4. Kohezyonlu zeminler için zemin rijitlik modülleri

Zemin Sınıfı	Zemin Rijitlik Modülü (kN/m ²)
Sert Kil	8 000 – 50 000
Yarı Sert Kil	6 000 – 20 000
Katı Kil	3 000 – 6 000
Orta Katı Kil	1 500 – 3 000
Yumuşak Kil	1 000
Silt	3 000 – 8 000
Organik Katkılı Alivyon	500 – 1 000
Turba	800 – 2 000

6.3. Çok Tabakalı Elastik Zeminin Tek Tabakalı Elastik Zemine Dönüştürülmesi

Yatak sayısı, temel tabanında oluşan oturmaların belirlenmesinde etkin olan; yükleme şekli, yüklenen alanın şekli ve boyutları, temelin zemine göre rijitliği, zeminin çok tabakalı olması ve zeminin hacimsel sıkışma modülü gibi birçok etkene bağlı olarak da değişmektedir.

Bu nedenle, yatak sayılarının doğru olarak hesaplanabilmesi için, çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tabanında oluşan oturmaların da doğru olarak belirlenmesi gerekir.

Ülkemizde, çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tabanında oluşan oturmaların hesapları genellikle, temel tabanında yer alan ilk zemin tabakasına göre yapılmaktadır.

Çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tabanında oluşan oturmaların, temel tabanında yer alan ilk zemin tabakasına göre hesaplanması hatalı bir yaklaşımdır. Bu durum temel, yapı ve zemin etkileşimini doğru olarak yansıtmamakta ve temel tabanında oluşan oturmaların yanlış hesaplanmasına neden olmaktadır.

Ancak çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tasarımlarına esas yatak sayılarının doğru olarak hesaplanabilmesi için, temel tabanında oluşan oturmalarında doğru olarak hesaplanması gerekir.

Bu amaçla, çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tabanında oluşan oturmaların, çok tabakalı elastik zeminin, denk tabaka kalınlığına ve denk rijitlik modülüne sahip denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülerek hesaplanabilmesi için bir yöntem önerilmiştir.

Burmister (1942) iki tabakadan oluşan elastik zeminlerde, zemin içerisinde oluşan gerilme ve oturmaların hesaplanması için bağıntılar önermiştir [48, 54].

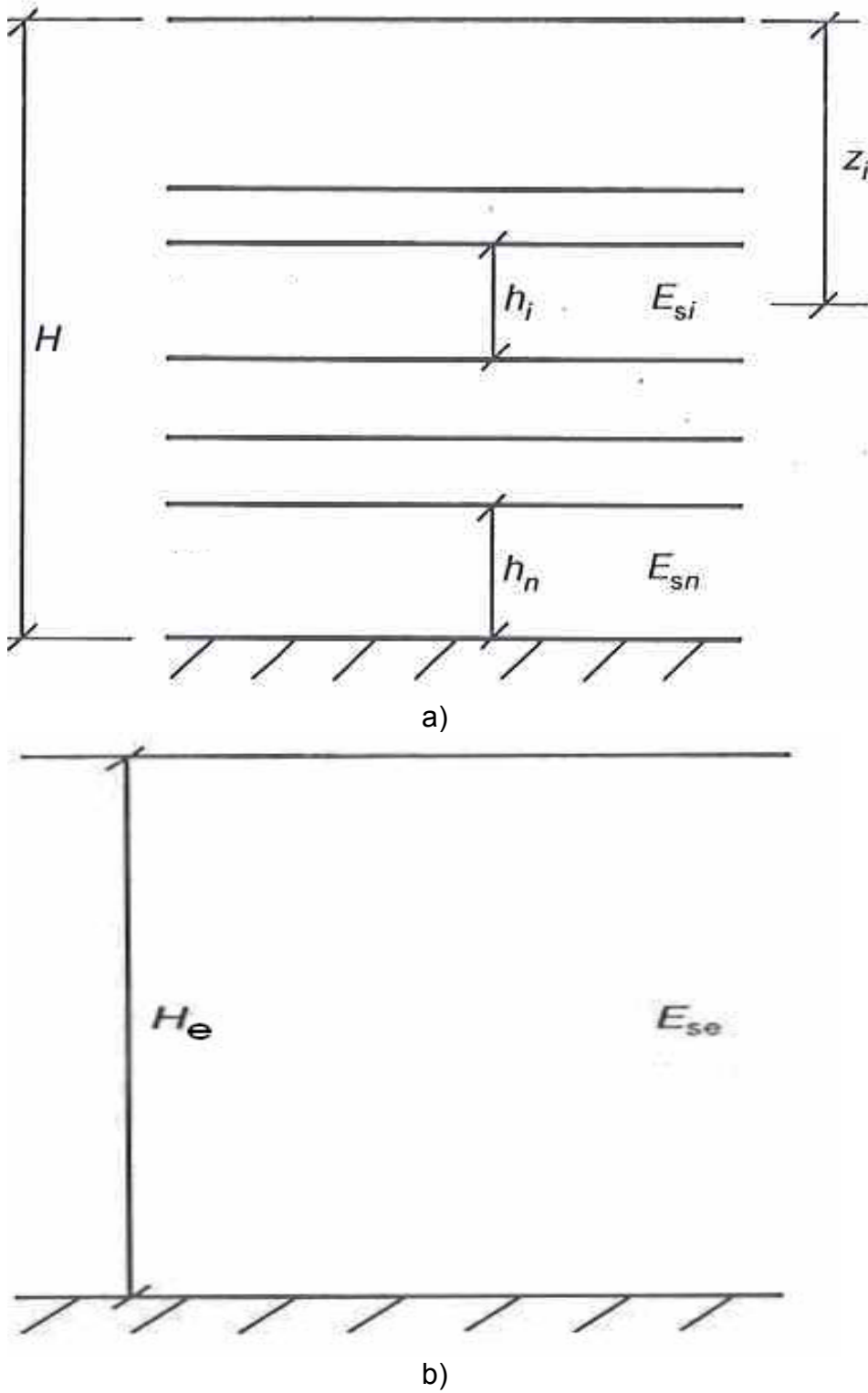
Fox (1948) iki tabakadan oluşan elastik zeminler için, gerilmelerin tabakalar içerisinde azalışının ve oturmaların hesaplanması için bağıntılar önermiştir [34, 54].

Schifmann (1957), Kirk (1961), ve Jones (1962) üç tabakalı elastik zeminler için gerilmelerin tabakalar içerisinde azalışının ve oturmaların hesaplanması için bağıntılar önermişlerdir [34, 54].

Mitchell (1967) ve Shen (1967) üç tabakalı elastik zeminler için Peattie'nin ilgili grafiklerini geliştirerek tabakalar arası oluşan etkileşimi incelemişlerdir [34].

Ueshita (1967) ve Meyerhof (1967) iki ve üç tabakalı elastik zeminlerde, dairesel temellerin kenarlarında oluşan yüzey gerilmeleri ve oturmaları incelemişlerdir. Ueshita (1967) ve Meyerhof (1967) önerdikleri çözümleri Odemark (1949) tarafından yapılan çözümler ile karşılaştırmışlardır [48, 50, 55].

Steinbrenner (1934) rijit temelerin tabanında gerilmelerin derinlikle azalışını Boussinesq tarafından önerilen şekliyle kabul ederek, çok tabakalı elastik zeminler için derinlik ve oturma faktörlerine göre bağıntılar önermiştir [34].



Şekil 6.11. Çok tabakalı elastik zeminin denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi [47]

a) Çok tabakalı elastik zemin

b) Denk tek tabakalı elastik zemin

Steinbrenner (1934) tarafından önerilen bağıntıların ilgi çeken yanı, tek tabakalı homojen yarı mekan için önerilen gerilme dağılımını çok tabakalı zeminler için kullanarak bağıntılar önermesidir [34].

Simons (1977) ve Menzies (1977), Steinbrenner (1934) tarafından önerilen bağıntıları, çok tabakalı elastik zeminin belirtilen z derinliğinde, o derinlikte yer alan zeminin özelliklerinin kullanılabilmesi şeklinde değiştirerek geliştirmişlerdir [48].

Davis (1962) ve Taylor (1962), Steinbrenner (1934) tarafından önerilen bağıntıları, yatay oturmaların hesaplanabilmesi için geliştirmişlerdir [34].

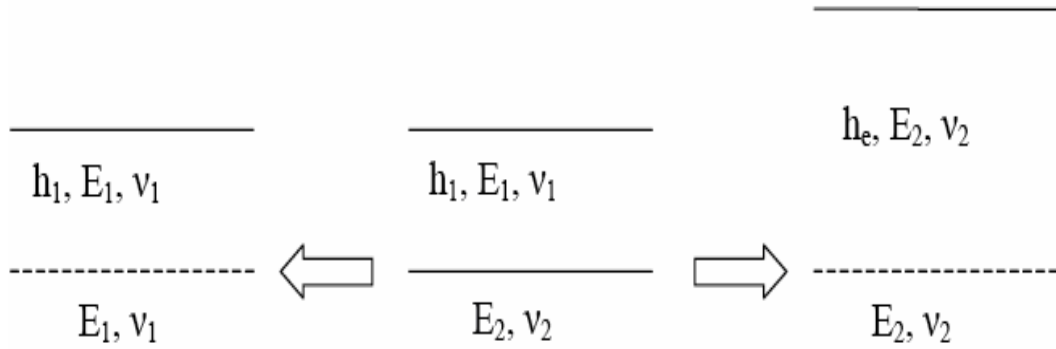
Hirai (1998) ve Kamei (1998), Steinbrenner (1934) tarafından önerilen bağıntıların, tabakaların elastisite modüllerinin derinlikle azalması durumunda, oturmaların hesabında kullanılamayacağını kaydetmişlerdir [56].

Bazı araştırmacılarda, çok tabakalı elastik zeminin, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülerek, temel tabanında oluşan gerilmelerin ve oturmaların hesaplanması için bağıntılar önermişlerdir.

Önerilen bağıntılarda, denk tek tabakalı elastik zeminin, denk tabaka kalınlığının ve denk rijitlik modülünün hesaplanması öne çıkmıştır.

Ullidtz (1987), Odemark (1949) tarafından önerilen bağıntıları geliştirerek, elastisite modülünün derinlikle azalması durumunda, çok tabakalı elastik zeminlerin denk tek tabakalı zeminlere dönüştürülmesi için bağıntılar önermiştir [48, 55].

Ullidtz (1987) iki tabakalı elastik zemininin, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi ve denk tabaka yüksekliğinin belirlenmesi için aşağıdaki bağıntıları önermiştir [53].



Şekil 6.12. Ullidtz tarafından denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülen, iki tabakalı elastik zemin [53]

Denk tabaka kalınlığının hesaplanması için önerilen bağıntı aşağıdaki gibidir [24].

$$h_e = h_1 \cdot 3 \sqrt{\frac{E_1 \cdot (1 - \nu_2^2)}{E_2 \cdot (1 - \nu_1^2)}} \quad (6.17)$$

Ullidtz, eğer poisson oranları bilinmiyorsa, aşağıdaki bağıntının kullanılabileceğini önermiştir [53].

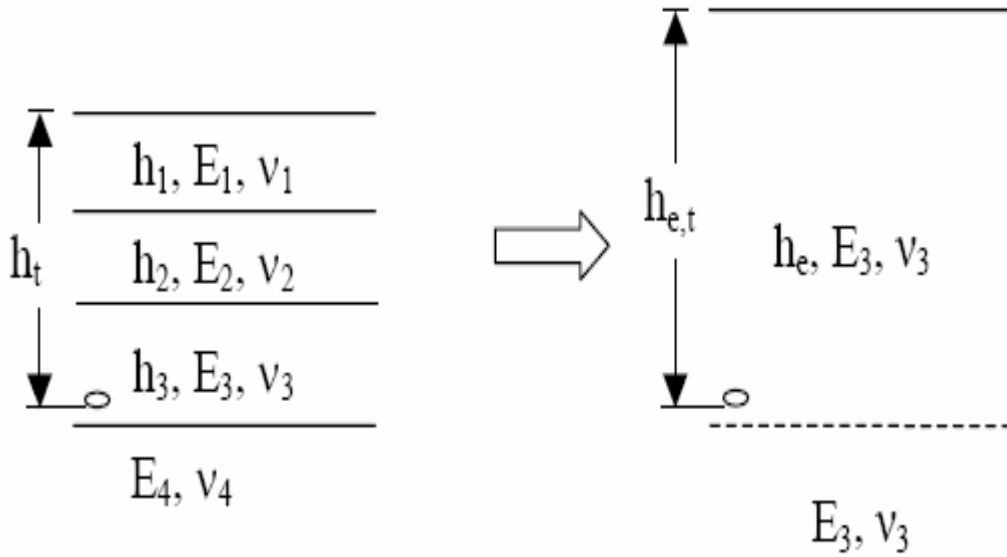
$$h_e = h_1 \cdot 3 \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} \quad (6.18)$$

Ullidtz (1987), (f) düzeltme faktörü olmak üzere, çok tabakalı elastik zeminlerin denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi ve denk tabaka yüksekliğinin belirlenebilmesi için aşağıdaki genel bağıntıyı önermiştir [53].

$$h_{e,n} = f_j \cdot \sum_{i=1}^{n-1} h_i \cdot 3 \sqrt{\frac{E_i}{E_n}} \quad (6.19)$$

Ullidtz (1987), (f) düzeltme faktörünün, iki tabakalı elastik zeminlerde 0,9 olarak ve diğer durumlar için 1 olarak alınabileceğini kaydetmiştir.

Ullidtz (1987) dört tabakalı elastik zemininin, üçüncü tabakaya bağlı olarak, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi ve denk tabaka yüksekliğinin hesaplanması için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir [53].



Şekil 6.13. Ullidtz tarafından dört tabakalı elastik zeminin, üçüncü tabakaya bağlı olarak, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi [53]

Denk tabaka kalınlığının hesaplanması için önerilen bağıntı aşağıdaki gibidir [53].

$$h_{e,t} = f \cdot \left(h_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_3}} + h_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_3}} \right) + (h_t - (h_1 + h_2)) \quad (6.20)$$

Palmer (1940) ve Barber (1940) iki tabakalı elastik zeminde, tabakaları oluşturan zeminlerin elastik parametreleri (ν) ve (E) olmak üzere, denk tek tabaka kalınlığının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermişlerdir [34].

$$h_e = \left(\frac{E_1 \cdot (1 - \nu_2^2)}{E_2 \cdot (1 - \nu_1^2)} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.21)$$

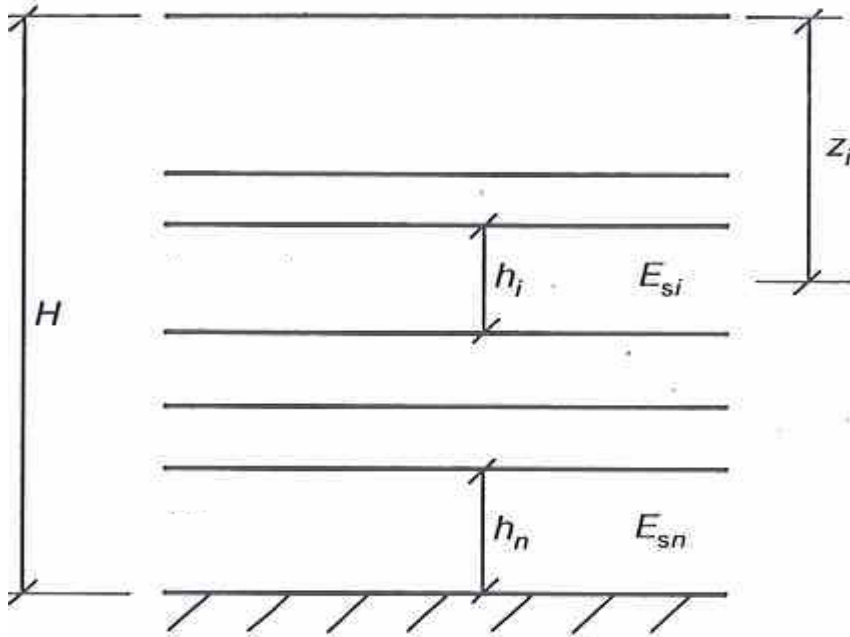
Odemark (1949) üç tabakalı elastik zeminler için, ilk iki tabakanın toplam yüksekliği (T), tabaka yükseklikleri (N_1), (N_2), (N_3) ve temel genişliği (a) olmak üzere, elastisite modülü oranları ve T değerine bağlı olarak, (E_m) denk elastisite modülünün hesaplanması için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir [34, 55].

$$\frac{E_3}{E_m} = \left[\frac{1 + N_2^2 \left(\frac{T}{a} \right)^2}{1 + N_3^2 \left(\frac{T}{a} \right)^2} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{E_3}{E_2} \cdot \left(1 - \left[\frac{1 + N_2^2 \left(\frac{T}{a} \right)^2}{1 + N_1^2 \left(\frac{T}{a} \right)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \right) \quad (6.22)$$

Ueshita (1967) ve Meyerhof (1967) üç tabakalı elastik zeminler için, üsteki iki tabakaya bağlı olarak, denk tek tabakalı zeminin elastisite modülünün hesaplanması için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir [34, 50].

$$E_e = \left(\frac{h_1 \cdot \sqrt[3]{E_1} + h_2 \cdot \sqrt[3]{E_2}}{h_1 + h_2} \right)^3 \quad (6.23)$$

Poulos ve Small çok tabakalı elastik zeminin, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülebilmesi için, (W_{fi}) değerine bağlı olarak, denk tek tabakalı sistemin elastisite modülünün hesaplanması için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir [47].



Şekil 6.14. Poulos ve Small tarafından çok tabakalı elastik zeminin denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi [47]

$$E_{se} = \frac{\sum_{i=1}^n W_{fi} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n \frac{W_{fi} \cdot h_i}{E_{si}}} \quad (6.24)$$

Önerilen bağıntıda yer alan (W_{fi}) değeri, çok tabakalı elastik zemini oluşturan tabakalarda, yapı yüklerine bağlı olarak, o derinlikte oluşan gerilme artışını göstermektedir.

Poulos ve Small çok tabakalı elastik zeminin, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi ile elde edilen denk tabaka yüksekliğinin, aşağıdaki aşağıda ki bağıntıyla hesaplanmasını önermişlerdir [47].

$$h_e = \sum_{i=1}^n h_i \quad (6.25)$$

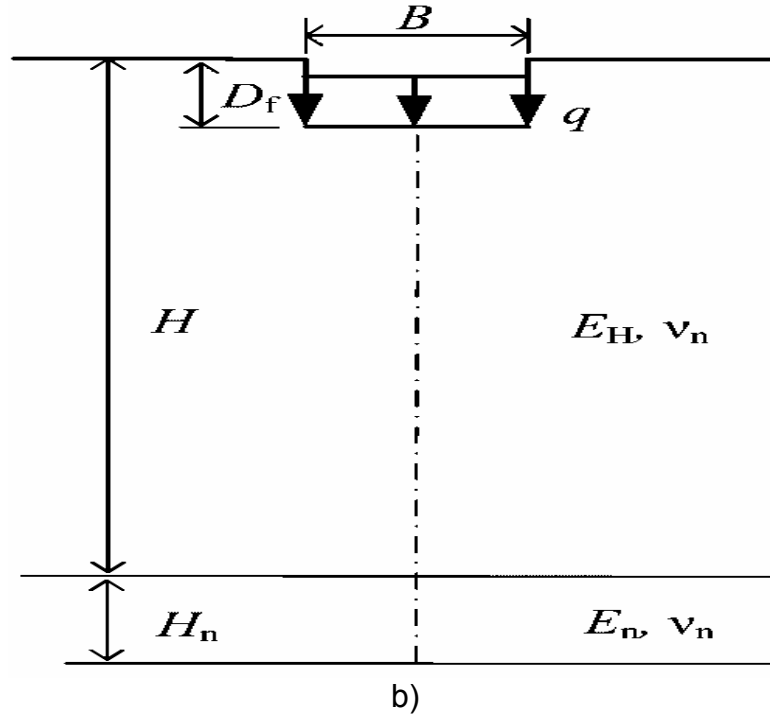
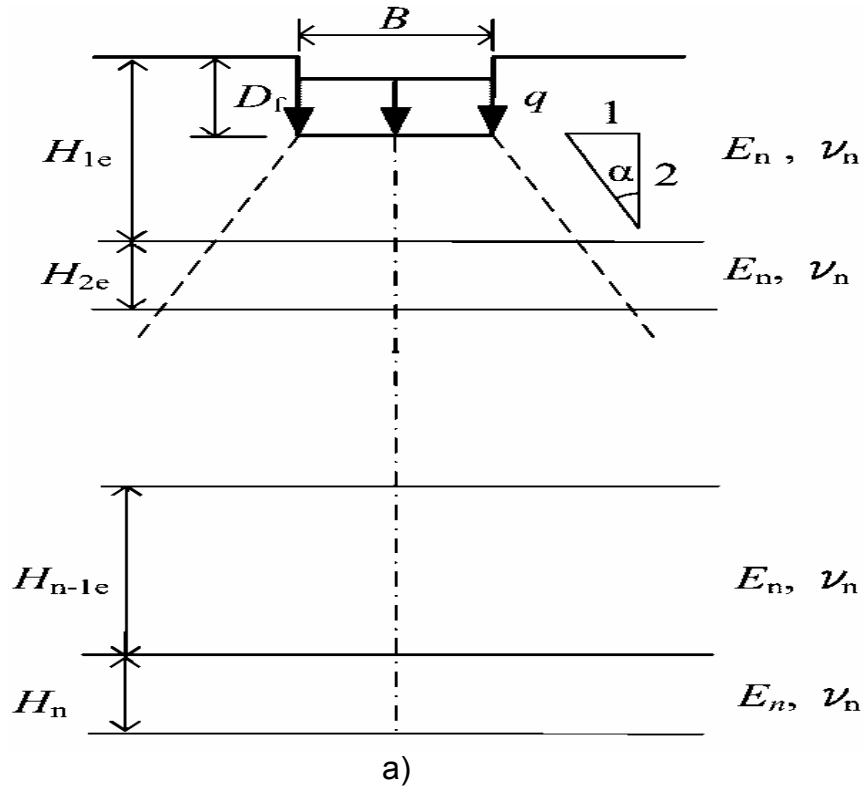
Hirai (2007) çok tabakalı elastik zeminin, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi ile elde edilen denk tabaka yüksekliğinin, aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir [48, 56].

$$h_e = 0,75 + 0,25 \cdot \left(\frac{E_m \cdot (1 - v_n^2)}{E_n \cdot (1 - v_m^2)} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (6.26)$$

Hirai (2007) bu bağıntının $m=(2 \rightarrow n)$ ve $E_m \leq E_n$ olması durumunda geçerli olduğunu kaydetmiştir. Ayrıca Hirai (2007), bu bağıntının oluşturulmasında, gerilmelerin zemin içerisinde düşeyde $\alpha=30^\circ$ veya $\alpha=40^\circ$ lik açılarla doğrusal olarak dağıldığının kabul edildiğini kaydetmiştir [48].

Hirai (2007) çok tabakalı elastik zeminin, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi ile elde edilen denk elastisite modülünün aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir [48, 56].

$$E_e = \left[E_1 \cdot \left(\frac{(1 - v_n^2)}{(1 - v_1^2)} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{H_1 - D_f}{H - D_f} + \sum_{j=2}^{n-1} E_j \cdot \left(\frac{(1 - v_n^2)}{(1 - v_j^2)} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{H_j}{H - D_f} \right]^3 \quad (6.27)$$



Şekil 6.15. Hirai tarafından önerilen yöntemle çok tabakalı elastik zeminin, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi [48]

- a) Çok tabakalı elastik zemin
- b) Denk tek tabakalı elastik zemin

Çok tabakalı elastik zeminin, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi ile ilgili olarak, incelenen literatürde yer alan araştırmacılar önerdikleri bağıntılarda genellikle zemin elastisite modülünü kullanmışlardır.

Ancak, çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımlarına esas yatak sayılarının, bu çalışmada önerilen yöntem ile belirlenebilmesi için, çok tabakalı elastik zeminin, denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi ile ilgili olarak önerilen bağıntılarda, zemin rijitlik modülünün kullanılması önerilmektedir.

6.4. Denk Tek Tabakalı Elastik Zemine Oturan Temellerin Zemine Göre Rijitliklerinin Belirlenmesi

DIN 4019 (1979) yatak sayısı değerlerinin yapı yüklerine bağlı olarak, temel tabanında oluşan gerilme dağılımına ve temelin bu yüklemeler altında sergileyeceği oturma şekline uyumlu olarak belirlenmesi gerektiğini kaydetmektedir [24].

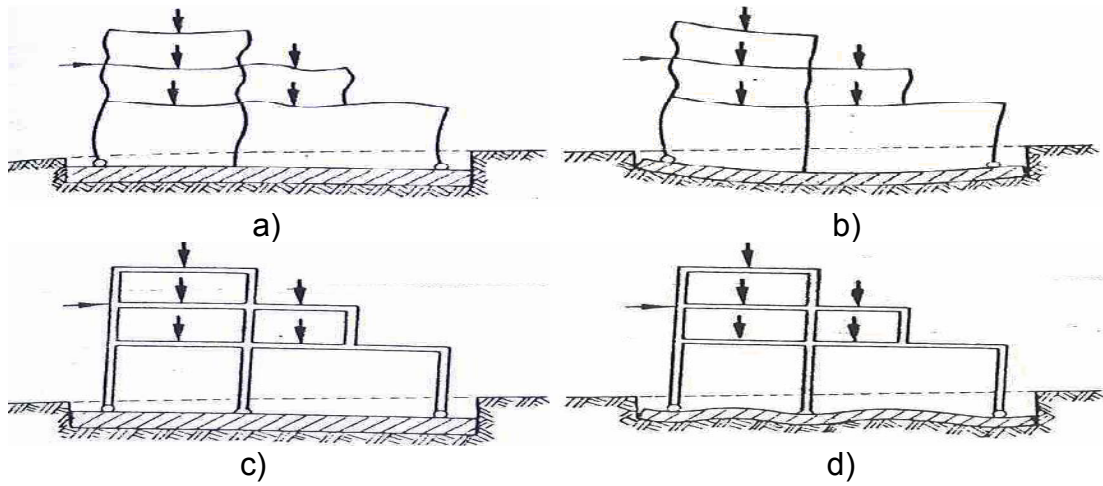
Temel tabanında oluşan oturmaların hesaplanmasında, temellerin zemine göre rijitlikleri belirleyici etkenlerden biridir. Bu nedenle, temel tabanında oluşan oturmaların hesaplanması için, temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi gerekir.

Temellerde oluşan farklı oturmalar nedeniyle, yapılara istenmeyen ek gerilmeler etkimektedir.

ACI Committee 336 (2002), temellerin zemine göre rijit olmaları halinde, yapı düşey elemanlarının altında farklı oturmaların oluşmayacağını kaydetmektedir [27].

ACI Committee 336 (2002), temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesinde, üst yapı rijitliğinin, temel rijitliğinin ve zemin rijitliğinin beraber değerlendirilmesi gerektiğini kaydetmektedir [27].

Üst yapı ve temellerin değişik rijitlik oranları için, temellerde farklı oturma şekilleri oluşmaktadır.



Şekil 6.16. Yapı ve temellerin değişik rijitlik oranları için, temellerde oluşan farklı oturma şekilleri

- a) Fleksibl üst yapı altında rijit temel
- b) Fleksibl üst yapı altında fleksibl temel
- c) Rijit üst yapı altında rijit temel
- d) Rijit üst yapı altında fleksibl temel

Borowicka (1936), zemin ve temel malzemesinin poisson oranlarının aynı olması durumunda, temellerin zemine göre rijitliklerinin aşağıdaki bağıntı ile belirlenmesini önermiştir [5, 31].

$$K_s = \frac{8}{6} \cdot \frac{E}{E_b} \cdot \left(\frac{d}{A} \right)^3 \quad (6.28)$$

Borowicka tarafından önerilen bağıntıda yer alan parametreler aşağıdaki gibidir [5].

K_s : Temelin zemine göre rijitliği

A: Temelin düzleme dik doğrultudaki uzunluğu

E_b : Zemin elastisite modülü

E: Temel malzemesinin elastisite modülü

d: Temelin kalınlığı

Borowicka (1936), zemin elastisite modülü ve zemin rijitlik modülü arasında aşığıdaki bağıntının olduğunu kaydetmiştir [5,27].

$$E_s = 1,34 \cdot E_b \quad (6.29)$$

Borowicka (1936) ve Hruban (1943), temellerin iki özel yükleme durumu olan düzgün yayılı yük ve yükün plağın ortasında olması durumları için, temellerin zemine göre rijitlikleri ile ilgili olarak aşığıdaki durumları kaydetmişlerdir [5, 31].

$$K_s < \frac{\pi}{3} \cong 1 \rightarrow \text{Temel fleksibl}$$

$$K_s \geq 1 \rightarrow \text{Temel rijit}$$

Borowicka'dan önceki literatürde, temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi için aşığıdaki bağıntının kullanılması önerilmiştir [5, 31].

$$K'_s = \frac{1}{12} \cdot \frac{E}{E_b} \cdot \left(\frac{d}{A} \right)^3 \quad (6.30)$$

Borowicka'dan önceki literatürde, temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak aşığıdaki durumlar kaydedilmiştir [5, 31].

$K'_s = 0,5 \rightarrow$ Temel rijit

$K'_s = 0 \approx 0,2 \rightarrow$ Temel hassas fleksibl

$K'_s = 0,2 \approx 0,3 \rightarrow$ Temel orta fleksibl

$K'_s = 0,3 \approx 0,5 \rightarrow$ Temel rijit veya fleksibl kabulünden etkilenmez

Temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak Borowicka tarafından önerilen ve Borowicka'dan önceki literatürde önerilen bağıntılar arasında aşağıdaki ilişki mevcuttur.

$$K_s = \frac{1}{16} \cdot K'_s \quad (6.31)$$

Schulze (1950), dikdörtgen plaklar için (K'_s) değerine bağlı olarak, temlerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesinde aşağıdaki bağıntının kullanılmasını önermiştir [5, 31, 57].

$$\lambda = 12 \cdot \left(\frac{A}{d} \right)^3 \cdot \frac{E}{E_b} \quad (6.32)$$

Schulze (1950) tarafından, temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi için önerilen (λ) değeri ile (K'_s) arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir [5, 31, 57].

$$\lambda = \frac{1}{K'_s} \quad (6.33)$$

Schulze (1950), temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak aşağıdaki durumları kaydetmiştir [5, 31, 57].

$\lambda < 100 \rightarrow$ Temel rijit

$\lambda > 100 \rightarrow$ Temel fleksibl

Kany (1974), elastik yarı mekana oturan temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi için aşağıdaki bağıntıların kullanılmasını önermiştir [5].

$$\eta = \frac{c_0}{\alpha} \quad (6.34)$$

$$c_0 = \frac{b' \cdot f(s_0)}{E_s} \quad (6.35)$$

$$\alpha = \frac{a'^4 \cdot 12}{E \cdot d^3} \quad (6.36)$$

$$a' = \frac{A}{10} \quad (6.37)$$

$$b' = \frac{B}{10} \quad (6.38)$$

(α) ve (c_0) değerleri, bağıntılardaki yerlerine konursa, temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi için önerilen bağıntı, aşağıdaki gibi elde edilmektedir [5].

$$\eta = \frac{c_0 \cdot E \cdot d^3 \cdot 10^4}{A^4 \cdot 12} \quad (6.39)$$

Kany (1974) tarafından önerilen bağıntıda yer alan parametreler aşağıdaki gibidir [5].

η : Temelin zemine göre rijitliği

A: Temelin düzleme dik doğrultudaki uzunluğu

B: Temelin genişliği

E_s : Zemin rijitlik modülü

E : Temel malzemesinin elastisite modülü

d : Temelin kalınlığı

$f_{(so)}$: Kany tarafından temel boyutları ve etki derinliğine bağlı olarak önerilen bir oturma katsayısı

Kany (1974) temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak aşağıdaki durumları kaydetmiştir [5, 31].

$\eta = 0 \rightarrow$ Temel tam fleksibl

$0 < \eta < 200 \rightarrow$ Temel fleksibl

$\eta \geq 200 \rightarrow$ Temel rijit

$\eta = \infty \rightarrow$ Temel sonsuz rijit

Borawicka (1936), Schulze (1950), Kany (1974) tarafından, temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi için önerilen bağıntıların birbirleriyle olan ilişkisi aşağıdaki gibidir.

$$\eta = 1,74 \cdot 10^3 \cdot K'_s \quad (6.40)$$

$$\eta = 108,7 \cdot K_s \quad (6.41)$$

Bu bağıntılarda, (η) Kany tarafından önerilen, (K_s) Borawicka tarafından önerilen ve (K'_s) Schulze tarafından önerilen bağıntıları göstermektedir.

Kany (1974), Borawicka (1936) ve Schulze (1950) tarafından önerilen bağıntıların, elastik izotrop yarı mekanda geçerli olduğunu ayrıca, Borawicka ve Schulze tarafından önerilen bağıntıların elde edilmesinde, sabit bir elastisite modülü ve sonsuz yarı mekan kabulünün yapıldığını kaydetmiştir [5, 31]. Ancak, Kany tarafından önerilen (η) katsayısı, tabakalaşmış zemin

için geçerli olup, elastik izotrop yarı mekan sadece özel bir hali teşkil etmektedir.

ACI Committee 336 (2002) elastik yarı mekana oturan temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenebilmesi için, 1 m uzunluluğundaki dikdörtgen şerit temelde oluşan oturmaların, farklı oturmalara olan oranlarına bağlı olarak aşağıdaki bağıntıyı önermiştir [27].

$$K_r = \frac{E}{E_s} \cdot \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{d^3}{B^2 \cdot A} \right) \quad (6.42)$$

Önerilen bağıntıda yer alan parametreler aşağıdaki gibidir [5].

K_r : Temelin zemine göre rijitliği

A: Temelin düzleme dik doğrultudaki uzunluğu

B: Temelin genişliği

E_s : Zemin elastisite modülü

E: Temel malzemesinin elastisite modülü

d: Temelin kalınlığı

ACI Committee 336 (2002) temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak, aşağıdaki durumları kaydetmiştir [27].

$K_r = 0 \rightarrow$ Temel fleksibl

$K_r = 0,35 \rightarrow$ Temel orta fleksibl

$K_r = 0,50 \rightarrow$ Temel rijit

ACI Committee 336 (2002), temellerin zemine göre rijitliğini gösteren (K_r) katsayısının artması durumunda, temelerde oluşan farklı oturmaların azalacağını kaydetmektedir [27].

Grashoff (1978) temellerin zemine göre rijitliklerinin aşağıdaki bağıntı ile belirlenmesini önermiştir [29].

$$\lambda_s = \frac{E_s}{E} \cdot \left(\frac{L}{h} \right)^3 \quad (6.43)$$

Önerilen bağıntıda yer alan parametreler aşağıdaki gibidir [41, 57].

L: Temelin düzleme dik doğrultudaki uzunluğu

h: Temelin kalınlığı

E_s : Zemin rijitlik modülü

E: Temel malzemesinin elastisite modülü

Grashoff (1978) temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak aşağıdaki durumları kaydetmiştir [29, 41].

$\lambda_s \leq 1 \rightarrow$ Temel rijit

$1 < \lambda_s \leq 50 \rightarrow$ Temel orta fleksibl

$\lambda_s > 50 \rightarrow$ Temel fleksibl

Sherif ve König temellerin zemine göre rijitliklerinin aşağıdaki bağıntı ile belirlenmesini önermişlerdir [41].

$$K_{\lambda_s} = \frac{E}{E_s} \cdot \left(\frac{h}{L} \right)^3 \quad (6.44)$$

Sherif ve König, temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak aşağıdaki durumları kaydetmişlerdir [41].

$K_{\lambda_s} \geq 1 \rightarrow$ Temel rijit

$1 > K_{\lambda_s} \geq 0,02 \rightarrow$ Temel orta fleksibl

$K_{\lambda_s} < 0,02 \rightarrow$ Temel fleksibl

Temellerin zemine göre rijitlikleri, yatak sayısı yöntemiyle de belirlenebilir. Yatak sayısı yöntemine göre, dikdörtgen temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenebilmesi için, aşağıdaki bağıntının kullanılması önerilmiştir [41].

$$\lambda_b = \frac{1}{L} \quad (6.45)$$

$$L = \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{3 \cdot k_s}} \quad (6.46)$$

Önerilen bağıntılarda yer alan parametreler aşağıdaki gibidir [41].

h: Temelin kalınlığı

k_s : Yatak sayısı

E: Temel malzemesinin elastisite modülü

Yatak sayısı yöntemine göre, temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi ile ilgili olarak aşağıdaki durumlar kaydedilmiştir [41].

$\lambda_b \leq 2 \rightarrow$ Temel rijit

$2 < \lambda_b \leq 5,5 \rightarrow$ Temel orta fleksibl

$\lambda_b > 5,5 \rightarrow$ Temel fleksibl

Kany (1974), Grashoff (1938) ve Sherif - König tarafından önerilen, temellerin zemine göre rijitlikleri ve yatak sayısı yöntemine göre önerilen, temellerin zemine göre rijitlikleri, aşağıdaki gibidir [41].

Metodun Adı	Deformasyon davranışına ilişkin sınır durumlar		
	Rijit	Bükülebilir	Fleksibl
Yatak modülü metodu	$\lambda_B \leq 2$	$2 < \lambda_B \leq 5,5$	$\lambda_B > 5,5$
Graßhoff'un rijitlik modülü metodu	$\lambda_s \leq 1$	$1 < \lambda_s \leq 50$	$\lambda_s > 50$
Sherif/König'in rijitlik modülü metodu	$K_s \geq 1$	$1 > K_s \geq 0,02$	$K_s < 0,02$
Kany'nin rijitlik modülü metodu	$\eta \geq 145$	$145 > \eta \geq 2,9$	$\eta < 2,9$

Şekil 6.17. Kany, Grashoff, Sherif – König ve yatak sayısı yöntemine göre temellerin zemine göre rijitlikleri [6]

6.5. Denk Tek Tabakalı Elastik Zemine Oturan Rijit Temellerin Tabanında Oluşan Oturmaların Belirlenmesi

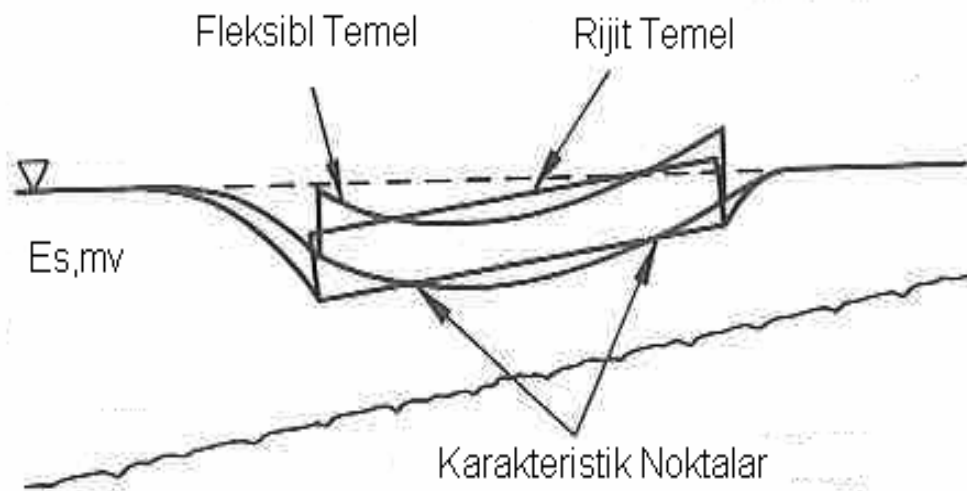
Çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımlarına esas yatak sayısı değerlerinin, bu çalışmada önerilen yöntem ile belirlenmesi için, temel tabanında oluşan oturmalar doğru olarak hesaplanmalıdır. Temeller, zemine göre rijit veya fleksibl olabilirler. Bu durumunda temellerde oluşan oturma şekilleri değişmektedir.

Temel tabanında oluşan oturmaların, bu çalışmada önerilen yöntem ile hesaplaması için denk tek tabakalı elastik zemine oturan temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Kany (1974), rijit ve fleksibl temellerin tabanında oluşan gerilme ve oturmaların hesabında, karakteristik noktanın kullanılması halinde, hesaplamalarda kolaylık sağlandığını kaydetmiştir [5, 31].

Kany (1974), temellerde karakteristik noktayı, temel tabanında oluşan gerilme ve oturmaların, temel rijirliğinden bağımsız olduğu nokta olarak kaydetmiştir [5, 31].

Temellerin, zemine göre rijit veya fleksibl olmaları durumunda, temellerde oluşan oturma şekilleri ve karakteristik noktalar aşağıdaki gibidir [52].



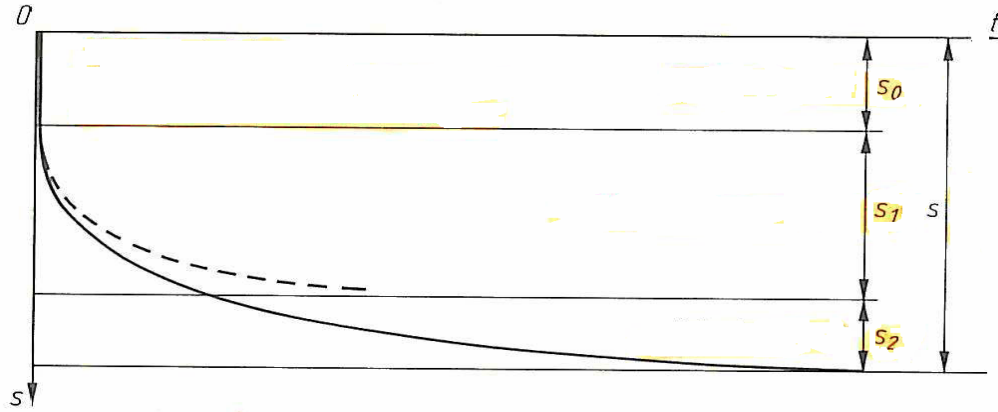
Şekil 6.18. Temellerde oluşan oturma şekilleri ve karakteristik noktalar [52]

DIN 4019 (1979), temel tabanında oluşan oturmaları aşağıdaki gibi kaydetmektedir [24].

- a) Ani oturmalar (s_0)
- b) Konsolidasyon veya sıkışma oturmaları (s_1)
- c) Sünme oturmaları (s_2)

Suya doymun olmayan killerde, temel tabanında oluşan oturmalar, gerilme artışlarına bağlı, sıkışma oturmalarıdır.

Kumlarda ise, temel tabanında oluşan oturmalar ani ve hızlı oturmalarıdır.



Şekil 6.19. Temel tabanında oluşan oturmalar [52]

Kany (1974), Grashoff (1978), Wölfer (1971), Hahn (1981), DIN 4019 (1974), EVB (1992) ve Kanada Temel Mühendisliği Şartnamesi (1992), temellerin karakteristik noktaları altında oluşan oturmaların hesabında, rijitlik modülü ve hacimsel sıkışma modülünün kullanılmasını önermişlerdir [5, 24, 25, 29, 33, 49, 52].

Kany (1974), Grashoff (1978), Wölfer (1971), Hahn (1981), DIN 4019 (1974), EVB (1992) ve Kanada Temel Mühendisliği Şartnamesi (1992), temel tabanında oluşan oturmaların, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmasını önermişlerdir [5, 24, 25, 29, 33, 49, 52].

$$s = \frac{\sigma_0 \cdot b \cdot f(s, o)}{E_s} \quad (6.47)$$

Önerilen bağıntıda yer alan parametreler aşağıdaki gibidir.

b: Temel genişliği

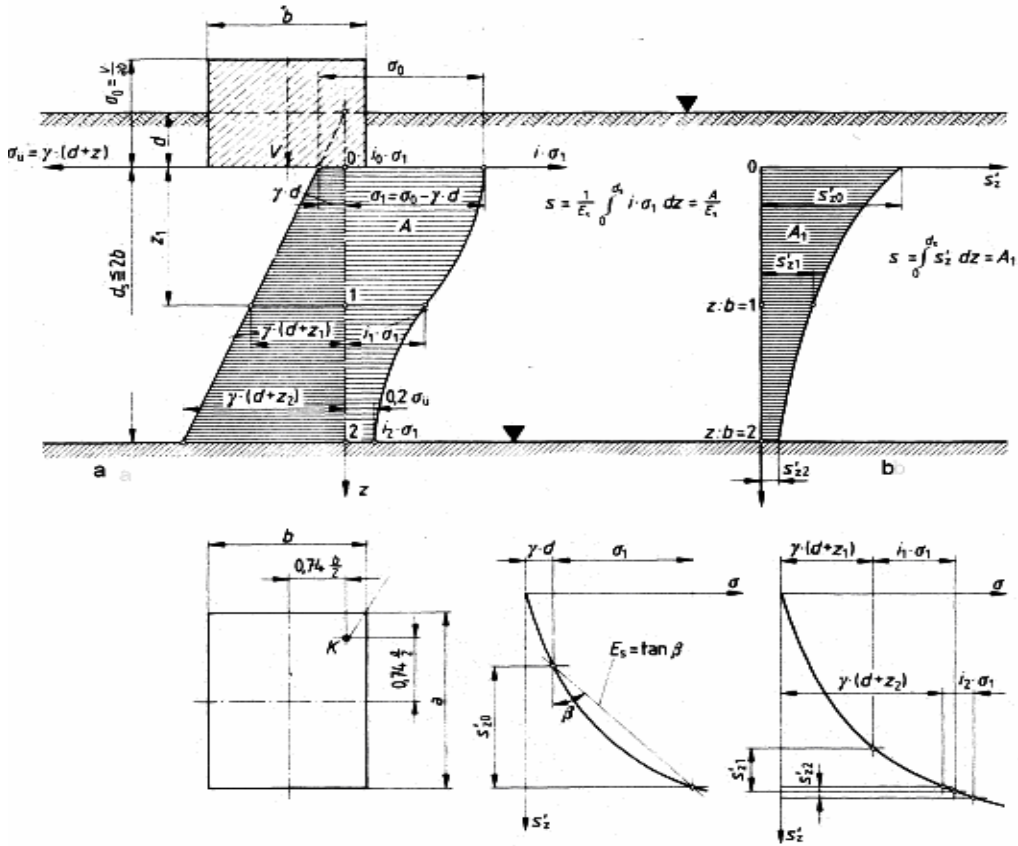
E_s : Zemin rijitlik modülü

f_{s0} : Kany tarafından temel boyutları ve etki derinliğine bağlı olarak önerilen bir oturma katsayısı

Temellerin karakteristik noktalarına göre yapılan oturma hesaplarında, rijit temeller ve fleksibl temellerin oturmaları arasında bir ilişki mevcuttur. DIN 4019 (1979) rijit temellerin tabanında oluşan oturmalarla, fleksibl temellerin tabanında oluşan oturmalar arasındaki ilişkiyi aşağıdaki gibi kaydetmektedir [24].

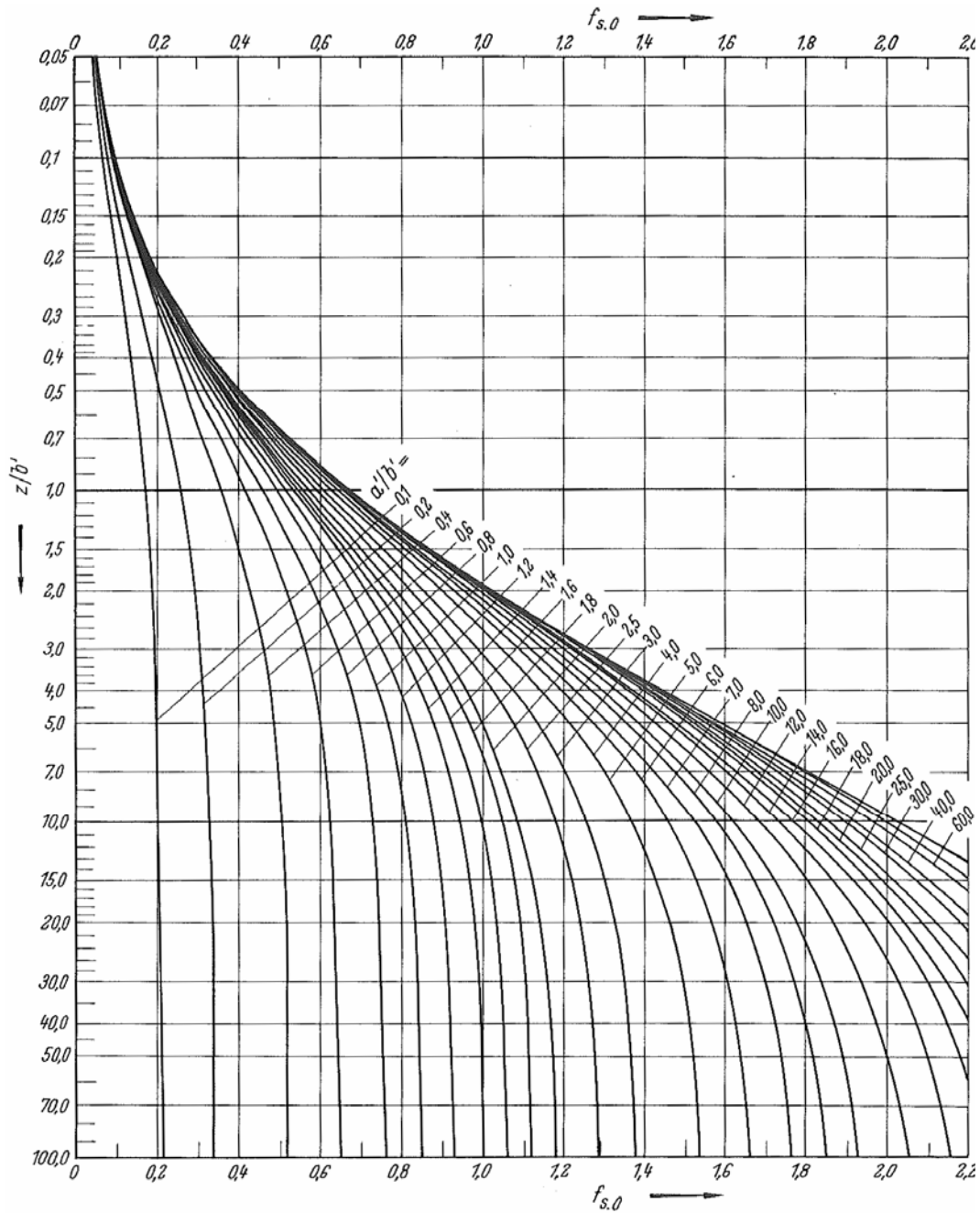
$$s_{rijit}=0,75 \cdot s_{fleksibl} \quad (6.48)$$

DIN 4019 (1974), elastik yarı mekana oturan temellerin, karakteristik noktaları altında oluşan gerilmelerin ve oturmaların zemin içerisinde derinlikle değişimi ve oturma hesabında kullanılan, rijitlik modülü ve hacimsel sıkışma modülünü değerlerinin elde edilişi ile ilgili olarak aşağıdaki kayda sahiptir [24]

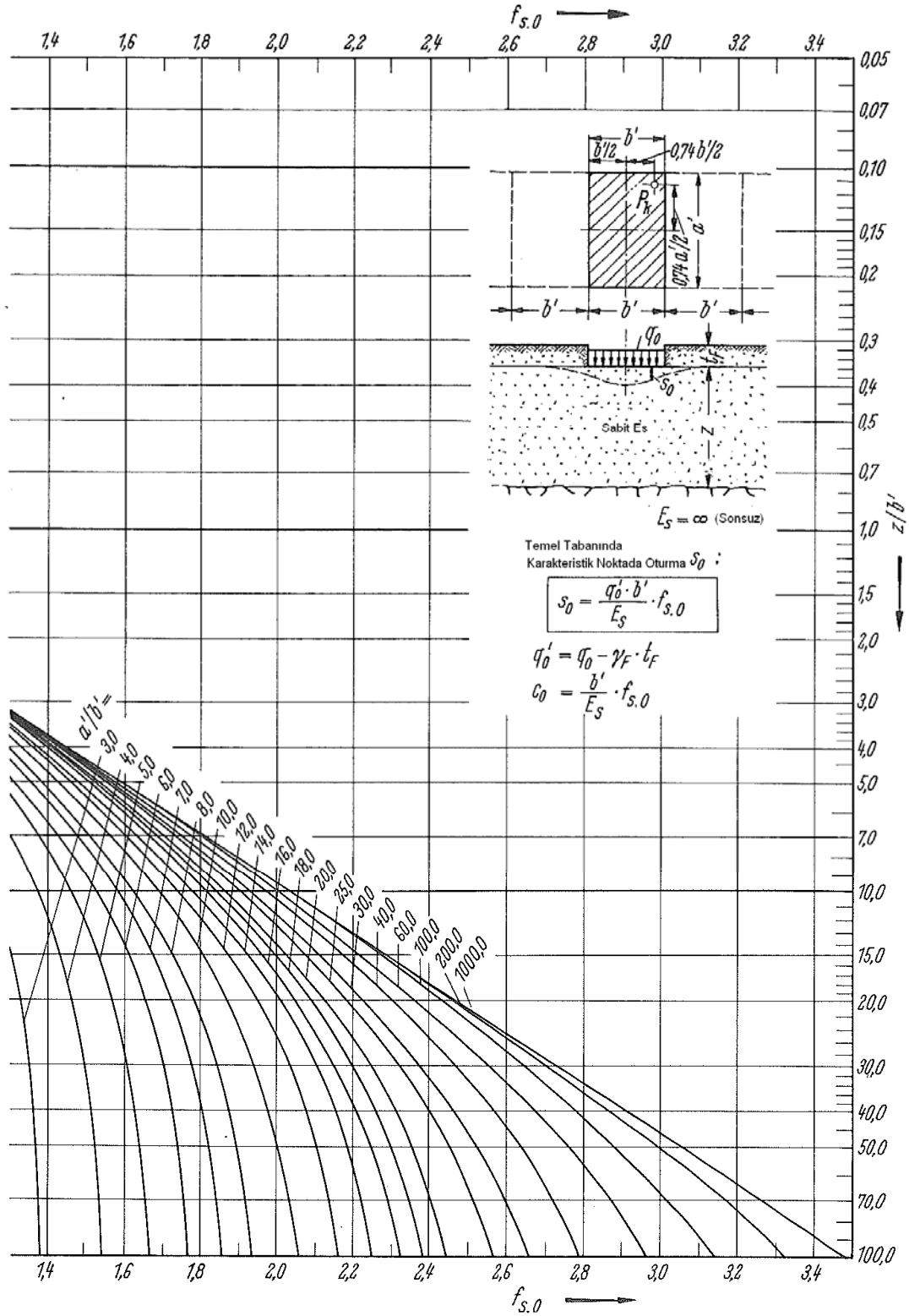


Şekil 6.20. Temelin karakteristik noktası altında oluşan gerilmelerin ve oturmaların zemin içerisinde derinlikle değişimi ve oturma hesabında kullanılan rijitlik modülü değerlerinin elde edilişi [24]

Kany (1974), önerdiği bağıntıda $f_{s,0}$ değerlerinin, temel boyutları ve etki derinliğine bağlı olarak değiştiğini kaydetmiştir [5, 31]. Kany (1974), $f_{s,0}$ değerlerinin elde edilmesi için aşağıdaki eğrilerin kullanılmasını önermiştir. [6, 31].



Şekil 6.21. Kany tarafından, $f_{s,0}$ değerlerinin elde edilmesi için önerilen eğriler [6]



Şekil 6.21.(Devam). Kany tarafından, $f_{s,0}$ değerlerinin elde edilmesi için önerilen eğriler [6]

Kany (1974), $f(s.o)$ katsayılarının temel boyutları ve etki derinliğine bağlı olarak tablolardan da alınabileceğini kaydetmiştir. Kany (1974) tarafından önerilen tablolar aşağıdaki gibidir [6].

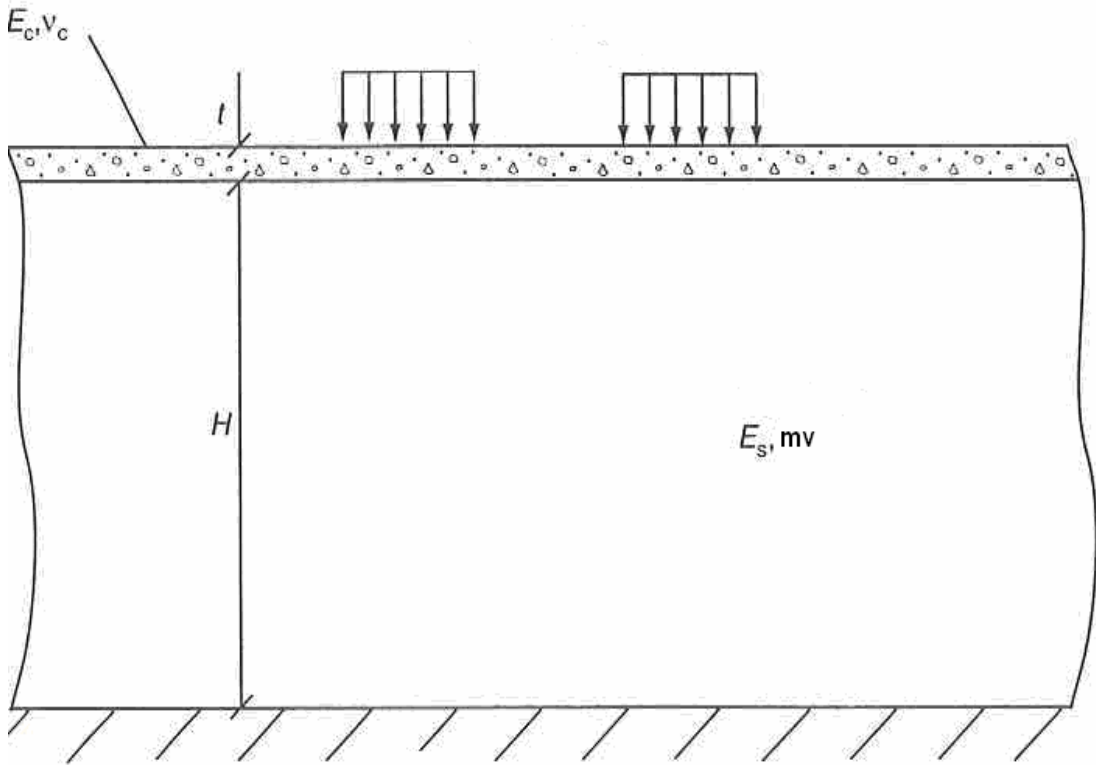
Çizelge 6.5. Kany (1974) tarafından önerilen $f(s.o)$ katsayıları [6]

$\frac{z}{b}$	Kare	Dikdörtgen				Şerit
	$\frac{a}{b} = 1$	$\frac{a}{b} = 1,5$	$\frac{a}{b} = 2$	$\frac{a}{b} = 3$	$\frac{a}{b} = 5$	$\frac{a}{b} \rightarrow \infty$
0	0	0	0	0	0	0
0,10	0,096	0,097	0,098	0,098	0,098	0,097
0,15	0,139	0,142	0,143	0,143	0,144	0,143
0,20	0,176	0,182	0,184	0,186	0,186	0,187
0,30	0,238	0,250	0,256	0,261	0,264	0,264
0,40	0,289	0,307	0,318	0,327	0,333	0,335
0,50	0,332	0,357	0,371	0,386	0,396	0,400
0,70	0,405	0,439	0,461	0,486	0,507	0,519
1,00	0,488	0,536	0,567	0,605	0,642	0,672
1,50	0,580	0,650	0,694	0,750	0,809	0,877
2,00	0,638	0,725	0,781	0,852	0,929	1,038

Tabloda verilen $\frac{a}{b}$ ve $\frac{z}{b}$ oranlarının arasında kalındığı durumlarda, $f(s.o)$ katsayıları interpolasyon yapılarak elde edilebilir.

6.6. Çok Tabakalı Elastik Zemine Oturan Rijit Temellerin Tasarımlarına Esas Yatak Sayısı Değerlerinin Elastik Yarı Mekan Modeli İle Hesaplanması

Ülkemiz statik proje bürolarında kullanılan bilgisayar programlarında, yatak sayısı yöntemi ile yapılan analizler için programlara girdi teşkil eden yatak sayısı değerleri, zeminin elastik parametreleri kullanılarak, elastik yarı mekan modeli ile de belirlenebilir.



Şekil 6.22. Elastik yarı mekan [47]

Lopez, I_b temele ait bir şekil katsayısını göstermek üzere, B genişliğinde ki temeller için yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir [35].

$$k_s = \frac{1}{B \cdot l_b} \cdot \left(\frac{E}{1 - \nu^2} \right) \quad (6.49)$$

Biot (1937), Winkler yarı uzayına oturan temel kirişinde oluşan en büyük momenti, elastik yarı mekana oturan temel kirişinde oluşan en büyük momentle karşılaştırarak, yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir [39].

$$k_s = \frac{1,25 \cdot E_s}{(1 - \nu^2) \cdot B} \cdot \left[\frac{E_s \cdot B^4}{16 \cdot (1 - \nu^2) \cdot E_b \cdot l_b} \right]^{0,1} \quad (6.50)$$

Vesic (1963) ve Johnson (1963), yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermişlerdir [40].

$$k_s = \frac{0,65 \cdot E_s}{(1 - \nu^2) \cdot B} \quad (6.51)$$

Köglér ve Scheiding, (H) tabaka kalınlığı ve (B) temel genişliğine bağlı olarak, yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermişlerdir [23].

$$k_s = \frac{2 \cdot E_s}{B \cdot \log \left(\frac{B + 2 \cdot H}{B} \right)} \quad (6.52)$$

Woinowsky ve Kriger, (t) kiriş kalınlığı olmak üzere, yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermişlerdir [23, 62].

$$k_s = \frac{2.15}{t} \cdot \left(\frac{E_s}{E_b} \right)^{0.33} \quad (6.53)$$

Galin, sonlu kirişler için, yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir [23, 62].

$$k_s = \frac{0,68 \cdot E_s}{\left(1 - \nu^2\right) \cdot B} \quad (6.54)$$

ACI 336 (2002), I_3 poisson oranına ve temel şekline bağlı bir katsayı olmak üzere, yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir [41].

$$k_s = \frac{E_s}{B \cdot \left(1 - \nu^2\right) \cdot I_3} \quad (6.55)$$

De Beer, uniform yükle yüklenen ve alanı (A) olan rijit dairesel temeller için yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir [25].

$$k_s = 1,39 \cdot \frac{E_s}{\sqrt{A}} \quad (6.56)$$

De Beer, uniform yükle yüklenen sonsuz rijit dairesel temeller için yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir [25].

$$k_s = 1,50 \cdot \frac{E_s}{\sqrt{A}} \quad (6.57)$$

De Beer, kenar uzunlukları (B) ve (L) olan dikdörtgen temeller için yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir

$$k_s = \frac{1,33 \cdot E_s}{\sqrt[3]{B^2 \cdot L}} \quad (6.58)$$

Jaky, yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir [25].

$$k_s = \frac{2 \cdot E_s}{3 \cdot B} \quad (6.59)$$

Dimitrov, ∂ temel boyutlarına bağlı bir katsayı olmak üzere, yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir [25].

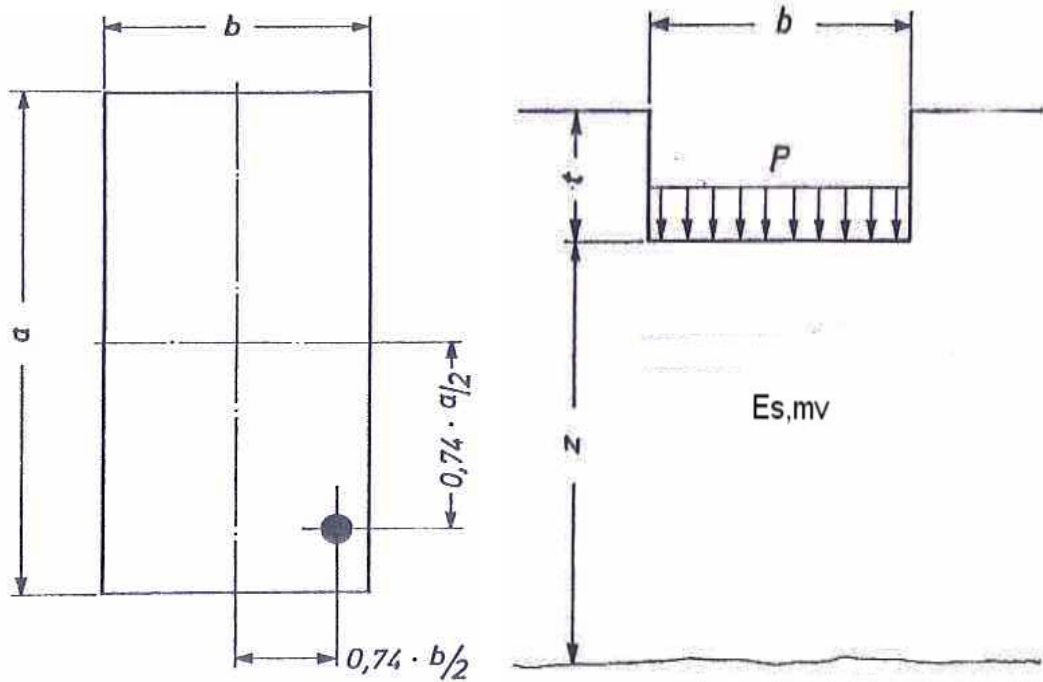
$$k_s = \frac{\partial \cdot E_s}{(1 - \nu^2) \cdot B} \quad (6.60)$$

Rausch (1990), (A_f) temel alanını ve (E_s) zemin rijitlik modülü değerini göstermek üzere, yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermiştir [61].

$$k_s = \frac{2,5 \cdot E_s}{\sqrt{A_f}} \quad (6.61)$$

DIN 4019 (1979) yatak sayısının, yapı yüklerine bağlı olarak, zeminin değişik gerilme düzeylerinde sıkışabilirliği ile uyumlu olarak temel tabanında etkiyen net gerilmeler ile yapılacak bir oturma hesabı ile hesaplanması gerektiğini kaydetmektedir [24].

$$k_s = \frac{\sigma_0}{s} \quad (6.62)$$



Şekil 6.23. Yatak sayısının, temel tabanında etkiyen net gerilmeler ile yapılacak bir oturma hesabı ile belirlenmesi [33]

DIN 4019 (1979), Kany (1974) tarafından temel tabanında oluşan oturmaların hesabı için önerilen bağıntının, (6.58) no'lu bağıntıda yerine konulması halinde, aşağıdaki bağıntının elde edileceğini kaydetmiştir [24].

$$k_s = \frac{\frac{\sigma_o}{\sigma_o \cdot b \cdot f(s_o)}}{E_s} \quad (6.63)$$

DIN 4019 (1979), Kany (1974), Grashoff (1978), Wölfer (1971), Hahn (1981) ve EVB (1992), yatak sayısının aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmasını önermişlerdir [5, 24, 25, 29, 33, 52].

$$k_s = \frac{E_s}{B \cdot f(s, o)} \quad (6.64)$$

Önerilen bağıntıda yer alan parametreler aşağıdaki gibidir.

E_s = Zemin rijitlik modülü

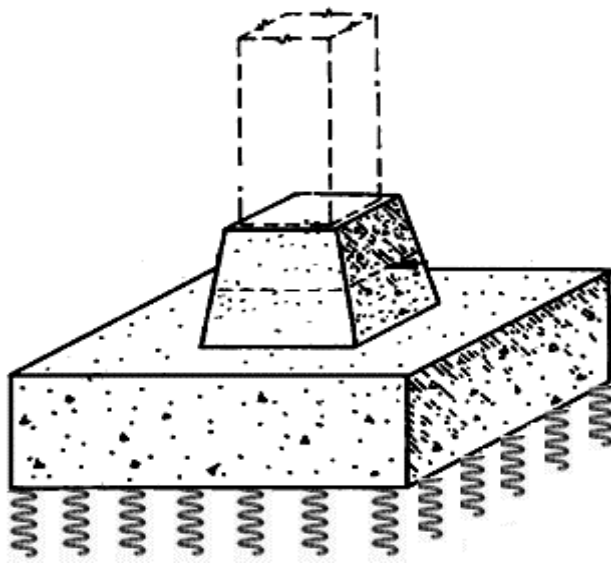
B = Temel genişliği

f_{s0} = Kany tarafından temel boyutları ve etki derinliğine bağlı olarak önerilen bir oturma katsayısı

Önerilen bağıntıda yer alan parametreler incelendiğinde, (E_s) zemin rijitlik modülü dışında kalan parametrelerin, hiçbirinin zemine ait olmadığı görülmektedir.

(E_s) zemin rijitlik modülünün de, yapıdan zemine aktarılan yükler ile zeminde oluşan gerilmelere bağlı olduğu unutulmamalıdır. u nedenle, DIN 4019 (1979), Kany (1974), Grashoff (1978), Wölfer (1971), Hahn (1981) ve EVB (1992), yatak sayısının bir zemin parametresi olmadığını kaydetmişlerdir [4, 25, 29, 33, 52].

Yatak sayısı yöntemi, tekil temellerin hesap ve tasarımlarında da kullanılabilir.

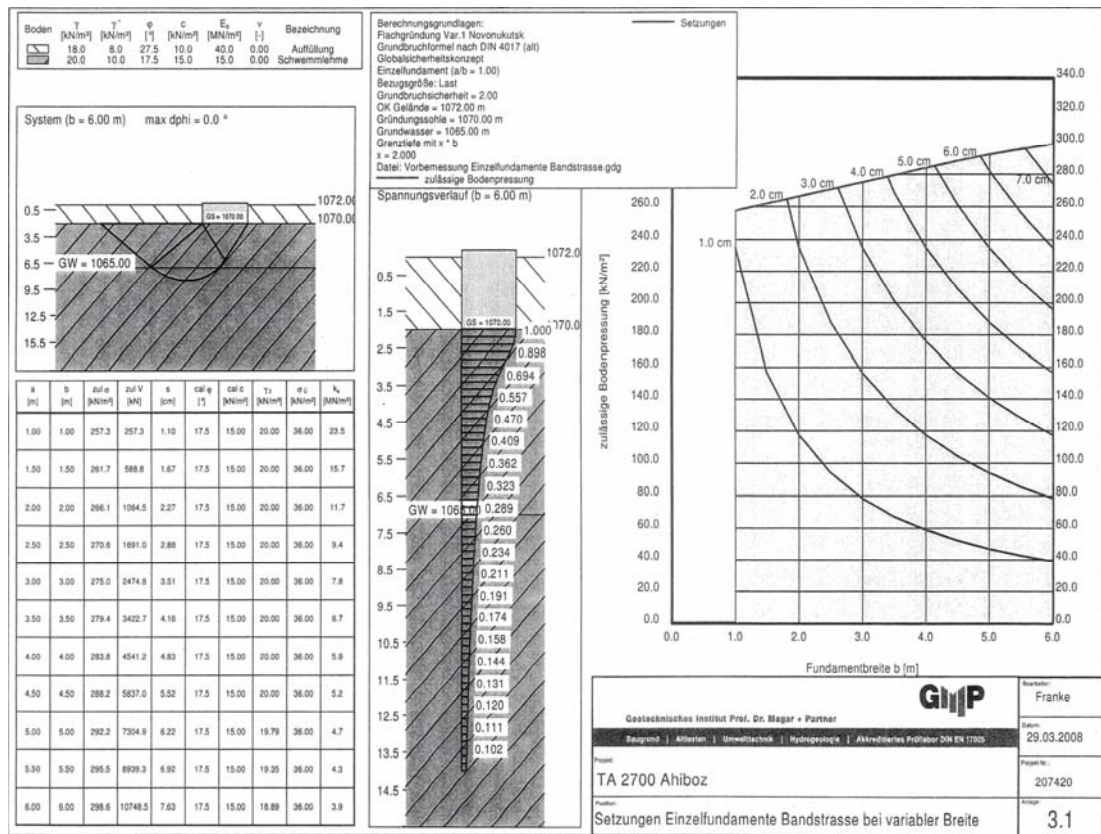


Şekil 6.24. Bilgisayar programlarında Winkler yayları ile modellenen tekil temel [58]

Yatak sayısı değerleri, tekil temellerin tabanında etkiyen net gerilmeler ile yapılacak bir oturma hesabı ile belirlenmelidir.

Geotechnisches Institut Magar + Partners (2008), homojen ve tek tabakadan oluştuğu kabul edilen, elastik izotrop yarı mekana oturan tekil temeller için, yatak sayısı değerlerinin aşağıda önerilen yöntemle hesaplanmasını önermiştir [60].

Önerilen yöntemde, temel tabanında oluşan gerilmeler ve bu gerilmelerin zemin içerisinde derinlikle azalımı belirlenerek, temel boyutlarına bağlı olarak oturma hesabı yapılmaktadır [60].



a)

Şekil 6.25. Geotechnisches Institut Magar + Partners tarafından önerilen yöntem ile yatak sayısı değerlerinin hesaplanması [60]

- a) Temel tabanında gerilme ve oturmalarla bağlı olarak yatak sayılarının hesaplanması için önerilen yöntem
 b) Önerilen yöntemde yatak sayılarının yer aldığı tablo

a [m]	b [m]	zul σ [kN/m ²]	zul V [kN]	s [cm]	cal ϕ [°]	cal c [kN/m ²]	γ_2 [kN/m ³]	σ_0 [kN/m ²]	k_s [MN/m ³]
1.00	1.00	257.3	257.3	1.10	17.5	15.00	20.00	36.00	23.5
1.50	1.50	261.7	588.8	1.67	17.5	15.00	20.00	36.00	15.7
2.00	2.00	266.1	1064.5	2.27	17.5	15.00	20.00	36.00	11.7
2.50	2.50	270.6	1691.0	2.88	17.5	15.00	20.00	36.00	9.4
3.00	3.00	275.0	2474.8	3.51	17.5	15.00	20.00	36.00	7.8
3.50	3.50	279.4	3422.7	4.16	17.5	15.00	20.00	36.00	6.7
4.00	4.00	283.8	4541.2	4.83	17.5	15.00	20.00	36.00	5.9
4.50	4.50	288.2	5837.0	5.52	17.5	15.00	20.00	36.00	5.2
5.00	5.00	292.2	7304.9	6.22	17.5	15.00	19.79	36.00	4.7
5.50	5.50	295.5	8939.3	6.92	17.5	15.00	19.35	36.00	4.3
6.00	6.00	298.6	10748.5	7.63	17.5	15.00	18.89	36.00	3.9

b)

Şekil 6.25.(Devam). Geotechnisches Institut Magar + Partners tarafından önerilen yöntem ile yatak sayısı değerlerinin hesaplanması [60]

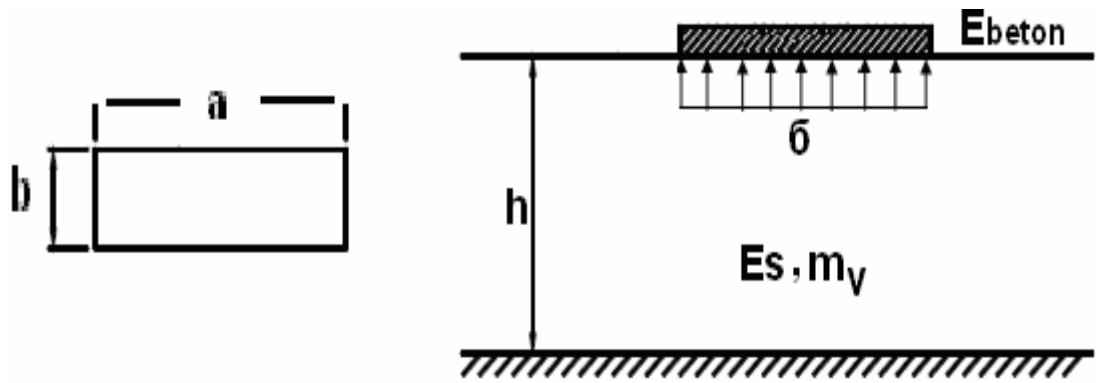
- a) Temel tabanında gerilme ve oturmalarla bağlı olarak Yatak sayılarının hesaplanması için önerilen yöntem
b) Önerilen yöntemde yatak sayılarının yer aldığı tablo

Belirtilen tabloda yer alan değerler incelendiğinde, (b) temel genişliğinin artması durumunda, temel tabanında oluşan oturmaların arttığı ve yatak sayısı değerlerinin azaldığı gözlemlenmektedir.

Ayrıca, aynı yapısal yüklere maruz ve aynı zemine oturan, farklı (b) temel genişliğine sahip temeller için hesaplanan yatak sayısı değerleri, b=1m için hesaplanan 23,5 MN/m³ ve b=6m için hesaplanan 3,9 MN/m³ arasındaki farkın %16,6 mertebesinde olduğu gözlemlenmektedir.

(E_s) zemin rijitlik modülü ve (b) temel genişliği, temellerin zemine göre rijitliği ve temellerin oturma şekillerinin belirlenmesinde belirleyici etkenlerdendir. Bu nedenle, (E_s) zemin rijitlik modülü ve (b) temel genişliği değerlerindeki değişim, temel tabanında oluşan oturmaları ve nihayetinde yatak sayısı değerlerini değiştirmektedir.

(E_s) zemin rijitlik modülü ve (b) temel genişliği değerlerindeki değişimin, yatak sayısı değerleri üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, değişik rijitlik modüllerine sahip tek tabakalı elastik zemine oturan, değişik temel genişliğine sahip rijit temeller için yatak sayısı değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 6.26. Değişik zemin rijitlik modülü değerlerine sahip, tek tabakalı elastik zemine oturan rijit temeller için, yatak sayısı değerlerindeki değişimin belirlenmesi [63]

Yapılan hesaplamalarda, (b) temel genişliği artırılarak, değişik zemin rijitlik modülü değerlerine sahip, tek tabakalı elastik zemine oturan rijit temeller için yatak sayısı değerleri hesaplanarak, (E_s) zemin rijitlik modülü değerlerindeki değişimin yatak sayısı değerlerine olan etkisi gözlemlenmiştir.

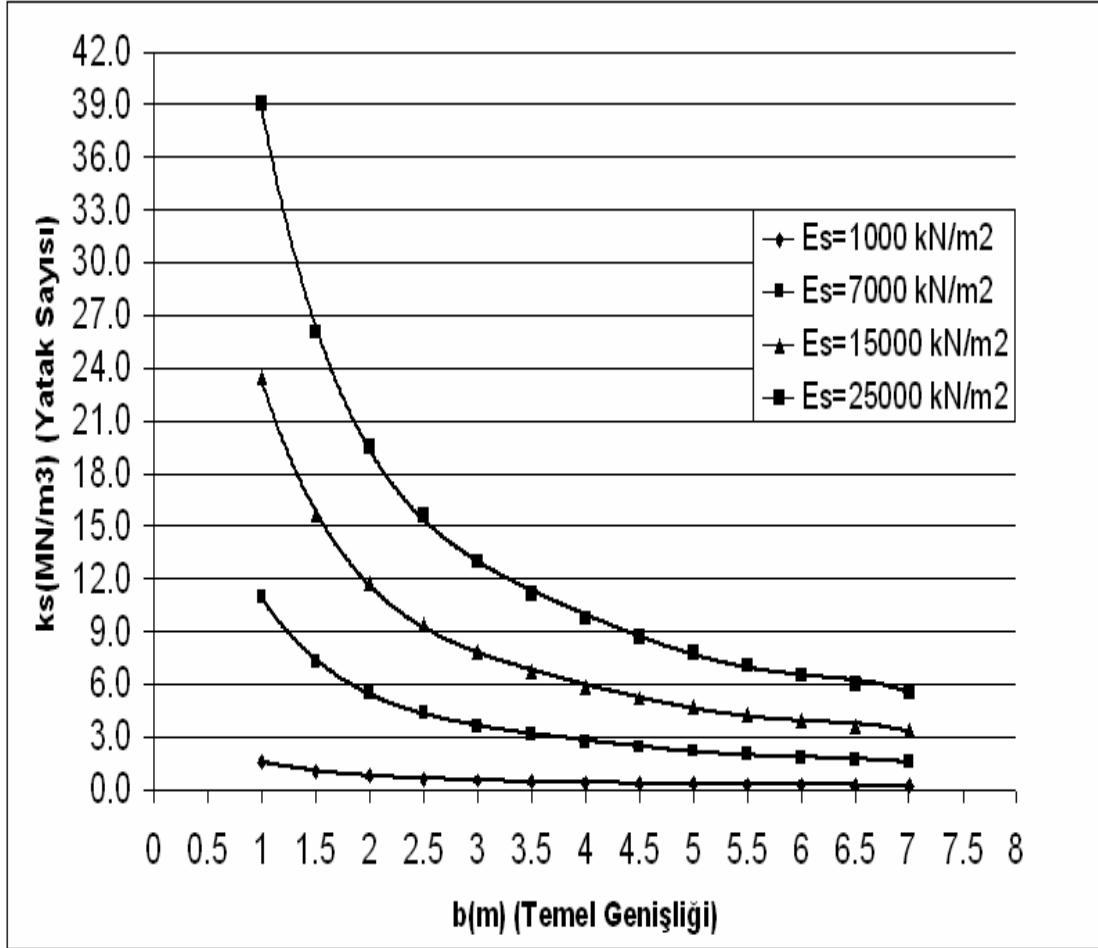
Hesaplamalarda $f(s,o)$ değerleri, (a/b) ve (z/b) değerlerine bağlı olarak, Kany (1974) tarafından önerilen eğrilerden yararlanılarak hazırlanan çizelgeden alınmıştır. (Bkz. Çizelge 6.5)

Elde edilen değerler aşağıdaki gibidir.

Çizelge 6.6. Değişik temel genişliği ve zemin rijitlik modüllerine bağlı olarak elde edilen yatak sayısı değerleri

						Es (kN/m ²) Zemin Rijitlik Modülü				
a (m)	b (m)	a/b	z/b	f(s,o)		1 000	7 000	15 000	25 000	60 000
1,0	1,0	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	1562,5	10937,5	23437,5	39062,5	93750,0
1,5	1,5	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	1041,6	7291,6	15625,0	26041,6	62500,0
2,0	2,0	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	781,2	5468,7	11718,7	19531,3	46875,0
2,5	2,5	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	625,0	4375,0	9375,0	15625,0	37500,0
3,0	3,0	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	520,8	3645,8	7812,5	13020,8	31250,0
3,5	3,5	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	446,4	3125,0	6696,4	11160,7	26785,7
4,0	4,0	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	390,6	2734,4	5859,4	9765,6	23437,5
4,5	4,5	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	347,2	2430,6	5208,4	8680,6	20833,3
5,0	5,0	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	312,5	2187,5	4687,5	7812,5	18750,0
5,5	5,5	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	284,1	1988,6	4261,4	7102,2	17045,5
6,0	6,0	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	260,4	1822,9	3906,2	6510,4	15625,0
6,5	6,5	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	240,4	1682,7	3605,7	6009,6	14423,1
7,0	7,0	1,0	2,0	0,64	ks(kN/m ³)=	223,2	1562,5	3348,2	5580,4	13392,9

Belirtilen şekilde yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen yatak sayısı değerleri aşağıdaki gibi de gösterilebilir.



Şekil 6.27. Hesaplamalar sonucu elde edilen yatak sayısı değerleri

7. ÇOK TABAKALI ELASTİK ZEMİNE OTURAN RİJİT TEMELLERİN TASARIMLARINA ESAS YATAK SAYISI DEĞERLERİNİ ÖNERİLEN YÖNTEM İLE HESAPLAYAN BİLGİSAYAR PROGRAMI

7.1. Geliştirilen Bilgisayar Programı İle İlgili Genel Bilgiler

Bu çalışmada, çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımlarına esas yatak sayısı değerlerinin, temel tabanında oluşan gerilmelerin ve oturmaların hesaplanmasında belirleyici olan etkenlere bağlı olarak hesaplanabilmesi için bir yöntem önerilmiştir.

Bu amaçla, çok tabakalı elastik zemine oturan düzgün yayılı yükle yüklenen rijit temellerin, tasarımlarına esas yatak sayısı değerlerini hesaplayabilen bir bilgisayar programı geliştirilerek sunulmuştur. Geliştirilen program, Visual Basic programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir.

Önerilen yöntemde, temel tabanında oluşan oturmaların hesaplanabilmesi için, çok tabakalı elastik zeminin, denk tabaka kalınlığına ve denk rijitlik modülüne sahip denk tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi gerekmektedir.

Geliştirilen programda, temel tabanında oluşan oturmalar, çok tabakalı elastik zeminin, denk tabaka kalınlığına ve denk rijitlik modülüne sahip, tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi ile hesaplanmaktadır. Temel tabanında oluşan oturmaların hesabında, Kany (1934) tarafından kullanılması önerilen $f(\sigma_o)$ ve $f(s_o)$ katsayıları, temel boyutları ve etki derinliğine bağlı olarak interpolasyon yapılarak elde edilebilmektedir.

Geliştirilen programda, önerilen yöntemle hesaplanan yatak sayılarının, temel tabanında dağılımı değişken olarak yapılmaktadır.

7.2. Geliştirilen Programda Önerilen Yöntemin Basamakları Ve Bağınıtları Kullanılan Kayıtlar

Geliştirilen programda, önerilen yöntemin basamakları ve bağınıtları kullanılan kayıtlar ve şartnameler aşağıdaki gibidir.

Çizelge 7.1. Önerilen yöntemin basamakları

Çok Tabakalı Elastik Zemine Oturan Rijit Temellerin Tasarımına Esas Yatak Sayılarının Belirlenmesi İçin Önerilen Yöntemin Basamakları	Geliştirilen Program İçin Bağınıtları Kullanılan Kayıtlar ve Şartnameler
1) Çok Tabakalı Elastik Zemine Oturan Rijit Temellerin Tabanında Oluşan Gerilmelerin, Zemin İçerisinde Düşey Dağılımının Belirlenmesi	Kany (1974), DIN 4019 (1979), Grashoff (1978), Wölfer (1971), Hahn (1981) ve EVB (1992), Kanada Temel Mühendisliği Şartnamesi(1992) [5, 24, 25, 29, 33, 49, 52]
2) Çok Tabakalı Elastik Zemin Oluşturan Tabakaların Hacimsel Sıkışma Modülü Ve Rijitlik Modülü Değerlerinin Hesaplanması	Kany (1974), DIN 4019 (1979) [5, 24]
3) Çok Tabakalı Elastik Zeminin, Denk Tabaka Kalınlığına ve Denk Rijitlik Modülüne Sahip, Denk Tek Tabakalı Elastik Zemine Dönüştürülmesi	Poulos ve Small, Ullidtz (1987) [47, 53]
4) Denk Tek Tabakalı Elastik Zemine Oturan Temellerin Zemine Göre Rijitliklerinin Belirlenmesi	Kany (1974), Grashoff (1978) [5, 29]

Çizelge 7.1.(Devam) Önerilen yöntemin basamakları

5) Denk Tek Tabakalı Elastik Zeminde Oturan Rijit Temellerin Tabanında Oluşan Oturmaların Hesaplanması	Kany (1974), DIN 4019 (1979), Grashoff (1978), Wölfer (1971), Hahn (1981) ve EVB (1992), Kanada Temel Mühendisliği Şartnamesi (1992) [5, 24, 25, 29, 49, 52]
6) Çok Tabakalı Elastik Zeminde Oturan Rijit Temellerin Tasarımlarına Esas Yatak Sayılarının Hesaplanması	Kany (1974), DIN 4019 (1979), Grashoff (1978), Wölfer (1971), Hahn (1981) ve EVB (1992) [5, 24, 25, 33, 52]
7) Yatak Sayısının Temel Tabanında Dağılımının Belirlenmesi	DIN 4019 (1979) [24]

7.3. Geliştirilen Programla Yapılan Hesaplamalar İçin Kullanıcılardan İstenen Girdiler

Geliştirilen program, kullanıcılardan aşağıdaki parametreleri girdi olarak istemektedir.

- Tabaka kalınlıkları
- Temel Derinliği
- Temel Boyutları
- Temel kalınlığı
- Temel malzemesinin elastisite modülü
- Temele, yapıdan etkiyen düzgün yayılı gerilme değeri
- Tabakaları oluşturan zeminlerin birim hacim ağırlıkları
- Tabakaların ortasında, jeolojik gerilmeler altında mevcut olan boşluk oranları
- Tabakaların ortasında, gerilme artışları sonucu oluşan boşluk oranları

Geliştirilen programda kullanılan ana ekran ve hesaplamalar için kullanıcılardan istenen girdiler aşağıdaki gibidir.

Form1

$a = 25$

$E_b = 30000000$

TEMEL KIRIŞI

$H_{temel} = 1.5$

$a/b = 1.25$

$f_{so} = 0.682$

$b = 20$

$D_f = 3$

TEMEL(E_b, h_{temel})

$6z = 180$ (kN/m²)

$H_1 = 8$

E_{s1}, m_{v1}

$H_2 = 14$

E_{s2}, m_{v2}

$H_3 = 20$

E_{s3}, m_{v3}

1. Tabaka Özellikleri

2. Tabaka Özellikleri

3. Tabaka Özellikleri

Analizi Başlat

Şekil. 7.1. Geliştirilen programda kullanılan ana ekran ve hesaplamalar için kullanıcılardan istenen girdiler

Kullanıcılardan girdi olarak istenen, tabakaları oluşturan zeminlerin birim hacim ağırlıkları ve boşluk oranlarının girileceği pencere aşağıdaki gibidir.

Form1

a= 25

Eb= 30000000

TEMEL KIRIŞI

Htemel= 1.5

a/b=1.25

fso= 0.682

b= 20

TEMEL(Eb,htemel)

6z = 180 (kN/m2)

Df= 3

H1= 8

H2= 14

H3= 20

Es1,mv1

Form2

Birim Hacim Ağırlık1= 18 kN/m3

eo1(Po1 altında)= 0.780

e1(Po1+Pek1m altında)= 0.762

z1/b= 0.2

ic1= 0.725

Po1= 126

Po1+ Pek1m= 217.35

mv1= 0.00011

Es1= 9090.9

1. Tabaka Özellikleri

2. Tabaka Özellikleri

3. Tabaka Özellikleri

Analizi Başlat

Şekil. 7.2. Zemin tabakaları için kullanıcılardan istenen tabakalara ait birim hacim ağırlık değerleri ve boşluk oranları

Kullanıcılardan girdi olarak istenen, tabakaları oluşturan zeminlerin birim hacim ağırlıkları ve boşluk oranlarının girileceği pencerelerde, her tabaka için hesaplanan hacimsel sıkışma modülü ve rijitlik modülü değerleri kullanıcılar tarafından görülebilmektedir.

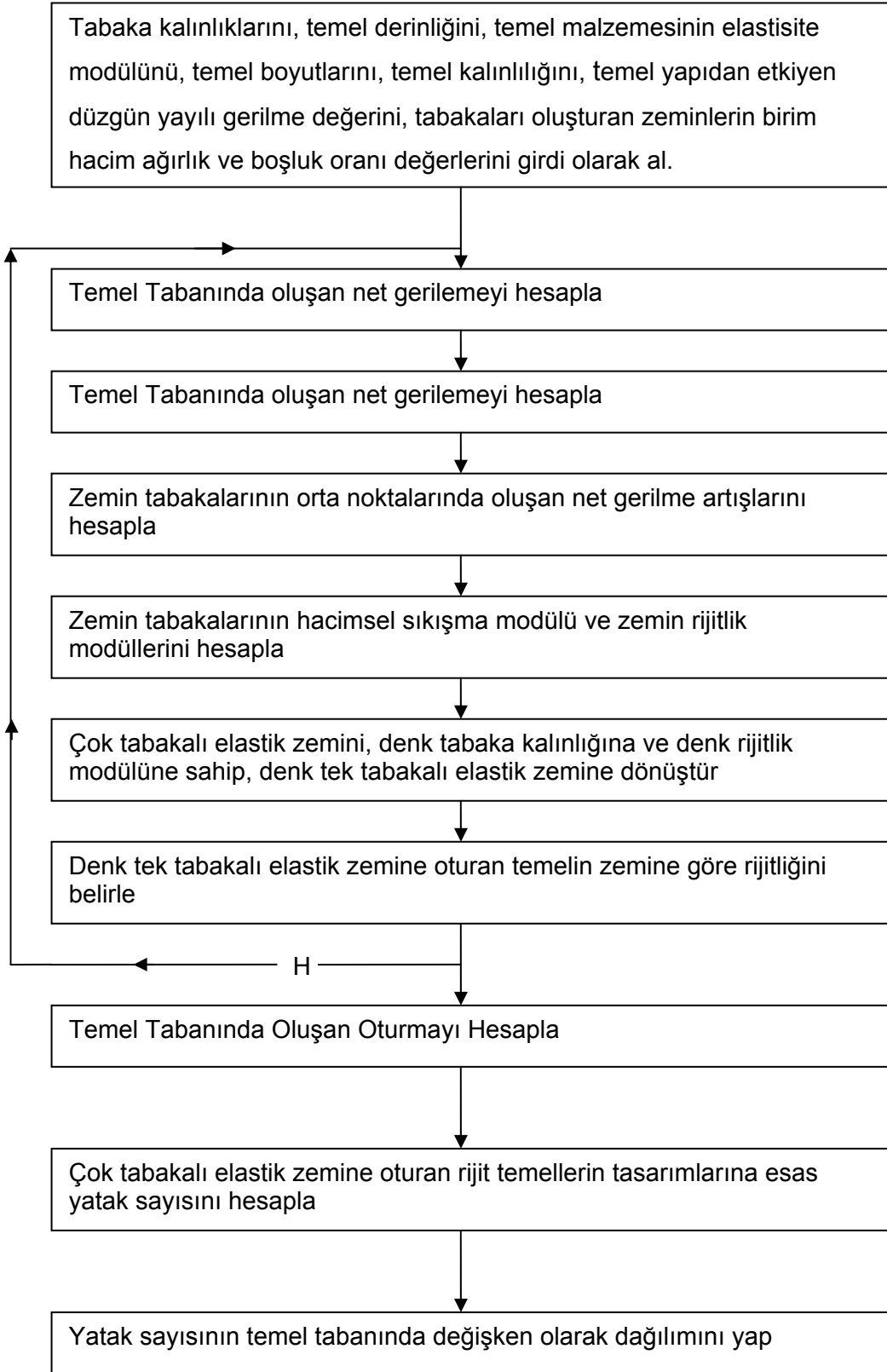
Birim Hacim Ağırlık1=	18	kN/m ³
eo1(Po1 altında)=	0.780	
e1(Po1+Pek1m altında)=	0.772	
z1/b=	0.15	
ic1=	0.725	
Po1=	45	
Po1+ Pek1m=	155.2	
mv1=	0.00004	
Es1=	25000	

Şekil. 7.3. Her tabaka için hesaplanan hacimsel sıkışma modülü ve rijitlik modülü değerleri

Geliştirilen programın ana ekranında, kullanıcılardan hesaplamalar için girdi olarak istenen parametreler girildikten sonra, “analizi başlat” butonuna basılarak analiz başlatılabilir.

7.4. Geliştirilen Programda Analiz İçin Kullanılan Akış Şeması

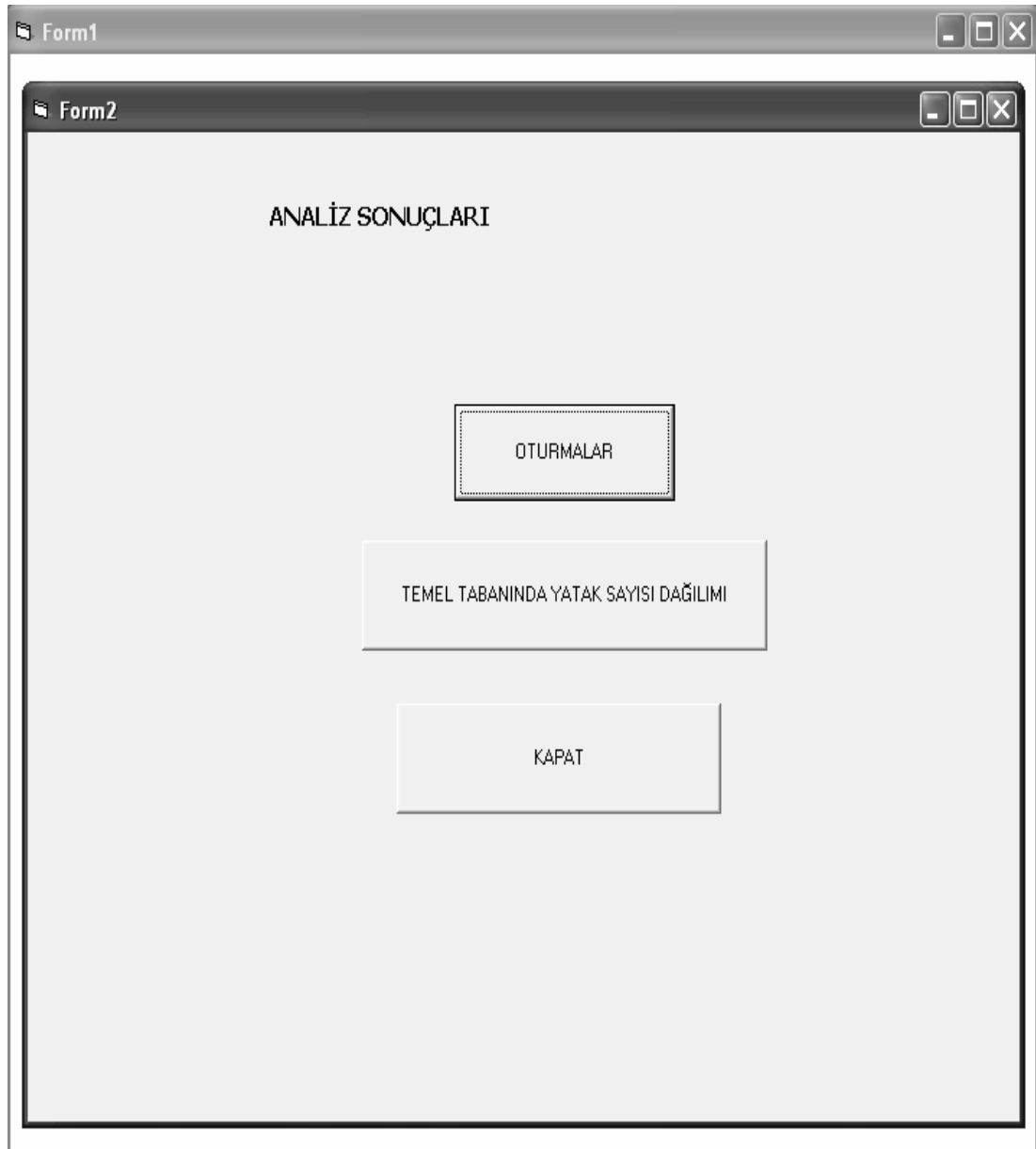
Geliştirilen bilgisayar programının kullandığı akış şeması aşağıdaki gibidir.



Şekil. 7.3. Geliştirilen programa ait akış şeması

7.5. Geliştirilen Program İle Yapılan Analizlerin Sonuçlarının Görülmesi

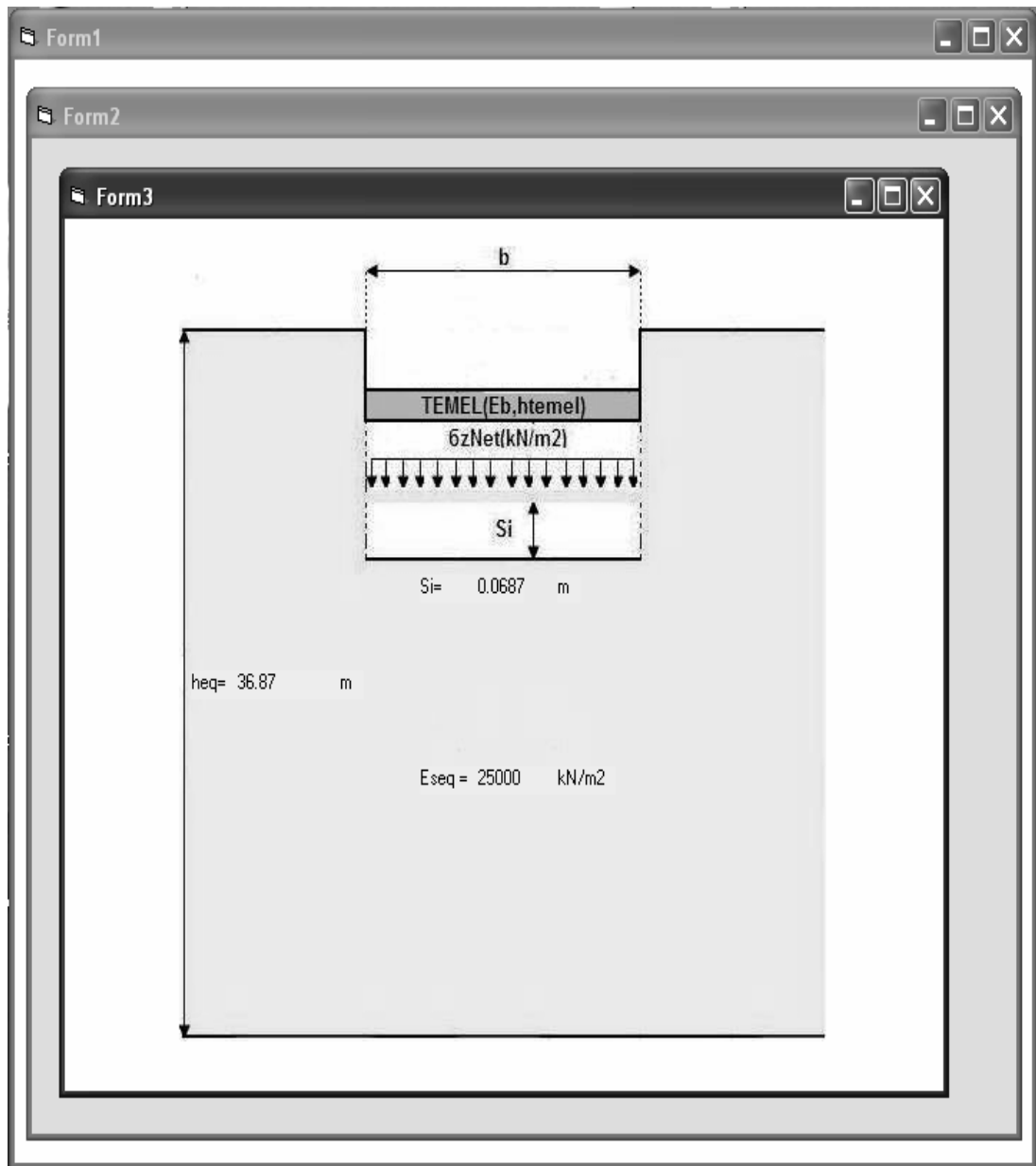
Çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımlarına esas yatak sayılarının belirlenmesi ve elastik zemine oturan plaklar olarak hesaplanması için geliştirilen program ile yapılan hesaplamalar sonucunda aşağıdaki çıktılar elde edilebilmektedir.



Şekil. 7.4. Geliştirilen program ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilebilen sonuçlar

7.5.1. Temel tabanında oluşan oturmalar, denk tabaka kalınlığı ve denk rijitlik modülü değerleri

Geliştirilen program ile yapılan hesaplamalarda, temel tabanında oluşan oturmalar, denk tabaka kalınlığı ve denk zemin rijitlik modülü değerleri elde edilebilmektedir.



Şekil. 7.5. Temel tabanında oluşan oturma değerleri denk tabak kalınlığı denk zemin rijitlik modülü değerleri

7.5.2. Denk tek tabakalı elastik zemine oturan temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi

Geliştirilen program ile yapılan hesaplamalarda, temellerin zemine göre rijitlikleri belirlenebilmektedir. Temellerin zemine göre fleksibl olmaları durumunda, kullanıcılar uyarılmaktadır.

The screenshot shows a software interface for foundation analysis. The main window is titled "Form1". It displays a cross-section of a foundation on a three-layered soil. The foundation has a width $a=25$ and height $H_{temel}=0.4$. The soil layers have thicknesses $H1=8$, $H2=14$, and $H3=20$. The foundation is subjected to a uniform load $6z=180 \text{ (kN/m}^2\text{)}$. The soil properties are $Es1, mv1$, $Es3, mv3$, and $Es1, mv1$. A dialog box titled "Project1" is open, displaying the message "TEMEL FLEKSİBLE => TEMELİ RİJİTLEŞTİR" and a "Tamam" button. On the right, there are buttons for "1. Tabaka Özellikleri", "2. Tabaka Özellikleri", "3. Tabaka Özellikleri", and "Analizi Başlat".

Şekil. 7.6. Temellerin zemine göre rijitliklerinin belirlenmesi ve temellerin fleksibl olması durumunda kullanıcıların uyarılması

Temlerin zemine göre sonsuz rijit olmaya yaklaşmaları durumunda da kullanıcılar, uyarılmaktadır.

Form1

$a=25$

$E_b=30000000$

TEMEL Kirişi

$H_{temel}=4$

$a/b=1.25$

$f_{so}= 0.682$

$b=20$

TEMEL(E_b, h_{temel})

$\gamma_z = 180 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

$D_f=3$

$H_1=8$

E_{s1}, mv_1

Project1

TEMEL SONSUZ RİJİTE GİDİYOR => TEMEL BOYUTLARINI GÖZDEN GEÇİR

Tamam

$H_2=14$

E_{s3}, mv_3

$H_3=20$

1. Tabaka Özellikleri

2. Tabaka Özellikleri

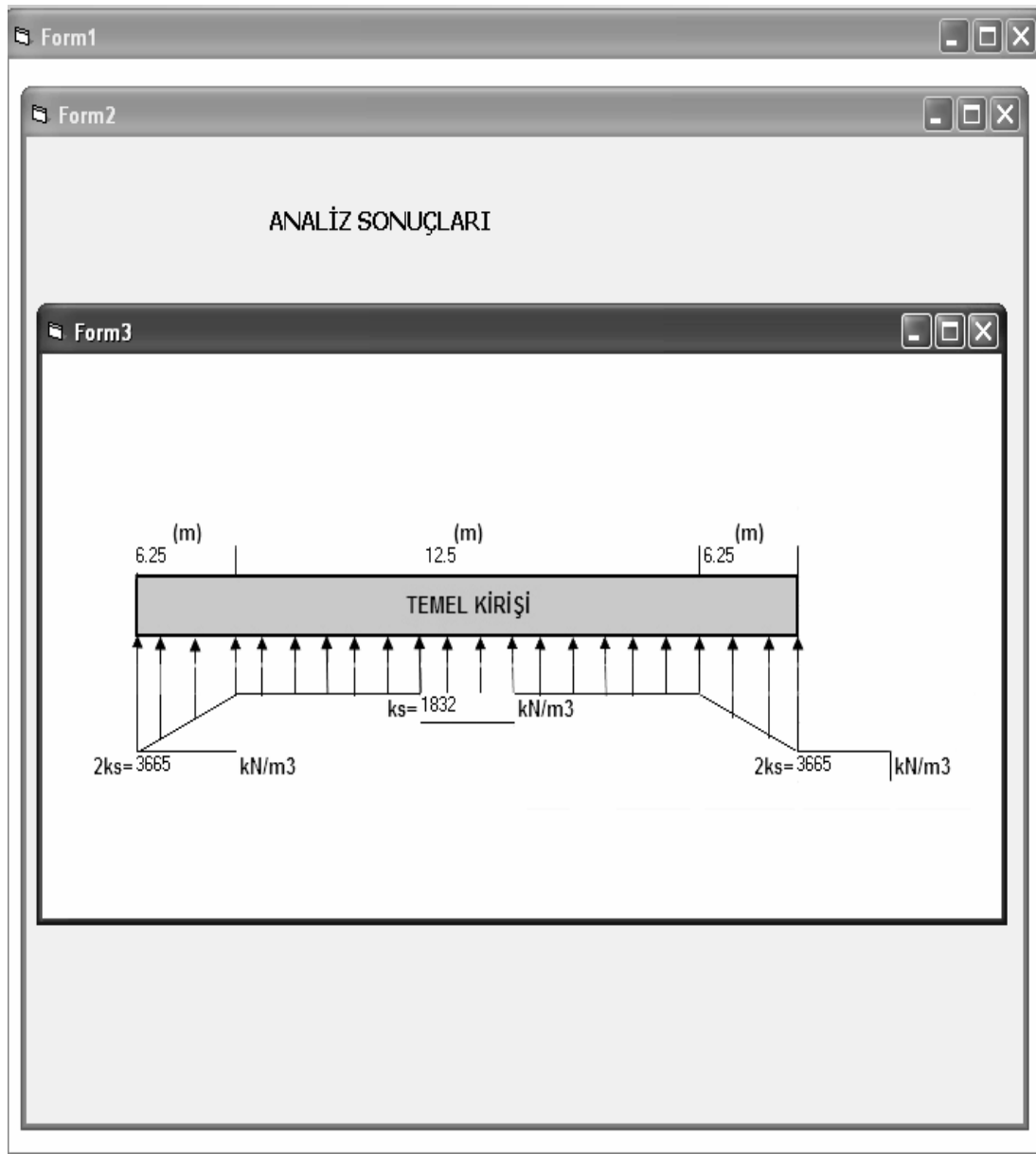
3. Tabaka Özellikleri

Analizi Başlat

Şekil. 7.7. Temellerin zemine göre sonsuz rijit olmaya yaklaşmaları durumunda da kullanıcıların uyarılması

7.5.3. Çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımına esas yatak sayısı ve temel tabanında dağılımı

Geliştirilen program ile yapılan hesaplamalarda, çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımına esas yatak sayısı ve temel tabanında dağılımı elde edilebilmektedir.



Şekil. 7.8. Çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımına esas yatak sayısı ve temel tabanında dağılımı

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz mühendislik proje bürolarında, elastik zemine oturan temellerin hesap ve tasarımında, yerli veya yabancı bilgisayar programları kullanılmaktadır.

Kullanılan bilgisayar programları, çözümlerini genellikle Winkler modeli ile yapmaktadırlar. Bu yöntem, ülkemizde yaygın olarak kullanılan adıyla, yatak sayısı yöntemi olarak bilinmektedir.

Yatak sayısı yöntemi ile yapılan hesaplamalarda, kullanıcılardan girdi olarak, yatak sayısı değerleri istenmektedir. Ülkemizde, yatak sayısı değerleri genellikle, yerli veya yabancı kaynaklarda, zemin sınıflarına göre düzenlenmiş tablolardan, sanki bir zemin parametresiymiş gibi alınmaktadır.

Ancak yatak sayısı bir zemin parametresi değildir. Bu nedenle, yatak sayısı değerleri tablolardan alınmamalıdır. Yatak sayısı, yapı yüklerine ve temel boyutlarına bağlı olarak, temel tabanında oluşan gerilmelere ve temelin bu gerilmeler altında sergileyeceği oturma şekline uyumlu olarak hesaplanmalıdır.

Bunun için temel tabanında oluşan oturmaların, doğada oluşan gerçek oturmalara olabildiğince yakın olarak hesaplanması gerekir.

Ülkemizde, çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tabanında oluşan oturmaların hesabı genellikle, ince bir tabaka dahi olsa, temel tabanında yer alan ilk zemin tabakasına göre yapılmaktadır.

Ancak, çok tabakalı elastik zemine oturan temellerin tabanında oluşan oturmaların, temel tabanında yer alan ilk zemin tabakasına göre hesaplanması hatalı bir yaklaşımdır. Bu durum temel, yapı ve zemin

etkileşimini doğru olarak yansıtmamakta ve temel tabanında oluşan oturmaların yanlış hesaplanmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımına esas yatak sayılarının hesaplanması için bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde, çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımına esas yatak sayıları, aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

- a) Çok tabakalı elastik zeminin, denk tabaka kalınlığına ve denk rijitlik modülüne sahip; aynı oturma değerlerini veren, tek tabakalı elastik zemine dönüştürülmesi;
- b) Denk tabaka kalınlığına ve denk rijitlik modülüne sahip, tek tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tabanında oluşan oturmaların hesaplanması;
- c) Çok tabakalı elastik zemine oturan rijit temellerin tasarımına esas yatak sayılarının hesaplanması.

KAYNAKLAR

1. TS 500, "Betonarme Yapıların Tasarım Ve Yapım Kuralları", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 48–50 (2000)
2. Ersoy, U., "Betonarme 2 Döşeme Ve Temeller", **Evrin Yayinevi**, Ankara, 175-178 (1995)
3. Zimmerman, H, "Die Berechnung des Eiswebahn-Oberbaues, 3.Auf", **Verlag von Wilhem Ernst & Sohn**, Berlin, 10-84 (1930)
4. Scott, R.F., "Foundation Analysis", **Prentice-Hall**, United State of America, 247-261 (1981)
5. Kany, M., "Berechnung von Flachengründungen Band 1: Text Mit Zahlenbeispielen", **Verlag von Wilhem Ernst & Sohn**, Berlin, Munchen, Duesseldorf, 5-252 (1974)
6. Kany, M., "Berechnung von Flachengründungen Band 2: Tabellen und Kurventafeln", **Verlag von Wilhem Ernst & Sohn**, Berlin, Munchen, Duesseldorf, 335-360 (1974)
7. "Geotechnical Engineering Handbook Volume 3: Elements and Structures", Smolczyk, U., **Ernst & Sohn**, Berlin, 46–58 (2003)
8. Schwedler, J.W., "Beitrage zur Theorie des Eisenbahn-Oberbaues", **Bauwesen**, 86-335 (1889)
9. TS 5744, "İnşaat Mühendisliğinde Temel Zemini Özelliklerinin Yerinde Ölçümü", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1–6 (1988)
10. Eurocode 7, "Geotechnical Design Part 2: Ground Investigation and Testing", **European Standart Norm**, prEN 1997–2, 44–45 (2003)
11. Önalp, A., Sert, S., "Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri", **Birsan Yayinevi** İstanbul, 182–187 (2006)
12. Keskinel, F., "Elastik Zeminde Oturan Sonlu Kiriş Tesir Çizgileri ve Sürekli Temellerin Çözümüne Uygulanması", **İstanbul Teknik Üniversitesi**, 5-65 (1970)
13. Terzaghi, K., "Evaluation of Coefficients of Subgrade Reaction", **Geotechnique**, 4, 297-326 (1955)
14. Das, B.M., "Principles of Foundation Engineering 2nd Edition", **Pws-Kent Publishing Company**, Boston, 211-247 (1990)

15. Bowles, J.E., "Foundation Analysis and Design 5th Edition", **McGraw-Hill**, United State of America, 501-588 (1996)
16. Doğançün, A., "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı", **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 707-722 (2005)
17. Zeevaert, L., "Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions 2nd Edition", **Van Nostrand Reinhold Company**, United State of America, 145-234 (1983)
18. Scott, R.F., "Foundation Analysis", **Prentice-Hall**, United State of America, 247-261 (1981)
19. Lang, J., Huder, J., Amann, P., "Bodenmechanik und Grundbau", **Springer-Verlag**, Berlin, 180 (1990)
20. Dörken W., Dehne, W., "Grundbau in Beispielen Teil 2", **Werner Verlag**, 175-176 (1995)
21. Baldouf, Timm, "Betonkonstruktionen im Tiefbau", **Ernst & Sohn**, Berlin, 102 (1988)
22. "Grundbau Taschenbuch 3. Auflage Teil 2", Smoltczyk, U., **Verlag von Wilhem Ernst & Sohn**, Berlin, Munchen, 49-90 (1982)
23. Selvudurai, A.P.S., "Elastic Analysis of Soil-Foundation Interaction, " **Devolopments in Geotechnical Engineering**, Vol.17, Elsevier Science Publications Co., Amsterdam, 70-103 (1979)
24. DIN 4019, "Baugrund Setzungsberechnungen bei lotrechter, mittiger Belastung Teil 1, Baugrund Setzungsberechnungen bei lotrechter, mittiger Belastung Erläuterungen und Berechnungsbeispiele Beiblatt 1 zu DIN 4019 Teil 1", Deutsche Normen, **Deutsches Institut für Normung**, Berlin, 184–204 (1974)
25. Hahn, J., "Durchlaufträger, Rahmen, Platten und Balken auf elastischer Bettung 13. Auflage", **Werner-Verlag**, Duesseldorf, 247-299 (1981)
26. Cotudo, D.P., "Foundation Design 2nd Edition", **Prentice-Hall**, 330-400 (2001)
27. American Concrete Institute, "Suggested Analysis and Design Procedures for Combined Footings and Mats", **ACI Committee 336**, Detroit, 1-21 (2002)
28. Ulrich, E.J., "Design and Performance of Mat Foundations", **American Concrete Institute**, Detroit, 152-267 (1995)

29. Grashoff, H., "Das Steife Bauwerk auf Nachgiebigen Untergrund", **Wilhem Ernst & Sohn**, Berlin, 110-160 (1966)
30. DIN 4018, "Baugrund Berchnung der Sohldruckverteilung unter Flachengründungen", Deutsche Normen, **Deutsches Institut für Normung**, Berlin, 119–183 (1974)
31. Kany, M., "Yüzeysel Temellerin Hesap Metodları", Çeviren: Alpman, B., **İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası**, İstanbul, 3-44 (1967)
32. Broms, B., "Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils", **Proc. ASCE**, 90, Journal Soil Mech. Found. Div., SM2, 27 (1964)
33. Wölfer, K.H., "Elastisch gebettete Balken-Zahlentafeln für Momenten, Querkraft und Bodenpressungen flachen nach dem Bettungszahlverfahren 3. Auflage", **Bauverlag GmbH Wiesbaden**, Berlin, 9-64 (1971)
34. Poulos, H.G., Davis, E.H., "Elastic Solution For Soil And Rock Mechanics", **John Wiley & Sons, Inc.**, Canada, 36-198 ve 249-260 (1974)
35. Lopes, F.R., "Design of Raft Foundations on Winkler Springs", Design Applications of Raft Foundations, Hemsley, J.A., **Thomas Telford**, London, 127-154 (2000)
36. "Japan Design Standart for Railway Retaining Wall Structures", **Japan National Railway**, 3–25 (1986)
37. Stroud, M.A., "The Standart Penetration Test in Instensitive Clays and Soft Rocks", **Proc. Eur. Symp. On Penetration Testing**, Stockholm, s(2): 367–375 (1974)
38. Mayne, P., Kemper, J.B., "Profiling OCR in Stiff Clays by CPT and SPT", **Geotechnical Testing Journal**, ASTM, 11(2): 139-147 (1988)
39. Biot, M.A., "Bending of an Infinite Beam on an Elastic Foundation", **J.App. Mech., ASME**, s(59): A1-A7 (1937)
40. Vesic, A.B., Johnson, W.H., "Model Studies of Beams Resting on a Silt Subgrade", **J. Soil Mech. Div. Proc. ASCE** 89, SM1: 1–31 (1963)
41. Köseoğlu, S., "Temeller Statiği ve Konstruksiyonu II Yüzeysel Temeller 3. Basım", **Matbaa Teknisyenleri Basımevi**, İstanbul, 161-280 (1986)
42. J.R.A., "Design Specifications for Highway Bridge Part:V Seismic Design", **Japanese Road Association**, Tokyo, 40-91 (1996)

43. Tomlinson, M.J., "Foundation Design and Construction", **Sir Isaac Pitman & Sons Ltd.**, London, 77-151 (1963)
44. Wu, T.H., "Soil Mechanics", **Allyn and Bacon Inc.**, Boston, 126-150 (1970)
45. Das, B.M., "Advanced Soil Mechanics", **McGraw-Hill**, Washington, New York, London, 167-235 (1983)
46. Holtz, R.D., "Stress Distribution and Settlement of Shallow Foundations", Foundation Engineering Handbook, Fang, H.Y., **Springer**, 166-222 (1997)
47. Poulos, H.G., Small, J.C., "Development of Design Charts for Concrete Pavements and Industrial Ground Slabs", Design Applications of Raft Foundations, Hemsley, J.A., **Thomas Telford**, London, 39-70 (2000)
48. Hirai H., "Settlements and Stresses of Multi-Layered Grounds and Improved Grounds by Equivalent Elastic Method", **International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics**, 1-35 (2007)
49. "Canadian Foundation Engineering Manual 3rd Edition", **Canadian Geotechnical Society, Technical Committee on Foundations**, 176–184 (1992)
50. Ueshita, K., Meyerhof, G.G., "Elastic displacement of multi-layer soil systems", **Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers**, 144:20 -26 (1967)
51. Önalp, A., "Geoteknik Bilgisi I Çözümlü Problemlerle Zeminler ve Mekaniği", **Birsen Yayınevi** İstanbul, 184–212 (2002)
52. "Empfehlungen Verformungen des Baugrunds bei Bauwerken Anlagen-EVB, Erarbeitet durch den Arbeitskreis Berechnungsverfahren der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V.", **Ernst & Sohn**, Berlin, 3–45 (1992–1993)
53. Ullidtz P., "Modelling Flexible Pavement Response and Performance", **Narayana Pres**, Odder, Denmark, 31-34 (1998)
54. Burmister, D.M., "The Theory of Stresses and Displacements in Layered Systems and Applications to The Design of Airport Runways", **Proceedings Of HRB**, 23:126–148 (1943)
55. Odemark N., "Investigations as to the Elastic Properties of Soils and Design of Pavements According to the Theory of Elasticity", vol. 77. **Statens Vaginstitut: Meddelande**, Stockholm, Sweden, 43–52 (1949)

56. Hirai H., Kamei, T.A., "Method to Calculate Settlement, Stress, Failure and Allowable Stress of Multi-Layered Ground by Equivalent Thickness Theory", ***Journal of Structural Construction Engineering***, 581:79–86 (2004)
57. Schultze, E., "Zur Definition der Steifigkeit des Bauwerks und des Baugrundes sowie der Systemsteifigkeit bei der Berechnung von Gründungsbalken und Platten", ***Der Bauingenier***, 222-227 (1964)
58. ENCE 461, "Foundation Analysis and Design Mat Foundation Part II", ***Prentice-Hall***, 1- 40 (1997)
59. "Türk Dil Kurumu Türkçe Sözlük", ***Türk Dil Kurumu Yayınları***, Ankara, 1108 (2005)
60. "Ahiboz Alçı Fabrikası Geoteknik Değerlendirme Raporu", ***Geotechnisches Institut Prof. Dr. Magar + Partners***, Ankara, Türkiye, 3–36 (2008)
61. "Die Ersatzstablänge von Kragstützen Mit Elastisch Verdrehbaren Fundamenten", ***Mitteilungsblatt*** Nr. C 17: 1-3 (1990)
62. Murthy V.N.S., "Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering", ***McGraw-Hill***, Washington, New York, London, 580-600 (2002)
63. "Interaktion Bauwerk – Baugrund", Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau, ***Zentrum Geotechnik***, Seite L.1, 1–21 (2004)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KÖKTEN, Özgen
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 22.04.1983 Ankara
 Medeni Hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 440 02 49
 e-mail : ozgenkokten@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2008
Lisans	Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2006
Lise	Özel Arı Koleji	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-2007	Prota Mühendislik Proje ve Danışmanlık Ltd. Şti.	İnşaat Mühendisi
2007-2008	Uygurer İnşaat Ltd. Şti.	Yüklenici Şefi

Yabancı Dil

Dil	Okuma	Yazma
İngilizce	İyi	İyi
İtalyanca	İyi	İyi

Bilgisayar Bilgisi

Programlar	Derece
Probina Orion v.14.1	İyi
Sap 2000	İyi
Lira v.9.4	İyi
Plaxis 8	İyi