



T. C. ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÜST YAPI RİJİTLİĞİ GÖZÖNÜNE ALINARAK SÜREKLİ YÜZEYSEL TEMELLERİN HESABI

LİSANSÜSTÜ TEZİ

Hazırlayan : Sacit DOĞAN

Yöneten : Doç. Ruhi AYDIN

ESKİŞEHİR - 1986

İÇİNDEKİLER

GİRİŞ	1
KULLANILAN NOTASYON	2
ÖZET	3
1. TEMEL YAPISI VE YÜZEYSEL TEMELLER	4
1.1. TABAN BASINCI DAĞILIMI	5
1.1.1. TABAN BASINCI DAĞILIMININ YAPI RİJİDİTESİ İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ	9
A. Biribirinden Bağımsız Hareket Eden Temeller	9
B. Rijit Temeller	10
C. Fleksibl Temeller	12
1.2. BASINÇ YAYILIŞ VE DAĞILIŞI	13
1.2.1. BASİT KABUL	13
1.2.2. BASINÇ DAĞILIŞI İLE İLGİLİ DENEYLER VE SONUÇLARI	13
1.2.3. NOKTA VE ÇİZGİ KUVVETLER(YÜKLER)	15
1.2.4. ALAN YÜKLERİ(DAİRESEL, ŞERİT, DİKDÖRTGEN ALAN YÜKLERİ)	18
1.2.5. TESİR KARTLARI	21
A. Tesir Kartının Kullanılışı	22
1.2.6. BASINÇLARIN YAPI ORTA KISIMLARININ ALTINDA BİRİBİRİ ÜZERİNE TESİR ETMESİ	24
1.3. TEMELLERİN OTURMASI	26
1.3.1. TEMEL ZEMİNİNİN DAVRANIŞLARI	26
1.3.2. TEMELLERİN OTURMASI	27
1.3.3. OTURMANIN SEBEPLERİ	28
1.3.4. STATİK YÜKLERİN TESİRİ İLE OLAN OTURMALAR	28
A. Ani Oturmalar	28
B. Konsolidasyon	28
1.3.4.1. OTURMA HIZI	29
1.3.5. TEMEL ZEMİNİNİN SIKIŞMASINDAN MEYDANA GELEN OTURMALARIN HESABI	30
1.3.5.1. BASINÇ YAYILIŞININ DİKKATE ALINMADIĞI HALLER	30
1.3.5.2. BASINÇ YAYILIŞININ DİKKATE ALINDIĞI HALLER	30

A. Sıkışabilir Tabakanın Yapının Hemen Altında Olması Hali	30
A.1. Basit Kabul	30
A.2. Elastik Yarım Mekan	32
A.2.1. Dikdörtgen Yük Alanları	32
A.2.2. Daire, Kare, Yük Alanları	33
B. Sıkışabilir Tabakanın Derinde Olması Hali	34
2. SÜREKLİ YÜZEYSEL TEMELLERİN HESAP METODLARI	36
2.1. BASİT METODLAR	36
2.2. GERÇEK ÇÖZÜME YAKIN DİĞER HESAP METODLARI	39
2.2.1. BİRİNCİ DERECEDEDEN TEORİYE AİT HESAP METODLARI (YATAK KATSAYISI METODU)	39
2.2.2. İKİNCİ DERECEDEDEN TEORİYE AİT HESAP METODLARI (ELASTİSİTE TEORİSİ)	41
2.2.2.1. BİR BAŞKA METOD(KANY METODU)	43
2.2.2.2. TABLOLAR	48.a
3. SÜREKLİ YÜZEYSEL TEMELLERİN SONLU ELEMANLAR METODU İLE HESABI	49
3.1. SONLU ELEMANLAR METODU	49
3.1.1. TOPLAM POTANSİYEL ENERJİ VE MİNİMUM OLMA PRENSİBİ	51
3.1.2. DEPLASMAN FONKSİYONU, RİJİTLİK MATRİSLERİ, DENGİ DENKLEMLERİ, ÇÖZÜM	51
3.2. OTURMA KALIBININ ÇIKARILMASI VE TEMEL ZEMİNİ RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI	53
3.2.1. OTURMA KALIBININ ÇIKARILMASI İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI	61
A. Dataların Verilmesi	61
B. Düzlem Şekil Değiştirme Hali İçin Sonlu Elemanlar Levha Bilgisayar Programı	62
3.3. ÇERÇEVELERİN MESNET ÇÖKMELERİNE GÖRE RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI	70
A. Düğüm Denge Denklemleri	71
B. Yatay Denge Denklemleri	72
C. Düşey Denge Denklemleri	72

3.4. SÜREKLİ KİRİŞLERİN MESNET ÇÖKMELERİNE GÖRE RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI	75
A. Düşüm Denge Denklemleri	75
B. Düşey Denge Denklemleri	75
3.4.1. KAYMA DEFORMASYONLARININ İHMAL EDİLMESİ	77
3.5. ÜST YAPININ RİJİTLİĞİ GÖZÖNÜNE ALINARAK TEMEL SİSTEMİNİN RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI VE ÇÖZÜM	79
4. ÖRNEKLER	81
4.1. ÖRNEK 1	81
4.1.1. ÜST YAPI GÖZÖNÜNE ALINMADAN HESAP	81
A. Zemin Rijitlik Matrisinin Kurulması	81
B.1. Temel Kirişinin Rijitlik Matrisinin Kurulması (Kayma Deformasyonları İhmal Edilerek)	83
C.1. Sistem Rijitlik Matrisi Ve Çözüm	83
B.2. Temel Kirişinin Rijitlik Matrisinin Kurulması (Kayma Deformasyonları İhmal Edilmeden)	85
C.2. Sistem Rijitlik Matrisi ve Çözüm	85
4.1.2. ÜST YAPI RİJİTLİĞİNİN HESABA DAHİL EDİLMESİ	87
A. Çerçevenin Rijitlik Matrisinin Kurulması	87
B.1. Sistem Rijitlik Matrisi Ve Çözüm (Temel Kirişinde Kayma Deformasyonları İhmal Edilerek)	87
B.2. Sistem Rijitlik Matrisi ve Çözüm (Temel Kirişinde Kayma Deformasyonları İhmal Edilmeden)	89
4.1.3. ÖRNEK 1'İN ZEMİN RİJİTLİĞİNİN BULUNMASINA ESAS BİLGİSAYAR PROGRAMININ DATALARI	90
4.2. ÖRNEK 2	92
A. Zemin Rijitlik Matrisinin Kurulması	92
B. Temel Kirişi Rijitlik Matrisinin Kurulması (Kayma Deformasyonları İhmal Edilerek)	93
C. Sistem Rijitlik Matrisi Ve Çözüm	94

4.2.1. ÖRNEK 2'NİN ZEMİN RİJİTLİĞİNİN BULUNMASINA ESAS BİLGİSAYAR PROGRAMININ DATALARI	97
5. SONUÇ	99
YARARLANILAN KAYNAKLAR	

G İ R İ Ő

Sürekli yüzeysel temellerin hesabı ile ilgili, geniş literatür bulunmaktadır. Bu literatürlerde çeşitli hesap metodları ile çözümler getiren farklı çalışmacıların çözümleri sunulmaktadır. Bu çözümler ve hesap yöntemleri incelendiğinde yüzeysel temellerin hesabında temel tabanındaki ve zemindeki basınçlar ile zeminin oturmasının esas alındığı görülmektedir. Taban basıncının dağılımının ve zemindeki basınç dağılımının bilinmesi, yani hangi tür zeminde, ne tür bir yükleme ile basınç dağılımlarının nasıl olacağını belirlemek, oturmalar ile yakın olarak ilgilidir. Oturmalar ise temel hesaplarının yapılmasında oldukça önem taşımaktadır.

Bu nedenle, bu çalışma ile taban basıncı dağılımı, zemindeki basınç dağılımları ve temellerdeki oturmalar hakkında topluca bilgi verilecek, bugüne kadarki yüzeysel temellerin hesap metodları anlatılacak, bilgisayar programı kullanılarak temel zemindeki oturmalar hesaplanacaktır. Ayrıca oturma hesaplarında üst yapının rijitliğinin gözönüne alınması hali de incelenecektir.

Bu çalışmada, tüm çalışma boyunca yardım ve ilgilerini esirgemeyen, fikirleri ile bana yol gösteren, hocam Doç.Ruhi AYDIN'a ve özellikle bilgisayar programlama çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Dr.Eşref Ünlüoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

KULLANILAN NOTASYON

- a : Temel kirişinin bir parçasının boyu
 A : Temel kirişinin boyu
 B : Temel kirişinin genişliği
 C : Yatak katsayısı
 C_i : Birim yük altında oturma kalıbının i noktasındaki ordinatı
 E : Elastisite Modülü
 F : Dış kuvvet
 g : Kiriş rijitliği
 h : Temel derinliği
 j : Atalet Momenti
 k : Kolon rijitliği
 k_1 : Şekil katsayısı
 P_0 : Taban basıncı
 p : Zeminde gerilme
 q_i : Taban basıncı (birim yük için)
 q' : Zemin gerilmesi (birim yük için)
 q'_0 : Birim dış yük
 Q : Dış yük
 s_j : i noktasındaki oturma
 S : Elastisite Modülü (Zemin rijitide katsayısı, yanlara kaçması önlenmiş zeminde)
 u : Yatay Deplasman
 v : Çökme
 φ : Düğüm noktası dönme açısı
 σ_{z0} : Zeminde $i = 0$ parçası altındaki gerilme
 σ_M : Zemin Merkez Basıncı
 γ : Zemin yoğunluğu
 η : Sistem rijitidesi
 α : Yapı rijitidesi

Ö Z E T

1. Bölümde, Temeller hakkında bilgi verilerek, temel altında ki Taban basıncı ve çeşitli temel zemini ve temellerde ki dağılımları, zemindeki basınç yayılış ve dağılışı, hesaplanmaları, temellerin oturmaları ve oturmaların hesaplanmaları anlatılmaktadır.

2. Bölümde, Sürekli Yüzeysel Temellerin Hesap Metodları, bugüne kadar ki gelişmeler anlatılmaktadır.

3. Bölümde, sürekli yüzeysel temellerin hesabında, sonlu elemanlar deplasman metodu ile bir çözüm sunulmuştur. Burada zeminin oturma kabılıının çıkarılması, zemin rijitlik matrisinin kurulması, temel kirişi ve çerçevenin rijitlik matrislerinin kurulması ve sistemin rijitlik matrisinin kurulması ile çözüm sunulmaktadır.

4. Bölüm de, iki adet örnek yapılmış, moment diyagramları çizilerek üst yapının rijitliğinin gözönüne alınması hali araştırılmıştır.

1. TEMEL YAPISI VE YÜZEYSEL TEMELLER

Temel, üst yapının yüklerini temel zeminine aktaran, düşey ve yatay yükler altındaki yapının temel zemini ile ilişkisini sağlayan yapı parçasıdır.

Temel, temel zemini ile bir bütün olup her ikisine birden temel yapısı demek daha doğru olur. Temel, zeminden bağımsız düşünülemez. Yapının iç ve dış yükler altındaki davranışlarını incelerken temel zemini ve bu zemindeki değişiklikleri de incelemek yerinde olacaktır.

Temel zemini, yapının diğer taşıyıcı elemanlarından oldukça az rijitlikte olup, yapının zemine oturma yüzeyini belirleyen temeller, kolon ve duvarlara göre daha geniş boyutlarda seçilirler. Bu seçilme temel zemininin taşıyıcılığına bağlı olup taşıma yeteneği iyi zeminlerde daha küçük alanlı, taşıma yeteneği iyi olmayan az mukavim zeminlerde daha büyük alan ve boyutlu olur.

Taşıyıcılığı iyi olarak adlandırılan mukavim, sağlam zemin, yüzeyde veya derinde olabilir. Sağlam zeminin yüzeyde ve yeterince de kalın olması halinde üst yapının yükleri temel zeminine yüzeysel temeller ile aktarılır [1].

Yüzeysel temeller, temel derinliği, temel genişliğinden küçük veya en fazla ona eşit olan temellerdir [1].

Yüzeysel Temeller, Tekil Yüzeysel Temeller, Tek Yönde Sürekli Yüzeysel Temeller veya İki Yönde Sürekli Yüzeysel Temeller ve Radye Temeller olarak, yapının ve zeminin cinsine göre seçilir ve projelendirilirler. Yüklerin daha büyük ve temel zemininin taşıma yeteneğinin daha küçük olması halinde sürekli yüzeysel temeller gerek ekonomik gerekse de emniyetli olacağı nedenlerle tercih edilirler. Üst yapının tüm mesnetleri sürekli bir temel kirişi, sürekli bir temel plağı veya plak şeritleri üzerine oturtulur [1].

1.1. TABAN BASINCI DAĞILIMI

Yapının yükünden dolayı temel tabanında bu yüke eşit, karşı basınç oluşur ki buna taban basıncı veya zemin basınç gerilmesi denilir. Temel zemininin homojen olduğu tabulü ile yapının rijitidesi ve temel zemininin şekil değiştirmesi, taban basıncı dağılımında çok etkindir [2].

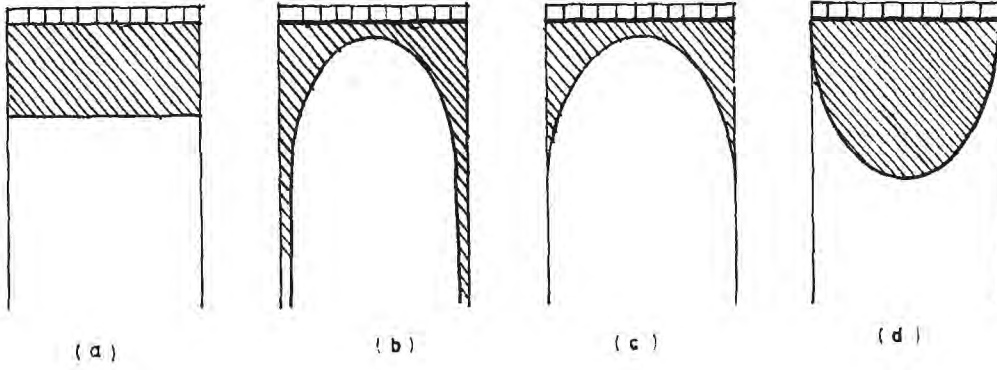
Yüzeysel temellerin hesabında, taban basıncı dağılımı çok önemlidir. Taban basıncı dağılımının, yapı, temel ve zeminin karakteristiklerini dikkate almadan ampirik ve genellikle üniform dağılım olarak alındığı ya da, yapı, temel ve elastik zeminin karakteristiklerini ve aralarındaki statik ilişkiyi dikkate alarak hesapla bulunduğu, farklı hesap yöntemleri, yüzeysel temellerin hesabında esası oluşturmaktadır [3].

Taban basıncı dağılışı hakkında kesin kararlar söylemek mümkün değildir. Hesaplarda arzu edilen yaklaşım, üniform yüklemenin altında üniform taban basıncı dağılımının olmasıdır, ama pratikte bu her zaman mümkün olmamaktadır. Model deneyleri ve tamamlanmış yapılar altındaki ölçümler ile temellerin rijitideleri, zemin cinsleri, yükleme şekillerine bağlı olarak taban basıncı dağılımı hakkında bilgi edinebiliriz.

Taban basıncı dağılımının üniform yüklü bir temelde üniform olacağı kabulü, hesapları kolaylaştırmaktadır. Ama bu kabul her zaman doğru olmamaktadır. Şekil: 1'de çeşitli zemin ve temel tiplerinde üniform yük altında taban basıncı dağılımları görülmektedir [4].

Fleksibl temellerde üniform yük üniform taban basıncı dağılımı oluşturur(Şekil: 1,a). Temelin rijitliği arttıkça taban basıncı dağılımı da üniform olmaktan uzaklaşmaktadır. Tamamen rijit bir temelde, elastik bir zeminde (sert kil gibi), kenarlarda teorik olarak sonsuz olan dağılım oluşur(Şekil:1,b). Pratikte sonsuz taban basıncını karşılayacak zemin olamayacağından ortada küçük, kenarlarda büyük değer alan parabolik bir taban basıncı dağılımı düşünülür(Şekil:1,c). Kohezyonsuz bir ze-

minde üniform yüklü rijit temel altındaki taban basıncı dağılımı da ortada büyük değeri, kenarlarda küçük değeri bulan parabolik bir taban basıncı dağılımı şeklindedir(Şekil:1,d).



Şekil:1 Üniform yüklü temelde taban basıncı dağılımı [4]

- (a) Flexibül temellerde üniform yük hali.
- (b) Rijit temelde, kohezyonlu zemin üzerinde (sert kil gibi) üniform yük hali.
- (c) (b)'deki teorik halin pratikte olabileceği dağılım.
- (d) Rijit temelde, kohezyonsuz zemin üzerinde (kuru kum gibi) üniform yük hali.

Hesaplarda, tekil yüzeysel temellerde üniform taban basıncı dağılımı kabul edilse de sürekli yüzeysel temellerde bu kabul emniyetli olmamaktadır.

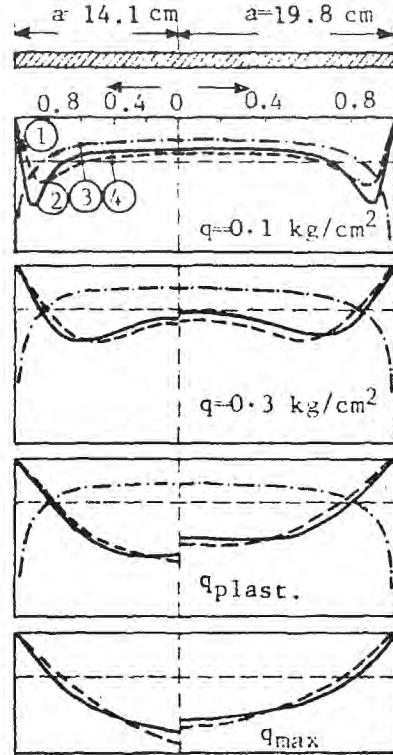
Üniform yüklü çeşitli temellerde taban basıncı dağılımı Tablo:1 deki gibi özetlenebilir[4].

Rijit dairesel bir temel altındaki taban basıncı dağılımına, temele etkiyen yük şiddetinin ve temel derinliğinin etkisi Biernatowski[7]

S ö m e l	Temel Zemin	
	Kohezyonlu	Kohezyonsuz
Tam bükülebilir yakın	Üniform dağılıma yakın	Üniform dağılıma yakın
Tam rijite yakın	Taşıma gücüne yaklaş- caya kadar kenarlarda büyük gerilme	Bütün yükler için ortada büyük gerilme

Tablo:1 Taban Basıncı Dağılışı.

tarafından incelenmiştir. 28,2 cm. ve 39,6 cm. çapında iki yüzeysel dairesel plak altında ölçülen taban basıncı dağılımları şekil:1,e de görülmektedir. Burada (1) ve (2) numaralı eğriler gevşek ve sıkı kum zeminlerdeki dağılımları (3) numaralı eğri elastik, izotrop, yarım mekandaki teorik dağılımı ve (4) numaralı eğri üniform taban basıncını göstermektedir. Burada diyagramlar 4 yük kademesi için verilmiştir.



Şekil:1,e Yüzeysel, rijit dairesel plak altında ölçülen farklı yük kademeleri için taban basıncı dağılışı[7](Biernatowski).

ile model deneylerde belirlenen taban basınçları dağılımlarında farklılıklar arzemektedirler. Bu taban basıncı dağılımı ile ilgili tereddütler teorik taban basıncı dağılışı ile modellerde ölçülen taban basıncı dağılışı arasındaki farkların nedenleri üzerinde yapılan araştırmalar ile ortadan kaldırılmıştır. Araştırmalar sonunda yapılar altında ölçülen basınç dağılımının teorik dağılıma yaklaştığı görülmüştür. Burada tamamlanmış yapılar üzerinde yapılan ölçümler de çok yararlı olmuştur.

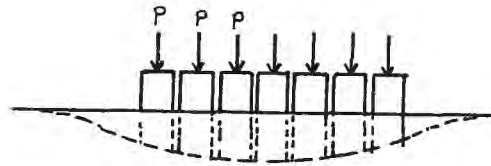
1.1.1. TABAN BASINCI DAĞILIMININ YAPI RİJİTİDESİ İLE İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

A. BİRİBİRİNDEN BAĞIMSIZ HAREKET EDEN TEMELLER

Bir çok temelden oluşup, biribirinden bağımsız hareket eden yüklenme şeklini oluşturan temeller, biribirinden bağımsız hareket eden temellerdir.

Üniform yüke sahip bu sistemde elemanların bağımsız hareketinden dolayı taban basıncı dağılımı üniform olur.

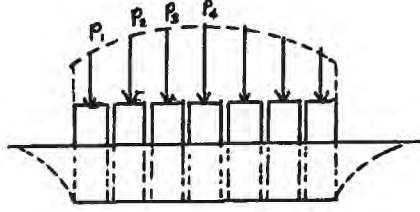
Zemin böyle bir sistem ile yüklendiğinde oturmalar, temel zemininin mukavemet özelliklerine bağlı olarak farklılık gösterirler. Sağlam bir zeminde (kohezyonlu ve çekme mukavemetli zemin) şekil:3'de görülen ortası daha fazla oturan bir oturma kalıbı elde edilir[2].



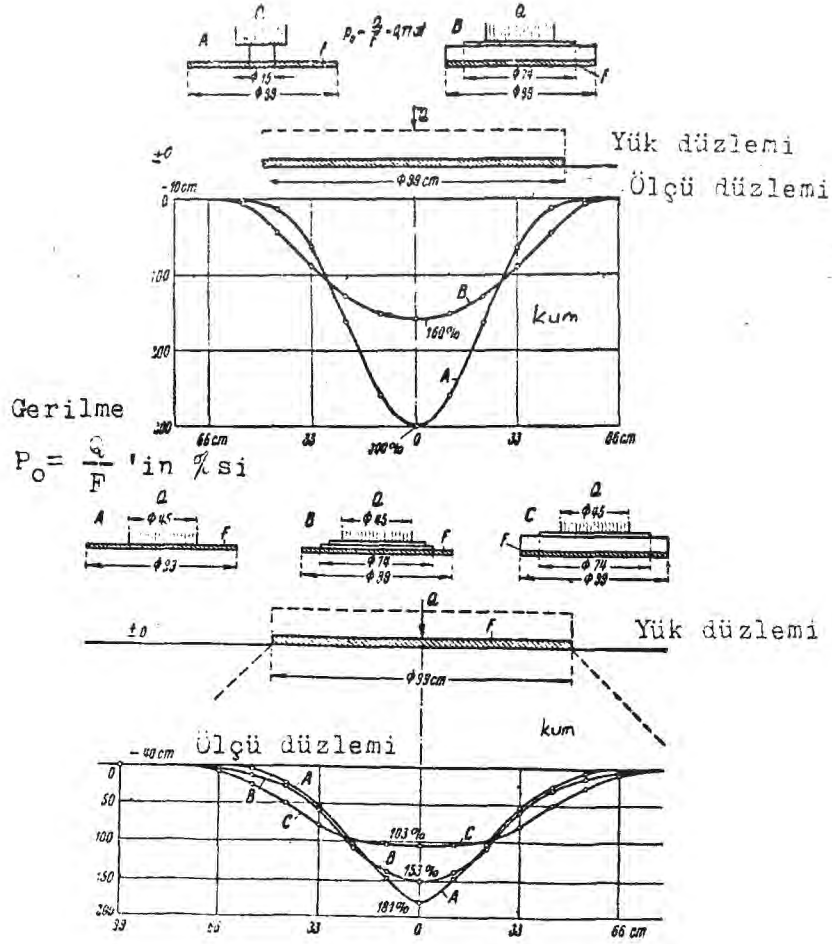
Şekil: 3 Sağlam zeminde, bağımsız hareket eden temellerin oturması.

Kohezyonsuz kum, yumuşak plastik kil, silt, turba gibi sağlam olmayan bir zeminde şekil:4'de görüldüğü gibi yanları daha fazla oturan bir oturma kalıbı elde edilir[2].

Şekil:6'da sağlam olmayan zemin üzerine oturan rijit ve üzerindeki yük dağılışı görülmektedir. Bu yük dağılışı ile elde edilecek taban basıncı dağılışı üniform olmaktadır.



Şekil:6 Sağlam olmayan bir zeminde üniform oturmayı sağlamak için gerekli, temel üzerindeki yük dağılışı. Bu yük dağılışı rijit bir temeldeki taban basıncı dağılışını sonuçlar.



Şekil:7 Rijitideleri farklı temelde farklı yükleme hali için taban basıncı dağılışı.

C. FLEKSİBL TEMELLER

Temellerin eğilebilir (fleksibl) yada eğilemez (rijit) kabulleri pratikte de geçerlidir. Aslında temellerin belli bir rijitideleri vardır. Bu da teorik olarak $0 < EJ < \infty$ arasında bir değerdedir[2].

Taban basıncı dağılışıında temel rijitidesinin önemi büyüktür. Temel ne kadar fleksibl ise taban basıncı dağılışıda o kadar temel üzerindeki yük dağılışına benzer. Temel ne kadar rijit ise yük dağılışıından o kadar farklı taban basıncı dağılışı elde edilir[2].

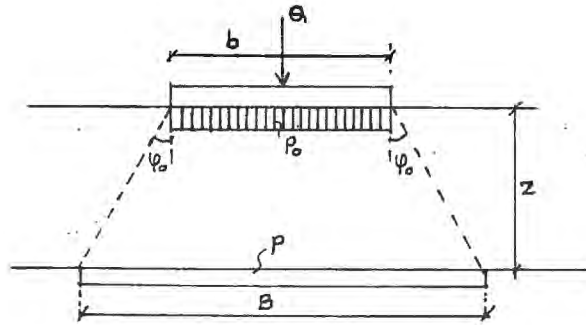
Rijitideleri biribirinden çok farklı üç dairesel temel plakasının kum temel zemini üzerinde 5 ayrı yükleme hali için taban basınçları dağılımı şekil:7'de görölmektedir[2].

Fleksibl temelde basınç dağılımı, daha küçük bir alana sahip temel altı basınç dağılımı gibi gözükmekte ve ortadaki basınç daha büyük değere ulaşmakta. Rijitlik arttıkça basıncın yanlara dağılımı artmakta ve ortada ki basınç azalmaktadır.

1.2. BASINÇ YAYILIŞ VE DAĞILIŞI

1.2.1. BASİT KABUL

Basınç yayılış ve dağılışına ait basit kabul, basıncın her yöne doğru φ_0 açısı altında yayıldığıdır(Şekil:8).



Şekil:8 Basınç yayılış ve dağılışına ait basit kabul[6].

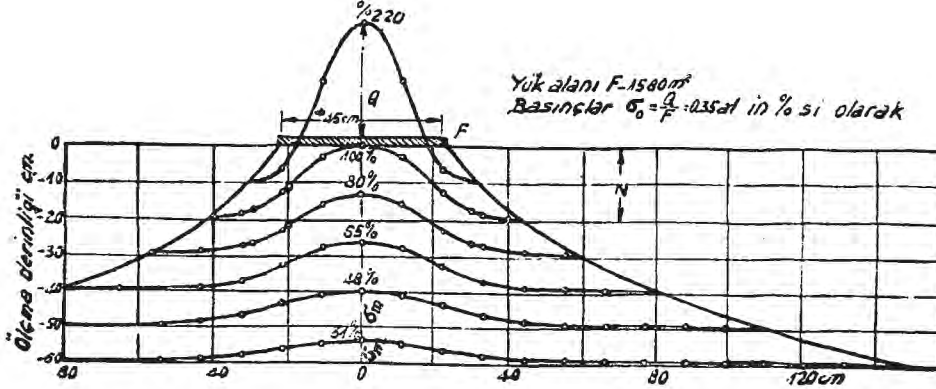
z derinliğindeki bir düzleme bütün B genişliği boyunca aynı P basıncı tesir etmektedir. Bu kabul basitliği ve kullanım kolaylığı yönünden her yerde kabul edilmiştir. Ancak, basitçe yayılış ve dağılış hakkında fikir veriyorsa da bu olayı doğru ve tam olarak yansıtamamaktadır[6].

Bu konuda kıymetli bilgileri deneyler vermiş, teori bunların sebeplerini açıklamış ve hesap metodlarını sunmuştur.

1.2.2. BASINÇ DAĞILIŞI İLE İLGİLİ DENEYLER VE SONUÇLARI

Basınç dağılışı ile ilgili deneyler "Basit kabul'den,, farklı sonuçlar vermiştir[6]. Şekil:9'da Freiberg[2] deneyleri ile elde edilen,

dairesel yük alanı şeklinde rijit bir plaka altındaki basınç dağılışı bize bu konuda fikir verecektir.



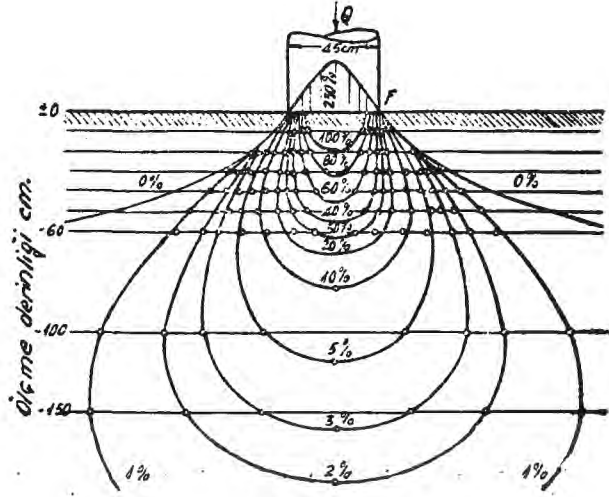
Şekil:9 Deney sonucu basınç dağılışı ve yayılışı.

Basınç dağılımı deneyleri aşağıdaki sonuçları vermiştir[2].

Bunlar kum dolgu bir temel zeminindeki sonuçlar olup ortalama taban basıncı $P_0 = \frac{Q}{F}$ in %'sidir.

- Taban alanından herhangi bir z derinliğindeki bütün yatay düzlemlerde basınç dağılımı aynı karakteristiği gösterir. Taban alanının dış bölgelerindeki gerilmeler, alanın ortalarındaki gerilmelerden oldukça küçüktür. Basit kabulde bu dağılım üniform olarak ifade edilmiş idi (Şekil:9).
- Gerilme dağılışı özel eğrisinin şeklinden dolayı kum dolgu üzerindeki yük alanları altında çok az derinlerdeki orta bölge basınçları, taban basıncından bir hayli büyük olmaktadır (Şekil:9).
- Orta bölge basıncı (Merkez basıncı) derinliklere gidildikçe azalmaktadır. Tabanın hemen altında basıncın ortalama basıncın 2,2 katından büyük olacağı Şekil:9'da görülmektedir. Böylelikle taban basıncı dağılışının hiçbir zaman üniform olamayacağı anlaşılmaktadır (Şekil:9, kum dolgu zemin).
- Ölçülen basınçlar yardımıyla izobarlar denilen eş basınç noktalarının birleştirilmesiyle bir eğri sistemi elde edilir (Şekil:10)[8].

- e) Dolgunun herhangi bir noktasındaki basınç, tesir ettirilen yük ile orantılı olarak artmaktadır.



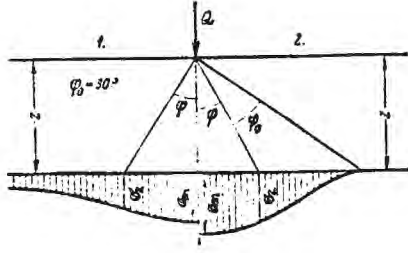
Şekil:10 Eş düşey basınç eğrileri, İzobarlar

$$(P = \%P_0 = \% \frac{Q}{F}) [8].$$

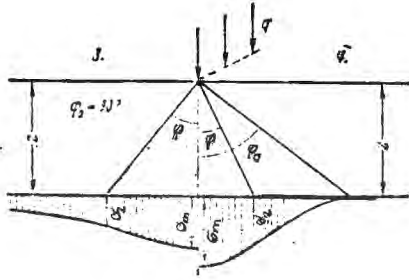
Düşey basınçlar Şekil:10'da gördüğümüz izobarlar ile ifade edilmektedir[8].

1.2.3. NOKTA VE ÇİZGİ KUVVETLER (YÜKLER)

Q yükünün çok küçük bir yük alanına tesir etmesi halinin nokta kuvvet olarak kabul edilebilmesi ve yine q şerit yükünün dar bir şerit de tesir etmesi halinin çizgi kuvvet olarak kabul edilebilmesi ile aşağıdaki formüller çıkarılmıştır[6].



Şekil:11 Nokta kuvvet.



Şekil:12 Çizgi kuvvet.

NOKTA KUVVET (Basıncın uzaydaki yayılışı):

$$1. \text{Boussinesq: } \sigma_z = \frac{3Q}{2\pi z^2} \cdot \cos^5 \varphi = k_{90} \cdot \frac{Q}{z^2} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$2. \text{Strohschneider: } \sigma_z = \frac{3Q}{2\pi z^2} \cdot \frac{(\cos \varphi - \cot \varphi_0 \cdot \sin \varphi) \cdot \cos^4 \varphi}{1 - \cos \varphi_0} = k \cdot \frac{Q}{z^2}$$

.....(2)

ÇİZGİ KUVVET (Basıncın düzlemdeki yayılışı):

$$3. \text{Melan: } \sigma_z = \frac{2q}{\pi \cdot z} \cdot \cos^4 \varphi = n_{90} \cdot \frac{q}{z} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$4. \text{Kögler: } \sigma_z = \frac{q}{z \cdot \varphi_0} \cdot (\cos \varphi - \cot \varphi_0 \cdot \sin \varphi) \cdot \cos^3 \varphi = n \cdot \frac{q}{z} \quad \dots\dots(4)$$

Formüllerdeki k, n sayıları Tablo:2'den alınabilir[2].

Bu formüller ile z derinliğindeki düzlemde oluşan basınç dağı-

lışı hesaplandığında, bu dağılışın deneyler ile bulunan dağılışa uygun olduğu görülür.

(1) ve (3) denklemleri ile ifade edilen zemindeki gerilme formülleri, homojen, elastik ve sert olan zemin için çıkarılmıştır.

Strohschneider deneylere ve Boussinesq'in formülüne(1) dayanarak basınç yayılış sınır açısını φ_0 kabul eden (2) denklemini kurmuştur.

Aynı şekilde Kögler, Melan formülüne(3) dayanarak (4) formülünü çıkarmıştır.

Tablo:2'de;

k, n katsayılarının φ 'nin 65° 'ye kadar olan değerleri ile φ_0 ın 40° 'den 90° 'ye kadar olan değerleri hesaplanmış olarak verilmiştir.

k_{90} ve n_{90} katsayıları $\varphi_0 = 90^\circ$ kolonunda verilmiştir. Yükün altında, düşey merkez basınçları $\varphi = 0$ satırından alınacaktır. Basınç yayılış sınır açısı φ_0 'nın, 40° ile 45° 'lik küçük değerleri kohezyonsuz kumlar için geçerlidir. $\varphi_0 = 70^\circ$ kohezyonlu zeminlerdedir.

φ derece	$\varphi_0 = 40^\circ$	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	$\varphi_0 = 90^\circ$	φ derece
0	k = 2,042	1,632	1,337	1,122	0,957	0,828	0,726	0,645	0,579	0,524	0,478 = k	0
	n = 1,433	1,275	1,146	1,042	0,957	0,882	0,817	0,764	0,715	0,676	0,636 = n	
5	k = 1,790	1,458	1,211	1,033	0,891	0,777	0,688	0,616	0,553	0,509	0,468 = k	5
	n = 1,262	1,140	1,042	0,964	0,894	0,831	0,777	0,733	0,695	0,660	0,624 = n	
10	k = 1,493	1,244	1,055	0,912	0,798	0,705	0,630	0,569	0,520	0,478	0,443 = k	10
	n = 1,064	0,987	0,918	0,860	0,810	0,763	0,720	0,684	0,655	0,627	0,598 = n	
15	k = 1,160	1,002	0,871	0,767	0,699	0,608	0,552	0,504	0,463	0,430	0,403 = k	15
	n = 0,850	0,811	0,772	0,738	0,703	0,671	0,643	0,618	0,594	0,575	0,555 = n	
20	k = 0,847	0,762	0,681	0,614	0,556	0,504	0,464	0,427	0,398	0,372	0,351 = k	20
	n = 0,633	0,633	0,621	0,607	0,592	0,571	0,556	0,538	0,511	0,511	0,497 = n	
25	k = 0,551	0,531	0,497	0,457	0,427	0,396	0,368	0,344	0,324	0,306	0,292 = k	25
	n = 0,427	0,458	0,466	0,469	0,471	0,466	0,457	0,450	0,444	0,436	0,428 = n	
30	k = 0,311	0,336	0,336	0,327	0,311	0,294	0,280	0,266	0,254	0,243	0,233 = k	30
	n = 0,252	0,291	0,333	0,351	0,359	0,361	0,364	0,364	0,364	0,363	0,358 = n	
35	k = 0,122	0,180	0,203	0,211	0,210	0,206	0,199	0,193	0,187	0,181	0,176 = k	35
	n = 0,105	0,172	0,212	0,239	0,256	0,267	0,273	0,280	0,283	0,286	0,286 = n	
40	k = 0	0,069	0,104	0,122	0,130	0,134	0,134	0,132	0,130	0,128	0,126 = k	40
	n = 0	0,071	0,122	0,148	0,170	0,187	0,194	0,204	0,210	0,215	0,217 = n	
45		0	0,037	0,060	0,072	0,078	0,082	0,083	0,084	0,085	0,085 = k	45
		0	0,045	0,079	0,102	0,117	0,130	0,139	0,147	0,156	0,160 = n	
50			0	0,020	0,033	0,041	0,045	0,048	0,050	0,052	0,053 = k	50
			0	0,029	0,051	0,068	0,079	0,089	0,096	0,104	0,110 = n	
55				0	0,011	0,017	0,022	0,025	0,027	0,029	0,030 = k	55
				0	0,019	0,031	0,044	0,052	0,059	0,065	0,070 = n	
60					0	0,005	0,009	0,011	0,013	0,014	0,015 = k	60
					0	0,010	0,020	0,026	0,032	0,036	0,040 = n	
65						0	0,002	0,004	0,005	0,006	0,007 = k	65
						0	0,005	0,011	0,014	0,019	0,020 = n	

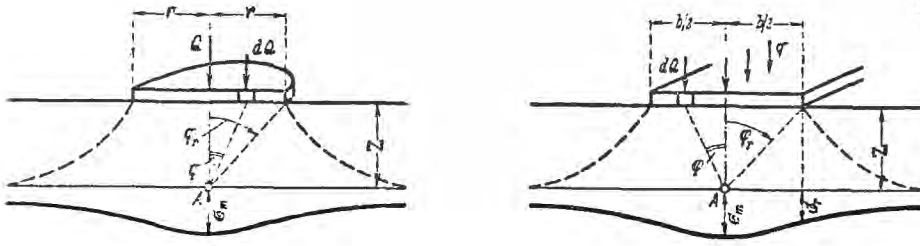
Tablo:2 (1),(2),(3),(4) formüllerindeki k,n sayıları[8].

1.2.4. ALAN YÜKLERİ (DAİRESEL, ŞERİT, DİKDÖRTGEN YÜK ALANLARI)

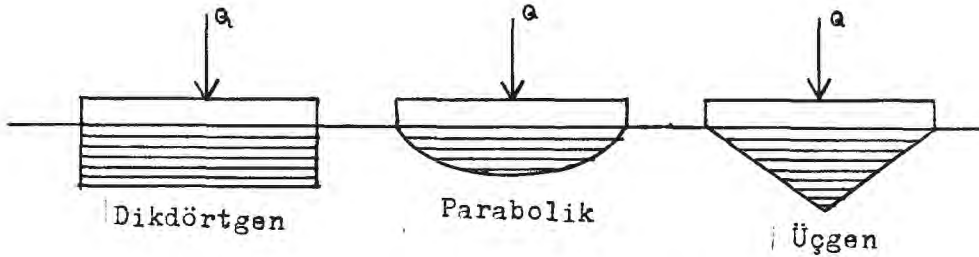
Burada, temel zeminine büyük bir alan ile oturan yükler kastedilmektedir. Alan, basınç dağılışının bulunacağı z derinliğine nazaran büyüktür. ($Z < 6r$, $Z < 3d$, $Z < 2,5b$)

Şekil:13'de dairesel ve şerit yük altındaki alan yükler görülmektedir. Yük alanının altında herhangi bir A noktasında gerilmenin hesaplanması için Q yükü parçalara bölünür. Her dQ kısmi yükün A noktasında meydana getirdiği kısmi gerilmeler Boussinesq veya Kögler (1 ile 4 nolu) formülleri kullanılarak bulunur.

Bu formüllerin kullanılabilmesi için taban basıncı dağılışları ile ilgili kabuller yapılması gerekir. Taban basıncı dağılışı dikdörtgen, parabolik, üçgen olabilir yada çok değişik dağılımlar da olabilir. Ama bu konuda kesin bir şey söylemek mümkün değildir. Ancak Şekil:14'de görülen dağılımlar dikkate alınarak hesap anlatılmaya çalışılacaktır.



Şekil:13 Dairesel ve şerit yükler altında oluşan merkez basınçların bulunması (σ_m = Merkez basıncı).



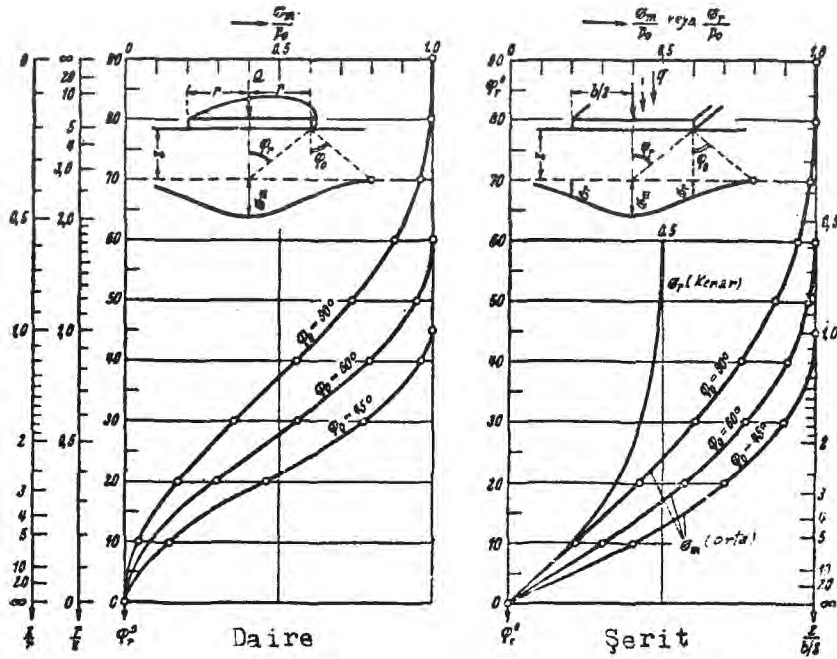
Şekil:14 Alan yükler altındaki basınç dağılışı hesabında kullanılacak, taban basıncı dağılışı kabulleri.

Bu taban basıncı dağılışı ile ilgili üç tipin kabulü ile (1) ve (3) nolu formüller kullanılarak Tablo:3'de verilen formüller ve Şekil:15 ve Şekil:16'daki diyagramlar türetilmiştir. Bu formüller ve diyagramlar ile alan yükleri altındaki bütün noktadaki gerilmeler hesaplanmaktadır[2].

Nr. Taban basıncı dağılışı: Denklem _____ :

- | | | |
|-------------------------|---|------|
| 5. Dikdörtgen. Şekil:14 | $\sigma_m = p_0 (1 - \cos^3 \varphi_r)$ | (5) |
| 6. Parabol. Şekil:14 | $\sigma_m = 2p_0 [1 - 2 \cdot \cotg^2 \varphi_r (1 - \cos \varphi_r)]$ | (6) |
| 7. Üçgen. Şekil:14 | $\sigma_m = 3p_0 (1 - \cos \varphi_r)$ | (7) |
| 8. Dikdörtgen. Şekil:14 | $\sigma_m = p_0 (2\varphi_r + \sin 2\varphi_r) : \pi$ | (8) |
| 9. Parabol. Şekil:14 | $\sigma_m = 3p_0 [\cotg \varphi_r (1 - 2\varphi_r \cdot \cotg 2\varphi_r)] : \pi$... | (9) |
| 10. Üçgen. Şekil:14 | $\sigma_m = 4p_0 \cdot \varphi_r : \pi$ | (10) |

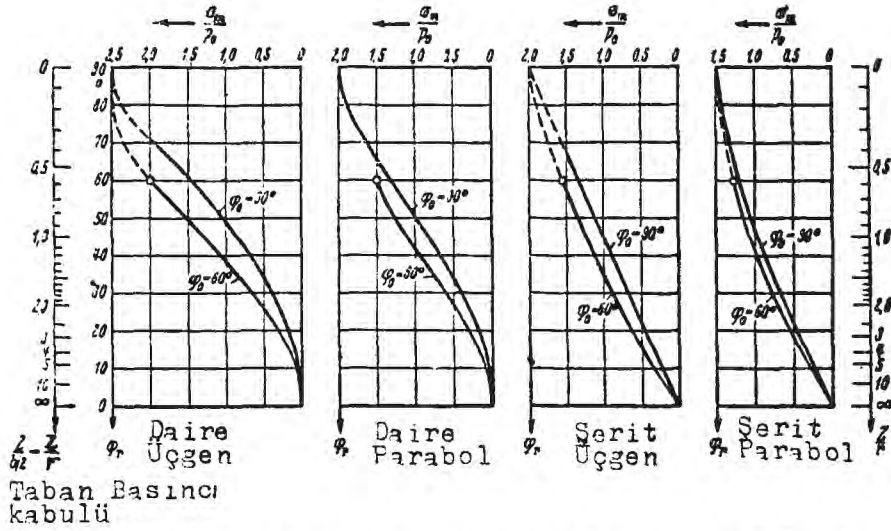
Tablo:3 Alan yükleri altındaki merkez basınçları.



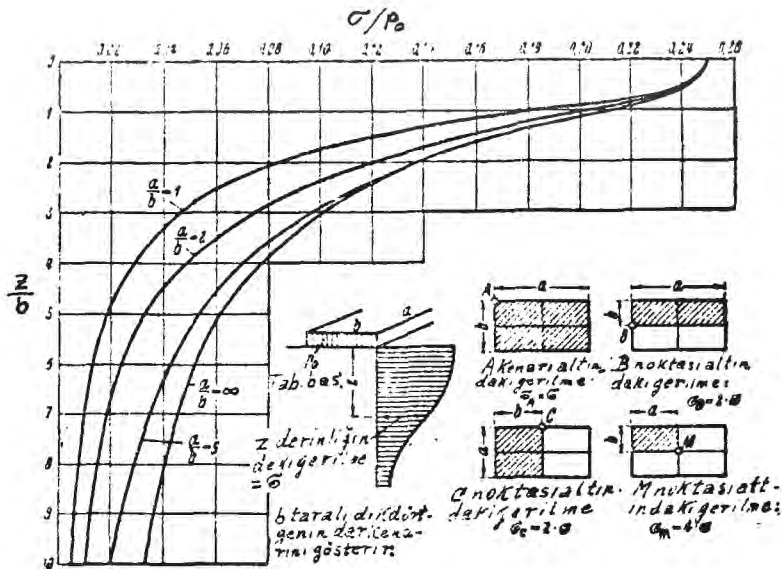
Şekil:15 Dikdörtgen taban basınç dağılışı için

σ_m merkez basıncı ve σ_r kenar basınçları diyagramı[(5) ve (8) denklemleri].

Dairesel, şerit alanlardaki basınç dağılımından başka olarak dikdörtgen yük alanları altındaki basınçların dağılımları, Steinbrenner'e[2] göre Şekil:17'deki diyagram yardımıyla bulunabilir.



Şekil:16 Parabol ve üçgen taban basıncı dağılışı için σ_m merkez basınçları diyagramı [(6),(7),(9) ve (10) denklemleri].



Şekil:17 Dikdörtgen yük alanı altındaki basınçların Steinbrenner'e göre bulunması[2].

Burada a büyük kenarı, b küçük kenarı ifade eder. Dikdörtgen yük

plakasının çeşitli noktalarında σ basıncının bulunması mümkündür. b çeşitli değerler almaktadır, b'nin çeşitli değerleri için çeşitli σ değerleri bulunur.

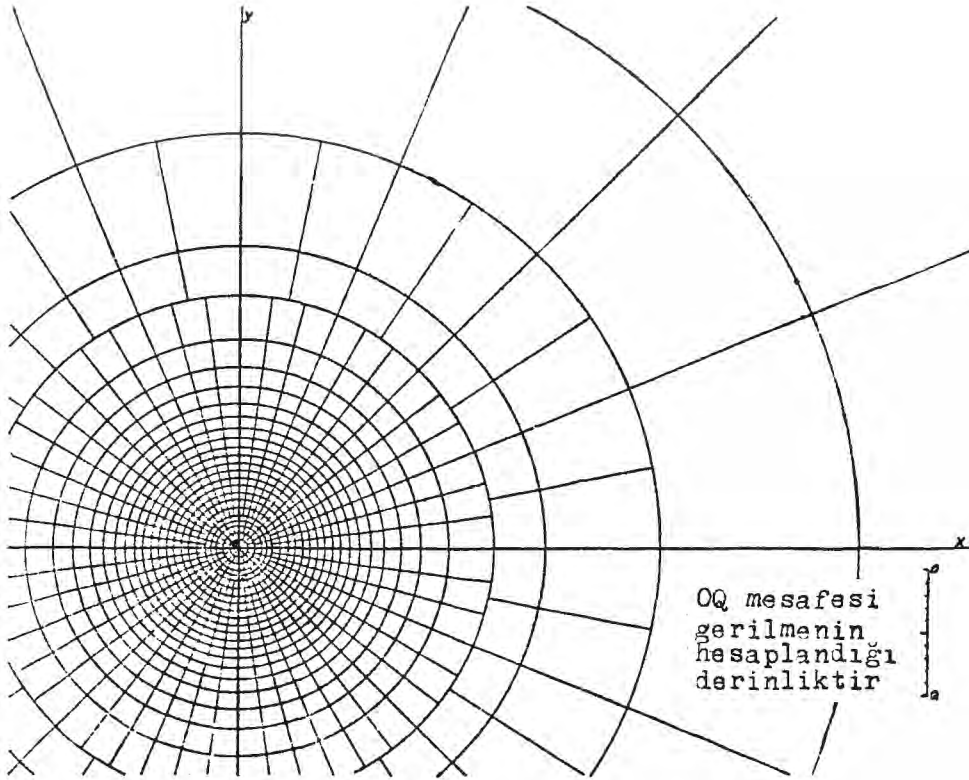
Buradan;

$$\sigma_A = \sigma, \sigma_B = 2\sigma, \sigma_C = 2\sigma, \sigma_M = 4\sigma \text{ olmaktadır.}$$

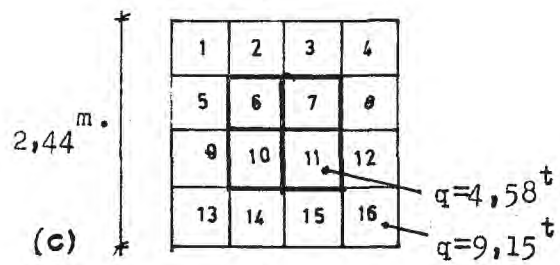
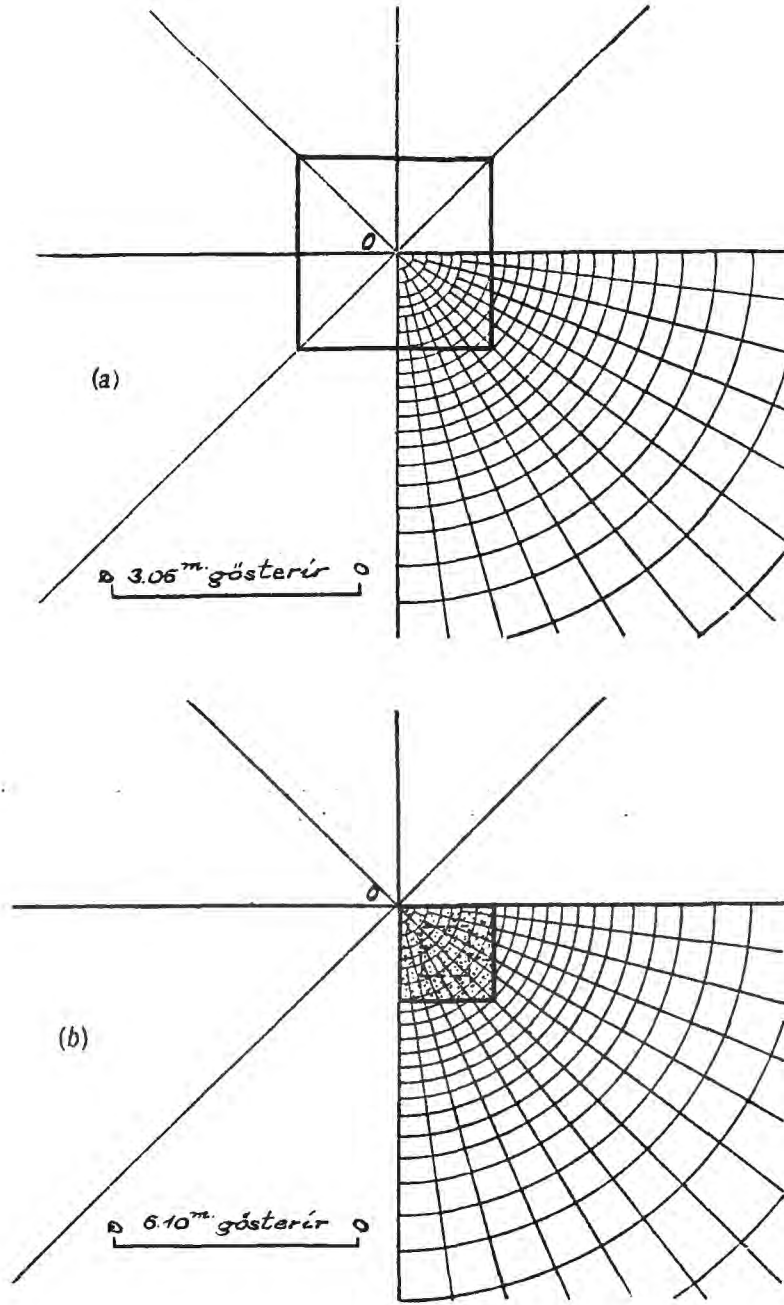
Dikdörtgen alanın herhangi bir P noktasındaki belli derinlik içinde basınç bulmak mümkündür. P noktasından dikdörtgenin kenarlarına paraleller çizilir. Oluşan dört eşit olmayan dikdörtgenin ortak köşeleri P noktasıdır. Bu dikdörtgenler için bulunan σ basınç değerleri toplanır.

1.2.5. TESİR KARTLARI

Birim bir yük bir kirişin çeşitli noktalarında dolaştırılırsa herhangi bir kesit de tesirler için, tesir çizgileri çizilebilir. Aynı şekilde temel tabanı üzerinde çeşitli durumlarda uygulanan bir yük herhangi



Şekil:18 Düşey basınca ait Tesir Kartı[4].



Şekil:19,a,b,c Tesir kartının kullanılışı[4].

bir derinlikteki bir noktanın gerilme şiddetine ait tesir çizgilerinin elde edilmesinde kullanılır. Yüklene alan, tesir kartlarının üzerine konulursa, kartın çizildiği derinlikteki bir noktada oluşan basınçlar bulunabilir[4].

Her derinlik için ayrı olan tesir kartları birbirine benzer. Ölçekleri ayrıdır. Yüklü alanların ölçeklerini değiştirerek her derinlik için tek bir tesir kartı kullanılabilir.

Şekil:18'de Newmark[4] tarafından çizilen ve z derinliğindeki düşey basınçlara ait tesir kartı görülmektedir.

A. TESİR KARTININ KULLANILIŞI

Yüklü alanın planı, kartın kenarındaki oQ uzunluğu gerilmenin arandığı noktayı gösterecek şekilde ölçekli olarak çizilir. Kartın merkezi, gerilmenin bulunacağı noktayı gösterir. Yüklü alanın şeffaf kağıda çizilmiş ölçekli planında, gerilmenin bulunacağı nokta kartın merkezine yerleştirilir. Kartın üzerinde her alan, iki yarıçap ve iki daire yayı ile sınırlandırılmıştır ve tesir değeri 0,001'dir. Plan tarafından kaplanan alanların sayısı hesaplanır ve bu toplam, formülde yerine konulur.

$$\text{Düşey Basınç} = \text{Alanların sayısı} \times \text{Yüklü alanın yükü} \times 0,001$$

$$\left(\frac{t}{m^2}\right) \qquad \qquad \qquad \left(\frac{t}{m^2}\right)$$

BİR ÖRNEK:

Şekil: 19,c'de görülen kare alan yükünün, 6,10 m. derinliğinde dış kenarlarda ve ortadaki karelerde, basınç değerlerini bulalım (Şekil:19,b).

Dış çevredeki alan sayısı 43, ortadaki alan sayısı 16'dır(Şekil: 19,b). 0,61 m²'lik her yük alanında dış kareler 9,15 ton, iç kareler 4,58 ton ile yüklenmiştir(Şekil:19,c).

Buna göre Düşey Basınç: $43 \times \frac{9,15}{0,61} \times 0,001 + 16 \times \frac{4,58}{0,61} \times 0,001 = 1,26 \text{ t/m}^2$
bulunur.

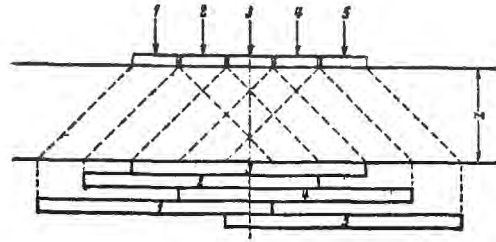
1.2.6. BASINÇLARIN YAPI ORTA KISIMLARI ALTINDA BİRİBİRİ ÜZERİNE TESİR ETMESİ

Basınçların hesabı için yapılan çalışmalar, yük alanı merkezinin altındaki basınçların, kenar kısımların altındaki basınçlardan daha büyük değerde olduğunu göstermiştir[2].

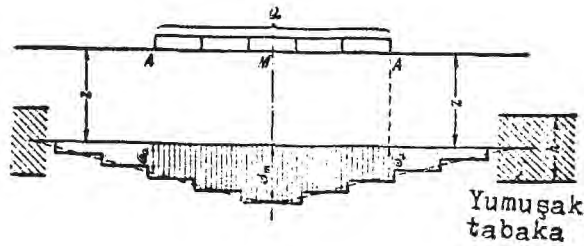
Şekil:20'de bu daha kolay görülmektedir. Q toplam yükü parçalara ayırıp, bu parçaların z derinlikteki düzlem üzerinde oluşturdukları basıncı hesaplırsak ve bu bulunan basınçları toplarsak bu açıklanmış olur.

Bu da z derinliğinde, kalınlığı h olan σ_m ve σ_q basınçları ile sıkışan bir tabakada ortaldaki oturmanın kenarlardan daha fazla olacağını açıklamaktadır.

Pratikte, yanyana yapılan binaların oturmalarında, ortaldaki binalarda, kenarlardaki binalardan daha fazla oturma olması(Şekil:21), sonradan yapılan binanın daha önce yapılan binayı çatlatması(Şekil:22), köp-



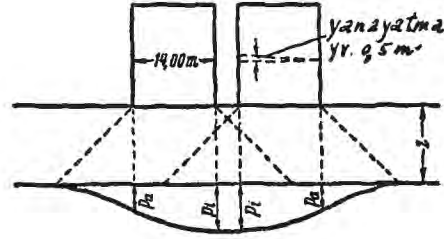
(Şekil 81)



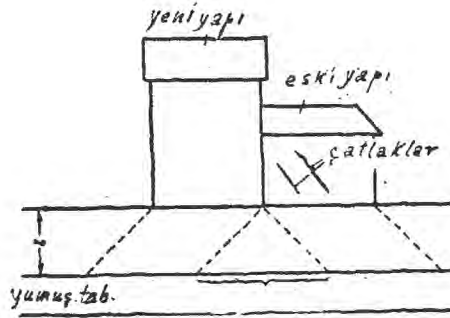
Şekil:20 Basınçların yapı merkezlerinde birbiri üzerinde toplanması[6].

rü ayaklarının dolgudan sonra yana doğru yatması(Şekil:23), hep bu olay nedeniyledir. Bu konuya temellerin oturması bölümünde daha ayrıntılı o-

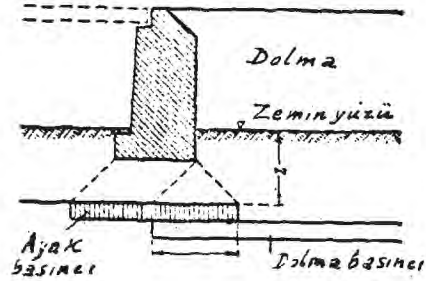
arak girilecektir.



Şekil:21 İki binanın arasında oturma fazla olur.
Binalar birbiri üzerine yaslanır.



Şekil:22 Sonradan yapılan bina önce yapılan binayı
kendine doğru yaslar, onu çatlatır.



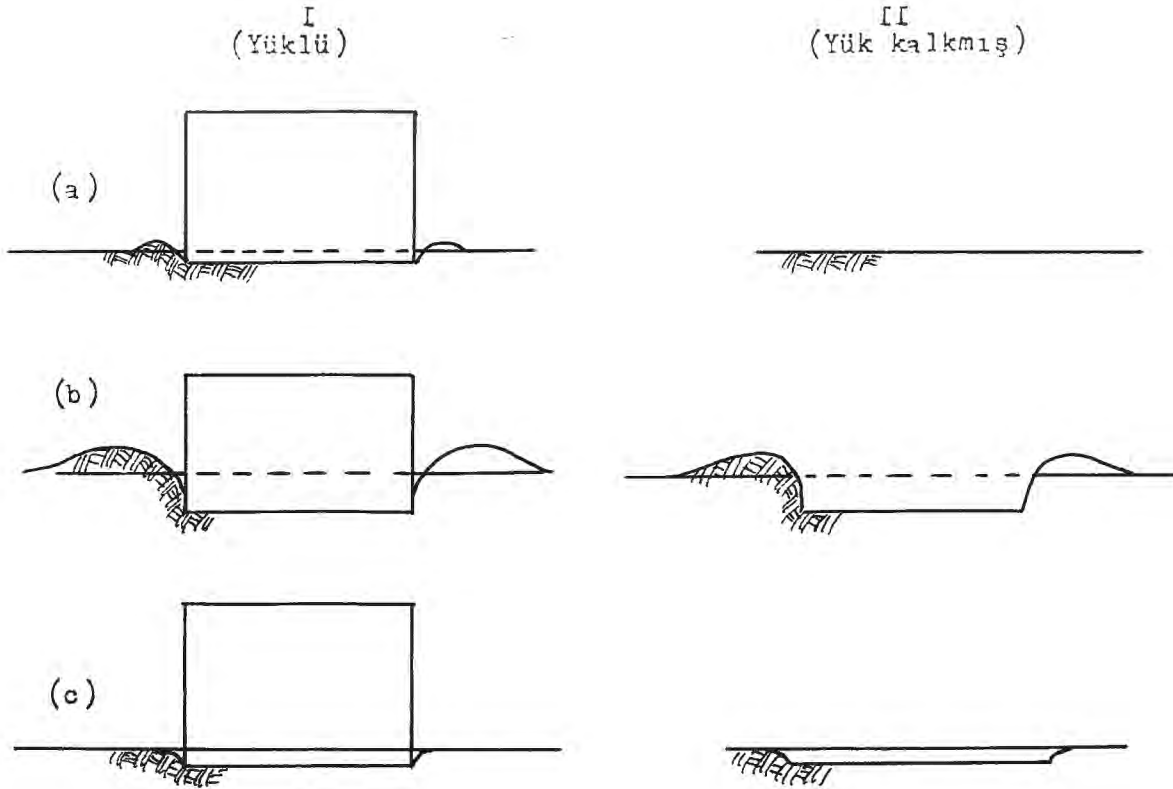
Şekil:23 Köprü ayağının inşasından sonra yapılan
toprak dolgu oturur ve köprü ayağını da
oturtup yana doğru yatmasına neden olur.

1.3. TEMELLERİN OTURMASI

1.3.1. TEMEL ZEMİNİNİN DAVRANIŞLARI

Temel zemini, yapı yükü altında şekil değiştirir ve deformasyona uğrar. Yapının yükü ile temelde, düşey ve yatay deplasmanlar yapar. Temel zemininin deformasyonu zemin karakteristiklerine göre farklı olmaktadır[4].

Fazla kuru zeminlerde elastik deformasyon davranışı görülür. Zemin yük tesiri ile yatay genişlemeye uğrar ve yük kalkınca eski haline döner(Şekil:24,a).



Şekil:24 Temel zemininin davranışları

Yükün kalkmasından sonra eski haline dönemiyen zemin davranışı, plastik deformasyon olarak anılır. Su miktarının plastik limitin üstünde olması halinde killerde görülür(Şekil:24,b).

Yapının yükü ile birlikte temel zemini içindeki su ve havanın dışarı çıkması sonucu içindeki boşluk hacmi azalır ve taneler birbirlerine yaklaşır. Zeminin bu özelliği kompresibilite (sıkışabilme kabiliyeti) olarak anılır. Orta kıvamda kil veya adi bahçe toprağı bu özelliği gösterir(Şekil:24,c).

Suya doymun olmayan temel zeminlerinde statik yükler altında sıkışma kısmen suyun boşlukları terketmesi ve kısmen de hava boşluklarının azalması ile olur. Zemin kuru ise sıkışma sadece hava boşluklarının azalması ile oluşur[4].

1.3.2. TEMELLERİN OTURMASI

Yapı tabanının düşey hareketine temellerin oturması denir. Oturmalar, büyüklükleriyle, üniform olup olmadıklarıyla, etkilediğı yapının cinsleriyle, yapılara tesir ederler.

Yapıya üniform oturmalar değil, farklı oturmalar zarar verir. Taban basınçları eşit olan büyük temeller küçüklere oranla daha fazla oturduklarından çeşitli büyüklükteki tekil temelli yapılarda taban basınçları eşit olmaz. Bu da farklı oturmaları doğurur. Mühendislikte oturmaların eşit yada lineer dağılımlı olmaları istenilir. Zeminin deformasyonlarından dolayı temel ve üst yapı zorlanır. Yapı sistemi, rijitidesinden dolayı zeminin bu deformasyonlarına tamamen katılamaz. Bu hal, yapı elemanları içinde gerilmeler, iç kuvvetler, doğurur. Zeminin fazla deforme olduğu bölümlerde gerilmeler azalırken, az deforme olduğu bölümlerde gerilmeler artar. Bu hal önemli derecede zorlamalar oluşturur. Böyle bir halde banketler üzerine inşaa edilmiş bir yapıda komşu iki kolon arasına 2 cm.lik oturma farkına izin verilebilir[1].

Farklı zeminler için müsaade edilebilir oturmalar aşağıdaki gibidir[1].

Kil üzerine inşaa edilen tekil temellerde: 5 cm.

Kum üzerine inşaa edilen tekil temellerde: 4 cm.

Kil üzerine inşaa edilen radye temellerde: 6-10 cm.

Kum üzerine inşaa edilen radye temellerde: 4-6 cm.

Ancak bu oturma miktarları, oturmaların hesaplarda dikkate alınmadığı ve oturmaların olmayacağı kabulü ile yapılan yapılarda, statik ilişkinin müsaade sınırını ifade etmektedir. Hesaplar, oturmaların dikkate alınması ile yapıldığında bu miktarlar birkaç katına kadar çıkabilir.

1.3.3. OTURMALARIN SEBEPLERİ

Yüzeysel temellerin oturmaları;

- (a) Statik yüklerin tesir etmesi ile,
- (b) Dinamik tesirler ile,
- (c) Su durumlarının değişmesi ile,
- (d) Yapı altının oyulması ile,
- (e) Yıkanmalar (erozyon) ile,
- (f) Heyelanlar ile,
- (g) Temel zemininin kimyasal değişmeleri ile,
- (h) Don tesiriyle kabarma, buzların çözülmesi dolayısı ile olabilir.

Burada statik yüklerin tesir etmesi ile oluşan oturmalar incelenecektir. Statik yüklerin tesir etmesi ile olan oturmalar temel zeminin sıkışmasından yada yanlara kaçmasından meydana gelebilirler.

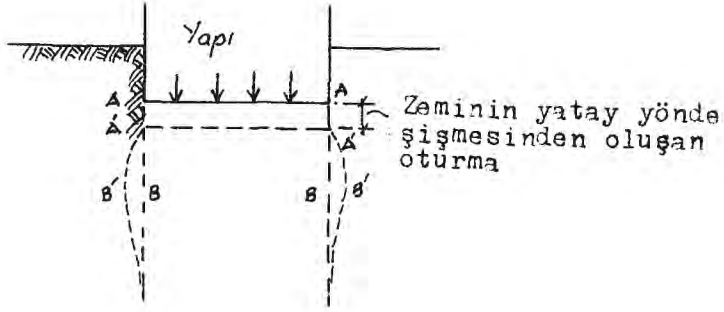
1.3.4. STATİK YÜKLERİN TESİRİ İLE OLAN OTURMALAR

A. ANİ OTURMA

Temel zemini içindeki hava boşluklarında ve su kütlesinde bir değişiklik, olmadan elastik sıkışma ile plastik deformasyonun bir birleşimidir. İnşaat ilerledikçe bu oturma şekli görülür[5](Şekil:25).

B. KONSOLIDASYON OTURMASI

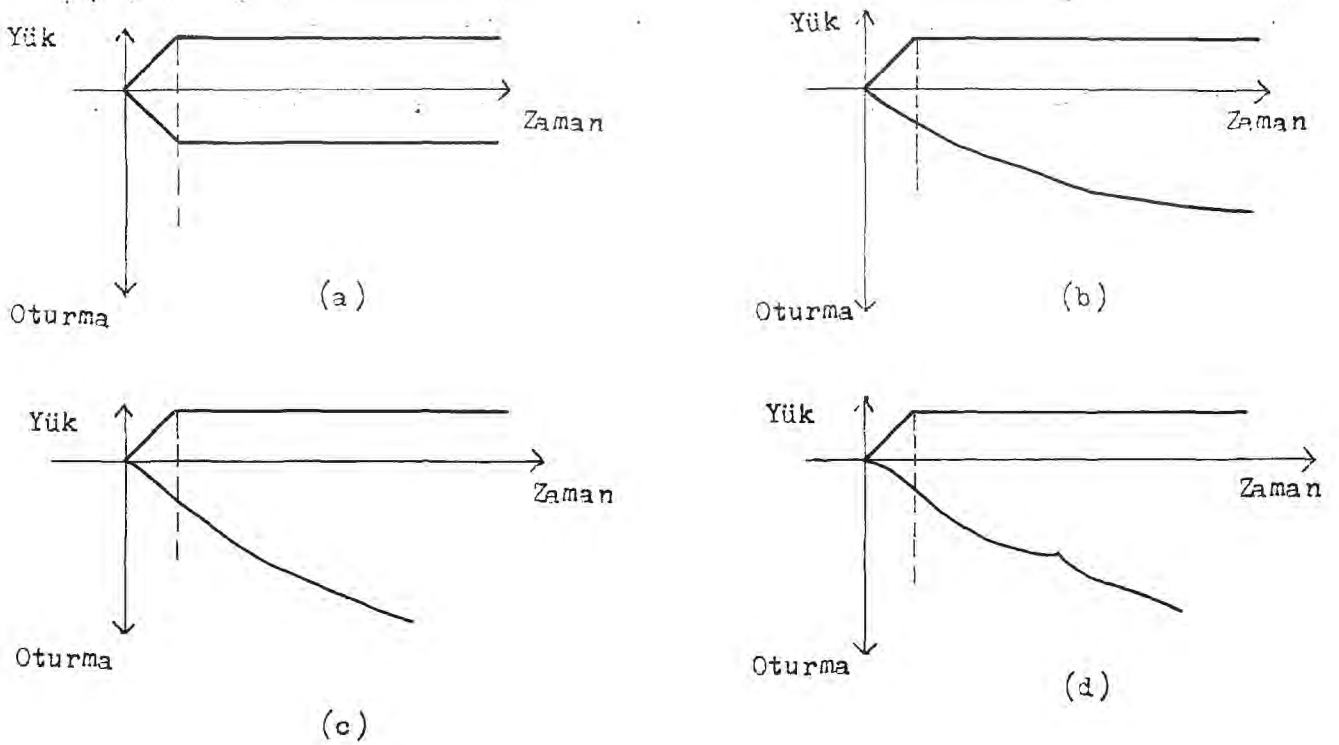
Yapının altındaki zeminin suyunun, zaman içersinde dışarı atılması ile yavaş yavaş zeminin hacminin azalması şekliyle olan oturmadır. Killi zeminlerde çok yavaş olan bu oturma türü, zamanla büyük değerlere ulaşır[5].



Şekil:25 Ani oturma[5].

1.3.4.1. OTURMA HIZI

Oturmanın zaman içerisinde tanımı Şekil:26'da anlatılmaya çalışılmıştır[5].



Şekil:26 Oturma hızı.

(a) Kuma oturan yapının oturması (Zamanla durur)

- (b) Kile oturan yapının oturması (Yavaş bir hızla uzun zaman)
- (c) Zeminin plastik olması hali (Üniform bir hızla sürekli)
- (d) Zemin şartlarıyla farklılık gösteren oturma

1.3.5. TEMEL ZEMİNİNİN SIKIŞMASINDAN MEYDANA GELEN OTURMALARIN HESABI

Temel zemininin sıkışmasından meydana gelen oturmalar

$$S = p \cdot \frac{h}{E} \dots\dots\dots(11)$$

formülü ile hesap edilirler.

Burada;

S: Oturma miktarını,

h: Temel zemini tabaka kalınlığını,

p: Bu tabakaya tesir eden basıncı,

E: Zeminin elastisite modülünü, belirlemektedir.

E değeri için ayrıca tablo verilmiş olup oradan E'nin değeri alınabilir (2.2.2.2.).

1.3.5.1. BASINÇ YAYILIŞININ DIKKATE ALINMADIĞI HALLER

P_0 taban basıncı çok büyük bir alana tesir ediyorsa, yan taraflara olan basınç dağılımını dikkate almaya gerek yoktur. Taban basıncı derinde bulunan sıkışabilir tabaka üzerine de üniform şekilde tesir eder[2].

1.3.5.2. BASINÇ YAYILIŞININ DIKKATE ALINDIĞI HALLER

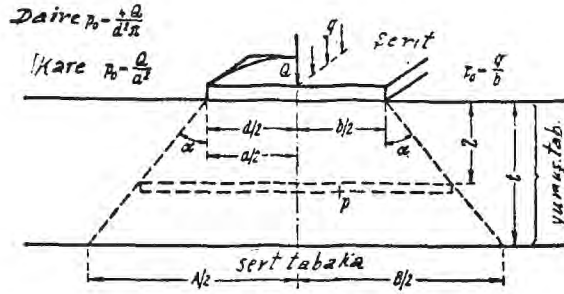
P_0 taban basıncı küçük bir alana tesir ediyorsa, ki genelde yapılar bu konumda olmaktadır, bu halde basınç derinlere doğru yayılır ve bu yayılma sonucu değeri azalır[2].

A. SIKIŞABİLİR TABAKANIN YAPININ HEMEN ALTINDA OLMASI HALİ

A.1. BASİT KABUL

Sıkışabilir tabaka yapının hemen altında ise ve belli bir t derinliğindeyse (Şekil:27), tüm temel zemini tabakasında P basınç yayılışı, düşeyle α açısı yaparak ve doğru şekilde kabul edilir. t derinliğe kadar

olan tüm derinliklerdeki düzlemlere de üniform dağılışı olduğu kabul edilir[6].



Şekil:27 Basınç yayılışına ait basit kabul[6].

Bu kabuller doğrultusunda a kenar uzunluğundaki dörtgen alan için;

$$S = \frac{P_0}{E} \cdot \frac{a \cdot t}{a + 2t \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{P_0 \cdot a \cdot t}{E \cdot A} \dots \dots \dots (12)$$

d. çaplı bir daire alan için;

$$S = \frac{P_0 \cdot d \cdot t}{E \cdot A} \dots \dots \dots (13)$$

bulunur. t'nin çok büyük değeri için,

$$S = \frac{P_0}{E} \cdot \frac{a}{2 \operatorname{tg} \alpha} \dots \dots \dots (14)$$

ve $\alpha = 45^\circ$ için,

$$S = \frac{P_0 \cdot a}{2 \cdot E} \dots \dots \dots (15)$$

bulunur.

Bu formül ile anlatılmak istenenler şunlardır;

- Sonsuz kalınlıkta sıkışabilir bir tabaka yoktur.
- Derinlere indikçe basınç dağılışı nedeniyle fazla derinlerde oturma hiç olmayacaktır.
- E'nin değerinin derinlik arttıkça büyüyor olması nedeni ile oturma hesaplarının tabaka tabaka yapılması gerekir.

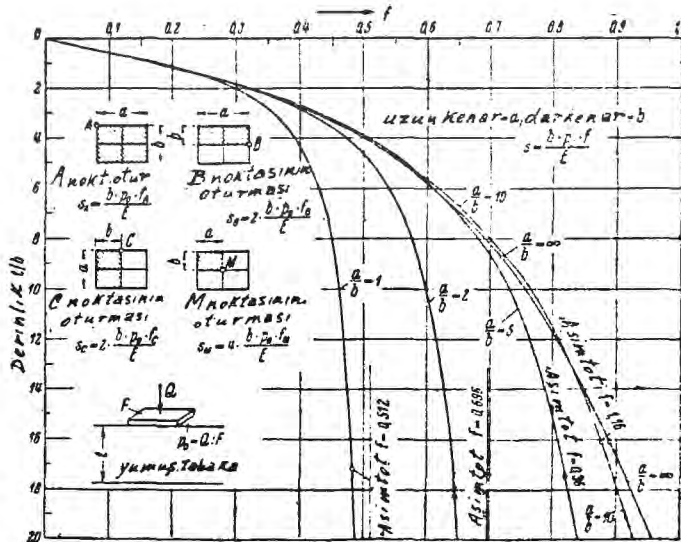
A.2. ELASTİK YARIM MEKAN

Burada yapılan kabul Boussinesq'in elastik izotrop yarım mekan için basınç yayılımı ve dağılışı denklemleridir. Basınç yan taraflarda sonsuza kadar dağılmaktadır ve oturma ile basınç arasında ilişki kurulmuştur.

A.2.1. DİKDÖRTGEN YÜK ALANLARI

Dikdörtgen yük alanları için Steinbrenner oturmaları hesaplamıştır. Bu hesaplarda, zemin elastisite modülünün, tabaka boyunca aynı olduğu kabulü yapılmış, yük alanının fleksibl olduğu ve taban basıncının üniform dağıldığı kabul edilmiştir.

Şekil:28 ile Steinbrenner'in yöntemiyle oturmaların hesaplanması için bir diyagram verilmiştir[6].



Şekil:28 Dikdörtgen yük alanındaki oturmaların hesaplanması[6].

Oturmalar dörtgenin A,B,C veya M noktası için hesaplanabilmektedir.

$$S = \frac{P_0 \cdot b \cdot f}{E} \dots \dots \dots (16)$$

oturmaları verir.

Formülde f , t/b oranından diyagramdan alınmaktadır. Dörtgenin büyük kenarı a , küçük kenarı b ile tanımlanmıştır. Oturmanın hesaplanacağı noktanın yerine bağlı olarak formülde değerler yerine konulur. Çeşitli b değerine bağlı olarak bulunan f değeri, oturmanın bulunacağı nokta ile simgelenerek

$$S_A = \frac{P_0 \cdot b \cdot f_A}{E}, \quad S_B = 2 \cdot \frac{P_0 \cdot b \cdot f_B}{E}, \quad S_C = 2 \cdot \frac{P_0 \cdot b \cdot f_C}{E}, \quad S_M = 4 \cdot \frac{P_0 \cdot b \cdot f_M}{E}$$

formüllerinde uygulanır.

Dikdörtgen alanın içersinde herhangi bir P noktasındaki oturmanın da hesaplanması mümkündür. P noktasından dikdörtgen yük alanının kenarlarına paraleller çizilir. Dört eşit olmayan dikdörtgene ayrılır. P noktası bu dört dikdörtgenin her birinin köşesi olarak alınmak yoluyla f değerleri bulunur.

Yapılar gerçekte tamamen fleksibl değilde kendilerine özgü bir rijiditeye sahiptirler, hatta tamamen rijit dahi kabul edilebilirler. Bu nedenle yapının rijiditesine bağlı olarak S_A, S_B, S_C, S_M değerlerinden ortalama bir değer bulunması gerekir[2]. Yapılan ölçümlerde ve hesaplarda kenar ortalarında ve köşelerdeki oturmaların, ortadaki S_M oturmasına göre daha az olduğu belirlenmiştir. ortalama oturma ise $0,75 \times S_M$ 'e yakın bir değerdedir.

A.2.2. DAİRE VE KARE YÜK ALANLARI

Schleicher bu alanlar için, sıkışabilir yumuşak tabakanın sonsuz derinliğe kadar devam ettiği kabulü ile entegrasyon yapmıştır. Pratikte pek uygulanamaz[2].

d çaplı daire alanının oturması,

$$s = v \frac{P_0 \cdot d}{E} \quad \text{dir.} \quad \dots\dots\dots(17)$$

v değerleri: Fleksibl plakada, orta kısım için: 1,0

yanlar için : 0,64

tüm alan için : 0,85

Rijit plakada,

: 0.785'dir.

Kenar uzunluğu a olan kare alanlarının oturması,

$$S = \nu \cdot \frac{P_0 \cdot a}{E'} \quad \dots\dots\dots(18)$$

ν değerleri: Fleksibl plakada, orta kısım için : 1,12
kenar ortaları için : 0,77
köşeler için : 0,56
tüm alan için : 0,95

Burada $E' = \frac{m^2}{m^2 - 1} \cdot E$ dir (m =Poisson sayısı)

B. SIKIŞABİLİR TABAKANIN DERİNDE OLMASI HALİ

Sıkışabilir tabaka yapının hemen altında değilde, t derinliğinde ki sağlam tabakadan sonra, derinde ise oturmalar basit kabul esasına göre şöyle bulunur[2].

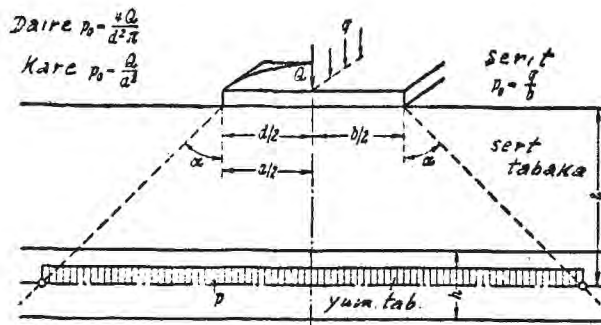
Daire ve kare yük alanları için,

$$S = \frac{P_0}{E} \cdot \frac{a^2 \cdot h}{(a + 2t \cdot \text{tg}\alpha)^2} = \frac{P_0 \cdot h \cdot a^2}{E \cdot A^2} \quad \dots\dots\dots(19)$$

Şerit yük alanları için,

$$S = \frac{P_0}{E} \cdot \frac{b \cdot h}{b + 2t \cdot \text{tg}\alpha} = \frac{P_0 \cdot h \cdot b}{E \cdot B} \quad \dots\dots\dots(20)$$

olur.



Şekil:29 Sıkışabilir tabakanın derinde olması halı.

Bu hal için de Şekil:28'deki oturma diyagramı kullanılabilir. Tabandan itibaren $t-h/2$ derinliğine kadar olan tabakanın S_1 sıkışma miktarı ve yine tabandan itibaren $t + \frac{h}{2}$ derinliğine kadar olan tabakanın S_2 sıkışması bulunur. Her iki hesapta da aynı E değeri kullanılır. $S_2 - S_1$ sıkışma miktarı, t derinliğinde ve h kalınlığındaki tabakanın sıkışma miktarını verir.

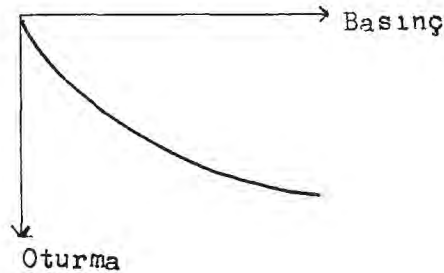
Bu hesaplarda bir takım eksiklikler vardır. Şöyle ki[2],

- Herhangi bir z derinliğinde ki düzlemde basınç dağılışı üniform değildir.
- Basınç dağılışı doğrusal değildir. Aşağıya doğru yatıklaşmaktadır.
- Belli bir derinlikten sonra basınç değeri, basınç yayılışından dolayı, pratikte sıfır kabul edilebilir.
- Zeminin sıkışabilmesi derinliklere doğru azalır, E elastikiyeti artar.

Fakat hesaplar gerek "Basit Kabul," esasına göre yapılsın, gerekse de Elastik Yarım mekanda olduğu gibi daha doğru kabullerle yapılsın esas itibariyle aynı şekilde olan sonuçlar elde edilmektedir[2].

Basınç yayılışının dikkate alınması gereken haller için aşağıdaki sonuçlar söylenebilir[2].

- S oturması taban basıncı aynı olduğu halde yapının yük alanı ile artmaktadır.
- S oturması P_0 taban basıncı ile orantılıdır(Şekil:30).



Şekil:30 Basınç-oturma eğrisi.

2. SÜREKLİ YÜZEYSEL TEMELLERİN HESAP METODLARI

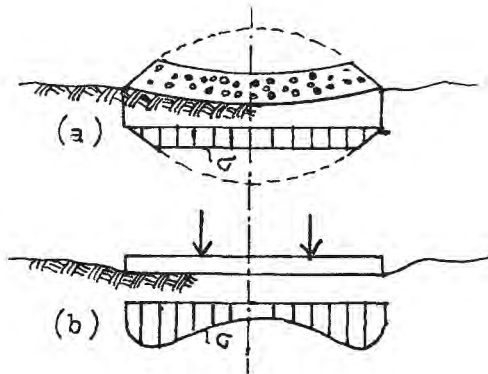
Yüzeysel temellerin hesabında, taban basıncı dağılışıının öneminden daha önce bahsedilmiş idi(Bölüm,1.1).

2.1. BASİT METODLAR

Taban basıncı dağılışıının, yapı, temel, temel zemini müşterek sistemlerinin karakteristiklerini, şekillerini dikkate almadan ampirik olarak ve genellikle de üniform olarak alındığı hesap metodlarıdır[1].

Hesaplarda kolaylık olması nedeni ile genellikle bu metod tercih edilir ve taban basıncı dağılımı üniform olarak alınır. Ancak bu hesap metodu, sonuçların ve bilhassa eğilme momentinin daha büyük olduğu, yani emniyetli tarafta bulunduğ u gösterilebilirse kullanılmalıdır.

Taban basıncının üniform dağılması temelin münferit bir yükle merkezden yüklenmesi halinde ve basıncın yana yayılma özelliği nedeniyle, temel zemini üniform sıkıştığında dahi, oluşmamaktadır.

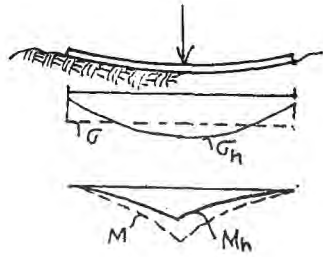


Şekil:31 Taban basıncı dağılışı[1].

Üniform taban basıncı, Şekil:31,a'da görüldüğü gibi kum yığını altında ve tekne biçiminde oturma olduğunda görülmektedir[1].

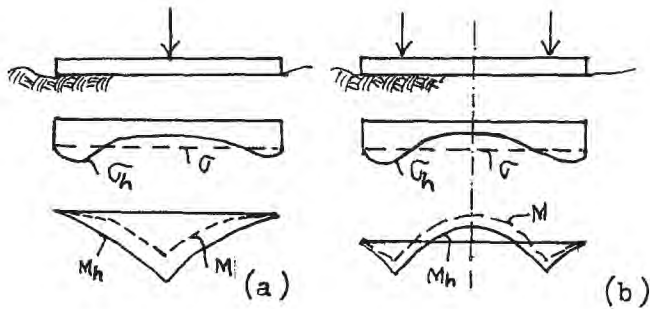
Rijit bir temel plağı altındaki dağılım daha çok kenar bölgelerde yoğunlaşan bir şekil oluşturur(Şekil:31,b).

Fleksibl temel plaklarında gerçek taban basıncından oluşan M_h momenti, taban basıncının üniform olarak alınması halindeki moment değerinden daha küçük olmaktadır ki, bu durum çözümün ekonomik olmadığını göstermektedir(Şekil:32).



Şekil:32 Fleksibl temel[1].

Rijit temellerde iki hal vardır. Üstten etkiyen yükler plak ortasına toplanmışsa gerçek moment değeri, taban basıncının üniform alınmış olması halinden daha büyük olacağı için çözüm emniyetsiz(Şekil:33, a). ve dış yükler kenarlara toplanmışsa, gerçek moment değeri taban basıncının üniform alınması halinden daha küçük değerde, olacağı için ekonomik olmayan, çözüm olmuş olacaktır(Şekil:33,b).



Şekil:33 Rijit temeller[1].

Temel Taban basıncı dağılımının üniform olarak alındığı yaklaşık basit metodlar hem ekonomik değildir, hem de emniyetsiz olabilmektedir.

2.2. GERÇEK ÇÖZÜME YAKIN DİĞER HESAP METODLARI

Taban basıncı dağılışının yapı, temel rijiditesi ve elastik temel zemini arasındaki statik ilişkiden hesapla bulunduğu metodlardır[3].

Bu metodlar arasında, tabandaki bir noktanın orturmasının, bu noktadaki, diğer noktalar üzerinde bulunan yüklerin hiç etkisi olmadan, sadece hesaplanan noktadaki yükün tesiri ile olduğunu kabul eden 1. dereceden teori metodu vardır. Bir diğer metod ise, yarım mekandaki gerilme süperpozisyonu nedeni ile bir noktanın oturmasında, yanlarda, diğer komşu noktadaki yüklerin de tesiri olduğunu kabul eden 2. dereceden teorileri kapsayan metod'dur.

2.2.1. BİRİNCİ DERECEDE TEORİYE AİT HESAP METODLARI (YATAK KATSAYISI METODU)

Elastik bir temel zemini üzerindeki kirişin, tabanında herhangi bir noktadaki $q_{(x)}$ gerilmesi ile $S_{(x)}$ oturması arasında sabit bir oran olduğu kabul edilir ki bu da yatak katsayısı olarak tanımlanır[9].

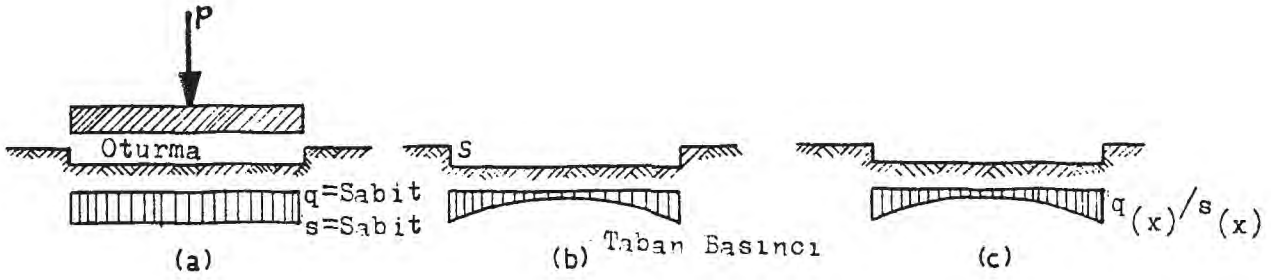
$$c = \frac{q_{(x)}}{S_{(x)}} \quad t/m^3 \quad \dots\dots\dots(21)$$

$q_{(x)}$: Herhangi bir noktadaki taban basıncı(t/m^2)

$S_{(x)}$: Aynı noktanın oturma miktarı(m).

c : Yatak katsayısı(t/m^3)

Yatak katsayısı teorileri, temel zemininin Hook kanununa uyduğu ve merkezi yüklü rijit bir plağın her noktasında yatak katsayısının aynı olduğu kabulü üzerine kurulmuştur[10]. Bura rağmen zemin özellikleri aynı olsa bile C yatak katsayısı değişik noktalarda farklıdır. Çünkü rijit bir plak altındaki gerilmeler kenarlarda, ortaya göre daha büyüktür. Oturmalar plağın her noktasında eşit dahi olsa gerilme dağılımı eşit olmayacaktır(şekil:34,a,b)



Şekil:34 Yatak katsayısı ve değişimi[9].

Boussinesq'e göre killi bir zeminde, rijit bir temelde taban basıncı dağılımı üniform değildir(Şekil:34,b). Bu nedenle taban basıncı dağılımı ile oturmalar arasında sabit bir oran olamaz(Şekil:34,c). Rijit bir temelde farklı taban basıncı ile oturmalar üniform olabilmektedir.

Yatak katsayısının sabit olması gerektiğini ifade eden görüşler de vardır. Bu araştırmacılara göre yatak katsayısı, zeminin sıkışma rijitliği, temel genişliği ve derinliğine bağlı olarak ifade edilmelidir[10].

Kögler, Jacky, Terzaghi, Schleicher'in killi zeminler için ve kumlu zeminler için kendi yöntemleriyle buldukları yatak katsayılarının değerleri birbirinden çok farklı değildir. Sonuçlar birbirine yakındır. Sonuçlardaki fark, hesaba, yatak katsayısının, elastik boy olarak tarif edilen denklemde dördüncü dereceden kök haliyle dahil edileceği için statik değerleri önemli ölçüde etkilemeyecektir[9].

Elastik zemine oturan yüzeysel temellerin hesabında, bu metodun kullanılması halinde, yatak katsayısının doğru tesbit edilmesinin önemi büyüktür[10].

Birinci dereceden teorinin, pratikte uygulanabilir olması, tartışma götürür bir haldedir[3].

Özellikle yatak katsayısı olarak ifade edilen değer, pratikte her tip temel zemini, temel ve yük halinde tesbiti mümkün değildir. Hesapta kullanılmak istenildiğinde gerçek çözümler vermeyebilir. Şöyle ki, komşu noktadaki oturmaların gözönüne alınması söz konusu olmadığı için oturmalar ve sonuç gerçeğe yakın hesaplanamamaktadır.

Yatak katsayısının zeminin karakteristiklerini yeterince ifade edemediği, ancak özel hallerde uygulanabilir olduğu belirlenmiştir. Mesela ince bir tabakaya oturan uzun bir vinç rayının hesabında doğru sonuçlar alınabilir[3].

2.2.2. İKİNCİ DERECEDEKİ TEORİYE AİT HESAP METODLARI (ELASTİSİTE TEORİSİ)

Komşu noktadaki yüklerin, o noktadaki oturmaya etkisi olduğu kabul edilen, basınç süperpozisyonunun hesaba katıldığı metodlardır.

Yatak Katsayısı Metodu, temel kirişinin birbirinden bağımsız hareket edebilen parçalardan meydana gelmiş olmasını kabul ediyor ve taban basıncı ile oturmaları bu parçaların etkisinin ihmal ediyor idi.

Winkler[3] tarafından geliştirilen eğilme eğrisinin diferansiyel denklemi

$$\frac{d^4 S}{dx^4} = - \frac{b}{E \cdot I} (\sigma_x - q_x) \quad \dots \dots \dots (22)$$

ile türetilen $S(x) = \frac{\sigma_x}{C}$ ifadesi yerine Wieghardt[11] tarafından

$$S_x = c \cdot \int p(\xi) \cdot K(|x - \xi|) d\xi \quad \dots \dots \dots (23)$$

türetilmiştir. Wieghardt'a göre herhangi bir x uzaklığındaki oturma o noktadaki basıncın bir fonksiyonu değildir, tüm taban basıncı buna etki eder[11].

(23) İntegralinde $K(|x - \xi|) = K(r)$, etki fonksiyonu olarak adlandırılır. En büyük değerine $x = \xi$ 'da ulaşır. Elastisite teorisine göre çekirdek fonksiyonunun integrali çok zordur. Kolaylık için Wieghardt, K için $K(r) = e^{-k \cdot r}$ kabulünü yapmıştır.

Wieghardt'ın oturmaları veren integralinde öz fonksiyonlar ile çözüme gidilir.

Bu çözüm Ohde[11] tarafından geliştirilmiş ve pratikte daha kolay uygulanabilen çözümler getirilmiştir.

Normal zemin koşullarında EJ rijiditesine sahip bir temelde (22)

diferansiyel denkleminin her yük için kapalı çözümünün yapılmasında büyük zorluklarla karşılaşmaktadır.

Ohde bu diferansiyel denklem yerine Clapeyron'un mütemadi kirişlere ait üç moment denklemini mesnet çökmeleri haline ait yazarak oturmaları hesap etmektedir.

Bütün açıklıklardaki oturmalar süperpoze edilirler.

Mütemadi kirişte mesnet çökmeleri varken Clapeyron denklemi,

$$-S_{i-1} + 2S_i - S_{i+1} = \frac{M_{i-1} + 4M_i + M_{i+1}}{6} \cdot \frac{a^2}{EJ} \dots\dots\dots(24)$$

olur. Kirişin genişliği B, uzunluğu A, her bir parçası a ile ifade edilir (a.n = A)

10 eşit parçaya ayrılmış kirişte, (24) denklemi

$$\begin{aligned} -S_1 + 2S_2 - S_3 &= \frac{M_R + 4M_2 + M_3}{6} \cdot \frac{a^2}{EJ} \\ -S_2 + 2S_3 - S_4 &= \frac{M_2 + 4M_3 + M_4}{6} \cdot \frac{a^2}{EJ} \\ &\vdots \\ -S_8 + 2S_9 - S_{10} &= \frac{M_8 + 4M_9 + M_{10}}{6} \cdot \frac{a^2}{EJ} \dots\dots\dots(25) \end{aligned}$$

şeklinde yazılır.

Ayrıca elastisite teorisinin(23) denklemi yerine Ohde tarafından

$$S_x = \sum_{i=1,2,3}^{i=n} C_{x-i} \cdot q_i \dots\dots\dots(26)$$

denklemini oturmaların hesabı için yeniden hazırlanmıştır. Böylelikle her bir parça için bulunan oturmalar süperpoze edilmiş olur.

(26) denklemi ise yazıldığında,

$$\begin{aligned} S_1 &= C_0 \cdot q_1 + C_1 \cdot q_2 + C_2 \cdot q_3 + \dots\dots + C_8 \cdot q_9 + C_9 \cdot q_{10} \\ S_2 &= C_1 \cdot q_1 + C_0 \cdot q_2 + C_1 \cdot q_3 + \dots\dots + C_7 \cdot q_9 + C_8 \cdot q_{10} \\ S_3 &= C_2 \cdot q_1 + C_1 \cdot q_2 + C_0 \cdot q_3 + \dots\dots + C_6 \cdot q_9 + C_7 \cdot q_{10} \\ &\vdots \\ S_{10} &= C_9 \cdot q_1 + C_8 \cdot q_2 + C_7 \cdot q_3 + \dots\dots + C_1 \cdot q_9 + C_0 \cdot q_{10} \dots\dots(27) \end{aligned}$$

elde edilir.

Momentler, dış yükler ve taban basınçları arasındaki ilişkiden

$$M_2 = M_R + (q_1 - P_1) \cdot a^2 \cdot B$$

$$M_3 = M_R + (q_1 - P_1) \cdot 2a^2 \cdot B + (q_2 - P_2) \cdot a^2 \cdot B$$

$$M_4 = M_R + (q_1 - P_1) \cdot 3a^2 \cdot B + (q_2 - P_2) \cdot 2a^2 \cdot B + (q_3 - P_3) \cdot a^2 \cdot B \dots (28)$$

ile momentler hesaplanılabılır[3].

Ohde, birim yük altındaki oturmaları hesaplariken Schleicher[3] ve Boussinesq[3]'in elastisite teorisine göre geliştirilmiş formüllerinden yararlanmıştır. Ancak zemin elastisite modülü, tabakalarda değişiyor ise birim yük altındaki oturmalar Ohde metodu ile bulunamaz.

Ohde metoduna göre oturmaların hesabı için, katsayıların hesabı, denklem sistemlerinin kurulması ve çözülmesi, her yük durumu için ayrı kesit kuvvetlerinin bulunması, hesabı zorlaştırmakta ve fazla zaman gerektirmektedir.

2.2.2.1. BİR BAŞKA METOD (KANY METODU)

Kany[3] metodu ile Ohde metodu arasında büyük farklar yoktur. Denklem sisteminin katsayılarının bulunmasında oturma kalıbı yine esas teşkil etmektedir. Sürekli temel kirişleri ve temel plaklarının hesabı için uzun zaman ve hesap zorluğu olmadan çözüm getirilmekte ve bu bölüm sonunda verilen tablolar yardımı ile oturma kalıbı ordinatları hesaplanmaktadır.

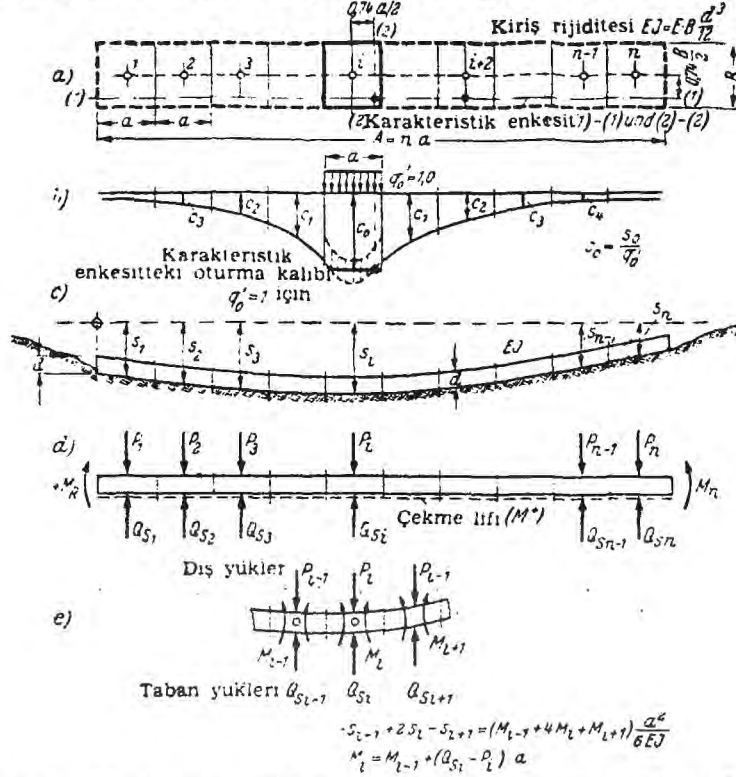
Bu metod yatay tabakalaşmış ve elastisite modülü yatay doğrultuda değişmeyen zeminlerde uygulanabilir. Temel kirişi burulmasız çalışıyor olarak kabul edilmiş ve temel tabanındaki zeminin yanlara kayması ihmal edilmiştir.

Metodun uygulanabilmesi için temel kirişinin sabit bir rijiditesi olması ve temel plağının dikdörtgen şeklinde olması gerekmektedir.

Çözüme gidilmesinde ampirik formüller ve diyagramlardan yararlanılmıştır. Oturma kalıbı diyagramlar kullanılarak bulunacaktır.

Burada da diyagramların nasıl hazırlandığına girilmeden çözüm yöntemi anlatılmakla yetinilecektir.

Şekil:35'de ordinatları C_i olan oturma kalıbı, deformasyona uğramış bir kirişin oturmaları ve kirişe gelen yükler görülmektedir.



Şekil:35 Kirişe gelen yükler ve oturma kalıbı[3].

- (a) Kirişin üstten görünüşü
 (b) $q_0 = 1$ birim yükü için oturma kalıbı
 (c) Oturmuş kiriş
 (d) Kirişe gelen yükler

10 eşit parçaya bölünmüş ($a=A/10$) temel kirişinde, yatay tabakalaşmış bir zeminde oturma kalıbı ampirik olarak

$$C_i = \frac{C_0}{(1+k_1 \cdot i^{1,5})} \dots \dots \dots (29)$$

olarak ifade edilir.

C_i = Oturma kalıbının ordinatlarını vermektedir. Ordinatlara yay katsayısının ters boyutuna sahiptirler (cm^3/kg).

C_0 = Yüklene sathın ortasındaki oturma olup en büyük oturma değeri

rini ifade eder.

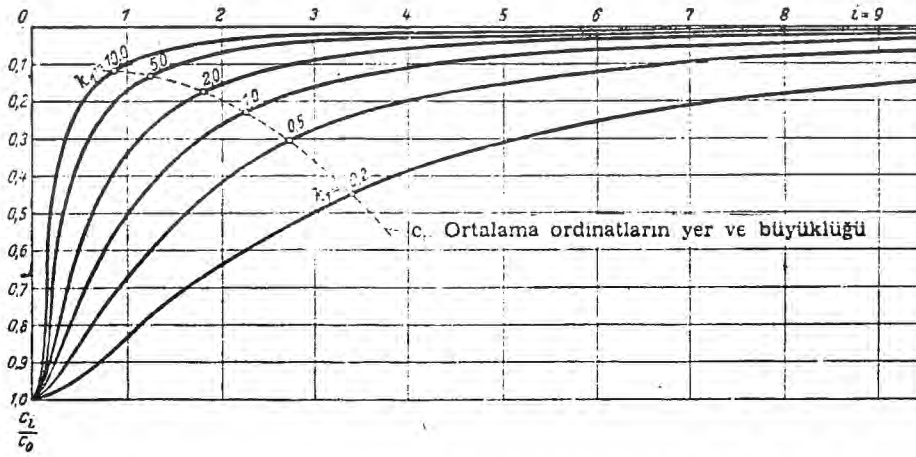
$$C_o = \frac{S_o}{a_o'} \dots\dots\dots(30)$$

$$C_i = \frac{S_i}{a_o'} \text{ cm}^3/\text{kg}.$$

$a_o' = a_o - \gamma_e \cdot t$ (Zemin gerilmesi)dir.

k_1 = Şekil katsayısıdır. Oturma kalıbındaki en büyük ordinat C_o ve yüklenen sathın yanındaki ikinci ordinat C_2 'nin yardımıyla hesaplanılır.

C_2, C_o 'dan C_9 'a kadar olan ordinatların yaklaşık olarak ortalamasıdır(Şekil:36).



Şekil: 36 Oturma kalıbının şeklinin k_1 şekil katsayısıyla değişmesi [3].

Şekil:36'da $C_o = 1.00$ ve k_1 'in çeşitli değerleri için oturma kalıpları ile C_m değerleri verilmiştir. Bu diyagramda görüldüğü gibi k_1 büyüdükçe oturma kalıbında yüklenen sathın dışındaki C_i değerleri küçülmektedir. $k_1 = \infty$ hali yatak katsayısı metoduna karşılık gelir.

Problemin çözümü, diyagramların kullanılabilmesi, k_1 değerinin bulunmasına bağlıdır.

$$C_i = \frac{C_o}{(1+k_1 \cdot i^{1,5})} \text{ denkleminde}$$

$i = 2$ için

$$C_2 = \frac{C_o}{(1+k_1 \cdot 2^{1,5})}$$

$$k_1 = \left(\frac{C_o}{C_2} - 1\right) 0,3536 = \left(\frac{S_o}{S_2} - 1\right) 0,3536 \dots \dots \dots (31)$$

bulunur.

k_1 'in bulunmasından sonra gerek (29)formülü, gerekse de (7) nolu diyagram kullanılarak, diğer ordinatlar hesaplanarak oturma kalıbı belirlenir.

k_1 'in hesaplanmasında C_o çok etkindir.

Oturma kalıbının şekline de C_o ile k_1 şekil katsayısı tesir etmektedir. Oturma kalıbının ordinatları yüklenmeyen komşu satırlarda çok ani azalabilir. $k_1 = \infty$ 'da bu azalma daha net belirlidir.

k_1 değerinin büyümesi ile oturma kalıbında yüklenmeyen komşu satırlardaki ordinatlar küçülmektedir ama temel ortasındaki q_7 taban basıncı büyümekte ve kenarlarda küçülmektedir. Bu nedenle k_1 değerinin hesabındaki doğruluk, taban basıncı dağılımında çok önemlidir.

Eğilebilen bir yapı ile rijit bir yapının oturmalarının kesim noktaları birleştirilirse bir eğri elde edilir. Bu eğri eğilebilen temeller için kullanılacak tablolarda dikkate alınacak noktayı belirler. Bu nokta karakteristik noktadır. k_1 'in 2 ile 10 arasındaki değişimi için Grasshoff-a[3] göre bu değer yarım mekan için $0,74 \frac{A}{Z}$ olarak hesaplanmıştır(Diyagram:8).

Diyagramların kullanılmasında doğru sonuç alınması η (sistem rijiditesi) ve k_1 başlangıç değerlerine bağlıdır.

$$\eta = \frac{C_o}{\alpha} \dots \dots \dots (32)$$

Burada α yapı rijiditesi olup,

$$\alpha = \frac{a^4 \cdot B}{EJ} \dots \dots \dots (33)$$

denklemleri ile ifade edilir.

Burada da görüldüğü gibi kirişin A veya B boyutunun değişmesi α yi ve de η 'yü çok fazla etkilemektedir. Kirişin boyunun iki misli olması $a=2a$ ile yapı rijitidesini 16 misli arttırmakta, dolayısı ile sistem rijiditesini 16 misli azalmasına sebep olmaktadır. B'nin artma katkısı ise lineer'dir.

Karakteristik noktaya ait gerilme ve oturma diyagramları (1),(2) ve (4) nolu diyagramlarda verilmiştir.

Zemindeki oturma kalıbının ordinatları belirlenmesi C_0 ve k_1 hesabı ile diyagram:7'den yararlanılarak yapılmaktadır.

Oturma hesaplarında eğilebilen bir temeldeki oturmaların yani S_0 , S_2 'nin hesabı için Ekteki (1) ve (2) diyagramları kullanılacaktır.

$$S_0 = \frac{\sigma_{z0} \cdot h}{S} \text{ cm.} \dots \dots \dots (34)$$

$S_0 = a \cdot B$ alanına sahip temel parçasını q_0' yükü ile oturmasını göstermektedir.

$S_2 =$ Yüklenmeyen ikinci komşu temel parçasının $i=0$ yüklenen parçasının yüklenmesinden dolayı oturmasını gösterir.

$h =$ Tabaka kalınlığıdır.

$S =$ Elastisite modülüdür. Teorik olarak 15-20 m.'den sonra değerinin ∞ olduğuna itibar edilir.

$\sigma_{z0} =$ Zemindeki gerilme olup 1 ve 2 diyagramları yardımıyla elde edilir.

(Bu metod zeminde 1'den fazla elastisite modülüne sahip tabaka bulunması halinde kullanışlıdır)

z derinliğe kadar sabit bir S elastisite modülü (Rijidite katsayısı) söz konusu olduğunda S_0 'ın hesabı ekteki(4) diyagramına göre yapılmalıdır.

$i=2$ ikinci komşu S_2 'nin oturma değeri için σ_{z2} gerilmesi (q_0' , $i=0$ noktasından dolayı) hesabı ekteki (3) ve (5) nolu diyagramlar ile olacaktır.

S_0 ve S_2 değerlerinin q'_0 'ye bölünmesi ile C_0 ve C_2 ordinatları bulunur.

$$\frac{S_0}{q'_0} = C_0, \quad \frac{S_2}{q'_0} = C_2 \quad \dots\dots\dots(35)$$

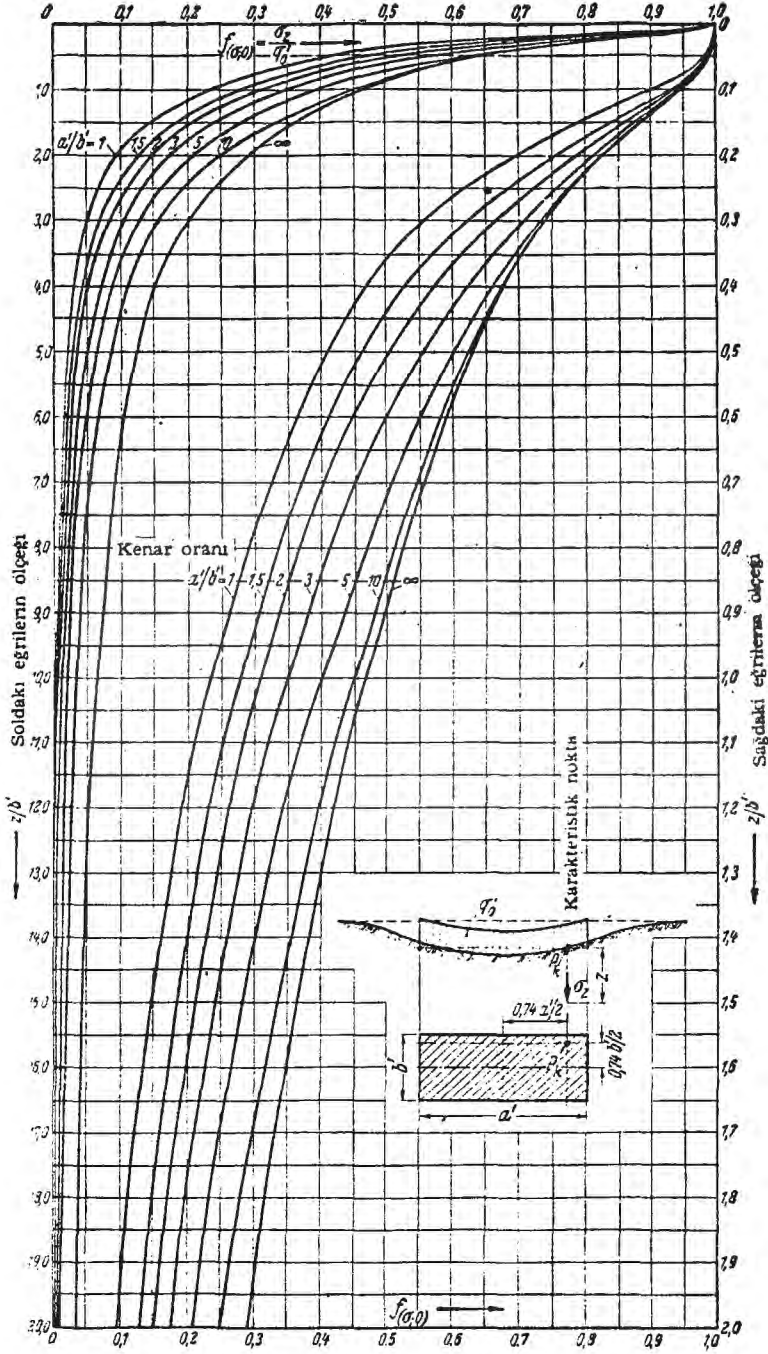
Daha sonra k_1 bulunarak oturma kalıbı çıkarılır. Veya k_1 Diyagram:6'dan S_2 ve C_2 olmadan direkt bulunabilir (Tek elastisite modüllü zeminlerde). Farklı karakterdeki birden çok elastisite modülü zeminlerde C_0 ve C_2 bulunup k_1 hesaplanmalıdır.

(2) ve (4) nolu diyagramlarda a' daima büyük, b' küçük kenarlardır.

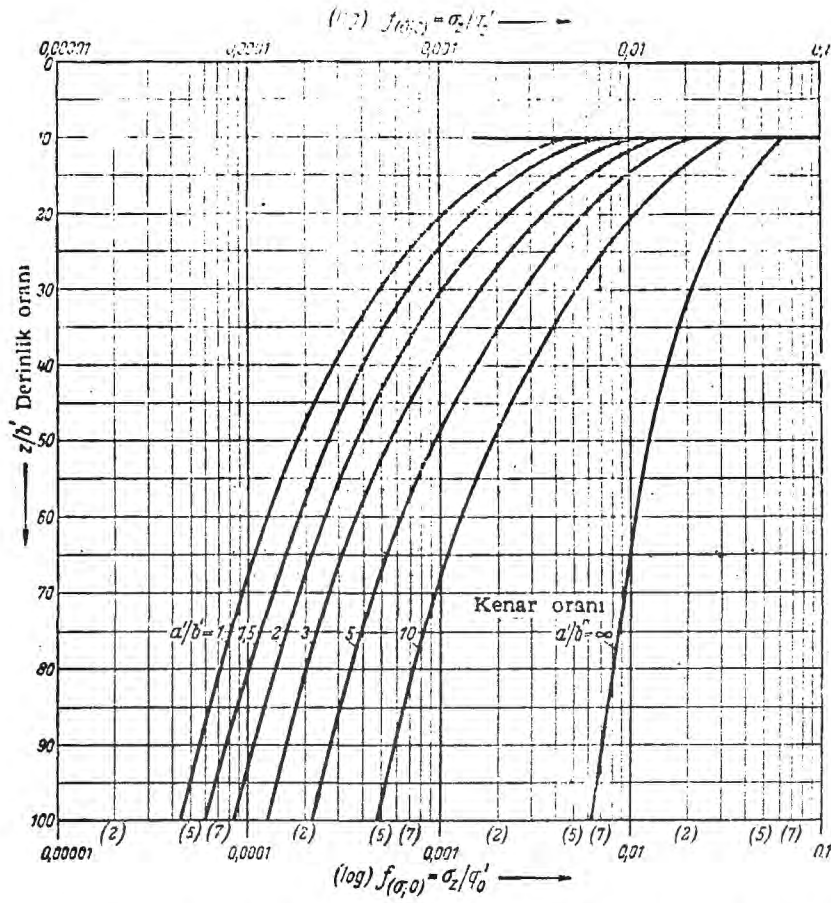
(3),(5),(6) nolu diyagramlarda kesit düzlemine dik B kenarı, daima a' , ve $a = \frac{A}{10}$ kenarı da b' ile gösterilmelidir.

Genel olarak (4) ve (5) diyagramlar C_0 ve C_2 tayininde tahmini hesap için sabit S alınması halinde tercih edilmelidir.

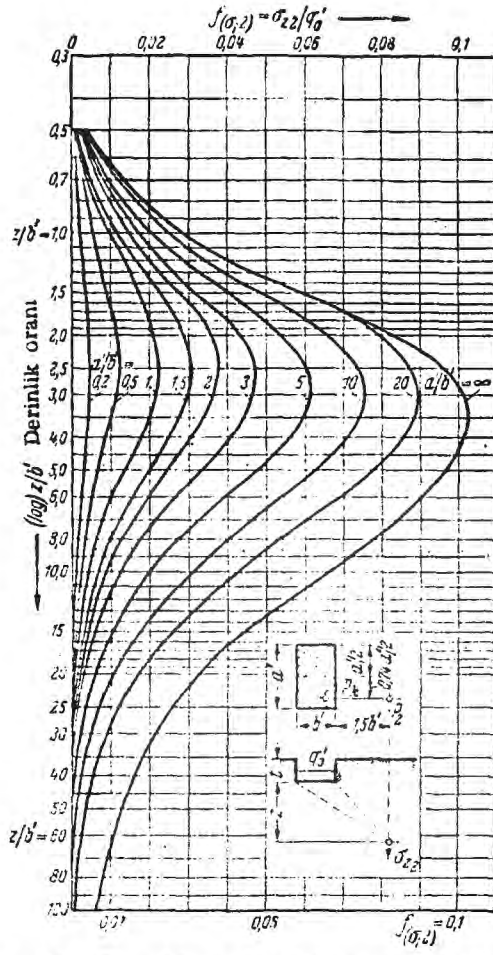
2.2.2.2. TABLOLAR



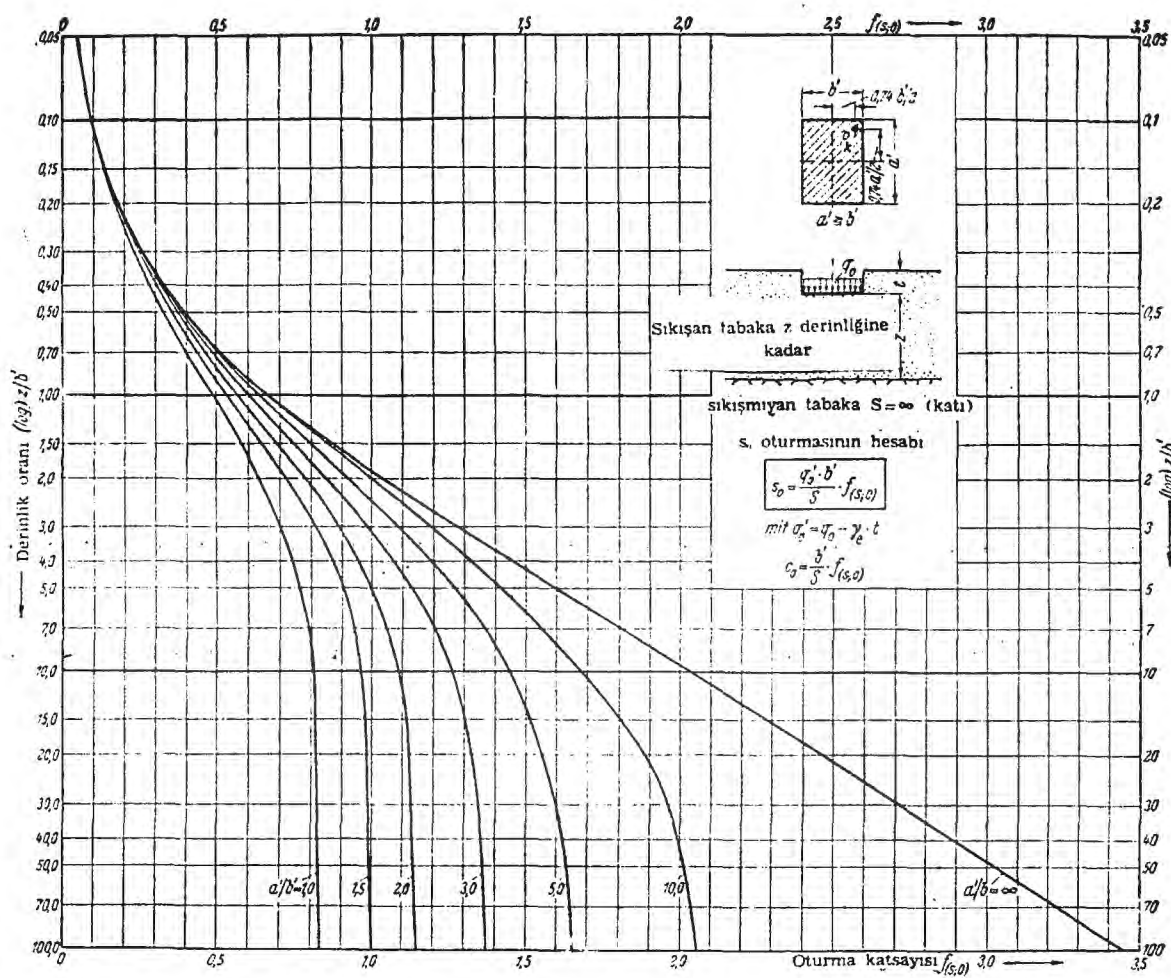
Diyagram 1 : P_k , $0,75 a'/2$ deki karakteristik nokta altındaki gerilmelerin hesabı ($z/b' = 0$ dan $z/b' = 20$ ye kadar) (3).



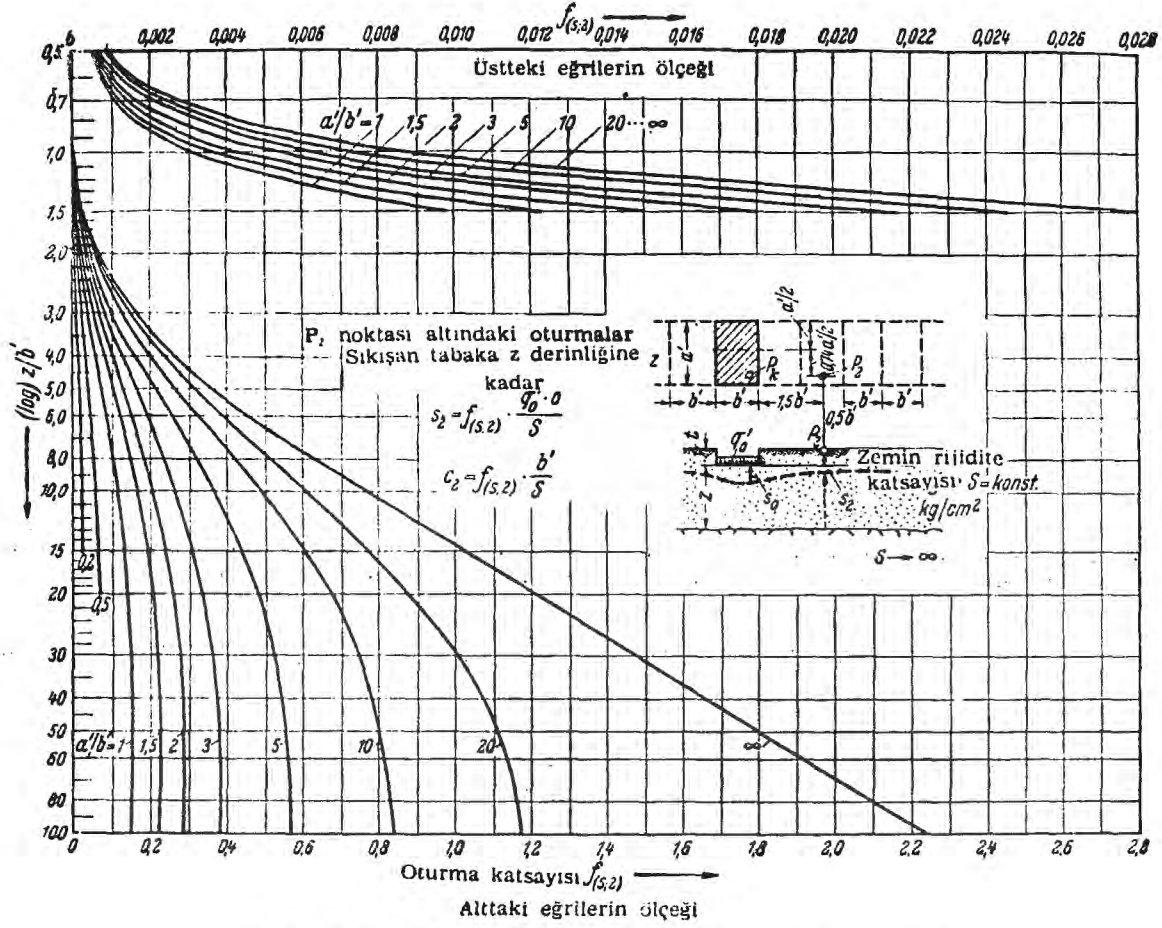
Diyagram 2 : P_k , $0,74 a'/2$ deki karakteristik nokta altındaki gerilmelerin hesabı ($z/b'=10$ dan $z/b'=100$ e kadar) [3].



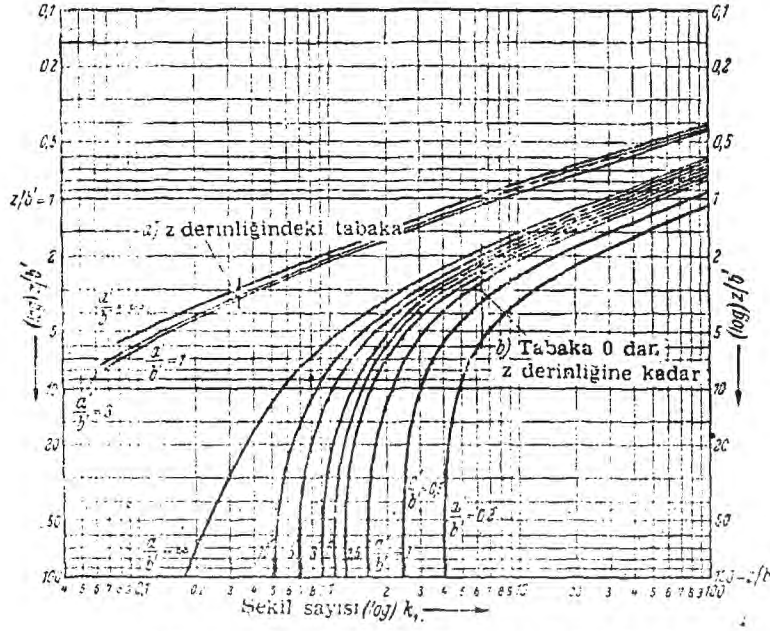
Diyagram 3: P_2 noktası altındaki gerilmelerin hesabı(3).



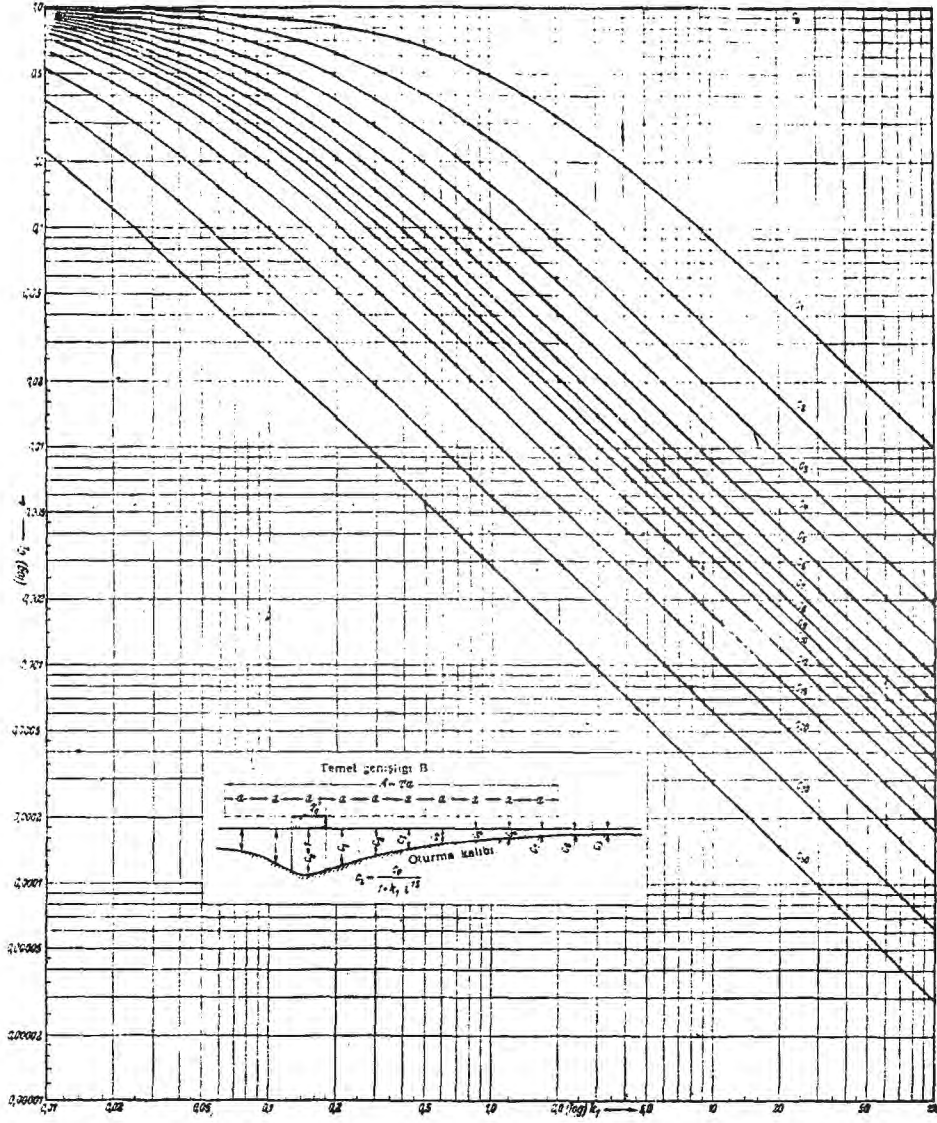
Diyagram 4: P_k , $0,74 a'/2$ deki karakteristik nokta altındaki oturmaların hesabı (3).



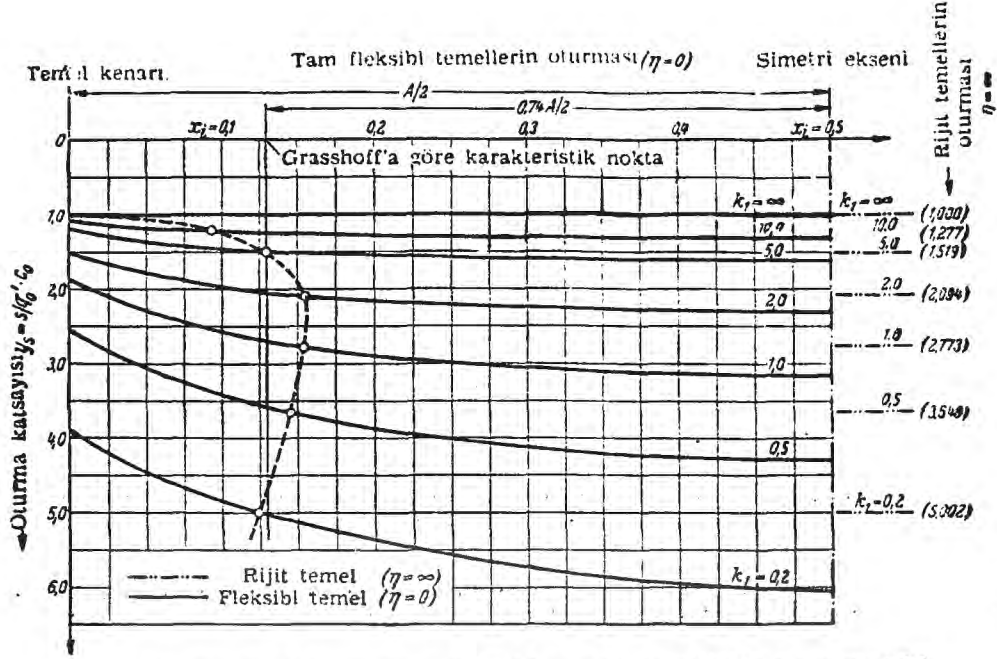
Diyagram 5: P_2 Noktası altındaki oturmaların hesabı(3).



Diyafram 6 : k_1 şekil katsayısının hesabı3].



Diyagram 7: Çeşitli k_1 şekil katsayıları için oturma kalıbının c_1 ordinatlarının hesabı [3].



Diyagram 8: Tamamen fleksibl ve rijit temellerin s oturması [3].

$$s = q_0 \cdot c_0 \cdot y_s = s_0 \cdot y_s \quad [\text{cm}]$$

Kohezyonsuz Zeminler	Yanlara kaçması önlenmiş zeminlere ait Zemin rijidite kat sayısı
	$\frac{S}{\text{kg/cm}^2}$
Kum gevşek, yuvarlak	400 - 800
Kum gevşek, köşeli	500 - 1000
Kum orta sıklıkta, yuvarlak	800 - 1600
Kum orta sıklıkta, köşeli	1000 - 2000
Çakıl (Kumsuz)	1000 - 2000
Taş sert köşeli	1500 - 3000

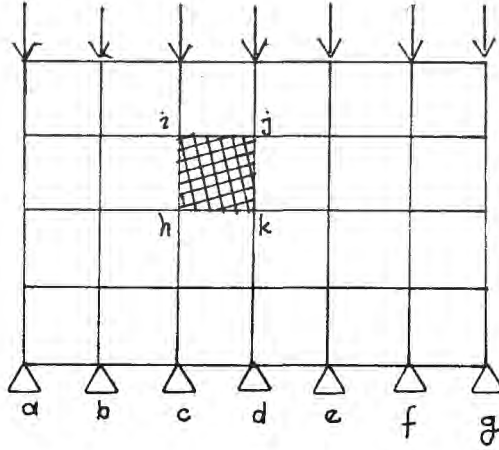
Kohezyonlu Zeminler	Yanlara kaçması önlenmiş zeminlere ait Zemin rijidite kat sayısı
	$\frac{S}{\text{kg/cm}^2}$
Kil sert	80 - 500
Kil yarı sert	60 - 200
Kil zor yoğurulan, katı	30 - 60
Kil kolay yoğurulan, yumuşak	15 - 30
Kil akar halde	10
Lem (Geschiebmergel) sert	60 - 500
Lem yumuşak, löslemi	40 - 80
Silt	30 - 80
Organik katkılı aliviyon	20 - 50
Organik katkılı aliviyon	5 - 30
Turba	4 - 10
Turba 4-6 m. zemin altında	8 - 20

Tablo:4 Zemin rijidite Katsayıları[3]

3. SÜREKLİ YÜZEYSEL TEMELLERİN SONLU ELEMANLAR METODU İLE HESABI

3.1. SONLU ELEMANLAR METODU

Bu metod çubuk sistemlerin ve levha, plak, kabuk gibi sürekli ortam problemlerinin iç ve dış yükler altında çözümlerinde kullanılır. Sistemin geometrisi, sonlu sayıda elemana ayrılarak idealize edilir. Bu sonlu sayıdaki eleman, düğüm noktalarında birleşerek sistemin tümünü oluştururlar(Şekil:37). Yapılan kabuller fiziksel karakterde olup idealize edilen sistem gerçek ortam olarak kullanılabilir.



Şekil:37 (i,j,h,k elemanı)

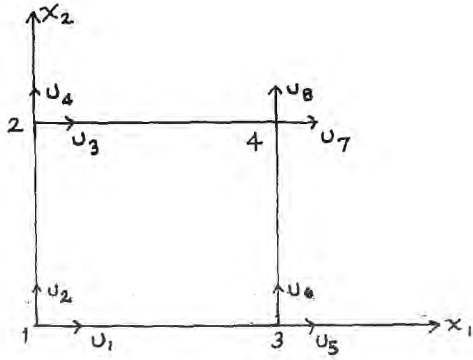
Elemanlara ait uygunluk ve denge şartlarından yararlanılarak düğüm noktalarındaki deplasman ve kuvvetler bulunur[13].

Bu metod çubuk sistemlerde kesin sonuç vermektedir, ancak plak, kabuk, levha gibi sürekli ortamlarda çözüm yaklaşıktır. Çözümün hassasiyeti eleman sayısı ile yakinen ilgilidir. Eleman sayısı arttıkça, düğüm noktaları birbirilerine yaklaştıkça, hesaptaki hassasiyet artar. Çözümler ancak sonsuz sayıdaki eleman ile kesin değerler almaktadır. Bu da pratikte mümkün değildir. Bu yaklaşıklıkların hata sınırları içinde

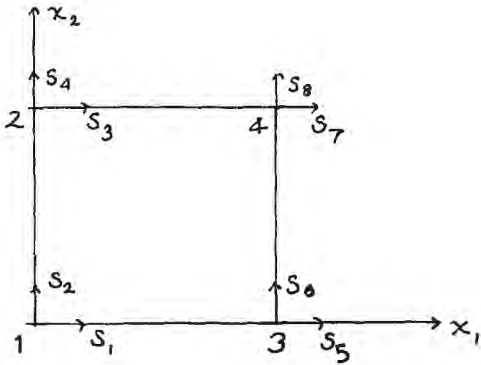
kalması, çok kısa sürelerde kolayca çözüme varılması, geometrinin kolay tarif edilebilmesi, metodun yaygın kullanılmasına neden olmuştur[12].

Levhalar genel olarak üçgen ya da dikdörtgen elemanlara ayrılırlar. Bu çalışmada, dörtgen levha elemanı ele alınmıştır.

Şekil:38'de levha üzerindeki herhangi bir dikdörtgen elemanın eksen takımı, düğüm noktaları, deplasmanları ve Şekil:39'da da düğüm noktalarında oluşan iç kuvvetler gösterilmektedir[14].



Şekil:38



Şekil:39

Elemanın düğüm noktalarındaki deplasmanların sayısına elemanın serbestlik derecesi denilir.

Sonlu elemanlar metodunda bilinmeyenler, düğüm noktalarındaki deplasmanlar veya eleman kuvvetleri seçilerek çözüme gidilir. Bu çalışmada, deplasmanlar bilinmeyen olarak seçilecek ve "Sonlu Elemanlar Deplasman Metodu,, kullanılacaktır.

Bu metoda ait temel prensipler aşağıda belirlenmiştir.

3.1.1. TOPLAM POTANSİYEL ENERJİ VE MİNİMUM OLMA PRENSİBİ

Sonlu elemanlar metodunda toplam potansiyel enerjiden yararlanılarak çözüme gidilir. Ritz metodunda [12] sistemin geometrik şartlarını sağlayan ve bütün sistem için geçerli olan deplasman fonksiyonu seçilmekte ve buna ait toplam potansiyel enerji minimum yapılarak bilinmeyenler bulunmakta idi. Bu kez toplam potansiyel enerji sonlu sayıdaki tüm elemanlar için ayrı ayrı yazılarak toplanır.

Elastik bir sistemde geometrik sınır şartlarını sağlayan bütün komşu denge konumları arasındaki gerçek denge konumu, toplam potansiyel enerjiyi minimum yapan denge konumudur. Bu ise gerçek denge konumuna ait toplam potansiyel enerjinin, diğer denge konumlarına ait potansiyel enerjilerden daima küçük olması halinde mümkündür[13].

3.1.2. DEPLASMAN FONKSİYONU, RİJİTLİK MATRİSLERİ, DENGE DENKLEMLERİ, ÇÖZÜM

Yukarıdaki belirlemeler ile hesap yapmak için önce elemanın düğüm noktalarında sınır şartlarını sağlayan deplasman fonksiyonu seçilir.

Sistemin sonlu sayıda elemana ayrılmasından dolayı çözüm iki aşamada olacaktır.

Önce elemanlar için seçilen deplasman fonksiyonu yardımıyla her elemanın toplam potansiyel enerjisi hesaplanarak elemanın deplasmanları ile bunların doğrultusundaki iç kuvvetleri bağlayan rijitlik matrisleri (Elemanın denge denklemi) bulunur.

İkinci aşamada, elemanların toplam potansiyel enerjileri toplanarak, sistemin toplam potansiyel enerjisi bulunur. Bu ise elemanların birleştiği düğüm noktalarında uygunluk ve denge şartlarının yazılmasıyla olur. (Düğüm noktalarında birleşen elemanların deplasmanları birbirine eşit olmalıdır). sistemin toplam potansiyelinin minimum olma şartından sistemin rijitlik matrisleri (Sistemin denge denklemi) elde edilir[12].

Sistemin sınır şartları da dikkate alınarak denge denkleminin çözümü ile düğüm noktalarının deplasmanları bulunur. Bu deplasmanlar ve elemanların rijitlik matrisleri yardımıyla elemanların iç kuvvetleri hesaplanır[12].

3.2. OTURMA KALIBININ ÇIKARILMASI VE TEMEL ZEMİNİ RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI

Temel zemini rijitlik matrisinin kurulması, Sonlu Elemanlar Deplasman Metodu esas alınarak hazırlanmış bir Bilgisayar Programı[13] ile yapılmıştır.

Bu bilgisayar programı, plak eğilme problemleri için hazırlanmıştır. Bu çalışma içerisinde kullanılan bu program, oturmaların elde edilmesi için düzlem şekil değiştirme levha problemine adapte edilmiştir.

Düzlem şekil değiştirme hali için değişikliğe uğratan bilgisayar programında, eleman rijitlik matrisi başlangıçta şöyle kurulmuştur;

$$[K] = t \iint [B]^T [D][B] dx dy \text{ 'dir.} \dots\dots\dots(36)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{-(1-\eta)}{a} & \frac{v(1-2\xi)}{2b} & \frac{-\eta}{a} & \frac{-v(1-2\xi)}{2b} & \frac{\eta}{a} & \frac{v(1-2\xi)}{2b} & \frac{1-\eta}{a} & \frac{-v(1-2\xi)}{2b} \\ \frac{v(1-2\eta)}{2a} & \frac{-(1-\xi)}{b} & \frac{-v(1-2\eta)}{2a} & \frac{1-\xi}{b} & \frac{v(1-2\eta)}{2a} & \frac{\xi}{b} & \frac{-v(1-2\eta)}{2a} & \frac{-\xi}{b} \\ \frac{-1}{2b} & \frac{-1}{2a} & \frac{1}{2b} & \frac{-1}{2a} & \frac{1}{2b} & \frac{1}{2a} & \frac{-1}{2b} & \frac{1}{2a} \end{bmatrix}$$

dir[15].

$$[D] = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & 0 \\ d_{21} & d_{22} & 0 \\ 0 & 0 & d_{33} \end{bmatrix} \text{ olarak literatürden alınmıştır[14].}$$

Burada, Düzlem gerilme hali için;

$$d_{11} = d_{22} = \frac{E}{1-\nu^2}$$

$$d_{21} = d_{12} = \frac{\nu E}{1-\nu^2}$$

$$d_{33} = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{eşitlikleri[14]} \quad \dots\dots\dots(37)$$

ve Düzlem şekil değiştirme hali için;

$$d_{11} = d_{22} = \frac{(1-\nu)E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$d_{21} = d_{12} = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$d_{33} = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad \text{eşitlikleri[14]} \quad \dots\dots\dots(38)$$

yerlerine konularak [D] matrisi oluşturulmuştur.

$[B]^T$, [D] ve [B] denklem (36)'da yerlerine konulup integraller alınarak [K], eleman rijitlik matrisi elde edilmiştir. Bu rijitlik matrisi programda kullanarak yapılan hesaplar, eğilme problemlerinin çözümünde doğru sonuçlar vermiştir (Mesala konsol çalışan bir kirişte).

Daha sonra, zemindeki oturma kalıbının çıkarılması için kullanılan $[K^e]$, eleman rijitlik matrisi aşağıdaki şekilde kurulmuştur.

Sonlu elemanlar metodu ile deplasmanlar hesaplanırken, deplasmanlar bilinmeyen olarak seçildiğinde deplasman değerleri küçük, kuvvetler bilinmeyen olarak seçildiğinde deplasman değerleri büyük elde edilmektedir. Gerçek deplasman değerlerinin hesaplanması için, sistemi sonsuz sayıda elemana bölmek gerekmektedir. Bu ise mümkün değildir. Bu nedenle deplasmanların hesabı için önce Yumuşatılmış Rijitlik Matrisi tercih edilmiş sonra deplasmanların istenilenden fazla hesaplandığı nedeniyle bundan vazgeçilip $[K^e]$ rijitlik matrisinin bilinen tipi kullanılmıştır.

$[K^e]$ şöyle hesaplanmıştır; Önce uygun bir koordinat sistemi ve elemanın sınır ve süreklilik şartlarını sağlayacak şekilde deplasman fonksiyonu seçilmiştir. Bu deplasman fonksiyonunda sınır şartları ve süreklilik şartları sağlanarak parametreler hesaplanmıştır. (Bu parametreler elemanların özellikleri cinsindedir.)

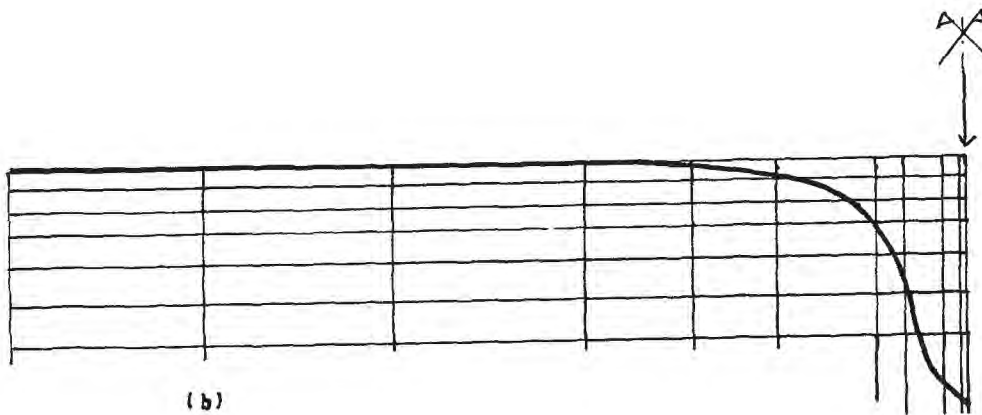
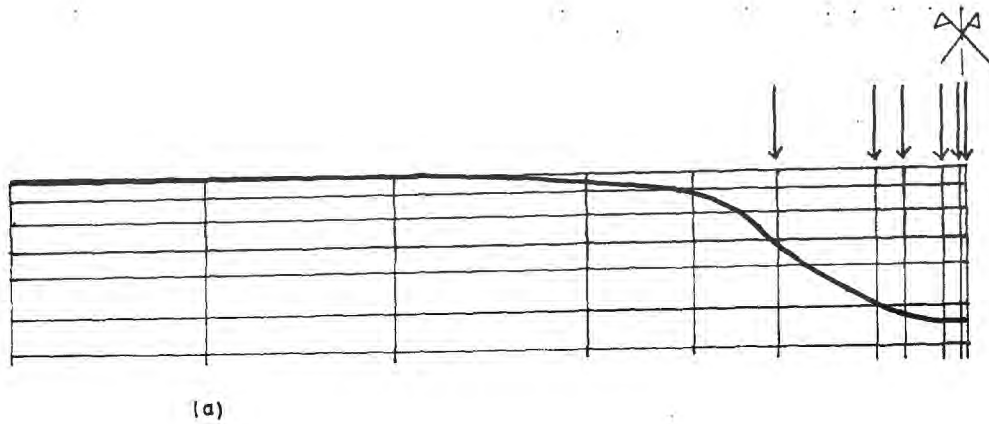
$$[\delta^e] = [A][\alpha] \quad \dots\dots\dots(38a)$$

$$[\alpha] = [A]^{-1}[\delta^e]$$

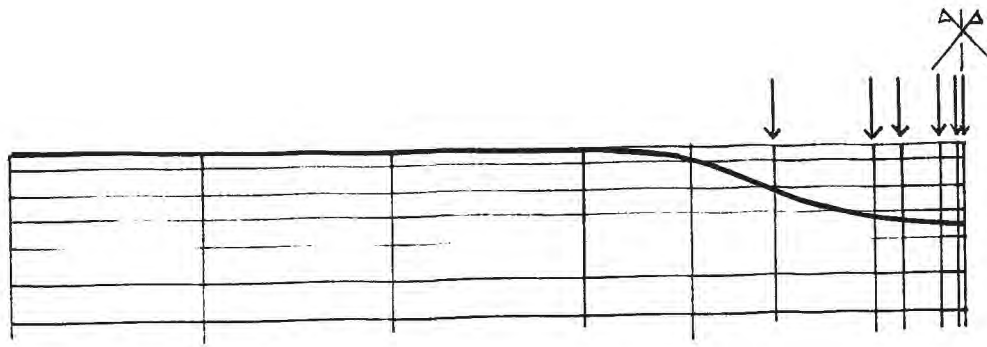
Deplasman fonksiyonun koordinat sistemlerine göre kısmi türevleri alınarak $\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$ değerleri bulunmuş ve $(\epsilon_{(x,y)})$ matrisi kurulmuştur.

Oturma kalıbının çıkarılması elastik, izotrop, yarım mekanda sabit elastisite modülüne sahip bir zeminde düşünülmüştür. Sonlu elemanlar metodundaki elemanlar ağının en uygun şeklinin ve birim yüklemenin en uygun şeklinin araştırılması için çeşitli zemin modelleri üzerinde oturma hesapları yapılmıştır. Oturma kalıbının istenilen ve diğer hesap metodları ile hesaplanana uyan değerlerde hesaplanması için zemin önce aralıklı sonlu elemanlar ağı ile kaplanmış, daha sonra, daha çok elemanlara bölünmüş, daha sonra da birim yük civarında ağ iyice sıklaştırılmıştır. Birim yük yönünde birim deplasman verilerek oturma değerleri araştırılmıştır. Zaman zaman bu çalışmalar ile bulunan oturma kalıpları diğer hesap yöntemleri ile de hesaplanmış ve oturma kalıpları kıyaslanmıştır.

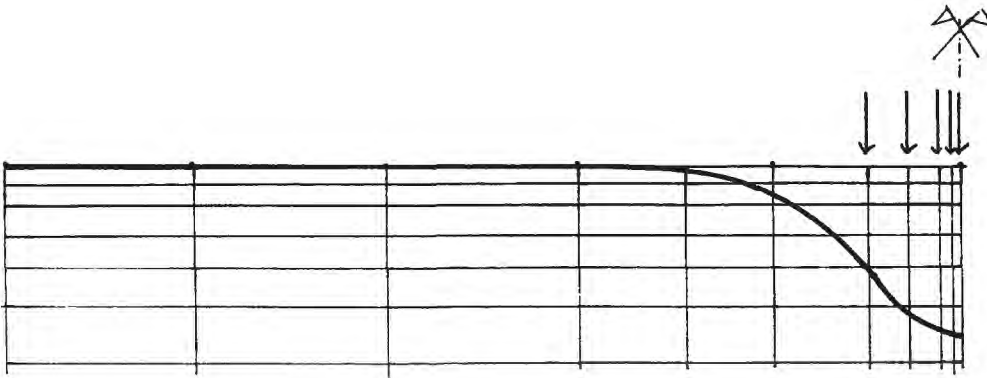
Zemin modelleri üzerinde hesaplanan oturma kalıpları ve bu çalışmaların sonuçları Şekil:40'ta görülmektedir.



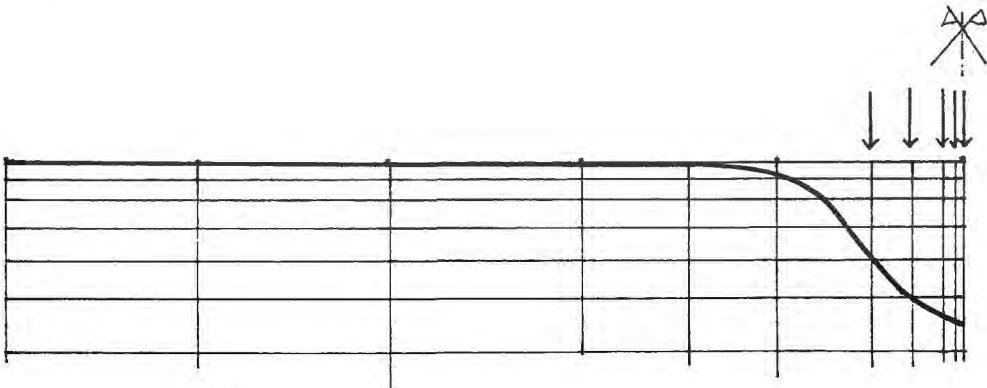
Şekil:40, a, b



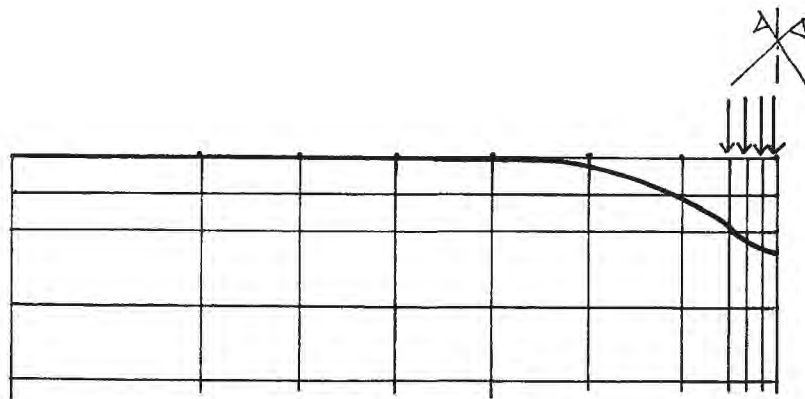
(c)



(d)

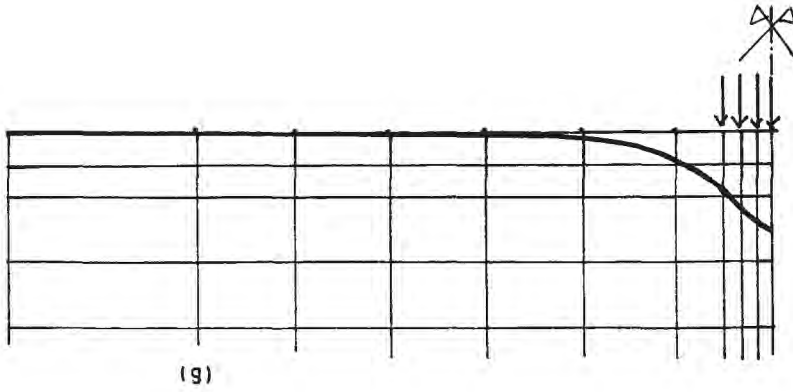


(e)



(f)

Şekil:40,c,d,e,f



Şekil:40, a, b, c, d, e, f, g Zemin Modelleri üzerinde hesaplanan oturma kalıpları (Sonlu elemanlar ağı ile oturma eğrisinin ölçekleri, oturma kalıbı daha kolay görülebilsin düşüncesi ile aynı tutulmamıştır. Ayrıca oturma kalıbının geometrik olarak aldığı form esas oluşturduğundan fiziki değerlerin belirtilmesine gerek duyulmamıştır).

- (a) Birim yükün yayılı olarak verilmesi.
- (b) Birim yükün tekil olarak tek bir noktadan verilmesi.
- (c) (a) halinde zemin rijitidesinin arttırılması.
- (d) Birim yükün birim açıklıkta yayılı olarak verilmesi.
- (e) (d) halinin Kany'nin yöntemi ile çözümü.
- (f) Örnek 1'deki zemin modeli (Birim yük yayılı olarak birim açıklıkta).
- (g) (f) halinin Kany'nin yöntemi ile çözümü.

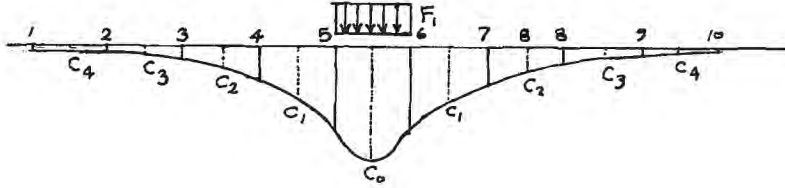
Sonuçta, oturma kalıbı daha hassas olarak aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

Oturma kalıbının çıkarılması için zemin modeli önce eşit aralıklarla elemanlara bölünmüştür (Mesela 10 eşit aralığa).

Oturma kalıbının daha hassas elde edilmesi için oturmanın fazla olduğu bölümde eleman Düğüm Noktaları sıklaştırılmıştır. Yükün altındaki zeminde oturma C_0 ise, yükün olmadığı diğer komşu bölümlerde oturmalar sırası ile $C_1, C_2, C_3 \dots C_{10}$ olur(Şekil:41).

Oturma kalıbının ordinatları $C_0, C_1, C_2 \dots$, bölüm sonunda sunulan bilgisayar programı ile elde edilir.

Böylelikle birim yük için elde edilen oturma kalıbı ile zemin rijitlik matrisi kurulabilir.



Şekil:41 Birim yük altında oturma kalıbı

$$[F] = [K] \cdot [U]$$

[K] = (Rijitlik Matrisi, U = Deplasmanlar Matrisi'dir)

[K]; (Her bir sütunu, o sütuna ait deplasmanı birim deplasman, diğerlerini sıfır alarak bulunacak kuvvetleri gösterir)

$$[F] = [K] \cdot [U] \text{ (Kuvvetler ve oturmalar arasındaki ilişki) } \dots (39)$$

$$[K]^{-1} [F] = [U]$$

[U] = [D] \cdot [F] ([D] = Esneklik matrisidir)

[D]; (Her bir sütunu, o sütuna ait kuvvetleri birim kuvvet, diğerlerini sıfır alarak bulunacak deplasmanları gösterir)

[D] = [K]⁻¹ elde edilir.

Esneklik matrisi, birim kuvvet etkisi ile zeminde oluşan oturma kalıbından yararlanarak aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{array}{c}
 \begin{matrix} F_1=1 & F_2=1 & F_3=1 & F_4=1 \end{matrix} \\
 \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ \vdots \\ U_{10} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_0 & C_1 & C_2 & C_3 & \dots & C_{10} \\ C_1 & C_0 & C_1 & C_2 & \dots & C_9 \\ C_2 & C_1 & C_0 & C_1 & \dots & \\ C_3 & C_2 & C_1 & C_0 & \dots & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \\ C_{10} & C_9 & C_8 & C_7 & \dots & C_0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ \vdots \\ F_{10} \end{bmatrix} \\
 \text{[D]}
 \end{array}$$

Birim yük altındaki oturma ordinatlarının oluşturduğu $[D]$ matrisinin inversi alınarak $[D]^{-1}$ yani zemin rijitlik matrisi elde edilir.

Bu halde Temel Zeminin rijitlik matrisi;

$$[K^e]^* = [D^{-1}] \text{ olarak belirlenmiş olur.}$$

3.2.1. OTURMA KALIBININ ÇIKARILMASI İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI [13].

A. DATALARIN VERİLMESİ

- (a) Eleman sayısı, Düşüm nokta sayısı, Yükleme sayısı, Sınır şartı verilen düşüm nokta sayısı, Sınır şartı verilen doğrultuların sayısı,
- (b) Elastisite Modülü, Poisson oranı.
- (c) Sistem düşüm noktalarının koordinatları.
Soldan sağa ve aşağıdan yukarıya doğru. ilk düşüm noktası, son düşüm noktası, düşüm nokta numaralarındaki artış, ilk düşüm noktasının x ve y koordinatları, son düşüm noktasının x ve y koordinatları,
- (d) Eleman düşüm nokta numaraları.
Soldan sağa ve aşağıdan yukarıya doğru, ilk eleman, son eleman, düşüm nokta numaralarının artışı, eleman numaralarının artışı, ilk elemanın düşüm nokta numaraları
- (e) Eleman özellikleri,
İlk eleman, son eleman, eleman numaralarındaki artış, eleman kalınlığı, üniform yayılı yük
- (f) Sınır şartları.
Sınır şartı verilen düşüm noktası, doğrultu numarası, değeri (1 x yönünde, 2 y yönünde sınır koyar, değeri ise,0 ise kilitlenmeyi, nümerik değerler ile de deplasman miktarını verir)
- (g) Yüklenen nokta sayısı, (Dış yük yoksa 0 alınır)
- (h) Dış yük varsa, ilk düşüm nokta numarası, son düşüm nokta numarası, iki düşüm arasındaki artış, x yönündeki yük, y yönündeki yük.(olmayan yöndeki yük 0 alınır)

B. DÜZLEM ŞEKİL DEĞİŞTİRME HALİ İÇİN SONLU ELEMANLAR LEVHA
BİLGİSAYAR PROGRAMI[13].

```

10 EXTEND : OPEN "con:" AS FILE 1
20 OPEN 'con:' AS FILE 2
30 : CHR$(12) : : #1 CHR$(24)
40 : #1 CHR$(30,31) ' ANADOLU UNİVERSİTESİ'
50 : #1 : : #1 CHR$(31) 'MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ'
60 : #1% ' İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ'
70 : #1 : : #1 CHR$(30%,29%)
80 : #1%
90 DIM Xa(100%),Ya(100%),Ka(85%,4%),T(85%),D(85%)
100 DIM S(8%,8%),P(8%)
110 DIM Se(8%),Le(8%)
120 REM ...BU PROGRAM ZEMİN PROBLEMLERİ İÇİN KULLANILIR (DÜZLEM ŞEKİL DEĞİŞTİRME
HALİ İÇİN)
130 : #1% "ZEMİN (düzlem şekil değiştirme halı) İÇİN SONLU ELEMANLAR BİLGİSAYAR
PROGRAMI"
140 : #1 'Bilgisayar:EC8000'
150 : #1 : : #1 'HESAP BAŞLANGICI' : : #1 'Tarih:' TIME# : : #1 : : #1
160 DIM A#=256.
170 READ A#
180 : #1 CHR$(30,31) 'PROBLEMİN TARİFİ:'
190 : #1% : : #1% CHR$(30) A# : : #1 CHR$(29)
200 READ E1%,Du%,Ys%,Sd%,Dos%
210 DIM Sdeg(Dos%,3%),Pt(200%),Wl(200%),R(2%),N(8%)
220 Ed%=4%
230 Es%=2%*Ed%
240 Ss%=2%*Du%
250 L3%=Es%
260 : #1 "SİSTEMİN ELEMAN SAYISI = " E1% : : #1 "SİSTEMİN DÜĞÜM NO
KTASI SAYISI = " Du%
270 : #1 "YÜKLEME SAYISI = " Ys%
280 : #1 "SİNİR SARTI VERİLEN DÜĞÜM NOKTA SAYISI=" Sd% : : #1 "DÜĞÜM NOKTASI SER
BESTLİK DERECEĞİ = " 2%
290 : #1 "SİNİR SARTI VERİLEN DOĞRULTU SAYISI = " Dos%
300 READ Em,Pr
310 : #1 "ELASTİSİTE MODULU = " Em
320 : #1 "POISSON ORANI = " Pr
330 REM sistemin düğüm noktası koordinatları ve eleman numaralarının türetilmesi
340 Y=FNSetuot
350 : : : : "HESAPLANAN DÜĞÜM NOKTASI KOORDİNATLARI"
360 : : : : "DÜĞÜM " TAB(26%) "X" TAB(36%) "Y"
370 FOR I%=1% TO Du%
380 : I% TAB(25%) Xa(I%) TAB(35%) Ya(I%)
390 NEXT I%
400 : : : : "ELEMANLARI SINIRLAYAN DÜĞÜM NOKTALARI,KALINLIK ve YAYILI YÜKLER"
410 : : : : "EL.NO DI DJ DK DL KALINLIK YAYILI YÜK"
420 Bg%=0%
430 FOR N%=1% TO E1%

```

```

450  Br% = Ka%(N%, 3%) - Ka%(N%, 1%) + 1%
460  IF Br% >= Bg% Bg% = Br%
470  NEXT N%
480  DIM St(Ss%, Bg%*2%)
490  FOR L%=1% TO E1%
500    : TAB(2%) L%:
510    FOR I%=1% TO Ed%
520      : TAB(3%+I%*6%) Ka%(L%, I%): : NEXT I%
530    : TAB(35%) T(L%) TAB(48%) Q(L%) : NEXT L%
540  Dd1 = (1-Pr)*Em / (1+Pr) / (1-2*Pr)
550  Dd2 = Dd1
560  Dd3 = Em/2% / (1+Pr)
570  Dd4 = Pr*Dd1
580  FOR L%=1% TO E1%
590    Y = FNStiffa
600    P(1%) = Q(L%)*A1/4%
610    P(3%) = P(1%)
620    P(5%) = P(1%)
630    P(7%) = P(1%)
640    REM sisem stiffnessi toola
650    K% = 0%
660    FOR I%=1% TO 4%
670      FOR J%=1% TO 2%
680        K% = K% + 1%
690        N(K%) = 2% * (Ka%(L%, I%) - 1%) + J%
700      NEXT J%
710    NEXT I%
720    FOR I%=1% TO 8%
730      K% = N(I%)
740      Pt(K%) = Pt(K%) + P(I%)
750      FOR J%=1% TO 8%
760        M% = N(J%)
770        IF K% M% GOTO 790
780        St(K%, M% - K% + 1%) = St(K%, M% - K% + 1%) + S(I%, J%)
790      NEXT J%
800    NEXT I%
810  NEXT L%
820  FOR I%=1% TO Dos%
830    READ Sdeg(I%, 1%), Sdeg(I%, 2%), Sdeg(I%, 3%)
840  NEXT I%
850  FOR I%=1% TO Dos%
860    IF Sdeg(I%, 2%) = 1% K% = Sdeg(I%, 1%)*2% - 1%
870    IF Sdeg(I%, 2%) = 2% K% = Sdeg(I%, 1%)*2%
880    St(K%, 1%) = St(K%, 1%)*1.E+15
890    Pt(K%) = Pt(K%) - St(K%, 1%)*Sdeg(I%, 3%)
900  NEXT I%
910  FOR N1%=1% TO Ys%
920    : #1% : : #1% "yukleme no="; N1%
930    READ Yunoks%
940    : #1% "yuklenen noktaların sayisi="; Yunoks%
950    FOR I%=1% TO Ss% : W1(I%) = 0% : NEXT I%
960    IF Yunoks% = 0% GOTO 1220
970    : #1% : : #1% "uygulanen yukler(giris):"
980    : #1% "ILK.D SON.D ADIM Fx Fy "
990    Nc% = 0%

```

```

1000 READ I1%, I2%, Ad%, R(1%), R(2%)
1010 IF I2% (I1% I2%=I1%
1020 IF Ad% (=0% Ad%=1%
1030 : #1% I1% TAB(10%) I2% TAB(18%) Ad% TAB(25%) R(1%) TAB(32%) R(2%)
1040 FOR NX=I1% TO I2% STEP Ad%
1050   Nc%=Nc%+1%
1060   FOR I%=1% TO 2%
1070     K%=2%*(NX-1%)+I%
1080     W1(K%)=W1(K%)+R(I%)
1090   NEXT I%
1100 NEXT NX
1110 IF Nc% (Yunaks% GOTO 1000
1120 : : "UYGULANAN YUKLER (pikis):"
1130 : "DUGUM      Fx      Fy      "
1140 FOR I%=1% TO Dn%
1150   Ii%=2%*I%-2%+1%
1160   Jj%=2%*I%
1170   : I%;
1180   FOR K%=Ii% TO Jj%
1190     : TAB(15%+(K%-Ii%)*8%) W1(K%);
1200   NEXT K% : :
1210 NEXT I% : :
1220 FOR I%=1% TO Ss%
1230   W1(I%)=W1(I%)+Pt(I%)
1240 NEXT I%
1250 ! ISI VEKTORUNUN OLUSTURULMASI
1260 ! TETA=0 ISI YOK. TETA(>0 ISI VAR
1270 READ Teta, Alfa
1280 : #1% : : #1% 'ISI DEGERLERI:' : : #1 'ISI TETA=' Teta ' DEREDE' : : #1%,
'ISI UZAMA KATSAYISI ALFA=' Alfa
1290 IF Teta=0 1380
1300 FOR LX=1% TO E1%
1310   Y=FNBisivektoru
1320   FOR K%=1% TO 4%
1330     Dk%=Kk%(LX, K%) : Denkk%=2%*Dk%
1340     W1(Denk%)=W1(Denk%)-Se(K%*2%)
1350     W1(Denk%-1%)=W1(Denk%-1%)-Se(K%*2%-1%)
1360   NEXT K%
1370 NEXT LX
1380 IF N1%>1% GOTO 1400
1390 Y=FNBare1
1400 Y=FNBansol
1410 : #1% : : #1% "HESAPLANAN DEPLASMANLAR:"
1420 : #1% "DUGUM" TAB(20%) "x-Deplasmani " TAB(40%) "y-Deplasmani"
1430 K%=0%
1440 FOR I%=1% TO Ss% STEP 2%
1450   K%=K%+1%
1460   : #1% USING "####" K%;
1470   : #1% USING "#.#####" TAB(20%) Pt(I%) TAB(40%) Pt(I%+1%)
1480 NEXT I%
1490 : #1% : : #1% 'ELEMANLARDA KUVVET VE GERILMELER'
1500 : #1 ' (Gerilmeler elanlarin orta noktasinda hesaplanmistir.)'
1510 : #1 ' (Kuvvetler ton gerilmeler kg/cm-2 olarak verilmistir)'
1520 : #1% : : #1% "ELEMEN" TAB(22) "NOKTA" TAB(30%) "Fx" TAB(50%) "Fy"
1540 FOR I%=1% TO 8% : Se(I%)=0 : Ue(I%)=0 : NEXT I%

```

```

1550 FOR LX=1% TO E1%
1555 : #1% STRING$(80%,45%) : : #1 LX:
1560 Y=FNStiffa
1570 Y=FNDeplasman
1580 Y=FNGerilme
1590 Y=FNIsivektoru
1600 FOR IX=1% TO 8%
1610 Se=0
1620 FOR JX=1% TO 8%
1630 Se=Se+S(IX,JX)*Ue(JX)
1640 NEXT JX
1650 Se(IX)=Se+Se(IX)
1660 NEXT IX
1670 FOR IX=1% TO 4%
1690 : #1% TAB(22%) Ka%(LX,IX): : : #1% USING "+###.##" TAB(30%) N1((IX-1%
)*2%+1%)+Se(IX+2%-1%) TAB(50%) N1((IX-1%)*2%+2%)+Se(IX+2%)
1695 NEXT IX
1697 : #1 'Gerilmeler:' TAB(30%) 'Gxx=' INT(1000*Gxx) TAB(50) 'Gyy=' INT(100
0*Gyy) TAB(70) 'Gxy=' INT(1000*Gxy)
1700 FOR IX=1% TO 8%
1710 N1(IX)=0%
1720 NEXT IX
1730 NEXT LX
1740 GOTO 1870
1750 Y=FNMultt
1770 : #1% : : #1% "HESAPLANAN DUGUM NOKTASI REAKSIYONLARI"
1780 : #1% "DUGUM.NOK.NO" TAB(18%) "Fx" TAB(32%) "Fy"
1790 FOR IX=1% TO Du%
1800 Ii%=2%*IX-2%+1% : Jj%=2%*IX
1810 : #1% USING "###" IX:
1820 FOR KX=Ii% TO Jj%
1830 : #1% USING "#####.###" TAB(12%+(KX-Ii%)*15%) Reac(K%):
1840 NEXT KX : : #1%
1850 NEXT IX
1860 NEXT N1%
1870 : #1% : : #1 'HESAP SONU' : : #1 'tarih:' TIME#
1880 STOP
1890 END
1900 DEF FNSetuot
1910 REM sistemin dugum noktasi koordinatlari ve eleman numaralarinin turetilm
esi
1920 : "DUGUM NOKTASI KOORDINATLARI(GIRIS)"
1930 : "ILK.D SON.D ADIM X1 Y1 X2 Y2"
1940 READ I1%, I2%, Ad%, X1, Y1, X2, Y2
1950 IF I2%(<=0% I2%=I1%
1960 IF Ad%(<=0% Ad%=1%
1970 : I1% TAB(10%) I2% TAB(17%) Ad% TAB(24%) X1 TAB(30%) Y1 TAB(36%) X2 TAB(4
2%) Y2
1980 Dx=0%
1990 Dy=0%
2000 IF I2%(>I1% Dx=Ad%*(X2-X1)/(I2%-I1%) : Dy=Ad%*(Y2-Y1)/(I2%-I1%)
2010 Ii%=-1%
2020 FOR IX=I1% TO I2% STEP Ad%
2030 Ii%=Ii%+1%
2040 Xo(IX)=X1+Dx*Ii%

```

```

2050     Ya(I%)=Y1+Dy*Ii%
2060     NEXT I%
2070     IF I2%(Du% 1940
2080     IF E1%=0% RETURN I%
2090     : "ELEMANLARIN DUGUM NOKTALARI NUMARALARI (GIRIS)"
2100     : "ILK.E     SON.E     D.ADIM     E.ADIM     K1     K2     K3     K4"
2110     READ I1k%,Some%, I1%, I2%, R1, R2, R3, R4
2120     IF Some%=0% Some%=I1k%
2130     IF I1%<=0% I1%=1%
2140     IF I2%<=0% I2%=1%
2150     : I1k% TAB(11%) Some% TAB(13%) I1% TAB(23%) I2% TAB(35%) I1 TAB(41%) R2
TAB(46%) R3 TAB(51%) R4
2160     Ii%=-1%
2170     FOR N%=I1k% TO Some% STEP I2%
2180         Ii%=Ii%+1%
2190         Ka%(N%, 1%)=R1+I1%*Ii%
2200         Ka%(N%, 2%)=R2+I1%*Ii%
2210         Ka%(N%, 3%)=R3+I1%*Ii%
2220         Ka%(N%, 4%)=R4+I1%*Ii%
2230     NEXT N%
2240     IF Some%(E1% 2110
2250     IF E1%=0% RETURN I%
2260     : "ELEMANLARIN OZELLIKLERI:"
2270     : "ILK.E     SON.E     E.ADIM     KALINLIK     YAYILI YUK"
2280     READ I1%, I2%, Ad%, X1, X2
2290     IF I2%=0% I2%=I1%
2300     IF Ad%=0% Ad%=1%
2310     : I1% TAB(11%) I2% TAB(19%) Ad% TAB(28%) X1 TAB(39%) X2
2320     FOR N%=I1% TO I2% STEP Ad%
2330         T(N%)=X1
2340         O(N%)=X2
2350     NEXT N%
2360     IF I2%(E1% 2280
2370     RETURN I%
2380 FNEND
2390 DEF FNBanel
2400     FOR I%=2% TO Ss%
2410         I2%=Bg%*2%-1
2420         I1%=Ss%-I%+1%
2430         IF I1%(I2% I2%=I1%
2440         FOR J%=1% TO I2% : S=0% : K1%=I%-1% : I1%=Bg%*2%-J%
2450             IF I1%(K1% K1%=I1%
2460             FOR K%=1% TO K1% : I1%=I%-K%
2470                 S=S+St(I1%, K%+1%)*St(I1%, J%+K%)/St(I1%, 1%)
2480             NEXT K%
2490             St(I%, J%)=St(I%, J%)-S
2500     NEXT J% : NEXT I%
2510     RETURN I%
2520 FNEND
2530 DEF FNBansol
2540     No1%=Ss%+1%
2550     FOR I%=2% TO Ss% : S=0% : K1%=Bg%*2%-1%
2560         IF I%-1%(K1% K1%=I%-1%
2570         FOR K%=1% TO K1% : I2%=I%-K%
2580             S=S+St(I2%, K%+1%)/St(I2%, 1%)*W1(I2%)

```

```

2590     NEXT K%
2600     W1(I%)=W1(I%)-S
2610     NEXT I%
2620     Pt(S%)=W1(S%)/St(S%,1%)
2630     FOR K%=2% TO S%
2640         I%=Nd1%-K% : J1%=I%+1%
2650         I1%=J1%-2% : J2%=I%+Bq%*2%-1%
2660         IF S%(J2% J2%=S%
2670             S=0
2680         FOR J%=J1% TO J2%
2690             I2%=J%-I1% : S=S+Pt(J%)*St(I%,I2%)
2700         NEXT J%
2710         Pt(I%)=(W1(I%)-S)/St(I%,1%)
2720     NEXT K%
2730     RETURN 1%
2740 FNEND
2750 DEF FNMultt
2760     FOR I%=1% TO S% : S=0%
2770         FOR J%=1% TO Bq%*2% : I1%=I%+J%-1%
2780             IF I1%>S% GOTO 2800
2790             S=S+St(I%,J%)*Pt(I1%) : NEXT J%
2800         FOR K%=2% TO Bq%*2% : I2%=I%-K%+1%
2810             IF I2%<=0% GOTO 2840
2820             S=S+St(I2%,K%)*Pt(I2%)
2830         NEXT K%
2840         Reac(I%)=S
2850     NEXT I%
2860     RETURN 1%
2870 FNEND
2880 DEF FNStiffa
2890     Y1=Ya(Ka%(L%,1%))
2900     X2=Xa(Ka%(L%,2%))
2910     Y2=Ya(Ka%(L%,2%))
2920     X3=Xa(Ka%(L%,3%))
2930     A=X3-X2
2940     B=Y2-Y1
2950     A1=A*B
2960     P=A/B
2970     T=T(L%)
2980     Se=T/12%
2990     S(1%,1%)=4%*Dd1/P+4%*Dd3*P
3000     S(2%,1%)=3%*Dd4+3%*Dd3
3010     S(2%,2%)=4%*Dd2*P+4%*Dd3/P
3020     S(3%,1%)=2%*Dd1/P-4%*Dd3*P
3030     S(3%,2%)=3%*Dd4-3%*Dd3
3040     S(3%,3%)=S(1%,1%)
3050     S(4%,1%)=-S(3%,2%)
3060     S(4%,2%)=-4%*Dd2*P+2%*Dd3/P
3070     S(4%,3%)=-S(2%,1%)
3080     S(4%,4%)=S(2%,2%)
3090     S(7%,1%)=-4%*Dd1/P+2%*Dd3*P
3100     S(7%,2%)=-S(3%,2%)
3110     S(7%,3%)=-2%*Dd1/P-2%*Dd3*P
3120     S(7%,4%)=S(2%,1%)
3130     S(7%,7%)=S(1%,1%)

```

```

3140 S(8%, 1%)=S(3%, 2%)
3150 S(8%, 2%)=2%*Dd2*p-4%*Dd3/p
3160 S(8%, 3%)=S(2%, 1%)
3170 S(8%, 4%)=-2%*Dd2*p-2%*Dd3/p
3180 S(8%, 7%)=-S(2%, 1%)
3190 S(8%, 8%)=S(2%, 2%)
3200 S(5%, 1%)=S(7%, 3%)
3210 S(5%, 2%)=-S(2%, 1%)
3220 S(5%, 3%)=S(7%, 1%)
3230 S(5%, 4%)=S(3%, 2%)
3240 S(7%, 5%)=S(3%, 1%)
3250 S(8%, 5%)=-S(3%, 2%)
3260 S(5%, 5%)=S(1%, 1%)
3270 S(6%, 1%)=-S(2%, 1%)
3280 S(6%, 2%)=S(8%, 4%)
3290 S(6%, 3%)=-S(3%, 2%)
3300 S(6%, 4%)=S(8%, 2%)
3310 S(7%, 6%)=S(3%, 2%)
3320 S(8%, 6%)=S(4%, 2%)
3330 S(6%, 5%)=S(2%, 1%)
3340 S(6%, 6%)=S(2%, 2%)
3350 FOR JX=1% TO 8%
3360   FOR IX=JX TO 8%
3370     S(IX, JX)=S(IX, JX)*Se
3380   NEXT IX
3390 NEXT JX
3400 ! : #1% : ! : #1%
3410 FOR IX=1% TO 8%
3420   FOR JX=1% TO 8%
3430     S(IX, JX)=S(JX, IX)
3440     ! : #1 USING "#####" S(IX, JX):
3450   NEXT JX : NEXT IX
3460 RETURN 1%
3470 FNEND
3480 DEF FNisivektoru
3490 !
3500 D1%=Ka%(L%, 1%) : D4%=Ka%(L%, 4%) : D2%=Ka%(L%, 2%)
3510 X1=Xq(D1%) : Y1=Yq(D1%)
3520 X4=Xq(D4%) : Y2=Yq(D2%)
3530 !
3540 A=X4-X1 : B=Y2-Y1
3550 Beta=B/A
3560 Cons=Em*Alfa*Teta*T(L%)*A/2/(1-pr)
3570 Se(2%)=Cons : Se(1%)=Cons*Beta
3580 Se(4%)=-Cons : Se(3%)=Cons*Beta
3590 Se(6%)=-Cons : Se(5%)=-Cons*Beta
3600 Se(8%)=Cons : Se(7%)=-Cons*Beta
3610 RETURN 0%
3620 FNEND
3630 DEF FNDeplasman
3640 !
3650 FOR KX=1% TO 4%
3660   Dkx=Ka%(L%, KX) : Denkx=2%*Dkx
3670   Ue(KX*2%)=Pt(Denkx)
3680   Ue(2%*KX-1%)=Pt(Denkx-1%)

```

```

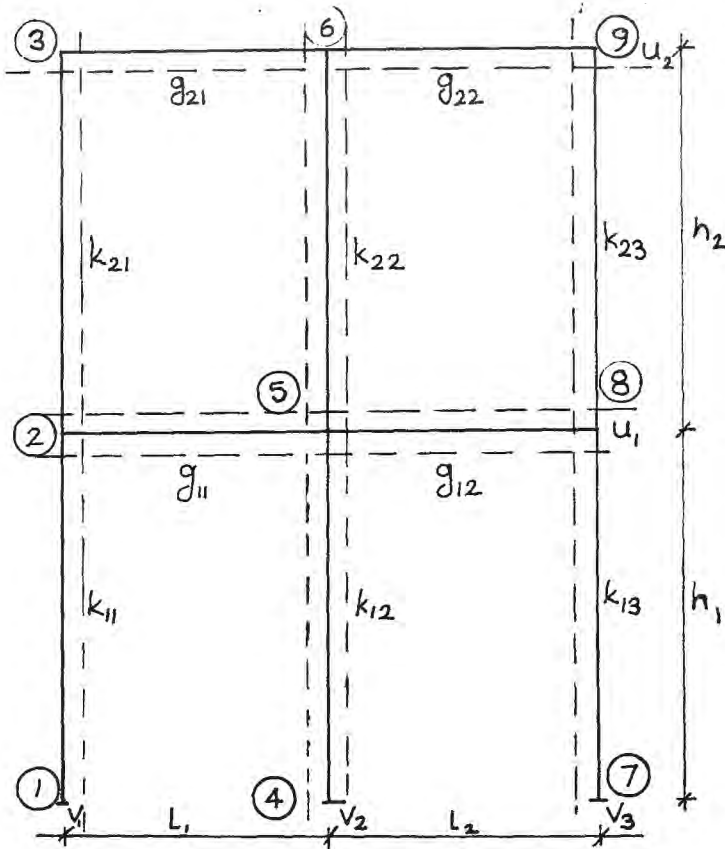
3690 NEXT K%
3700 RETURN 0%
3710 FNEND
3720 DEF FNGerilme
3730 !
3740 D1%=Ko%(L%,1%) : D4%=Ko%(L%,4%) : D2%=Ko%(L%,2%)
3750 X1=Xo(D1%) : Y1=Yo(D1%)
3760 X4=Xo(D4%) : Y2=Yo(D2%)
3770 A=X4-X1 : B=Y2-Y1 : X=A/2 : Y=B/2
3780 Ksi=X/A : Ita=Y/B
3790 Ksi1=1%-Ksi : Ita1=1%-Ita : Nul=1%-Pr
3800 Gxx=-Ita1/A*Ue(1%)-Pr*Ksi1/B*Ue(2%)-Ita/A*Ue(3%)
3810 Gxx=Gxx+Pr*Ksi1/B*Ue(4%)+Ita/A*Ue(5%)+Pr*Ksi/B*Ue(6%)
3820 Gxx=Gxx+Ita1/A*Ue(7%)-Pr*Ksi/B*Ue(8%)
3830 Gyy=-Pr*Ita1/A*Ue(1%)-Ksi1/B*Ue(2%)-Pr*Ita/A*Ue(3%)
3840 Gyy=Gyy+Ksi1/B*Ue(4%)+Pr*Ita/A*Ue(5%)+Ksi/B*Ue(6%)
3850 Gyy=Gyy+Pr*Ita1/A*Ue(7%)-Ksi/B*Ue(8%)
3860 Gxy=-Nul*Ksi1/2/B*Ue(1%)-Nul*Ita1/2/A*Ue(2%)
3870 Gxy=Gxy+Nul*Ksi1/2/B*Ue(3%)-Nul*Ita/2/A*Ue(4%)
3880 Gxy=Gxy+Nul*Ksi/2/B*Ue(5%)+Nul*Ita/2/A*Ue(6%)
3890 Gxy=Gxy-Nul*Ksi/2/B*Ue(7%)+Nul*Ita1/2/A*Ue(8%)
3900 A=Em/(1-Pr*Pr)
3910 B=Em*Alfa*Teta/Nul
3920 Gxx=A*Gxx-B
3930 Gyy=A*Gyy-B
3940 Gxy=A*Gxy
3950 RETURN 0%
3960 FNEND

```

3.3. ÇERÇEVELERİN MESNET ÇÖKMELERİNE GÖRE RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI

V mesnet çökmeleri etkisi altında olan Şekil:42'deki çerçevede V çökmesi, deplasmanlar olarak U deplasmanları ve düğüm noktalarında ϕ dönüş açıları vardır. Burada kolon rijitlikleri k , kiriş rijitlikleri g ile gösterilmiştir. 6 adet düğüm noktasında moment denge denklemi, iki adet yatay denge denklemi ve üç adet düşey denge denklemi olmak üzere 11 adet denge denklemi yazılır.

Yatay denge denklemleri kat aralarında değil, düğüm noktalarının hemen altında ve düğüm noktalarının hemen üstünde ki kesimlerde yazılacaktır.



Şekil: 42

A. DÜĞÜM, DENGE DENKLEMLERİ

$$(1) \quad 2(k_{11} + g_{11} + k_{21})\varphi_2 + g_{11}\varphi_5 + k_{21}\varphi_3 - 3 \frac{k_{11}}{h_1} U_1 + 3 \frac{k_{21}}{h_2} U_1 \\ - 3 \frac{k_{21}}{h_2} U_2 + 3 \frac{g_{11}}{L_1} V_1 - 3 \frac{g_{11}}{L_1} V_2 = 0$$

$$(2) \quad 2(g_{11} + k_{12} + g_{12} + k_{22})\varphi_5 + g_{11}\varphi_2 + g_{12}\varphi_8 + k_{22}\varphi_6 - 3 \frac{k_{12}}{h_1} U_1 \\ + 3 \frac{k_{22}}{h_2} U_1 - 3 \frac{k_{22}}{h_2} U_2 - 3 \frac{g_{11}}{L_1} V_1 + 3 \frac{g_{11}}{L_1} V_2 + 3 \frac{g_{12}}{L_2} V_2 \\ - 3 \frac{g_{12}}{L_2} V_3 = 0$$

$$(3) \quad 2(g_{12} + k_{13} + k_{23})\varphi_8 + k_{23}\varphi_9 + g_{12}\varphi_5 - 3 \frac{k_{13}}{h_1} U_1 + 3 \frac{k_{23}}{h_2} U_1 \\ - 3 \frac{k_{23}}{h_2} U_2 - 3 \frac{g_{12}}{L_2} V_2 + 3 \frac{g_{12}}{L_2} V_3 = 0$$

$$(4) \quad 2(k_{21} + g_{21})\varphi_3 + k_{21}\varphi_2 + g_{21}\varphi_6 - 3 \frac{k_{21}}{h_2} U_2 + 3 \frac{k_{21}}{h_2} U_1 + 3 \frac{g_{21}}{L_1} V_1 \\ - 3 \frac{g_{11}}{L_1} V_2 = 0$$

$$(5) \quad 2(g_{21} + k_{22} + g_{22})\varphi_6 + g_{21}\varphi_3 + k_{22}\varphi_5 + g_{22}\varphi_9 - 3 \frac{k_{22}}{h_2} U_2 + 3 \frac{k_{22}}{h_2} U_1 \\ - 3 \frac{g_{21}}{L_1} V_1 + 3 \frac{g_{21}}{L_1} V_2 + 3 \frac{g_{22}}{L_2} V_2 - 3 \frac{g_{22}}{L_2} V_3 = 0$$

$$(6) \quad 2(g_{22} + k_{23})\varphi_9 + g_{32}\varphi_6 + k_{23}\varphi_8 - 3 \frac{k_{23}}{h_2} U_2 + 3 \frac{k_{23}}{h_2} U_1 \\ - 3 \frac{g_{22}}{L_2} V_2 + 3 \frac{g_{22}}{L_2} V_3 = 0$$

B. YATAY DENGE DENKLEMLERİ

$$(7) \quad -3 \frac{k_{11}}{h_1} \varphi_2 - 3 \frac{k_{12}}{h_1} \varphi_5 - 3 \frac{k_{13}}{h_1} \varphi_8 - \left[-3 \frac{k_{21}}{h_2} (\varphi_2 + \varphi_3) - 3 \frac{k_{22}}{h_2} (\varphi_5 + \varphi_6) - 3 \frac{k_{23}}{h_2} (\varphi_8 + \varphi_9) \right] + \frac{6}{h_1} (k_{11} + k_{12} + k_{13}) U_1 - \frac{6}{h_2} (k_{21} + k_{22} + k_{23}) U_2 + \frac{6}{h_2} (k_{21} + k_{22} + k_{23}) U_1 = 0$$

$$(8) \quad -3 \frac{k_{21}}{h_2} (\varphi_3 + \varphi_2) - 3 \frac{k_{22}}{h_2} (\varphi_6 + \varphi_5) - 3 \frac{k_{23}}{h_2} (\varphi_9 + \varphi_8) + \frac{6}{h_2} (k_{21} + k_{22} + k_{23}) U_2 - \frac{6}{h_2} (k_{21} + k_{22} + k_{23}) U_1 = 0$$

C. DÜŞEY DENGE DENKLEMLERİ

$$(9) \quad -3 \frac{g_{21}}{L_1} (\varphi_3 + \varphi_6) - 3 \frac{g_{11}}{L_1} (\varphi_2 + \varphi_5) + \frac{6}{L_1} (g_{21} + g_{11}) V_1 - \frac{6}{L_1} (g_{21} + g_{11}) V_2 = F_1$$

$$(10) \quad -3 \frac{g_{21}}{L_1} (\varphi_3 + \varphi_6) - 3 \frac{g_{11}}{L_1} (\varphi_5 + \varphi_2) - \left[-3 \frac{g_{22}}{L_2} (\varphi_6 + \varphi_9) - 3 \frac{g_{12}}{L_2} (\varphi_8 + \varphi_5) \right] - \frac{6}{L_1} (g_{21} + g_{11}) V_1 + \frac{6}{L_1} (g_{21} + g_{11}) V_2 + \frac{6}{L_2} (g_{22} + g_{12}) V_2 - \frac{6}{L_2} (g_{22} + g_{12}) V_3 = F_2$$

$$(11) \quad -3 \frac{g_{22}}{L_2} (\varphi_9 + \varphi_6) - 3 \frac{g_{12}}{L_2} (\varphi_8 + \varphi_5) - \frac{6}{L_2} (g_{22} + g_{12}) V_2 + \frac{6}{L_2} (g_{22} + g_{12}) V_3 = F_3$$

$$-[K_{11}]^{-1}[K_{12}][V] = [\phi] \text{ olur.}$$

$$-[K_{21}][K_{11}]^{-1}[K_{12}][V] + [K_{22}][V] = [F]$$

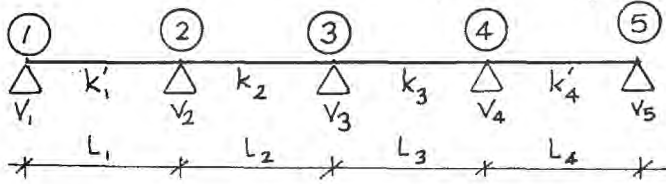
$$\underbrace{[[K_{22}] - [K_{21}][K_{11}]^{-1}[K_{12}]]}_{[K]^*} \cdot [V] = [F] \text{ elde edilir.(45)}$$

$[K]^*$ Çerçevenin düşey rijitlik matrisidir.

Bu çalışma da, çerçevenin mesnet çökmelerine göre rijitlik matrisi, yukarıda belirtilen esaslar çerçevesinde hazırlanmış bir bilgisayar programı[16] ile elde edilmiş ve kullanılmıştır.

3.4. SÜREKLİ KİRİŞLERİN MESNET ÇÖKMELERİNE GÖRE RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI

Mesnet çökmeleri etkisi altındaki sürekli kirişte çökmeler V , dönüş açıları φ , çubuk rijitlikleri k_i ile gösterilmiştir (Şekil:43). Bir önceki bölümde anlatılan çerçevenin bir özel hali olduğu için burada da moment denge ve düşey denge denklemleri yazılarak rijitlik matris kurulmaya çalışılacaktır.



Şekil:43

A. DÜĞÜM DENGELERİ

$$(1) \quad 2(k_1' + k_2)\varphi_2 + k_2\varphi_3 - 2 \frac{k_1'}{L_1} V_1 + 2 \frac{k_1'}{L_1} V_2 + 3 \frac{k_2}{L_2} V_2 - 3 \frac{k_2}{L_2} V_3 = 0$$

$$(2) \quad 2(k_2 + k_3)\varphi_3 + k_2\varphi_2 + k_3\varphi_4 - 3 \frac{k_2}{L_2} V_1 + 3 \frac{k_2}{L_2} V_2 + 3 \frac{k_3}{L_3} V_3 - 3 \frac{k_3}{L_3} V_4 = 0$$

$$(3) \quad 2(k_3 + k_4')\varphi_4 + k_3\varphi_3 - 3 \frac{k_3}{L_3} V_3 + 3 \frac{k_3}{L_3} V_4 + 2 \frac{k_4'}{L_4} V_4 - 2 \frac{k_4'}{L_4} V_5 = 0$$

B. DÜŞEY DENGELERİ

$$(4) \quad -2 \frac{k_1'}{L_1} \varphi_2 + 2 \frac{k_1'}{L_1} V_1 - 2 \frac{k_1'}{L_1} V_2 = F_1$$

$$(5) \quad -2 \frac{k_1'}{L_1} \varphi_2 + 3 \frac{k_2}{L_2} (\varphi_2 + \varphi_3) - 2 \frac{k_1'}{L_1} V_1 + 2 \frac{k_1'}{L_1} V_2 + 6 \frac{k_2}{L_2} V_2 - 6 \frac{k_2}{L_2} V_3 = F_2$$

$$(6) \quad -3 \frac{k_2}{L_2} (\varphi_3 + \varphi_2) + 3 \frac{k_3}{L_3} (\varphi_3 + \varphi_4) - 6 \frac{k_2}{L_2} V_2 + 6 \frac{k_2}{L_2} V_3 + 6 \frac{k_3}{L_3} V_3 - 6 \frac{k_3}{L_3} V_4 = F_3$$

$$(7) \quad -3 \frac{k_3}{L_3} (\varphi_4 + \varphi_3) + 2 \frac{k_4'}{L_4} (\varphi_4 + \varphi_5) - 6 \frac{k_3}{L_3} V_3 - 6 \frac{k_3}{L_3} V_4 - 2 \frac{k_4'}{L_4} V_4 - 2 \frac{k_4'}{L_4} V_5 = F_4$$

$$(8) \quad -2 \frac{k_4'}{L_4} (\varphi_4) - 2 \frac{k_4'}{L_4} V_4 + 2 \frac{k_4'}{L_4} V_5 = F_5$$

Şekil:43'deki model temel kirişinden, Düğüm denge ve Düşey denge denklemleri ile elde edilen 8 adet denklemde φ 'ler ve V 'ler denklemlerin sadeleştirilmesi ile düzen içerisinde dizilirler. Bu, bilinmeyen dönme açısı ve düşey deplasman değerlerinin denklemler içerisindeki katsayıları, temel kirişinin rijitlik matrisinin oluşturulmasında kullanılacaktır (Katsayılar Matrisi).

Bu denklemler dizildiğinde ve alt alta yazıldığında aşağıdaki gibi olurlar (Matris formda gösteriliş).

$$\begin{array}{cccccccc}
 \varphi_2 & \varphi_3 & \varphi_4 & V_1 & V_2 & V_3 & V_4 & V_5 \\
 \left[\begin{array}{cccccccc}
 & & & & & & & \\
 & & & & & & & \\
 & & & & & & & \\
 & & & & & & & \\
 & & & & & & & \\
 & & & & & & & \\
 & & & & & & & \\
 & & & & & & &
 \end{array} \right] \times \begin{array}{c} \varphi_2 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \\ V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \end{array} = \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \end{array}
 \end{array}$$

[K] (Katsayılar matrisi)
[V]
[F]

Katsayılar Matrisinin elemanları kendi aralarında gruplara ayrılır ve bu ayırım ile K_{11} , K_{12} , K_{21} , K_{22} alt matrisleri elde edilir.

$$\begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \varphi \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ F \end{bmatrix}$$

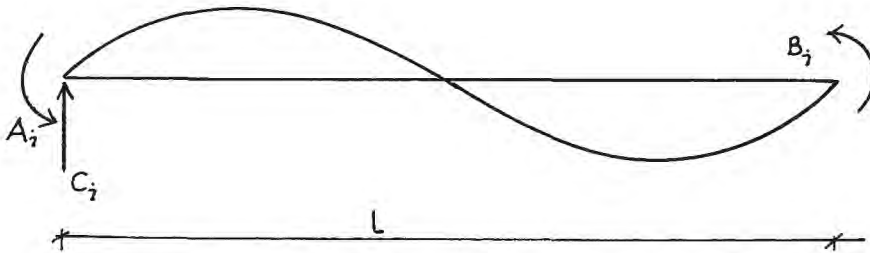
Bu alt matrislerin kendi aralarındaki dönüşümü çerçevenin rijitlik matrisinin hesaplanmasında olduğu gibi yapılır ve

$[K]^{**} = [[K_{22}] - [K_{21}][K_{11}]^{-1}[K_{12}]]$ temel kirişinin rijitlik matrisi elde edilir.

Çerçevenin rijitlik matrisinin kurulması gibi yine sürekli kirişlerin rijitlik matrisi de, yukarıdaki esaslar çerçevesinde hazırlanmış bir bilgisayar programı [16] kullanılarak elde edilmiş ve kullanılmıştır.

3.4.1. KAYMA DEFORMASYONLARININ İHMAL EDİLMESİ

Kirişlerde, eğilmeden oluşan deformasyonların yanı sıra, kayma gerilmelerinden dolayı da kayma deformasyonları oluşur. Genelde bu deformasyonlar, hesapları çok fazla etkilemeyip hesaplarda ihmal edilebilirler. Ancak narinliği (L/h oranı) az olan geniş kolonlar, perde duvarlar gibi yapı elemanların da kayma deformasyonlarının etkisi büyük olup hesap sonuçlarına tesir ederler[17].



Şekil:44

Şekil:44'de C_i kuvveti ile A_i , B_i momentlerinin kirişe tesirleri görülmektedir.

$$\text{Burada, } A_i = 4 \frac{EJ}{L} \lambda_i$$

$$B_{ij} = 2 \frac{EJ}{L} \lambda_{ij}$$

$$C_i = \frac{A_i + B_{ij}}{L} \text{ ve}$$

$$\lambda_i = \lambda_j = 0,75\varepsilon + 0,25$$

$$\lambda_{ij} = 1,5\varepsilon - 0,5 \text{ ' dir.}$$

$$\varepsilon \text{ ise, } \varepsilon = \frac{1}{1 + \frac{2,76}{(L/h)^2}} \text{ olarak bulunur.}$$

Bu formüllerde λ_i , λ_{ij} kayma deformasyonları düzeltme faktörü, L/h ise narinlik oranıdır (Elemanın, yüksekliği/genişliği). L/h narinlik oranı ∞ olduğunda $\varepsilon = 1$ dolayısı ile düzeltme faktörleri 1'dir. Narinlik küçüldükçe düzeltme faktörleri 1'den farklı değer alırlar. Bu açıklamalar ile L/h narinlik oranı 10'dan büyük değer aldığıında kayma deformasyonlarının ihmal edilebilir sınırlar içersinde kalacağı açıklanmış olmaktadır.

Kirişlerde kayma deformasyonlarının ihmal edilmesi ise A_i ve B_{ij} temel rijitlik ifadelerinde λ_i , λ_{ij} değerlerinin silinmesi ile olur. Kiriş rijitlik matrisinin kurulmasında bu dikkate alındığında kayma deformasyonları ihmal edilmiş olacaktır.

3.5. ÜST YAPININ RİJİTLİĞİ GÖZÖNÜNE ALINARAK TEMEL SİSTEMİNİN RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI VE ÇÖZÜM

Bölüm 3.2, 3.3. ve 3.4'de sırasıyla temel zemininin oturmalarına göre, Çerçevenin ve Temel kirişinin de mesnet çökmelerine göre rijitlik matrisinin kurulması anlatılmış,

$[K^e]^*$; Temel zemini rijitlik matrisi,

$[K]^*$; Çerçevenin düşey rijitlik matrisi,

$[K]^{**}$; Temel kirişinin rijitlik matrisi olarak tanımlanmış idi. Şimdi de bu rijitlikler birlikte gözönüne alınarak çözüm anlatılacak ve prensipler sunulacaktır.

$$[F] = [K] [U] ,$$

kuvvetler ile deplasmanlar arasındaki bilinen ilişkinin matris formda gösterilmesidir.

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \cdots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} & \cdots & k_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_n \end{bmatrix}$$

$$F_1 = k_{11}U_1 + k_{12}U_2 + k_{13}U_3 \cdots k_{1n}U_n$$

$$F_2 = k_{21}U_1 + k_{22}U_2 + k_{23}U_3 \cdots k_{2n}U_n$$

\vdots

$$F_n = k_{n1}U_1 + k_{n2}U_2 + k_{n3}U_3 \cdots k_{nn}U_n \quad \text{olur.}$$

Burada k_{ij} sistemin rijitlik matrisinin elemanlarıdır. F_i 'ler sistemin düşey yükleri olup, U_i 'ler hesaplanacak deplasmanları (oturma- ları) göstermektedir.

Temel ve Temel zemininden oluşan bir sistemde sistem rijitlik mat- risi,

$$[K] = [K^e]^* + [K]^{**} \text{ dir.}$$

Burada $[K^e]^*$ ve $[K]^{**}$ rijitlik matrislerinin süperpozisyonu anlatılmak istenilmiştir.

Temel ve temel zemininin rijitlik matrislerinin süperpozisyonu ile oluşturulan sistem rijitlik matrisi ve düşey yükler

$$[F] = [K][U]$$

eşitliğinde yerine konup bilinmeyen $[U]$ matrisi çözülürse deplasmanlar hesaplanmış olur.

Bu hesaplama, çerçevenin rijitlik matrisinin de katılıp, üç sistemin ortak rijitlik matrisi ile çözüm arandığında sistemin yükleri- nin, çerçeve, temel, temel zemini müşterek sistemine rağmen oturma tesiri hesaplanmış olur. Klasik olarak, çerçevelerin çözümü, çerçeve yüklerine göre temel kirişlerin ayrıca çözümü, zeminin bağımsız olarak değerlendirilip temel hesaplarına done olarak zemin değerlerinin sokulması yöntemi yerine, bu yöneylemin tercihi hesapları daha gerçekçi yapacaktır.

Üst yapısında hesaba katılması ile sistem rijitlik matrisi,

$$[K] = [K^e]^* + [K]^* + [K]^{**} \text{ olur.}$$

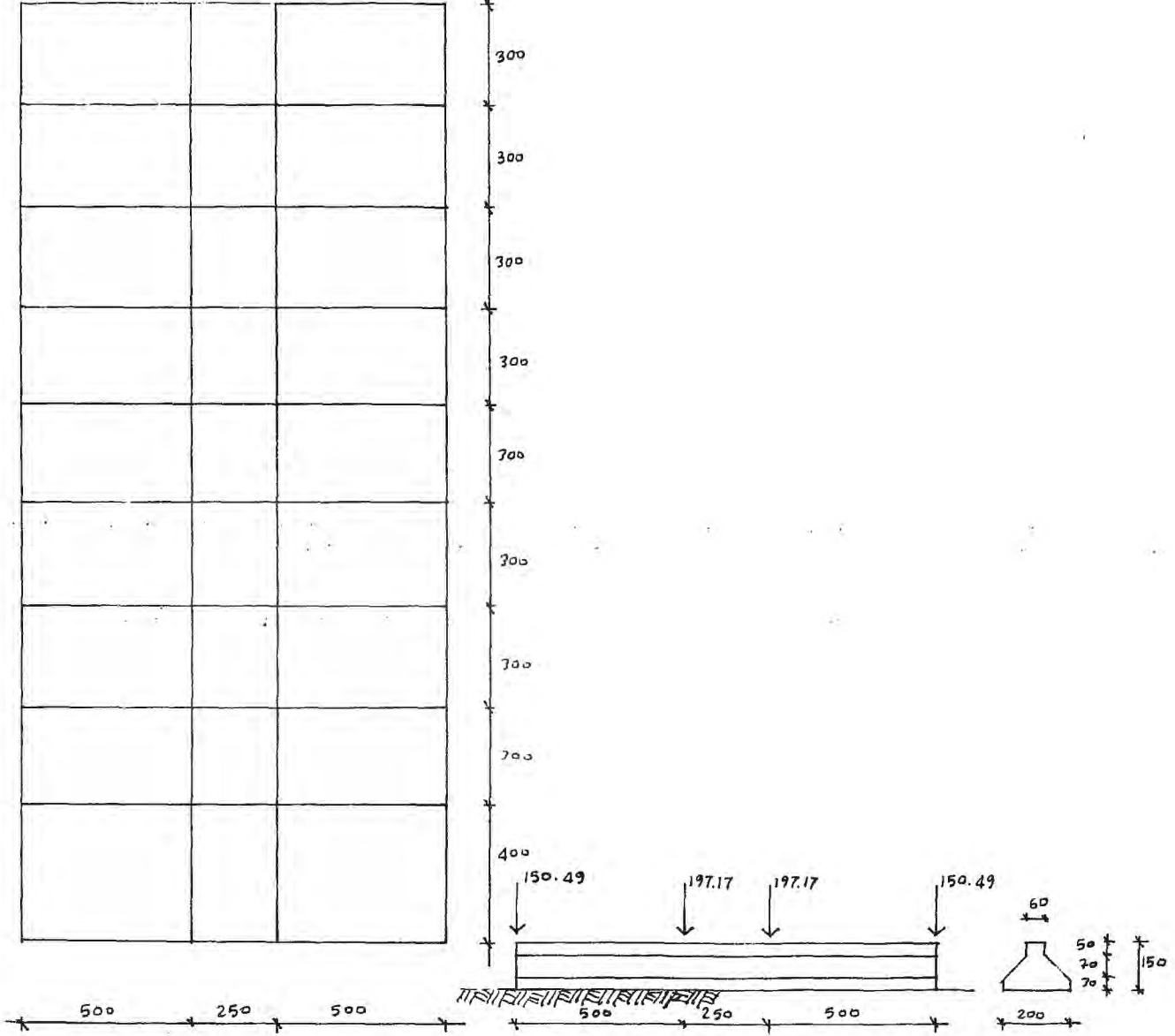
Temel zemini, Temel ve çerçevenin rijitlik matrislerinin süperpo- zisyonu sistem rijitlik matrisini oluşturur. Yükler ve sistem rijitlik matrisi

$$[F] = [K][U]$$

eşitliğinde yerine konulup $[U]$ bilinmeyen deplasmanları hesaplanmış ola- caktır.

4. ÖRNEKLER

4.1. ÖRNEK 1



Şekilde görülen çerçevede, üst yapıdan gelen yükler şekilde görüldüğü gibidir.

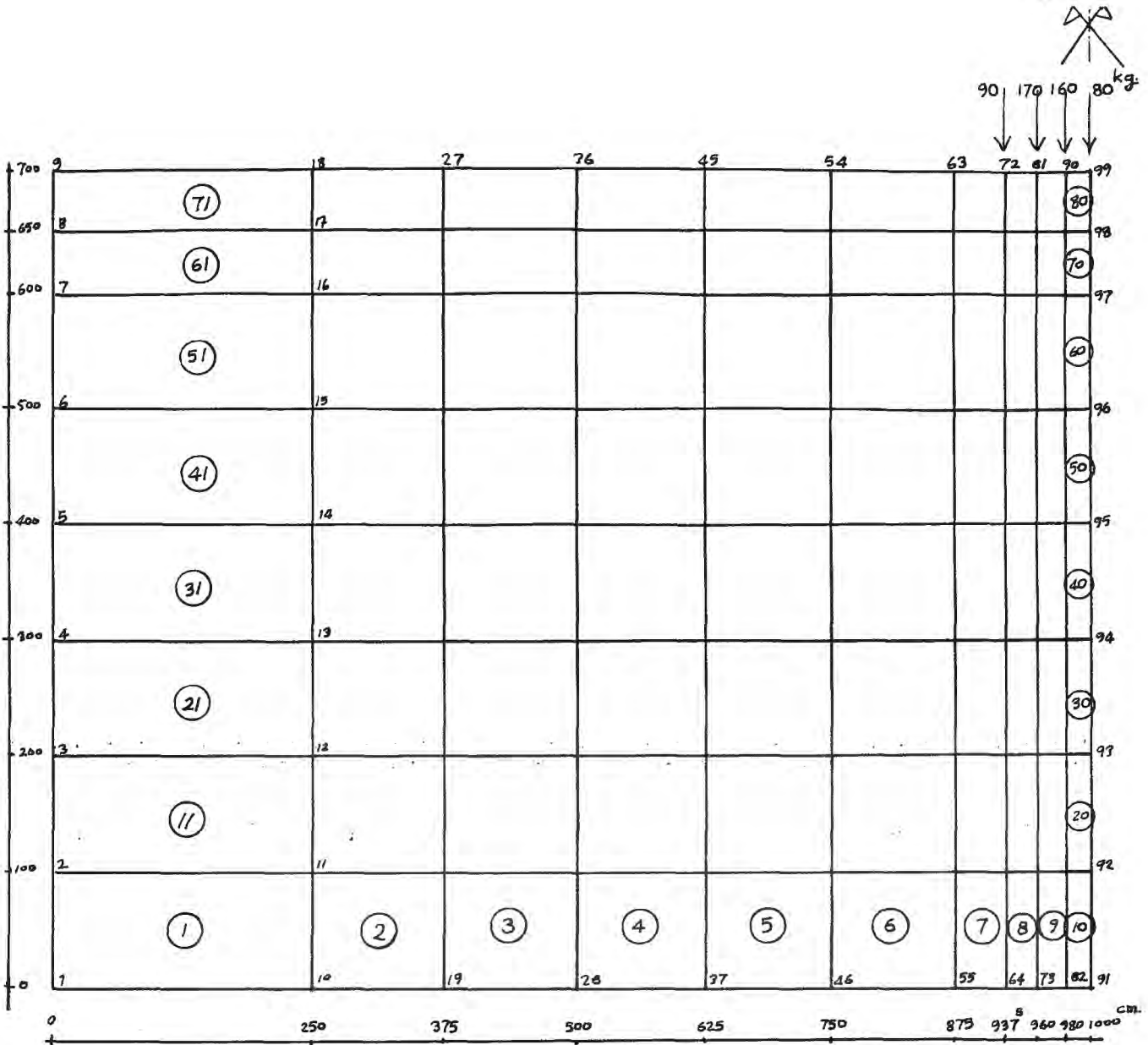
Problemimiz, bu çerçeve altında temeldeki oturma hesabı, dolayısı ile temelin hesabıdır.

$E = 50 \text{ kg/cm}^2$ 'dir.

ÇÖZÜM.

4.1.1. ÜST YAPI GÖZÖNÜNE ALINMADAN HESAP

A. ZEMİN RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI



Yukarıdaki şekilde, zeminin elemanlara ayrılışı ve uygulanan birim yük görülmektedir.

Bu zemin modeli ile Bölüm 3.2'deki bilgisayar programı kullanılarak birim yük altındaki oturma kalıbı çıkarılmış ve buradan da aşağıda ki $[K^e]^*$ zemin rijitlik matrisi kurulmuştur.

0.0004	-0.0480	-0.0556	-0.0493	0.0249	0.0913	0.0312	-0.0262	-0.0042	-0.0032	0.0014
-0.0480	0.0164	-0.0740	-0.0360	-0.0597	-0.0093	0.0637	0.0421	-0.0245	0.0040	-0.0003
-0.0556	-0.0740	0.0236	-0.0794	-0.0367	-0.0620	-0.0101	0.0695	0.0422	-0.0245	-0.0042
-0.0493	-0.0360	-0.0794	0.0239	-0.0796	0.0271	-0.0621	-0.0120	0.0695	0.0421	-0.0262
0.0249	-0.0597	-0.0367	-0.0796	0.0238	-0.0793	-0.0368	-0.0621	-0.0101	0.0697	0.0312
0.0913	-0.0093	-0.0620	-0.0271	-0.0793	0.0245	-0.0793	-0.0271	-0.0620	-0.0093	0.0010
0.0312	0.0637	-0.0101	-0.0621	-0.0368	-0.0793	0.0238	-0.0796	-0.0367	-0.0597	0.0249
-0.0262	0.0421	0.0695	-0.0120	-0.0621	-0.0271	-0.0796	0.0239	-0.0794	-0.0360	-0.0493
-0.0042	-0.0245	0.0422	0.0695	-0.0101	-0.0620	-0.0367	-0.0794	0.0236	-0.0740	-0.0556
-0.0003	-0.0040	-0.0245	0.0421	0.0597	-0.0093	0.0597	-0.0260	-0.0740	0.0164	-0.0480
0.0014	-0.0003	-0.0042	-0.0262	0.0312	0.0913	0.0249	-0.0493	-0.0556	-0.0480	0.0004

B.1. TEMEL KİRİŞİNİN RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI (KAYMA DEFORMASYONLARI İHMAL EDİLEREK)

Bölüm 3.4'de açıklandığı şekilde bir bilgisayar programı[16] ile temel kirişi rijitlik matrisi [K]** kurulmuştur.

2772.1000	-6304.4280	4466.0730	-1196.7990	320.6930	-85.8410	23.0540	-6.1930	1.6440	-0.4110	0.0770
-6304.4280	17267.3200	-16433.7400	7180.2640	-1924.0700	515.5270	-138.2650	37.2420	-9.8910	2.4710	-0.4110
4466.0730	-16433.7400	34258.8200	-18357.7400	7695.9030	-2062.2020	552.5260	-147.9320	39.5090	-9.8910	1.6440
-1196.7990	7180.2640	-18357.7400	24774.3200	-18495.8400	7732.8220	-2072.0720	554.9930	-147.9320	37.2420	-6.1930
320.6930	-1924.0700	7695.9030	-18495.8400	24811.3200	-18505.7400	7735.2730	-2072.0720	552.5260	-138.2650	23.0540
-85.8410	515.5270	-2062.2020	7732.8220	-18505.7400	24813.8200	-13505.7400	7732.8220	-2062.2020	515.5270	-85.8410
23.0540	-138.2650	552.5260	-2072.0720	7735.2730	-18505.7400	24811.3200	-18495.8400	7695.9030	-1924.0700	320.6930
-6.1930	37.2420	-147.9320	554.9930	-2072.0720	7732.8220	-18495.8400	24774.3200	-18357.7400	7180.2640	-1196.7990
1.6440	-9.8910	39.5090	-147.9320	552.5260	-2062.2020	7695.9030	-18357.7400	34258.8200	-16433.7400	4466.0730
-0.4110	2.4630	-9.8910	37.2420	-138.2650	515.5270	-1924.0700	7180.2640	-16433.7400	17078.3200	-6304.4280
0.0770	-0.4110	1.6440	-6.1930	23.0540	-85.8410	320.6930	-1196.7990	4466.0730	-6304.4280	2787.3090

C.1. SİSTEM RİJİTLİK MATRİSİ VE ÇÖZÜM

Temel zemini ve Temel kirişi rijitlik matrisleri süperpoze edildiğinde aşağıdaki [K] sistem rijitlik matrisi bulunur.

2787.309	-6304.428	4466.073	-1196.799	320.693	-85.841	23.054	-6.193	1.644	-0.411	0.077
-6304.428	17267.320	-16433.740	7180.264	-1924.070	515.527	-138.265	37.242	-9.891	2.471	-0.411
4466.073	-16433.740	34258.820	-18357.740	7695.903	-2062.202	552.526	-147.932	39.509	-9.891	1.644
-1196.799	7180.264	-18357.740	24774.320	-18495.840	7732.822	-2072.072	554.993	-147.932	37.242	-6.193
320.693	-1924.070	7695.903	-18495.840	24811.320	-18505.740	7735.273	-2072.072	552.526	-138.265	23.054
-85.841	515.527	-2062.202	7732.822	-18505.740	24813.820	-13505.740	7732.822	-2062.202	515.527	-85.841
23.054	-138.265	552.526	-2072.072	7735.273	-18505.740	24811.320	-18495.840	7695.903	-1924.070	320.693
-6.193	37.242	-147.932	554.993	-2072.072	7732.822	-18495.840	24774.320	-18357.740	7180.264	-1196.799
1.644	-9.891	39.509	-147.932	552.526	-2062.202	7695.903	-18357.740	34258.820	-16433.740	4466.073
-0.411	2.463	-9.891	37.242	-138.265	515.527	-1924.070	7180.264	-16433.740	17078.320	-6304.428
0.077	-0.411	1.644	-6.193	23.054	-85.841	320.693	-1196.799	4466.073	-6304.428	2787.309

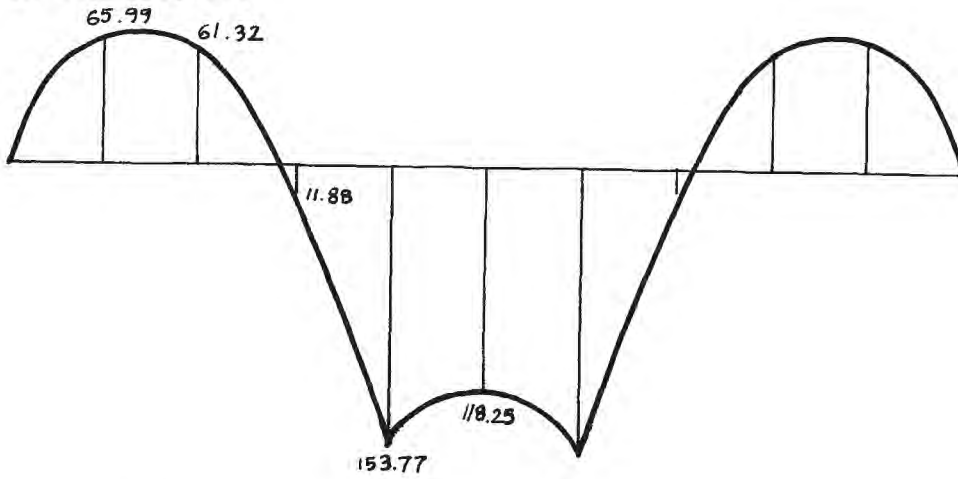
Bu halde çözümden sonra hesaplanan deplasmanlar şöyledir.

$X(1) = 18.9149$
 $X(2) = 18.9650$
 $X(3) = 19.0402$
 $X(4) = 19.1335$
 $X(5) = 19.2350$
 $X(6) = 19.3564$
 $X(7) = 19.4979$
 $X(8) = 19.6592$
 $X(9) = 19.8408$
 $X(10) = 19.9645$
 $X(11) = 19.9144$

Bu deformasyonlar ile açıklıklarda ve mesnetlerde bulunan momentler de

Yer	Moment	Yer	Moment	Yer	Moment
1	65.99	2	61.32	3	11.88
4	153.77	5	118.25	6	11.88
7	61.32	8	65.99	9	11.88
10	11.88	11	11.88	12	11.88

olarak bulunmuştur.



Diyagram A: Üst yapı rijitliği gözönüne alınmadan ve kayma deformasyonları ihmal edilerek hesaplanan momentler ve diyagramı.

B.2. TEMEL KİRİŞİNİN RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI (KAYMA DEFORMASYONLARI İHMAL EDİLMEYEN)

Aynı şekilde bilgisayar programı[16] kullanılarak temel kirişinin rijitlik matrisi [K]** kurulmuştur.

1271.37	-2361.39	335.403	133.355	13.9853	2.63215	1.332944	1.354471	7.74537E-23	1.37934E-23	2.33789E-24
-2361.39	5659.19	-4399.64	633.213	97.3949	13.985	1.33294	1.351747	9.12627E-22	5.56533E-23	1.07334E-23
335.403	-4399.64	6347.4	-421.75	702.143	99.3757	14.2067	1.2005	1.237332	4.11937E-22	7.74537E-23
133.355	633.213	-421.75	6351.33	-3333.77	702.425	99.3157	14.2123	2.2228	1.331747	1.354471
13.9853	97.3949	702.143	-3333.77	6361.51	-3333.73	702.43	99.3157	14.2067	1.33294	1.332944
2.63215	13.985	99.3757	702.425	-3333.73	6361.52	-3333.73	702.425	99.3757	13.985	2.63216
1.332944	1.33294	14.2067	99.3157	702.43	-3333.73	6361.51	-3333.77	702.143	97.3949	13.9854
1.354471	1.351747	2.2228	14.2123	-3333.77	702.425	-3333.77	6361.33	-421.75	633.213	133.355
7.74537E-23	9.12627E-22	1.237332	2.2005	14.2067	99.3757	702.143	-421.75	6347.4	-4399.64	335.403
1.37934E-23	5.56533E-23	4.12627E-22	1.331747	1.33294	13.985	97.3949	633.213	-4399.64	5659.19	-2361.39
2.33789E-24	1.07334E-23	7.74537E-23	1.354471	1.332944	2.63216	13.9853	133.355	335.403	-2361.39	1271.37

C.2. SİSTEM RİJİTLİK MATRİSİ VE ÇÖZÜM

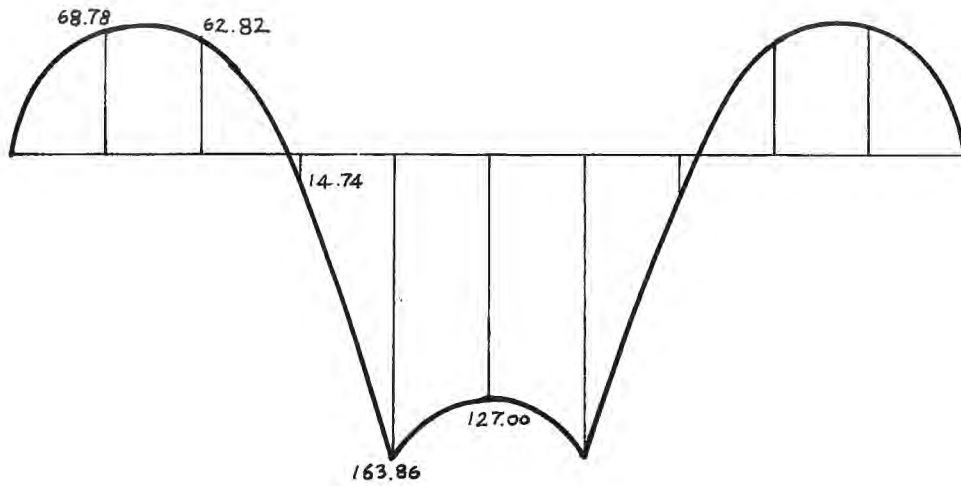
Temel zemini ve Temel kirişi rijitlik matrisleri süperpoze edildiğinde aşağıdaki [K] sistem rijitlik matrisi bulunur.

1280.580	X-2365.74	935.146	133.006	18.951	2.774	0.414	0.028	0.004	0.000	0.002
X-2365.74	5670.006	X-4103.38	687.982	97.835	13.916	2.049	0.324	0.016	0.002	0.000
935.146	X-4103.38	6358.224	X-4005.49	701.906	99.814	14.197	2.090	0.329	0.016	0.004
133.006	687.982	X-4005.49	6372.154	X-4003.51	702.188	99.854	14.202	2.090	0.324	0.028
18.951	97.835	701.906	X-4003.51	6372.430	X-4003.47	702.193	99.854	14.197	2.049	0.414
2.774	13.916	99.814	702.188	X-4003.47	6372.445	X-4003.47	702.188	99.814	13.916	2.774
0.414	2.049	14.197	99.854	702.193	X-4003.47	6372.430	X-4003.51	701.906	97.835	18.951
0.028	0.324	2.090	14.202	99.854	702.188	X-4003.51	6372.154	X-4005.49	687.982	133.006
0.004	0.016	0.329	2.090	14.197	99.814	701.906	X-4005.49	6358.224	X-4103.38	935.146
0.000	0.002	0.016	0.324	2.049	13.916	97.835	687.982	X-4103.38	5670.006	X-2365.74
0.002	0.000	0.004	0.028	0.414	2.774	18.951	133.006	935.146	X-2365.74	1280.580

Bu halde çözüm de sonra hesaplanan deplasmanlar ve açıklıklar ile mesnetlerde oluşan momentler aşağıdaki gibidir.

X(1)=	18.9989
X(2)=	19.0418
X(3)=	19.1214
X(4)=	19.2348
X(5)=	19.3478
X(6)=	19.3727
X(7)=	19.3479
X(8)=	19.2349
X(9)=	19.1216
X(10)=	19.0420
X(11)=	18.9991

Açıklık	Xsol(cm)	Xsağ(cm)	MaksMac(tm)
1	0.00	-68.78	0.00
2	-68.78	-62.82	-62.82
3	-62.82	14.74	14.74
4	14.74	163.86	163.86
5	163.86	127.00	163.86
6	127.00	164.00	164.00
7	164.00	14.62	164.00
8	14.62	-62.67	14.62
9	-62.67	-68.76	-62.67
10	-68.76	0.00	0.00



Diyagram B: Üst yapı rijitliği gözönüne alınmadan ve kayma deformasyonları ihmal edilmeden hesaplanan momentler ve diyagramı.

4.1.2. ÜST YAPI RİJİTLİĞİNİN HESABA DAHİL EDİLMESİ

A. ÇERÇEVENİN RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI

Çerçevenin rijitlik matrisi $[K]**$ Bölüm, 3.3'de anlatıldığı şekilde bir bilgisayar programı[16] kullanılarak kurulmuştur.

$$\begin{bmatrix} 54.3539 & -124.295 & 56.1481 & 13.7871 \\ -124.295 & 516.67 & -448.523 & 56.1481 \\ 56.1481 & -448.523 & 516.67 & -124.295 \\ 13.7871 & 56.1481 & -124.295 & 54.3539 \end{bmatrix}$$

B.1. SİSTEM RİJİTLİK MATRİSİ VE ÇÖZÜM

(TEMEL KİRİŞİNDE KAYMA DEFORMASYONLARI İHMAL EDİLEREK)

4.1.1 bölümde temel zemini, kayma deformasyonu ihmal edilerek hesaplanan temel kirişi rijitlik matrislerinin kurulması anlatılmış idi.

$[K^e]^*$ Temel zemini, $[K]**$ Temel kirişi ve $[K]^*$ çerçevenin rijitlik matrisleri süperpoze edilerek aşağıdaki sistem rijitlik matrisi $[K]$ bulunmuştur.

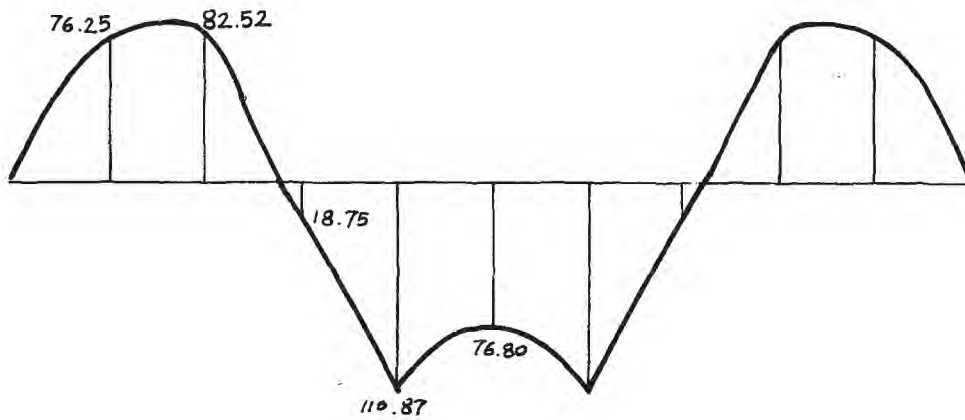
$$\begin{bmatrix} 141.333 & -3024.433 & 4466.073 & -1105.709 & 136.008 & -35.041 & 79.302 & 0.000 & 0.000 & 0.000 & 12.037 \\ -3024.433 & 17076.329 & -16432.740 & 7120.254 & -1224.870 & 615.527 & -128.955 & 37.048 & -9.091 & 0.471 & -0.411 \\ 4466.073 & -16432.740 & 24253.620 & -18357.740 & 7695.803 & -1262.302 & 332.529 & -147.332 & 33.209 & -5.191 & 1.640 \\ -1105.709 & 7120.254 & -18357.740 & 24774.320 & -12455.340 & 7721.302 & -2072.272 & 354.993 & -147.032 & 27.042 & -0.133 \\ 136.008 & -1224.870 & 7695.803 & -12455.340 & 25029.280 & -13525.740 & 1366.754 & -3076.272 & 352.525 & -129.246 & 70.012 \\ -35.041 & 615.527 & -1262.302 & 7721.302 & -12225.712 & 24303.820 & -13505.740 & 1720.212 & -3012.202 & 305.527 & -23.541 \\ 79.302 & -128.955 & 332.529 & -2072.272 & 13525.740 & -23331.220 & 10495.940 & 7895.332 & -1124.272 & 75.398 & \\ 0.000 & 37.048 & -147.332 & 354.993 & -3076.272 & 13525.740 & -24774.320 & 18357.740 & 7120.254 & -1105.709 & \\ 0.000 & -9.091 & 33.209 & -147.332 & 352.525 & -1262.302 & 13525.740 & -18357.740 & 24253.620 & -16432.740 & 4466.073 \\ -0.411 & 0.471 & -5.191 & 27.042 & -129.246 & 305.527 & -3012.202 & 305.527 & -16432.740 & 17076.320 & -3024.433 \\ 12.037 & -0.411 & 1.640 & -0.133 & 70.012 & -23.541 & 75.398 & 4466.073 & -3024.433 & 3941.368 & \end{bmatrix}$$

Bu halde hesaplama deplasmanları aşağıdaki şekilde olmaktadır.

11.01	13.3743
11.02	13.3743
11.03	13.3743
11.04	13.3743
11.05	13.3743
11.06	13.3743
11.07	13.3743
11.08	13.3743
11.09	13.3743
11.10	13.3743
11.11	13.3743
11.12	13.3743
11.13	13.3743
11.14	13.3743
11.15	13.3743
11.16	13.3743
11.17	13.3743
11.18	13.3743
11.19	13.3743
11.20	13.3743
11.21	13.3743
11.22	13.3743
11.23	13.3743
11.24	13.3743
11.25	13.3743
11.26	13.3743
11.27	13.3743
11.28	13.3743
11.29	13.3743
11.30	13.3743
11.31	13.3743
11.32	13.3743
11.33	13.3743
11.34	13.3743
11.35	13.3743
11.36	13.3743
11.37	13.3743
11.38	13.3743
11.39	13.3743
11.40	13.3743
11.41	13.3743
11.42	13.3743
11.43	13.3743
11.44	13.3743
11.45	13.3743
11.46	13.3743
11.47	13.3743
11.48	13.3743
11.49	13.3743
11.50	13.3743
11.51	13.3743
11.52	13.3743
11.53	13.3743
11.54	13.3743
11.55	13.3743
11.56	13.3743
11.57	13.3743
11.58	13.3743
11.59	13.3743
11.60	13.3743
11.61	13.3743
11.62	13.3743
11.63	13.3743
11.64	13.3743
11.65	13.3743
11.66	13.3743
11.67	13.3743
11.68	13.3743
11.69	13.3743
11.70	13.3743
11.71	13.3743
11.72	13.3743
11.73	13.3743
11.74	13.3743
11.75	13.3743
11.76	13.3743
11.77	13.3743
11.78	13.3743
11.79	13.3743
11.80	13.3743
11.81	13.3743
11.82	13.3743
11.83	13.3743
11.84	13.3743
11.85	13.3743
11.86	13.3743
11.87	13.3743
11.88	13.3743
11.89	13.3743
11.90	13.3743
11.91	13.3743
11.92	13.3743
11.93	13.3743
11.94	13.3743
11.95	13.3743
11.96	13.3743
11.97	13.3743
11.98	13.3743
11.99	13.3743
12.00	13.3743

Bu deplasmanlar ile açıklıklarda ve mesnetlerde hesaplanan momentler de

Yer	Yük	Kaçık	Max	Min
1	76.25	76.25	76.25	76.25
2	76.25	76.25	76.25	76.25
3	82.52	82.52	82.52	82.52
4	110.87	110.87	110.87	110.87
5	76.80	76.80	76.80	76.80
6	76.80	76.80	76.80	76.80
7	76.80	76.80	76.80	76.80
8	76.80	76.80	76.80	76.80
9	76.80	76.80	76.80	76.80
10	76.80	76.80	76.80	76.80
11	76.80	76.80	76.80	76.80
12	76.80	76.80	76.80	76.80
13	76.80	76.80	76.80	76.80
14	76.80	76.80	76.80	76.80
15	76.80	76.80	76.80	76.80
16	76.80	76.80	76.80	76.80
17	76.80	76.80	76.80	76.80
18	76.80	76.80	76.80	76.80
19	76.80	76.80	76.80	76.80
20	76.80	76.80	76.80	76.80
21	76.80	76.80	76.80	76.80
22	76.80	76.80	76.80	76.80
23	76.80	76.80	76.80	76.80
24	76.80	76.80	76.80	76.80
25	76.80	76.80	76.80	76.80
26	76.80	76.80	76.80	76.80
27	76.80	76.80	76.80	76.80
28	76.80	76.80	76.80	76.80
29	76.80	76.80	76.80	76.80
30	76.80	76.80	76.80	76.80
31	76.80	76.80	76.80	76.80
32	76.80	76.80	76.80	76.80
33	76.80	76.80	76.80	76.80
34	76.80	76.80	76.80	76.80
35	76.80	76.80	76.80	76.80
36	76.80	76.80	76.80	76.80
37	76.80	76.80	76.80	76.80
38	76.80	76.80	76.80	76.80
39	76.80	76.80	76.80	76.80
40	76.80	76.80	76.80	76.80
41	76.80	76.80	76.80	76.80
42	76.80	76.80	76.80	76.80
43	76.80	76.80	76.80	76.80
44	76.80	76.80	76.80	76.80
45	76.80	76.80	76.80	76.80
46	76.80	76.80	76.80	76.80
47	76.80	76.80	76.80	76.80
48	76.80	76.80	76.80	76.80
49	76.80	76.80	76.80	76.80
50	76.80	76.80	76.80	76.80
51	76.80	76.80	76.80	76.80
52	76.80	76.80	76.80	76.80
53	76.80	76.80	76.80	76.80
54	76.80	76.80	76.80	76.80
55	76.80	76.80	76.80	76.80
56	76.80	76.80	76.80	76.80
57	76.80	76.80	76.80	76.80
58	76.80	76.80	76.80	76.80
59	76.80	76.80	76.80	76.80
60	76.80	76.80	76.80	76.80
61	76.80	76.80	76.80	76.80
62	76.80	76.80	76.80	76.80
63	76.80	76.80	76.80	76.80
64	76.80	76.80	76.80	76.80
65	76.80	76.80	76.80	76.80
66	76.80	76.80	76.80	76.80
67	76.80	76.80	76.80	76.80
68	76.80	76.80	76.80	76.80
69	76.80	76.80	76.80	76.80
70	76.80	76.80	76.80	76.80
71	76.80	76.80	76.80	76.80
72	76.80	76.80	76.80	76.80
73	76.80	76.80	76.80	76.80
74	76.80	76.80	76.80	76.80
75	76.80	76.80	76.80	76.80
76	76.80	76.80	76.80	76.80
77	76.80	76.80	76.80	76.80
78	76.80	76.80	76.80	76.80
79	76.80	76.80	76.80	76.80
80	76.80	76.80	76.80	76.80
81	76.80	76.80	76.80	76.80
82	76.80	76.80	76.80	76.80
83	76.80	76.80	76.80	76.80
84	76.80	76.80	76.80	76.80
85	76.80	76.80	76.80	76.80
86	76.80	76.80	76.80	76.80
87	76.80	76.80	76.80	76.80
88	76.80	76.80	76.80	76.80
89	76.80	76.80	76.80	76.80
90	76.80	76.80	76.80	76.80
91	76.80	76.80	76.80	76.80
92	76.80	76.80	76.80	76.80
93	76.80	76.80	76.80	76.80
94	76.80	76.80	76.80	76.80
95	76.80	76.80	76.80	76.80
96	76.80	76.80	76.80	76.80
97	76.80	76.80	76.80	76.80
98	76.80	76.80	76.80	76.80
99	76.80	76.80	76.80	76.80
100	76.80	76.80	76.80	76.80



Diyagram C: Üst yapı rijitliğide hesaba katılarak ve kayma deformasyonları ihmal edilerek hesaplanan momentler ve diyagramı.

B.2. SİSTEM RİJİTLİK MATRİSİ VE ÇÖZÜM

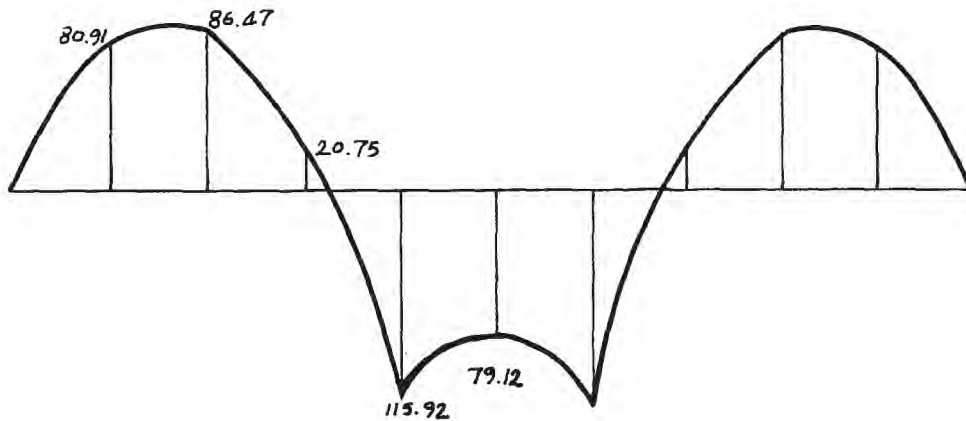
(TEMEL KİRİŞİNDE KAYMA DEFORMASYONLARI İHMAL EDİLMEYEN)

Bu kez de kayma deformasyonları ihmal edilmeden kurulan temel kirişi rijitlik matrisi $[K]^{**}$, Temel zemini rijitlik matrisi $[K^e]^*$ ve çerçevenin rijitlik matrisi $[K]^*$ süperpoze edilerek aşağıdaki $[K]$ sistem rijitlik matrisi hesaplanmıştır.

1334.938	%-2365.74	935.146	133.006	-105.344	2.774	56.562	0.028	0.004	0.000	13.789
%-2365.74	5670.006	%-4103.38	687.982	97.835	13.916	2.049	0.324	0.016	0.002	0.000
935.146	%-4103.38	6358.224	%-4005.49	701.906	99.814	14.197	2.090	0.329	0.016	0.004
133.006	687.982	%-4005.49	6372.154	%-4003.51	702.188	99.854	14.202	2.090	0.324	0.028
-105.344	97.835	701.906	%-4003.51	6889.104	%-4003.47	253.670	99.854	14.197	2.049	56.562
2.774	13.916	99.814	702.188	%-4003.47	6372.445	%-4003.47	702.188	99.814	13.916	2.774
56.562	2.049	14.197	99.854	253.670	%-4003.47	6889.104	%-4003.51	701.906	97.835	-105.343
0.028	0.324	2.090	14.202	99.854	702.188	%-4003.51	6372.154	%-4005.49	687.982	133.006
0.004	0.016	0.329	2.090	14.197	99.814	701.906	%-4005.49	6358.224	%-4103.38	935.146
0.000	0.002	0.016	0.324	2.049	13.916	97.835	687.982	%-4103.38	5670.006	%-2365.74
13.789	0.000	0.004	0.028	56.562	2.774	-105.344	133.006	935.146	%-2365.74	1334.938

Bu haldeki çözüme göre hesaplanan deplasmanlar, açıklık ve mesnetlerdeki momentlerde aşağıdaki gibidir.

X(i)=	Açıklık	X _{so1} (cm)	X _{so2} (cm)	MaxMac (cm)
19.1023	1	0.00	-80.91	0.00
19.0808	2	-80.91	-86.47	-80.91
19.1014	3	-86.47	-20.75	-20.75
19.1662	4	-20.75	115.92	115.92
19.2462	5	115.92	79.12	115.92
19.2603	6	79.12	116.07	116.07
19.2458	7	116.07	-20.90	116.07
19.1653	8	-20.90	-86.49	-20.90
19.1001	9	-86.49	-80.92	-80.92
19.0791	10	-80.92	0.00	0.00
19.1002				



Diyagram D: Üst yapı rijitliğide hesaba katılarak ve kayma deformasyonları ihmal edilmeden hesaplanan momentler ve diyagramı.

4.1.3. ÖRNEK 1'İN, ZEMİN RİJİTLİĞİNİN BULUNMASINA ESAS
BİLGİSAYAR PROGRAMININ DATALARI

6000 DATA 80 elemanli zemin dis yayili yuk altinda
6010 DATA 80, 99, 1, 36, 47
6020 DATA 50, .35
6030 ! dugum noktasi koordinatlari
6040 DATA 1, 10, 9, 0, 0, 250, 0
6050 DATA 19, 28, 9, 375, 0, 500, 0
6060 DATA 37, 46, 9, 625, 0, 750, 0
6070 DATA 55, 64, 9, 875, 0, 937.5, 0
6080 DATA 73, 82, 9, 960, 0, 980, 0
6090 DATA 82, 91, 9, 980, 0, 1000, 0
6100 DATA 2, 11, 9, 0, 100, 250, 100
6110 DATA 20, 29, 9, 375, 100, 500, 100
6120 DATA 38, 47, 9, 625, 100, 750, 100
6130 DATA 56, 65, 9, 875, 100, 937.5, 100
6140 DATA 74, 83, 9, 960, 100, 980, 100
6150 DATA 83, 92, 9, 980, 100, 1000, 100
6160 DATA 3, 12, 9, 0, 200, 250, 200
6170 DATA 21, 30, 9, 375, 200, 500, 200
6180 DATA 39, 48, 9, 625, 200, 750, 200
6190 DATA 57, 66, 9, 875, 200, 937.5, 200
6200 DATA 75, 84, 9, 960, 200, 980, 200
6210 DATA 84, 93, 9, 980, 200, 1000, 200
6220 DATA 4, 13, 9, 0, 300, 250, 300
6230 DATA 22, 31, 9, 375, 300, 500, 300
6240 DATA 40, 49, 9, 625, 300, 750, 300
6250 DATA 58, 67, 9, 875, 300, 937.5, 300
6260 DATA 76, 85, 9, 960, 300, 980, 300
6270 DATA 85, 94, 9, 980, 300, 1000, 300
6280 DATA 5, 14, 9, 0, 400, 250, 400
6290 DATA 23, 32, 9, 375, 400, 500, 400
6300 DATA 41, 50, 9, 625, 400, 750, 400
6310 DATA 59, 68, 9, 875, 400, 937.5, 400
6320 DATA 77, 86, 9, 960, 400, 980, 400
6330 DATA 86, 95, 9, 980, 400, 1000, 400
6340 DATA 6, 15, 9, 0, 500, 250, 500
6350 DATA 24, 33, 9, 375, 500, 500, 500
6360 DATA 42, 51, 9, 625, 500, 750, 500
6370 DATA 60, 69, 9, 875, 500, 937.5, 500
6380 DATA 78, 87, 9, 960, 500, 980, 500
6390 DATA 87, 96, 9, 980, 500, 1000, 500
6400 DATA 7, 16, 9, 0, 600, 250, 600
6410 DATA 25, 34, 9, 375, 600, 500, 600
6420 DATA 43, 52, 9, 625, 600, 750, 600
6430 DATA 61, 70, 9, 875, 600, 937.5, 600
6440 DATA 79, 88, 9, 960, 600, 980, 600
6450 DATA 88, 97, 9, 980, 600, 1000, 600
6460 DATA 8, 17, 9, 0, 650, 250, 650
6470 DATA 26, 35, 9, 375, 650, 500, 650
6480 DATA 44, 53, 9, 625, 650, 750, 650
6490 DATA 62, 71, 9, 875, 650, 937.5, 650
6500 DATA 80, 89, 9, 960, 650, 980, 650
6510 DATA 89, 98, 9, 980, 650, 1000, 650

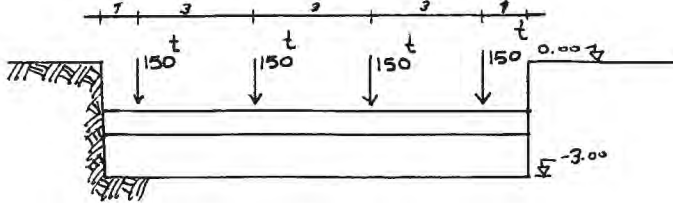
```

6520 DATA 9, 18, 9, 0, 700, 250, 700
6530 DATA 27, 36, 9, 375, 700, 500, 700
6540 DATA 45, 54, 9, 625, 700, 750, 700
6550 DATA 63, 72, 9, 875, 700, 937.5, 700
6560 DATA 81, 90, 9, 960, 700, 980, 700
6570 DATA 90, 99, 9, 980, 700, 1000, 700
6580 ! elemani sinirlayan dugum noktaları
6590 DATA 1, 10, 9, 1, 1, 2, 11, 10
6600 DATA 11, 20, 9, 1, 2, 3, 12, 11
6610 DATA 21, 30, 9, 1, 3, 4, 13, 12
6620 DATA 31, 40, 9, 1, 4, 5, 14, 13
6630 DATA 41, 50, 9, 1, 5, 6, 15, 14
6640 DATA 51, 60, 9, 1, 6, 7, 16, 15
6650 DATA 61, 70, 9, 1, 7, 8, 17, 16
6660 DATA 71, 80, 9, 1, 8, 9, 18, 17
6670 ! eleman kalınlığı
6680 DATA 1, 80, 1, 200, 0
6690 ! sınır şartları
6700 DATA 9, 1, 0, 8, 1, 0, 7, 1, 0, 6, 1, 0, 5, 1, 0, 4, 1, 0,
    3, 1, 0, 2, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 2, 0, 10, 1, 0, 1 ,
    2, 0, 19, 1, 0, 19, 2, 0, 28, 1, 0, 28, 2, 0, 37, 1, 0, 37,
    2, 0, 46, 1, 0, 46, 2, 0, 55, 1, 0, 55, 2, 0
6710 DATA 64, 1, 0, 64, 2, 0, 73, 1, 0, 73, 2, 0, 82, 1, 0, 82,
    2, 0, 91, 1, 0, 91, 2, 0, 92, 1, 0, 93, 1, 0,
    94, 1, 0, 95, 1, 0, 96, 1, 0, 97, 1, 0, 98, 1, 0, 99, 1, 0,
    10, 1, 0, 27, 1, 0, 36, 1, 0, 45, 1, 0, 54, 1, 0
6715 DATA 63, 1, 0, 72, 1, 0, 81, 1, 0, 90, 1, 0
6720 ! yuklenen nokta sayisi
6730 DATA 4
6740 ! yukler
6760 DATA 72, 72, 1, 0, 90
6762 DATA 81, 81, 1, 0, 170
6764 DATA 90, 90, 1, 0, 160
6766 DATA 99, 99, 1, 0, 80
6770 ! isi degerleri
6780 DATA 0, 0

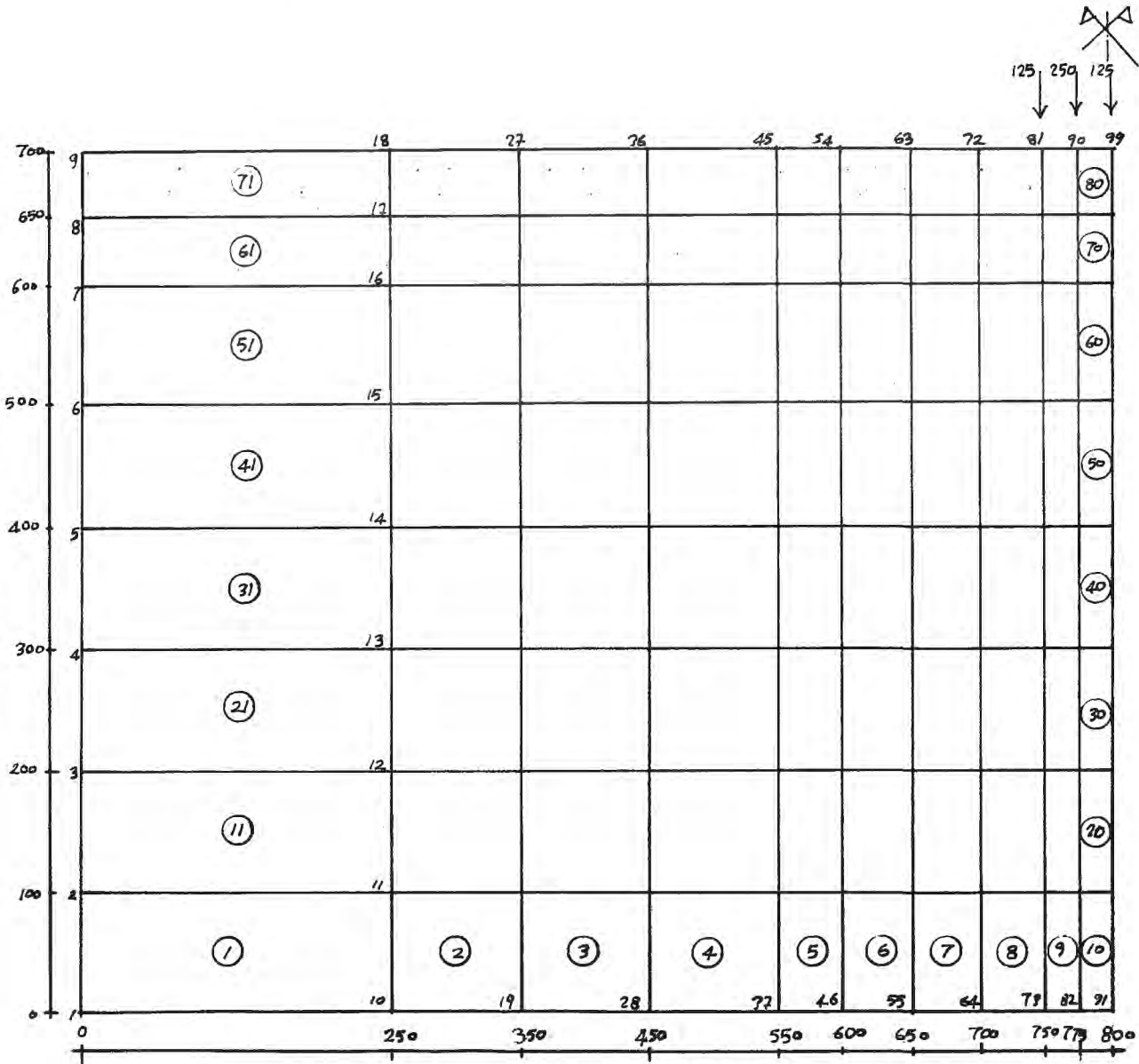
```

4.2. ÖRNEK 2

Bu kere de üstyapının rijitliği düşünülmeden temel kirişi ve temel zemini ortak rijitliği ile oluşan moment değerleri araştırılacaktır.



A. ZEMİN RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI



Şekil'de, zeminin elemanlara ayrılmış hali ve uygulanan birim yük-
ler görülmektedir.

Zemin rijitlik matrisi $[K^e]^*$ Bölüm: 3.2'deki şekilde oturma kalıbı
çıkarılarak oluşturulmuş ve aşağıdaki gibidir.

472	-5.2655	-0.3213	0.5753	-0.1598	0.2297	0.2542	0.2223	-0.2257	-0.2016	0.2232	0.222
555	15.1742	-5.5857	-1.2204	0.5472	-0.1512	-0.2133	0.2542	0.2343	-0.2253	-0.2212	0.223
213	-5.5857	15.2241	-5.7208	-1.2726	0.5456	-0.1521	-0.2226	0.2559	0.2343	-0.2253	-0.221
753	-1.2204	-5.7208	15.2437	-5.7275	-1.2722	0.5434	-0.1572	-0.2213	0.2559	0.2343	-0.225
598	0.5472	-1.2726	-5.7275	15.2526	-5.7277	-1.2709	0.5432	-0.1572	-0.2222	0.2542	0.232
327	-0.1542	0.5456	-1.2722	-5.7277	15.2526	-5.7273	-1.2729	0.5434	-0.1531	-0.2193	0.251
542	-0.2133	-0.1521	0.5434	-1.2728	-5.7273	15.2526	-5.7277	-1.2722	0.5456	-0.1512	0.222
223	0.2542	-0.2226	-0.1572	0.5432	-1.2729	-5.7277	15.2526	-5.7275	-1.2726	0.5472	-0.152
267	0.2343	0.2343	-0.2212	-0.1572	0.5434	-1.2722	-5.7275	15.2487	-5.7229	-1.2224	0.575
219	-0.2253	0.2343	0.2359	-0.2206	-0.1531	0.5456	-1.2726	-5.7229	15.2241	-5.5857	-0.321
232	-0.2253	-0.2253	0.2343	0.2542	-0.2133	-0.1542	0.5472	-1.2204	-5.5857	15.1742	-5.265
223	0.2323	-0.2213	-0.2257	0.2223	0.2542	0.2297	-0.1598	0.5753	-0.3213	-5.2655	15.174

B. TEMEL KİRİŞİ RİJİTLİK MATRİSİNİN KURULMASI

(KAYMA DEFORMASYONLARI İHMAL EDİLEREK)

Bölüm 3.4'de açıklandığı şekilde bir bilgisayar programı[16] ile
temel kirişi rijitlik matrisi $[K]^{**}$ kurulmuştur.

120	-18553.5400	13375.7400	-3534.0120	950.3340	-257.3200	53.9420	-13.4740	4.9420	-1.3100	0.3250	-0.255
20	51113.5120	-49204.4300	21524.1120	-5752.2080	1543.9250	-413.5920	110.8450	-29.5920	7.9170	-1.5750	0.3250
20	-49204.4300	72617.7200	-54956.4420	23244.0320	-6175.7220	1654.7720	-443.3330	113.7530	-31.6700	7.9170	-1.3150
80	21524.1120	-54956.4420	74161.6400	-55320.1300	23159.8200	-6205.3920	1562.6890	-445.3230	113.7620	-29.5920	4.3420
140	-5752.2080	23244.0320	-55320.1300	74272.5720	-55429.8200	23155.2000	-6207.3720	1552.6890	-443.3830	113.8450	-13.4740
100	1543.9250	-6175.7220	23159.8200	-55429.8200	74220.4100	-55411.2000	23155.3200	-6205.3920	1554.7720	-413.5920	53.9420
120	-413.5920	1554.7720	-6205.3920	23155.2000	-55411.2000	74220.4100	-55429.8200	23159.8200	-6175.7220	1543.9250	-257.3200
140	113.8450	-443.3830	1562.6890	-6207.3720	23155.2000	-55429.8200	74272.5720	-55320.1300	23244.0320	-5752.2080	950.3340
160	-29.5920	113.7530	-445.3230	1562.6890	-6205.3920	23159.8200	-55320.1300	74161.6400	-54956.4420	21524.1120	-3534.0120
180	7.9170	-31.6700	113.7620	-443.3830	1554.7720	-6175.7220	23244.0320	-54956.4420	72617.7200	-49204.4300	13375.7400
200	-1.5750	7.9170	-29.5920	113.8450	-413.5920	1543.9250	-5752.2080	21524.1120	-49204.4300	51113.5120	-18553.5400
220	0.3250	-1.3150	4.9420	-13.4740	53.9420	-257.3200	950.3340	-3534.0120	13375.7400	-18553.5400	9319.8240

C. SİSTEM RİJİTLİK MATRİSİ VE ÇÖZÜM

Temel zemini ve Temel kirişi rijitlik matrisleri süperpoze edildiğinde aşağıdaki [K] sistem rijitlik matrisi bulunur.

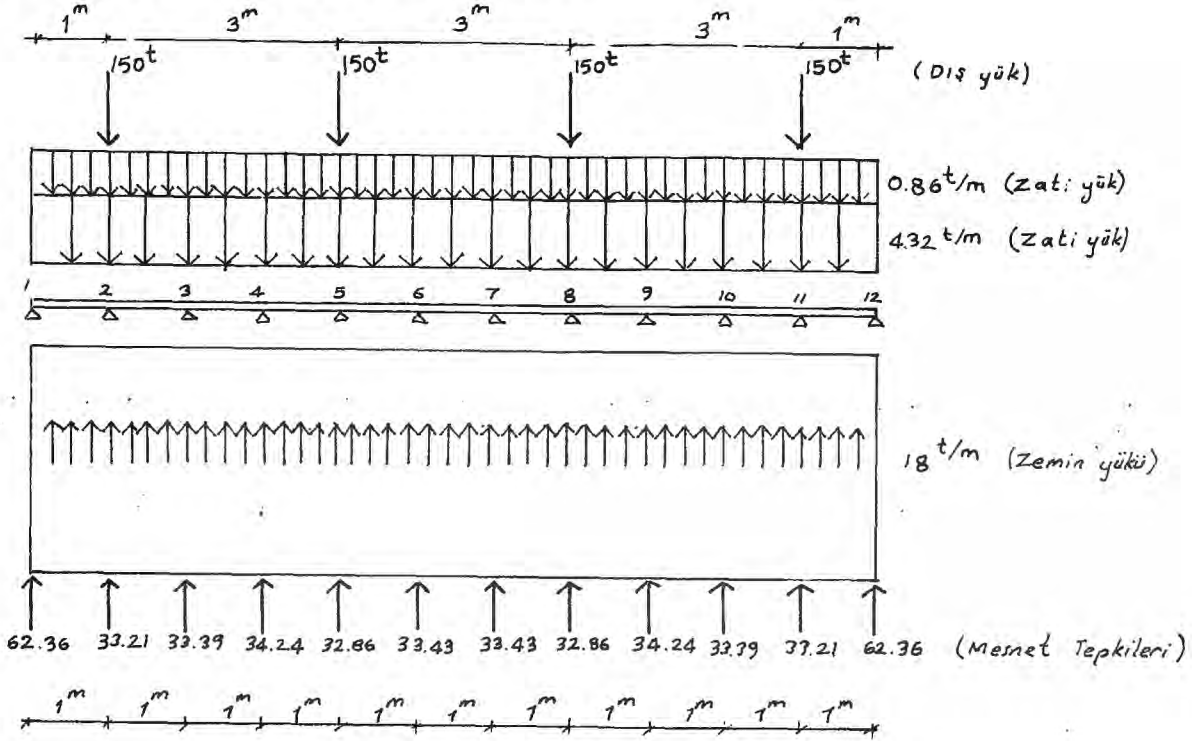
175	-13374,950	13374,920	-3583,443	980,174	-257,312	59,212	-13,452	4,921	-1,321	0,332	-0,251
180	51129,780	-49210,120	21533,330	-5761,351	1543,762	-413,711	110,299	-29,555	7,391	-1,942	0,222
192	-49210,120	72633,540	-54972,150	23245,960	-6175,255	1554,604	-443,424	110,219	-31,536	7,991	-1,321
143	21533,330	-54972,150	74177,920	-55385,360	23157,310	-6224,743	1662,522	-445,395	113,219	-29,575	4,921
74	-5761,351	23245,960	-55365,860	74289,750	-55415,550	23165,730	-6225,723	1662,522	-443,424	112,399	-13,452
13	1543,762	-6175,255	23157,310	-55415,550	74296,560	-55417,530	23165,730	-6224,743	1554,604	-413,711	59,212
112	-413,711	1554,604	-5224,745	23165,730	-55417,530	74296,560	-55415,550	23157,310	-6175,255	1543,761	-257,312
22	110,299	-443,424	1662,522	-6224,743	23165,730	-55415,550	74289,750	-55385,360	23245,978	-5751,351	980,174
21	-29,555	113,219	-445,395	1662,522	-6224,743	23157,310	-55385,350	74177,890	-54972,150	21533,330	-3583,441
21	7,391	-31,536	113,219	-443,424	1554,604	-6175,255	23245,978	-54972,150	72633,540	-49210,120	13374,920
132	-1,942	7,991	-29,555	110,299	-413,711	1543,761	-5751,351	21533,330	-49210,120	51129,780	-13374,920
55	0,332	-1,321	4,921	-13,452	59,212	-357,312	980,174	-3583,443	13374,920	-13374,920	3333,271

Bu halde çözümden sonra hesaplanan deplasmanlar ve momentler şöyledir.

X(1)=	3,6335
X(2)=	3,9519
X(3)=	9,1309
X(4)=	9,2409
X(5)=	9,2699
X(5)=	9,2626
X(7)=	9,2322
X(8)=	9,2686
X(9)=	9,3391
X(10)=	8,3984
X(11)=	3,9489
X(12)=	8,2569

Moment değerlerinin hesaplanması aşağıdaki gibi olmuştur.

Kirişimiz, zemin 3 m. kazıldıktan sonra zemine konulmuştur. 3 m. aşağıdaki zemin, üzerindeki kazılan zeminin ağırlığı ile daha önce bir miktar oturmuş durumdadır. Zemin 2 ton/m^3 yoğunluğunda olduğu halde, 3 metre derinlikte 6 ton/m^2 lik alana gelen bir yüke sahip olur. Bu da bize kazılan zemin ağırlığında üniform bir yük zemine konulduğunda oturmaların sıfır olacağını ifade eder.



0 halde oturmalar yönünden zemine etki edecek kiriş yükleri, teorik olarak, zemin ağırlığı kadar azaltılmış bir etki içinde olacaktır. Bu da pratikte 150 ton olarak verilen çerçeveden gelen kiriş yüklerinden 6 t/m^2 zemin yükünün çıkarılması gerektiğini belirler.

Buna göre yükler

- (+) 150 ton (Dış yük)
- (+) $1,44 \text{ t/m}^2$ (Kiriş zati yükü)
- (+) $0,86 \text{ t/m}$ (Kiriş zati yükü)
- (-) 6 t/m^2 (Zemin yükü) ile

117,95 ton ve 111,54 ton olarak hesaplanır.

Bu hesap şekli ile momentlerin hesabı ise, bu yük kabullerinin kirişe yansıtılması ile olacaktır.

Temel zemini rijitlik matrisi ile deplasmanlar,

$[F] = [K][U]$ eşitliğinde yerlerine konulup çözümlerse, $[F]$ matrisinin elemanları zemindeki mesnet tepkilerini verir. Bu mesnet tepkileri de kirişe yansıtılarak (Şekil:47) klasik moment alma kuralı ile momentler bulunduğu aşağıdaki gibi olur.

$$M_1 = 0$$

$$M_2 = 68,77$$

$$M_3 = 33,57$$

$$M_4 = 44,58$$

$$M_5 = 102,65$$

$$M_6 = 56,4$$

$$M_7 = 56,4$$

$$M_8 = 102,65$$

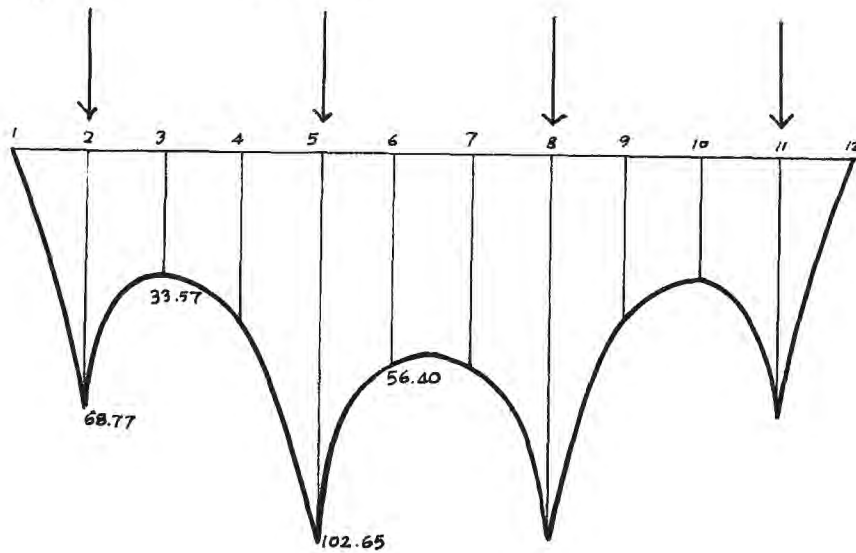
$$M_9 = 44,58$$

$$M_{10} = 33,57$$

$$M_{11} = 68,71$$

$$M_{12} = 0$$

bulunur.



Moment diyagramı.

4.2.1. ÖRNEK 2'NİN. ZEMİN RİJİTLİĞİNİN BULUNMASINA ESAS BİLGİSAYAR PROGRAMININ DATALARI

```

6000 DATA 80 ! eleman 1 zemin cis yazılı yuk altında (örnek)
6010 DATA 80, 99, 1, 36, 47
6020 DATA 50, .35
6030 ! dugum noktasi koordinatları
6040 DATA 1, 10, 9, 0, 0, 100, 0
6050 DATA 19, 28, 9, 200, 0, 300, 0
6060 DATA 37, 46, 9, 400, 0, 500, 0
6070 DATA 55, 64, 9, 600, 0, 700, 0
6080 DATA 73, 82, 9, 750, 0, 775, 0
6090 DATA 82, 91, 9, 775, 0, 800, 0
6100 DATA 2, 11, 9, 0, 120, 120, 100
6110 DATA 20, 29, 9, 200, 100, 300, 120
6120 DATA 38, 47, 9, 400, 100, 500, 100
6130 DATA 56, 65, 9, 600, 100, 700, 100
6140 DATA 74, 83, 9, 750, 100, 775, 100
6150 DATA 83, 92, 9, 775, 100, 800, 100
6160 DATA 3, 12, 9, 0, 200, 100, 200
6170 DATA 21, 30, 9, 200, 200, 300, 200
6180 DATA 39, 48, 9, 400, 200, 500, 200
6190 DATA 57, 66, 9, 600, 200, 700, 200
6200 DATA 75, 84, 9, 750, 200, 775, 200
6210 DATA 84, 93, 9, 775, 200, 800, 200
6220 DATA 4, 13, 9, 0, 300, 120, 300
6230 DATA 22, 31, 9, 200, 300, 300, 300
6240 DATA 40, 49, 9, 400, 300, 500, 300
6250 DATA 58, 67, 9, 600, 300, 700, 300
6260 DATA 76, 85, 9, 750, 300, 775, 300
6270 DATA 85, 94, 9, 775, 300, 800, 300
6280 DATA 5, 14, 9, 0, 400, 120, 400
6290 DATA 23, 32, 9, 200, 400, 300, 400
6300 DATA 41, 50, 9, 400, 400, 500, 400
6310 DATA 59, 68, 9, 600, 400, 700, 400
6320 DATA 77, 86, 9, 750, 400, 775, 400
6330 DATA 86, 95, 9, 775, 400, 800, 400
6340 DATA 6, 15, 9, 0, 500, 120, 500
6350 DATA 24, 33, 9, 200, 500, 300, 500
6360 DATA 42, 51, 9, 400, 500, 500, 500
6370 DATA 60, 69, 9, 600, 500, 700, 500
6380 DATA 78, 87, 9, 750, 500, 775, 500
6390 DATA 87, 96, 9, 775, 500, 800, 500
6400 DATA 7, 16, 9, 0, 600, 120, 600
6410 DATA 25, 34, 9, 200, 600, 300, 600
6420 DATA 43, 52, 9, 400, 600, 500, 600
6430 DATA 61, 70, 9, 600, 600, 700, 600
6440 DATA 79, 88, 9, 750, 600, 775, 600
6450 DATA 88, 97, 9, 775, 600, 800, 600
6460 DATA 8, 17, 9, 0, 650, 100, 650
6470 DATA 26, 35, 9, 200, 650, 300, 650
6480 DATA 44, 53, 9, 400, 650, 500, 650
6490 DATA 62, 71, 9, 600, 650, 700, 650
6500 DATA 80, 89, 9, 750, 650, 775, 650
6510 DATA 89, 98, 9, 775, 650, 800, 650
6520 DATA 9, 18, 9, 0, 700, 100, 700
6530 DATA 27, 36, 9, 200, 700, 300, 700
6540 DATA 45, 54, 9, 400, 700, 500, 700
6550 DATA 63, 72, 9, 600, 700, 700, 700
6560 DATA 81, 90, 9, 750, 700, 775, 700
6570 DATA 90, 99, 9, 775, 700, 800, 700
6580 ! elemanı sinirlayan dugum noktaları
6590 DATA 1, 10, 9, 1, 1, 2, 11, 10
6600 DATA 11, 20, 9, 1, 2, 3, 12, 11
6610 DATA 21, 30, 9, 1, 3, 4, 13, 12
6620 DATA 31, 40, 9, 1, 4, 5, 14, 13

```

6630 DATA 41,50,9,1,5,6,15,14
 6640 DATA 51,60,9,1,6,7,16,15
 6650 DATA 61,70,9,1,7,8,17,16
 6660 DATA 71,80,9,1,8,9,18,17
 6670 ! eleman kalinligi
 6680 DATA 1,80,1,300,0
 6690 ! sinir sartlari
 6700 DATA 9,1,0,8,1,0,7,1,0,6,1,0,5,1,0,4,1,0,3,1,0,2,1,0,1,1,0,1,2,0,10,1,0,10,2,0,19,1,0,
 19,2,0,28,1,0,28,2,0,37,1,0,37,2,0,46,1,0,46,2,0,55,1,0,55,2,0
 6710 DATA 64,1,0,64,2,0,73,1,0,73,2,0,82,1,0,82,2,0,91,1,0,91,2,0,92,1,0,93,1,0,94,1,0,95,1,
 0,96,1,0,97,1,0,98,1,0,99,1,0,18,1,0,27,1,0,36,1,0,45,1,0,54,1,0

 6715 DATA 63,1,0,72,1,0,81,1,0,90,1,0
 6720 ! yuklenen nokta sayisi
 6730 DATA 3
 6740 ! yukler
 6750 DATA 81,81,1,0,-125
 6751 DATA 90,90,1,0,-250
 6752 DATA 99,99,1,0,-125
 6770 ! isi degerleri
 6780 DATA 0,0

SONUÇ

Taban basıncı dağılımı temel zemini ve temelin karakteristiklerine göre farklılıklar göstermektedir. Temelin üzerindeki yükün dağılımı da bu dağılımı etkilemektedir. Sürekli Yüzeysel Temellerin hesabında taban basıncı dağılımının üniform olması istenildiği için zemin, temel ve yük dağılımı tercihi hep bu yönde olmalıdır.

Temel zeminindeki basıncın dağılımı ise taban basıncı dağılımına oranla daha farklıdır. Temel zemininin ve temelin karakteristikleri ile temel kirişine gelen yüklerin dağılımı, zemindeki basınç dağılımını etkilemektedir. Genelde zemindeki basınç dağılımının herhangi bir derinlikteki düzlemde, yükün altına rastlayan merkezi bölgelerde yada yüklü temel kirişinin, plağının orta bölgelerinde fazlalaştığı, kenarlarda azaldığı, zemin yüzeyinden aşağılara doğru gittikçe de değerinin küçüldüğü bilinmektedir.

Temellerin oturması temel tabanındaki ve zemindeki basınç dağılımları ile yakinen ilgilidir. Mühendislikte temellerin üniform oturması arzu edilir. Taban basıncı dağılımının üniform olmayışı oturmaları da üniform olmayan bir şekilde sonuçlayacaktır.

Sürekli Yüzeysel Temellerin hesabında genellikle üst yapı kendi içinde hesaplanır, üst yapının yükleri temel kirişine ayrıca yük olarak etki ettirilir ve zeminin karakteristiği de dikkate alınarak temel kirişinin çözümüne gidilir idi. Bu çalışmada, zeminin karakteristikleri ve temel kirişinin zemin üzerinde oturduğu şekliyle temel ve zeminin rijitlikleri birlikte düşünülmüştür. Bu ortak rijitlik ile zemindeki oturmalar hesaplanmış ve oturmalar esas alınarak mesnetlerdeki momentler bulunmuştur. Burada temel kirişinde kayma deformasyonlarının ihmal edilmesi halinde oturmaların ve mesnet momentlerinin azaldığı görülmüştür. Daha sonra, üst yapı da hesaba katılmış, temel zemini, temel ve üst yapının rijitlikleri birlikte düşünülmüştür. Bu haldeki oturmalar ve momentler he-

saplandığında, oturmaların azaldığı, mesnet momentlerinde %29 azalma olurken açıklık momentlerinde %38 artma olduğu görülmüştür. Temel girişinde kayma deformasyonlarının ihmal edilmesi halinde ise oturmaların azaldığı, mesnet momentlerinde %28 azalma görülürken açıklık momentlerinde %25 artma görülmüştür. Üst yapının hesaba katılması ile moment dağılımının daha üniform halde olduğu belirlenmiştir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- [1] Köseoğlu, S. , Pratik Sayısal Örneklerle Temeller, Statik ve Betonarme Hesapları, Özarkadaş Matbaası, İstanbul, 1971.
- [2] Kögler, F. , Scheidig, A. , Temel Zemini ve Yapı, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 1960.
- [3] Kany, M. , Yüzeysel Temellerin Hesap Metodları, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 1967.
- [4] Capper, P.L. , Cassie, W.F. , İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 1973.
- [5] Capper, P.L. , Cassie, W.F. , İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 1984.
- [6] Sze'chy, K. , Der Grundbau, Erster Band, Berlin, Springer-Verlag, 1963.
- [7] Özkan, M.T. , Çeşitli Taban Basıncı Dağılımları için Dairesel Temel Altında Gerilme Dağılımı ve Oturmalar, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni, Sayı 3, S.141-158, 1979.
- [8] Dönmezer, H. , Teorik ve Pratik Zemin Mekaniği, Osman Yalçın Matbaası, İstanbul, 1956.
- [9] Çiftçi, N. , Aydın, R. , Elastik Zemine Oturan Sürekli Yüzeysel Temellerin Hesabı, Lisansüstü Tezi, Eskişehir Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi, Eskişehir, 1982.
- [10] Hirschfeld, K. , Baustatik, Zweiter Band, Berlin
- [11] Sze'chy, K. , Der Grundbau, Zweiter Band, Berlin, Springer-Verlag, 1965.
- [12] Topçu, A. , Sonlu Elemanlar Metodu, Anadolu Üniversitesi Yüksek Lisans Ders Notları, 1985.
- [13] Ünlüoğlu, E. , Aydın, R. , Kirişsiz Döşemeli Sistemlerde Yatay Kuvvetler Etkisi Altında Rijitlik Değerlerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1985.
- [14] Crockey, K. , The Finite Element Method, Granada Publishing, 1979
- [15] Przemieniecki, J.S. , Theory of Matrix Structural Analysis, Mc Graw-Hill, 1968.
- [16] Aydın, R. , Çerçevelerin ve Kirişlerin Mesnet Çökmelerine göre

rijitlik matrislerini veren bilgisayar programı,
Anadolu Üniversitesi, 1985 (Yayınlanmadı)

[17] Tezcan, S. , Çubuk Sistemlerinin Elektronik Hesap Makinaları ile
Çözümü, Arı Kitapevi Matbaası, İstanbul, 1970