



ELASTİK ZEMİNE OTURAN SÜREKLİ TEMELLERİN KUVVET YÖNTEMİ İLE ANALİZİ VE SAYISAL HESABI İÇİN GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI

(*ANALYSIS OF FINITE BEAMS ON ELASTIC SOIL WITH
FORCE METHOD AND A COMPUTER PROGRAM
DEVELOPED FOR ITS PRACTICAL USE*)

Mustafa DÜZGÜN*

ÖZET/ABSTRACT

Yapı sistemlerinin önemli bir parçası olan temellerin hesabı, temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerinin belirsizliğinden dolayı, inşaat mühendisliğinin karmaşık problemlerinden birisidir.

Uygulamada, temel sistemlerinin çözümleri genelde temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerini dikkate almayan basit yaklaşık yöntemlerle yapılmaktadır. Oysa, temel hesaplamalarında temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerini ve temel ile birlikte üst yapı rijitliğini de dikkate alan hesap yöntemlerinin kullanılması durumunda, temel sistemleri daha güvenli ve ekonomik olacaktır.

Bu çalışmada, sürekli temellerin hesabı için, temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerini de dikkate alan ve zemin davranışına daha uygun sonuçlar veren “Kuvvet Yöntemi”ne dayalı bir analiz yöntemi açıklanmıştır. Çalışmada ayrıca, sürekli temellerin “Kuvvet Yöntemi” ile sayısal hesabının pratik uygulamalarda kullanılabilmesi için BASIC diliyle kodlanmış “ELASZEM” isimli bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. ELASZEM bilgisayar programı ile çözülen değişik örnekler, literatürde yer alan Winkler Yöntemi ve SAP2000 yapı analiz programı ile de çözümlenerek karşılaştırmaları yapılmış ve sonuçları irdelenmiştir (Keskinel, 1976).

As one of the most important structural part of the structural systems, foundations generally have complicated analysis methods due to the indefinite properties of the soil beneath the foundation. In practice for approximate methods in which physical properties of the soil is not taken into consideration are used the analysis of the foundation system. In fact by using an analysis that the soil beneath the foundations taken into account will probably give more realistic and economical solutions.

In this study computation of the foundations using “Force Method” that takes the physical properties of the soil has been explained. In addition to this, a computer program called “ELASZEM” in BASIC is developed in order to analyze the finite beams on elastic soils. Results that are obtained by using this computer program and structural analysis program SAP2000 have been compared. All the analyses results are illustrated by graphs in order to show the efficiency of the method and the computer program developed.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Elastik zemine oturan sürekli temel kirişi, Winkler Yöntemi, Kuvvet yöntemi
Finite beams on elastic soil, Winkler method, Force method

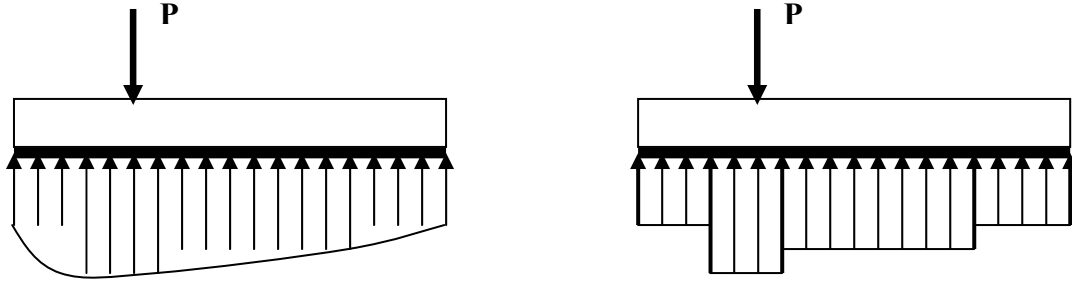
* DEÜ Müh. Fak., İnşaat Müh. Böl., Tınaztepe Yerleşkesi, İZMİR

1. ELASTİK ZEMİNE OTURAN SÜREKLİ TEMELLERİN KUVVET YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ

1.1. Yöntemin Esasları

Elastik zemine oturan sürekli temellerin kuvvet yöntemiyle çözümünde esas, temel kirişi altında oluşacak zemin reaksiyonlarını bulmaktır.

Gerçekte bir eğri ile çevrili olan zemin reaksiyonları diyagramı ,kiriş uzunluğu boyunca istenildiği kadar kısa seçilen aralıklar boyunca düzgün yayılı olarak kuvvet yöntemiyle bulunabilir (Şekil 1).

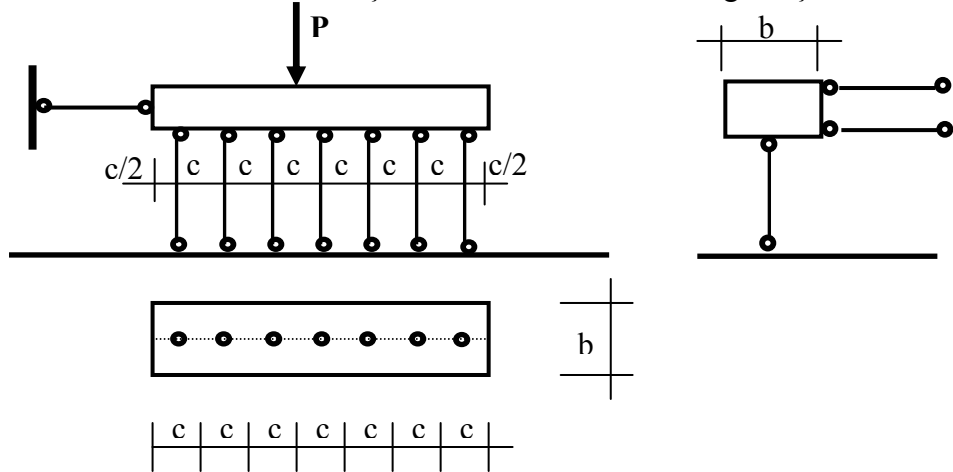


Şekil 1. Elastik zemine oturan kirişin temel altındaki zemin reaksiyonları

Zemin reaksiyonları ve çökmeler kiriş uzunluğu boyunca seçilen düzgün yayılı basınç aralıklarının herbiri için ayrı ayrı ve ortalarındaki değerlerin hesaplanması ile bulunacaktır. Her bölgede düzgün yayılı basınç reaksiyonunun şiddeti yerine, bu şiddetlerin bileşkesi alınacaktır.

Kiriş ile zemin arasındaki bağlantı, sonlu sayıdaki düzgün yayılı basınç aralıklarının ortasındaki tekil noktalarda sağlanacaktır.

Böylece, elastik zemin yerine fiktif elastik mesnetlere oturan bir kirişin hesabına geçilmiş olacaktır (Şekil 2). Fiktif elastik mesnetlerin sayısı ne kadar çok olursa sonuçlar o kadar duyarlıklı olacaktır. Kiriş uzunluğu boyunca, sonlu sayıda eşit "c" uzunluklarına bölünerek, bu bölgelerin ortasından fiktif mesnet çubuklarının üzerine oturduğu düşünülecektir.



Şekil 2. Elastik zemine oturan temel kirişi çözümünde kabul edilen hesap şeması

Fiktif mesnetler rijit bağ çubukları şeklinde olup, kirişe ve zemine mafsallı olarak bağlı olduğu kabul edilmiştir (Şekil 2). Yatay rijit çubuklar, sistemin yatay yöndeki deplasmanını önlemekte olup, hesapta herhangi bir rolü olmayacaktır.

Fiktif mesnet çubuklarındaki kuvvetlerin tesir şekli ise tekil olarak değil, **b-c** alanına dağılmış düzgün yayılı kabul edilecektir. Burada;

b; kiriş genişliğini,

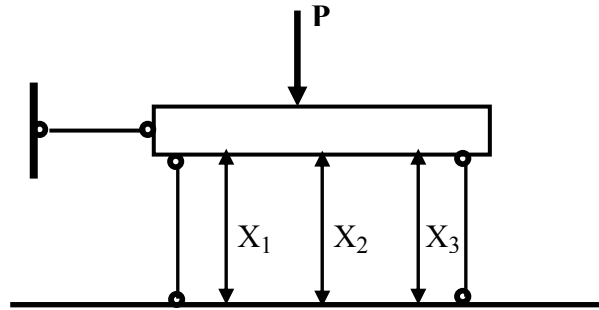
c; çubuklar arasındaki uzunluğu göstermektedir.

Ayrıca, kirişin eğilme rijitliğine bağlı olarak değişen, enine zemin basınç dağılışı; **b** genişliği kirişin uzunluğu yanında yeterli miktarda küçük olduğundan, kiriş genişliğince sabit kabul edilecektir.

Geniş kirişler, elastik zemine oturan plaklar şeklinde hesap edilecektir.

1.1.1. Kuvvet Yöntemiyle Çözüm

Şekil 2'deki hiperstatik sistemin çözümünde iki baştaki fiktif çubukları bırakıp, diğerlerini kaldırıp yerlerine X_1 , X_2 , X_3 kuvvetleri konulursa izostatik referans sistemi elde edilir (Şekil 3).



Şekil 3. İzostatik referans sistemi

Bilinmeyen X_i kuvvetleri, Kuvvet yöntemi kullanılarak yazılacak olursa;

$$\delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \delta_{13} X_3 + \Delta_{1P} = 0$$

$$\delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \delta_{23} X_3 + \Delta_{2P} = 0$$

$$\delta_{31} X_1 + \delta_{32} X_2 + \delta_{33} X_3 + \Delta_{3P} = 0 \quad (1)$$

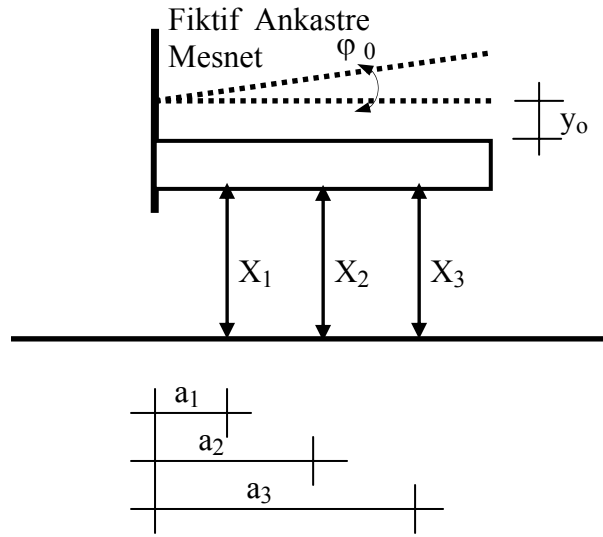
doğrusal denklem takımı elde edilir.

Eşitlik 1 doğrusal denklem takımındaki δ_{ki} deplasmanları; y_{ki} zemin çökmesinden ve V_{ki} kirişin düşey yer değiştirmesinden oluşan terimlerdir.

$$\delta_{ki} = y_{ki} + V_{ki} \quad (2)$$

Burada birinci terim y_{ki} Boussinesque'nin elastik yarım uzaydaki yük ile çökme arasındaki $y = f(x)$ ifadesinden, V_{ki} kiriş yer değiştirmeleri ise, mekanikte bilinen Enerji Teoremlerindeki Maxwell bağıntıları yardımı ile bulunur (Bilyap, 1969; İnan, 1967).

Şekil 3'deki referans sisteminde her deplasman için, ek olarak kenar çubuklarının tesiri yazılacak ve işlem önemli miktarda artacaktır. Bu zorlukları ortadan kaldırmak amacıyla kirişin bir ucuna Fiktif ankastre bir mesnet yerleştirilsin ve düşey bütün çubuklar kaldırılarak yerine X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 hiperstatik bilinmeyenleri konularak yeni izostatik referans sistemi meydana getirilsin (Şekil 4). Bu durumda fiktif ankastre mesnedin y_0 çökmesi ve ϕ_0 dönmesi bilinmeyen olarak denklem takımına ilave edilecektir.



Şekil 4. Sonlu kirişte fiktif ankastre mesnet durumuna göre yeni izostatik referans sistemi

Şekil 4'te gösterilen referans sistemindeki üç adet bilinmeyen X_i kuvvetleri yerine, genel halde n adet X_n hiperstatik bilinmeyenli izostatik sistemin çözümü için gereken doğrusal denklem takımı yazılacak olur ise

$$\delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \dots + \delta_{1n} X_n + y_0 + a_1 \varphi_0 + \Delta_1 (P,M) = 0$$

$$\delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \dots + \delta_{2n} X_n + y_0 + a_2 \varphi_0 + \Delta_2 (P,M) = 0$$

...

...

$$\delta_{n1} X_1 + \delta_{n2} X_2 + \dots + \delta_{nn} X_n + y_0 + a_n \varphi_0 + \Delta_n (P,M) = 0$$

$$X_1 + X_2 + \dots + X_n - \Sigma P = 0$$

$$a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n - \Sigma P_{(P,M)} = 0 \quad (3)$$

şeklinde olacaktır.

1.2. Yarım Uzayda Çökme İfadesi

Eşitlik 3 doğrusal denklem takımında yer alan Eşitlik 2 ifadesindeki v_{ik} düşey deplasmanı oluşturan y_{ik} zemin çökmeleri, Boussinesque'nun elastik yarım uzaydaki yük ile çökme arasındaki bağıntısından elde edilecektir.

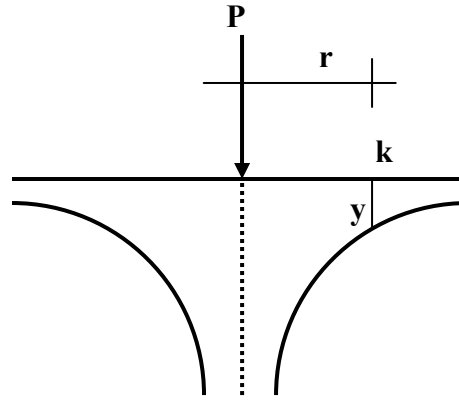
Elastik yarım uzaya oturan genişliği küçük ve uzunluğu sonlu bir kirişe tesir eden tekil P kuvvetinden dolayı uygulama noktasından r uzaklıktaki herhangi bir k noktasının çökmesi Boussinesque'e göre (Şekil 5)

$$y = P (1 - \mu_0^2) / (\pi * E_0 * r) \quad (4)$$

dir. Burada;

E_0 : Zemin deformasyon modülü,

μ_0 : Zemin Poission oranıdır.



Şekil 5. Elastik yarım uzayda tekil kuvvetin etkimesi durumunda çökme diyagramı

Tekil kuvvetin altında $r = 0$ için çökme sonsuzdur. Bundan dolayı tekil P yükü, kenarları b ve c olan dikdörtgen alan boyunca düzgün olarak yayıldığı kabul edilirse, birim yükten dolayı düzgün yayılı yükün şiddeti (Şekil 6)

$$p = 1 / (b * c) \quad (5)$$

olur.

Bu alan içinde, kenarları du ve dv olan sonsuz küçük birim elemana tesir eden yük

$$p * du * dv = (du * dv) / (b * c) \quad (6)$$

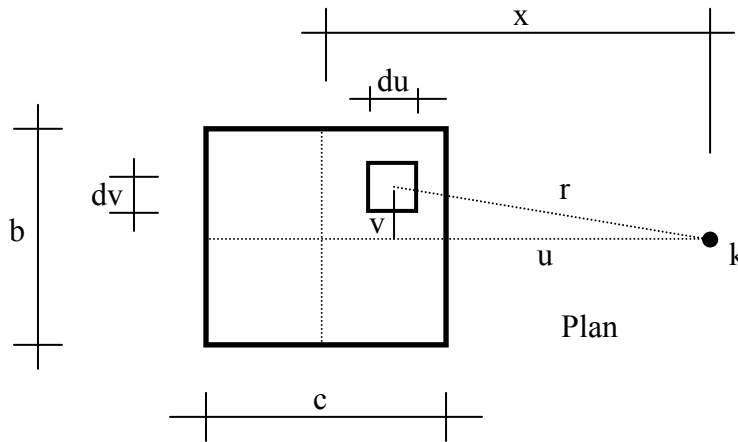
olacaktır.

Eşitlik 4 çökme ifadesine göre, bu elemanın yükünden dolayı k noktasındaki çökme

$$d^2 y = (du * dv) / (b * c) * (1 - \mu_0^2) / (\pi * E_0 * r) \quad (7)$$

olacaktır. Bütün dikdörtgene gelen yükten dolayı çökme ifadesi

$$u = x + c/2 \quad v = b/2$$



Şekil 6. P tekil yükünün düzgün olarak yayıldığı dikdörtgen (b·c) temel alanı

$$y = 2 * (1 - \mu_0^2) / (b * c * \pi * E_0) \iint (du * dv) / \sqrt{(u^2 + v^2)} \quad (8)$$

$$u = x - c/2 \quad v = 0 \text{ olur.}$$

Entegrasyon işleminden sonra dikdörtgen alan parçasının merkezinden giriş eksenini üzerinde ve x uzaklıktaki bir k noktasındaki çökme

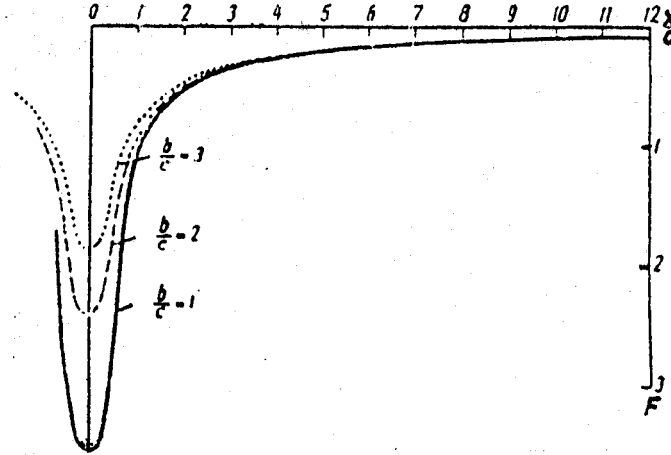
$$y_{ik} = (1 - \mu_0^2) / (\pi * E_0 * c) * F_{ki} \quad (9)$$

olarak bulunur. Burada, F_{ki} fonksiyonunun ifadesi

$$\begin{aligned} F_{ki} = & c/b \{ 2 * \ln(b/c) - \ln[(2(x/c)^2 - 1) - 2(x/c) \ln[(2x/c+1) / (2x/c-1)] \\ & + b/c \ln[((2x/c + c/b) + ((2x/c + c/b)^2 + 1)^{1/2}) / ((2x/c - c/b) - ((2x/c - c/b)^2 - 1)^{1/2})] \\ & + 2x/c \ln[(1 + ((2x/b + c/b)^2 + 1)^{1/2}) / (1 + ((2x/b - c/b)^2 - 1)^{1/2})] \\ & + \ln(1 + ((2x/b + c/b)^2 + 1)^{1/2}) * (1 + ((2x/b - c/b)^2 + 1)^{1/2}) \} \end{aligned} \quad (10)$$

şeklindedir.

Eşitlik 10'daki F_{ki} fonksiyonunun değerleri, çeşitli b/c ve x/c oranları için çizelgeleştirilebilir (Düzgün M., 1977). Burada F_{ki} fonksiyonuna ait bir grafik b/c ve x/c 'nin bazı sayısal değerleri için Şekil 7'de verilmiştir (Jemoçkin, 1962).



Şekil 7. b/c ve x/c 'nin bazı değerleri için F fonksiyonuna ait grafikler

1.3. δ_{ki} Deplasman Terimlerinin Hesabı

Elastik zemine oturan sonlu bir kirişin üzerindeki herhangi bir i noktasına uygulanan birim kuvvetten dolayı herhangi bir k noktasındaki, δ_{ki} deplasmanı, Eşitlik 2'den görüldüğü gibi iki terimden ibarettir. Bunlar, zeminin y_{ki} çökmesinden ve kirişin V_{ki} düşey yer değiştirmelerinden oluşur.

Birinci terim y_{ki} Eşitlik 9'dan, ikinci terim V_{ki} düşey yer değiştirmesi ise Enerji Teoremlerindeki (İnan, 1967)

$$V_{ki} = \int (M_k * M_i) / EI \, dx \quad (11)$$

bağıntısından bulunacaktır. Burada;

E : Kirişin elastisite modülü

I : Kirişin atalet momentidir.

Yüklemeler Şekil 9'daki hesap şemasına göre yapılacaktır.

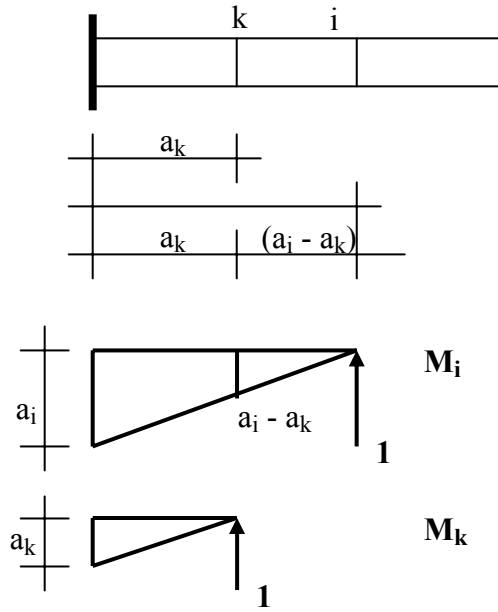
$a_i > a_k$ değerine göre V_{ki} değeri

$$V_{ki} = c^3 / 6EI * W_{ki} \quad (12)$$

$$W_{ki} = (a_k / c)^2 * (3a_i / c - a_k / c) \quad (13)$$

şeklinde elde edilir.

Eğer $a_i < a_k$ ise, 1.13 ifadesinde a_i ve a_k 'nın yerleri değişecektir.



Şekil 8. Birim yüklere göre, M_i ve M_k diyagramları

Eşitlik 9 ve 12'den Eşitlik 22'deki δ_{ki} deplasman ifadesi

$$\delta_{ki} = (1 - \mu_0^2) / (\pi * E_0 * c) * F_{ki} + c^3 / 6EI * W_{ki} \quad (14)$$

şeklinde yazılabilir.

Eşitlik 14 düzenlenir ise

$$\delta_{ki} = F_{ki} + ((\pi * E_0 * c^4) / 6EI (1 - \mu_0^2)) * W_{ki} \quad (15)$$

ve

$$\alpha = (\pi * E_0 * c^4) / 6EI (1 - \mu_0^2) \quad (16)$$

olmak üzere

$$\delta_{ki} = F_{ki} + \alpha * W_{ki} \quad (17)$$

şeklini alır.

Temel kirişi altındaki çökme diyagramının oluşturulmasında herhangi bir noktanın çökmesi Eşitlik 9'a benzer olarak

$$y_{ki} = \sum X_i (1 - \mu_0^2) / (\pi * E_0 * c) * F_{ki} \quad (18)$$

ifadesinden hesaplanacaktır.

1.4. $\Delta_{ki (P,M)}$ Deplasman Terimlerinin Hesabı

Eşitlik 3 doğrusal denklem takımındaki $\Delta_{ki (P,M)}$ serbest terimleri, kirişe etki eden, tekil **P** dış kuvveti ve tekil **M** dış momentinin kirişte meydana getirdiği deplasmanları ifade etmektedir.

1.4.1. P Tekil Dış Kuvvet Etkisi İçin $\Delta_{ki (P)}$ Deplasman Teriminin Hesabı

Tekil **P** dış kuvveti etkisine göre bulunacak $\Delta_{ki (P)}$ deplasmanı, X_n 'lerin yarattığı deplasmanla ters olacak şekilde ve Eşitlik 3 bölümde anlatılan gösterimle Eşitlik 13 numaralı ifadeden faydalanılarak yazılabilir. Bu durumda

$$\Delta_{ki} = -\alpha * W_{ki} * P \quad (19)$$

olur.

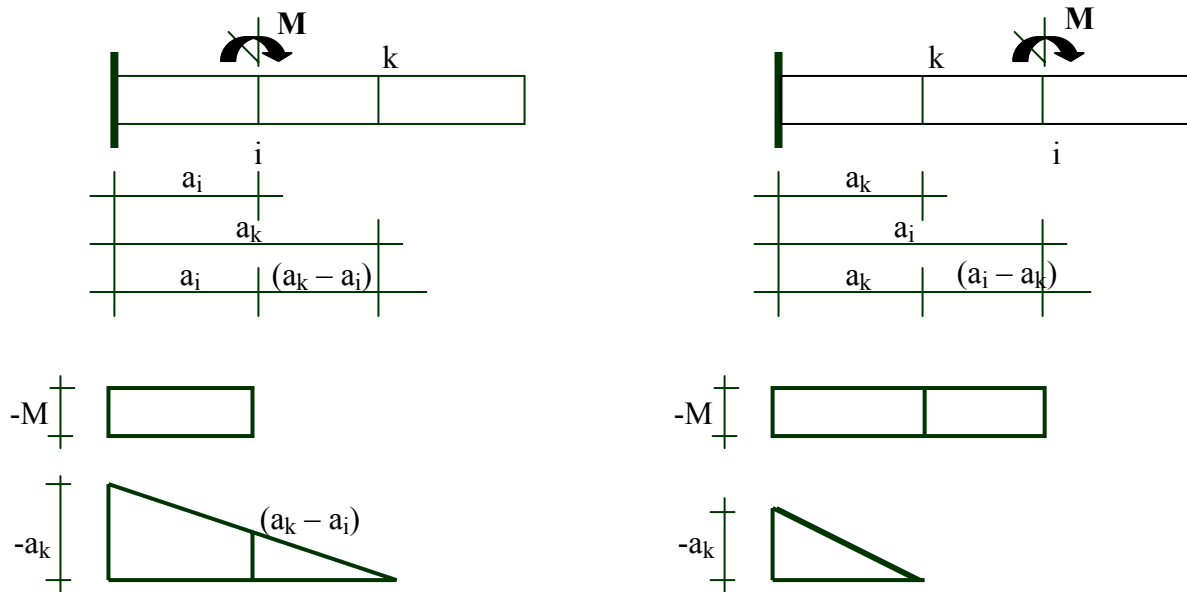
1.4.2. M Dış Moment Etkisi İçin $\Delta_{ki (M)}$ Teriminin Hesabı

Eşitlik 3 doğrusal denklem takımındaki $\Delta_{ki (M)}$ serbest terimleri, kirişe dıştan tesir eden **M** dış momentlerinin kirişte meydana getirdiği deplasmanları ifade etmektedir.

i veya **k** noktalarına tesir eden **M** dış momentini ve birim moment etkisinde ve Şekil 10'daki hesap şemasına göre bulunacak $\Delta_{ki (M)}$ değeri

$$\Delta_{ki(M)} = -M / 2EI * (a_i * (a_i - 2a_k)) \quad (20)$$

şeklinde elde edilir.



Şekil 9. M Dış Moment ve birim moment yüklemesine göre M_i ve M_k değerleri

$$\Delta_{ki(M)} = - M \cdot c^2 / 2EI \cdot (a_i / c) \cdot (a_i / c - 2 a_k / c) \quad (21)$$

$$\Delta_{ki(M)} = - M \cdot c^2 / 2EI \cdot B_{ik} \quad (22)$$

$$B_{ik} = (a_i / c) \cdot (a_i / c - 2 a_k / c) \quad (23)$$

$$\Delta_{ki(M)} = - M \cdot \alpha \cdot 3 / c \cdot B_{ik} \quad (24)$$

elde edilir.

2. ELASTİK ZEMİNE OTURAN SÜREKLİ TEMELLERİN ANALİZİ İÇİN GELİŞTİRİLEN “ELASZEM” BİLGİSAYAR PROGRAMI

2.1. Giriş

Bu bölümde, Elastik zemine oturan sonlu kirişlerin Kuvvet Yöntemi ile çözümü için BASIC dilinde bir Bilgisayar Programı kodlanmıştır.

Bilgisayar Programı ile önce Eşitlik 3 doğrusal denklem takımındaki δ_{ki} , Δ_{ki} , y_0 , φ_0 terimleri bulunur. Daha sonra denklem takımının çözümünden X_n fiktif çubuk kuvvetleri bulunarak temel tabanı altındaki her noktanın toplam zemin çökmeleri ve düzgün yayılı zemin reaksiyonları hesaplanır. Daha sonra kirişe ait Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti diyagramları elde edilir.

2.2. Kuvvet Yöntemi ile Çözümde Takip Edilecek Sıra

Elastik zemine oturan sonlu kirişlerin hesaplanmasında ve Bilgisayar Programına girişte şu sıra uygulanır.

1. Kiriş ile Elastik Zemin arasında sonlu sayıda eşit c aralıkları ile fiktif rijit çubukların bulunduğu kabulü ile hesap şeması kurulur.
2. İzostatik referans sistemi oluşturulur.
3. Çubuk kuvvetlerini ve fiktif ankastre mesnedin çökmesi ile, kesit dönmesini bilinmeyen kabul ederek 1.3 doğrusal denklem takımı için;
 - a) δ_{ki} deplasman terimleri hesaplanarak, sabitler kolonu oluşturulur.
 - b) Dış yüklerden dolayı oluşan $\Delta_{ki} (P,M)$ deplasman terimleri hesaplanarak, sabitler kolonu oluşturulur.
 - c) Ankastre mesnedin y_0 ve φ_0 kesit tesirleri hesaplanarak Doğrusal denklem sisteminin çözümü yapılarak bilinmeyen X_n değerleri bulunur.
4. X_n değerleri her c aralığında zemin reaksiyonlarına dönüştürülür.
5. Her noktada zemin çökmeleri hesaplanır.
6. Zemin reaksiyonlarından, kirişin kesme kuvveti ve Moment diyagramları oluşturulur.

2.3. Geliştirilen “ELASZEM” Bilgisayar Programının Akış Şeması

Yöntemin uygulanmasında geliştirilen BASIC programlama dilinde yazılan “ELASZEM” adlı bilgisayar programının akış şeması Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10. ELASZEM programı akış şeması

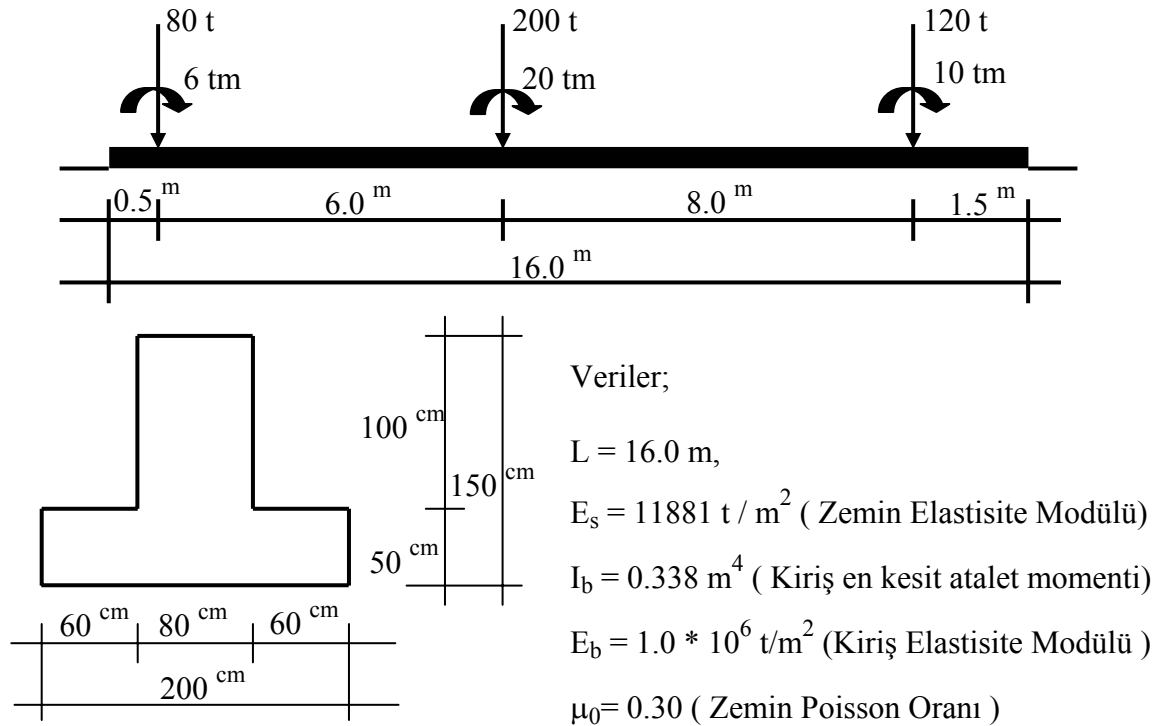
3. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu bölümde, elastik zemine oturan değişik sürekli temel kiriş örneklerinin çözümü, geliştirilen Kuvvet Yöntemine dayalı ELASZEM Bilgisayar Programı, Winkler Yöntemi / ve SAP2000 yapı analiz programı kullanılarak yapılmıştır (Keskinel, F; 1976). Elde edilen çözümlerden; zemin çökmeleri (deplasmanlar), zemin gerilmeleri ve sürekli kiriş eğilme momenti değerleri grafik ve Çizelge halinde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

3.1. Örnekler

Örnek 1.

Bu örnekte Şekil 11’de yükleme durumu ve en kesit boyutları verilen elastik zemine oturan sürekli temel kirişinin çözümü literatürde yer alan Winkler Yöntemi, Kuvvet Yöntemine dayalı ELASZEM bilgisayar programı ve SAP2000 yapı analiz programı kullanılarak yapılmıştır. Çözümlerde fiktif mesnetler arası mesafe $c = 1.0$ m alınmıştır. WINKLER Yöntemi, ELASZEM ve SAP2000 çözümlerinden elde edilen sonuçlardan; temel kirişi altındaki zemin gerilme ve çökmelerine ait değerler Çizelge ve grafik halinde, temel kirişine ait eğilme momenti değerlerinin değişimi ise grafik olarak karşılaştırmalı sunulmuştur.



Şekil 11. Örnek 1’de kullanılan sürekli temel kirişi ve verileri

Çizelge 1. Örnek 1’de verilen temel kirişi atındaki zemin çökmeleri

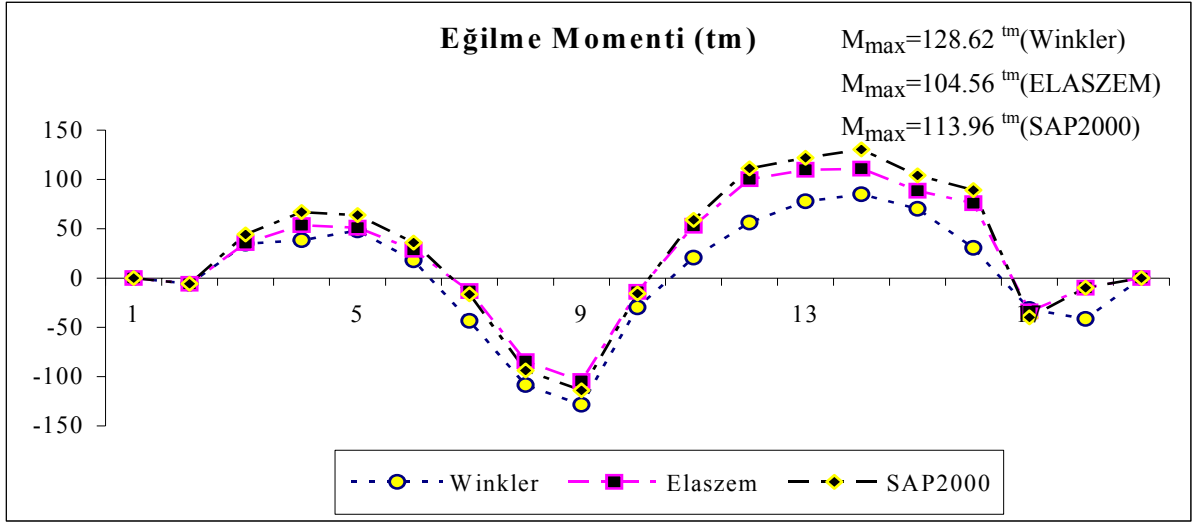
Çökmeler (cm)			
Nokta	Winkler	ELASZEM	SAP2000
1	0,515	0,404	0,385
2	0,143	0,416	0,372
3	0,354	0,419	0,344
4	0,352	0,417	0,322
5	0,350	0,428	0,311
6	0,352	0,438	0,308
7	0,353	0,440	0,307
8	0,309	0,415	0,294
9	0,284	0,397	0,278
10	0,259	0,379	0,271
11	0,254	0,366	0,279
12	0,249	0,362	0,308
13	0,292	0,367	0,359
14	0,324	0,380	0,398
15	0,354	0,397	0,405
16	0,374	0,403	0,415

Çizelge 2. Örnek 1’de verilen temel kirişi atındaki zemin gerilmeleri

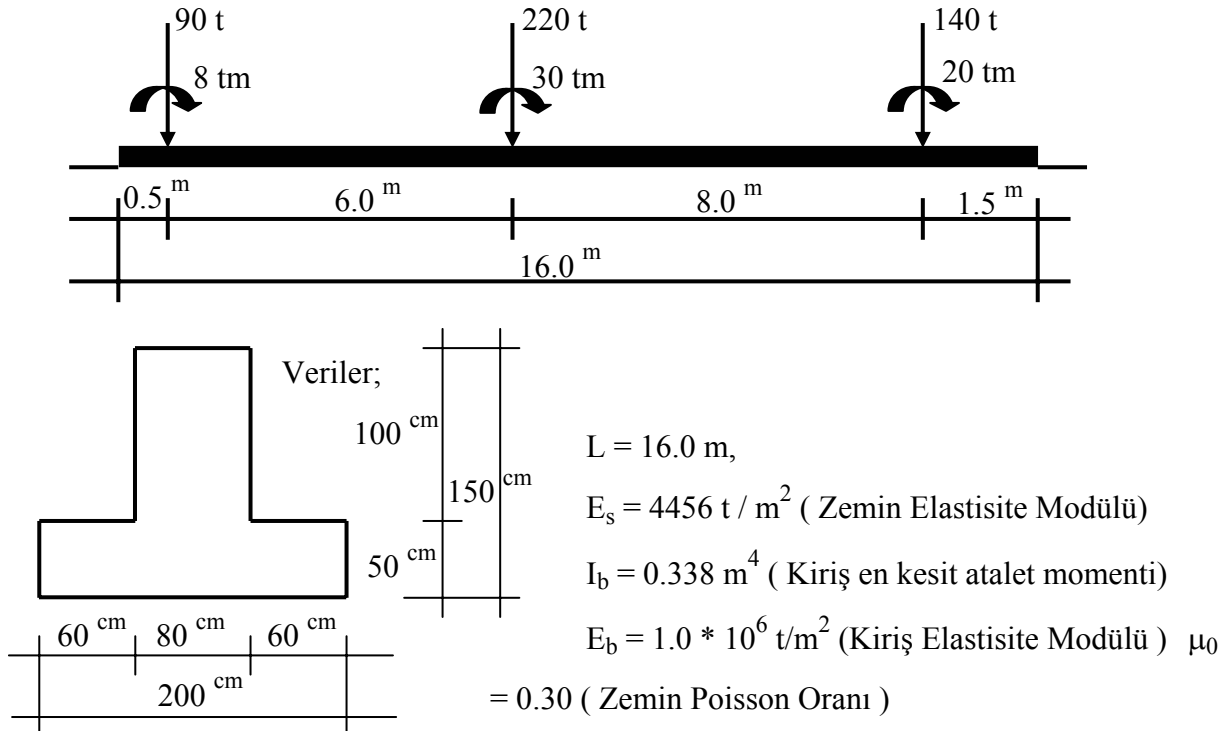
Gerilme (t/m ²)			
Nokta	Winkler	ELASZEM	SAP2000
1	38,32	38,38	40,26
2	30,72	27,12	27,55
3	26,32	25,77	25,83
4	26,25	23,12	24,85
5	26,40	24,79	24,59
6	26,18	26,19	24,69
7	26,26	27,41	23,53
8	22,98	22,56	22,27
9	21,12	21,25	21,67
10	19,26	19,21	22,34
11	18,90	18,00	17,65
12	18,52	17,95	16,68
13	21,72	19,31	20,25
14	24,10	22,08	24,65
15	26,34	26,39	28,68
16	27,80	27,44	30,25

Örnek 2.

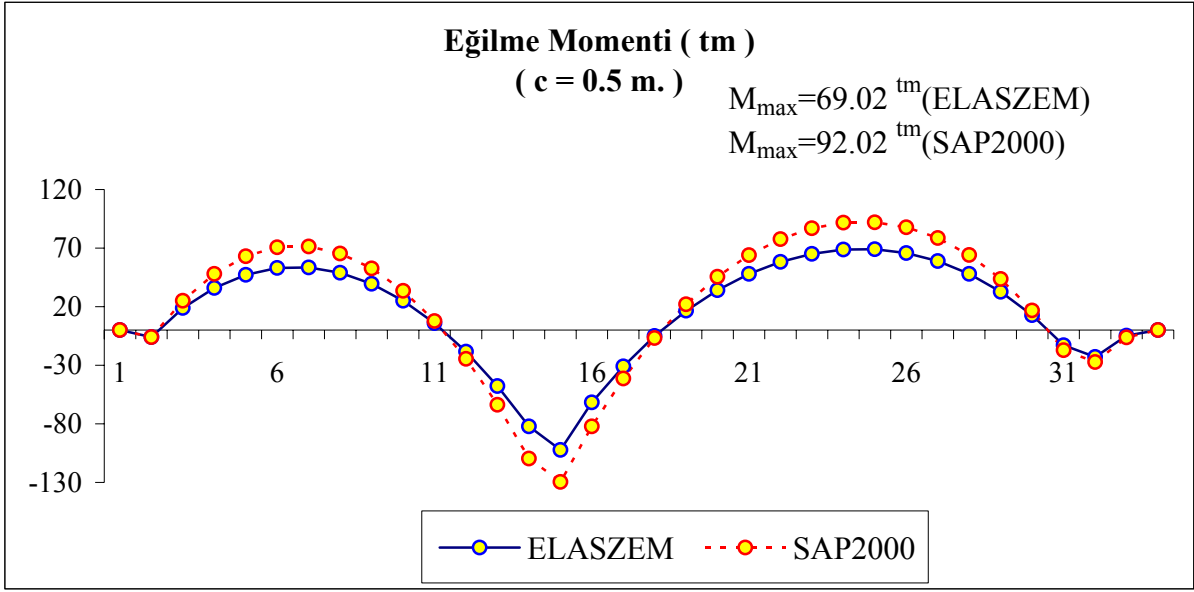
Bu örnekte Şekil 13’de yükleme durumu ve en kesit boyutları verilen elastik zemine oturan sürekli temel kirişinin çözümü, ELASZEM bilgisayar programı ve SAP2000 yapı analiz programı kullanılarak yapılmıştır. Çözümlerde fiktif mesnetler arası mesafe $c = 0.5$ m alınmıştır. ELASZEM ve SAP2000 çözümlerinden elde edilen sonuçlardan; temel kirişi altındaki zemin çökmeleri ve temel kirişine ait eğilme momenti değerlerinin değişimi, grafik olarak Şekil 14 ve 15’te sunulmuştur.



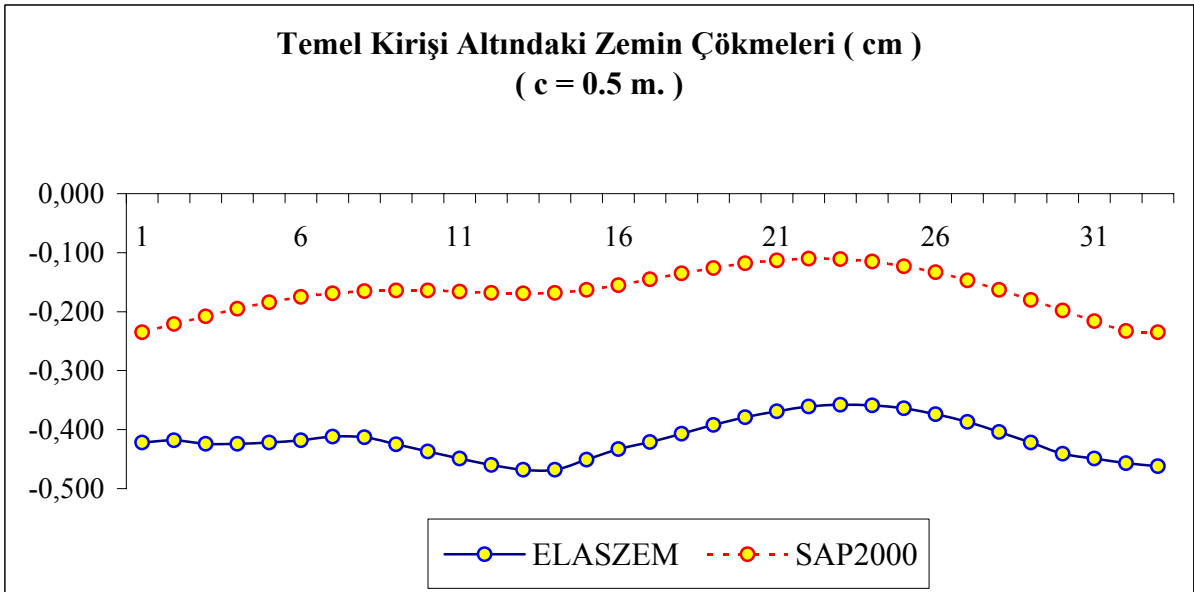
Şekil 12. Örnek 1’de kullanılan sürekli temel kirişine ait karşılaştırmalı eğilme momenti diyagramları



Şekil 13. Örnek 2’de kullanılan sürekli temel kirişi ve verileri



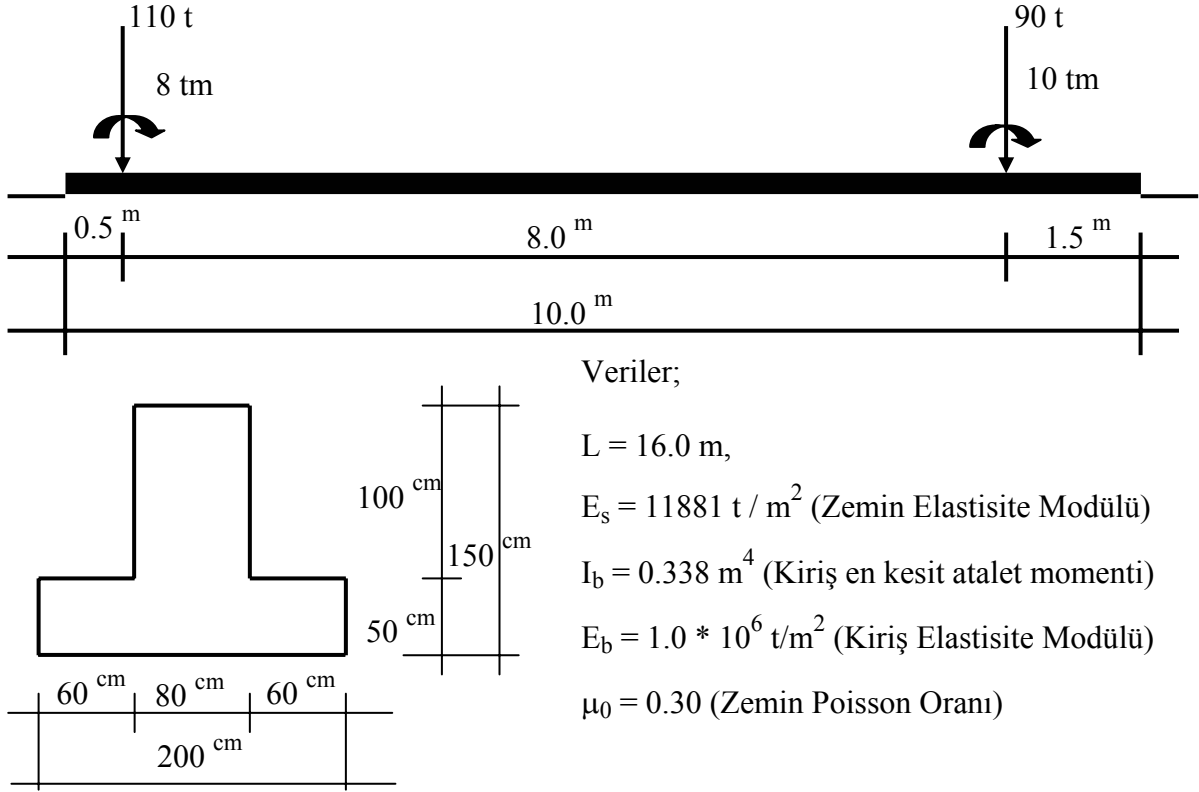
Şekil 14. Örnek 2’de kullanılan sürekli temel kirişine ait karşılaştırmalı eğilme momenti diyagramları



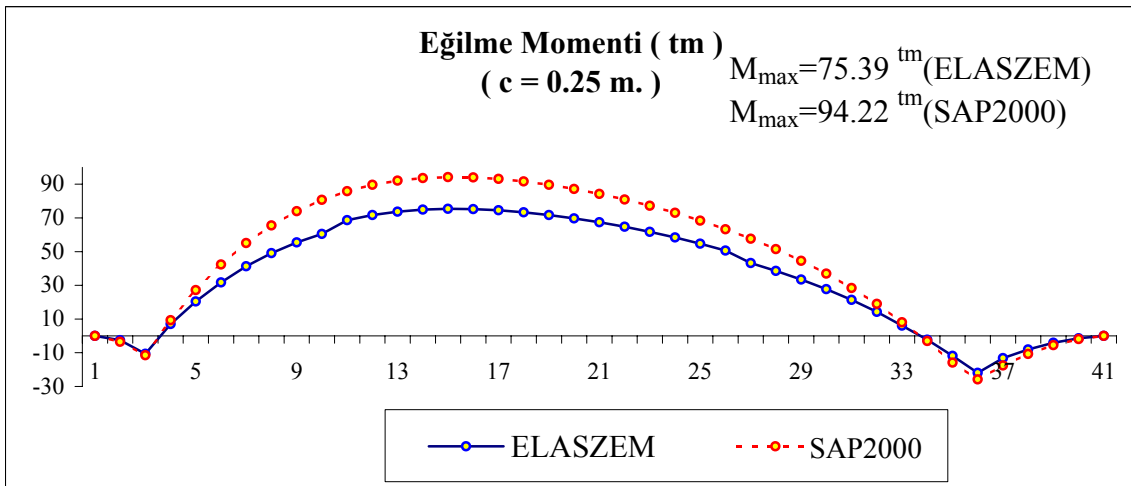
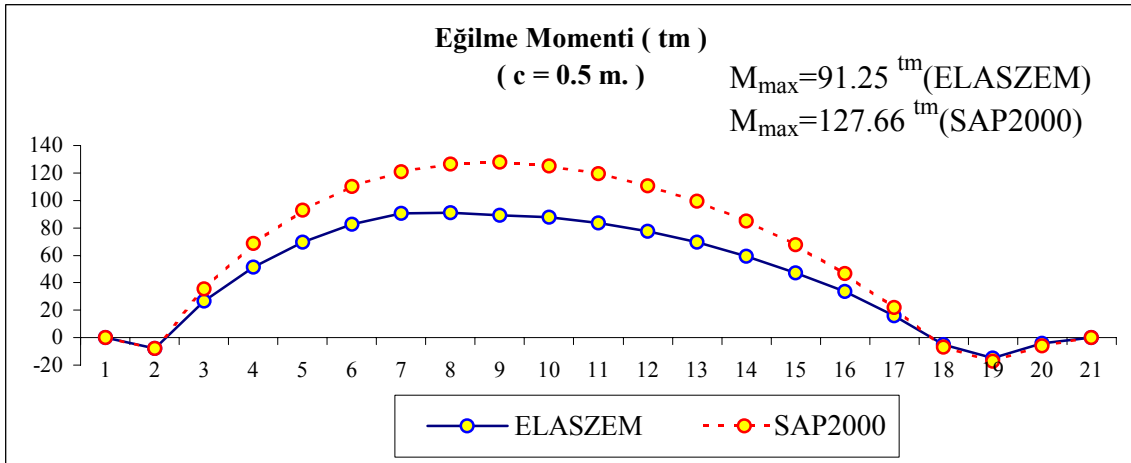
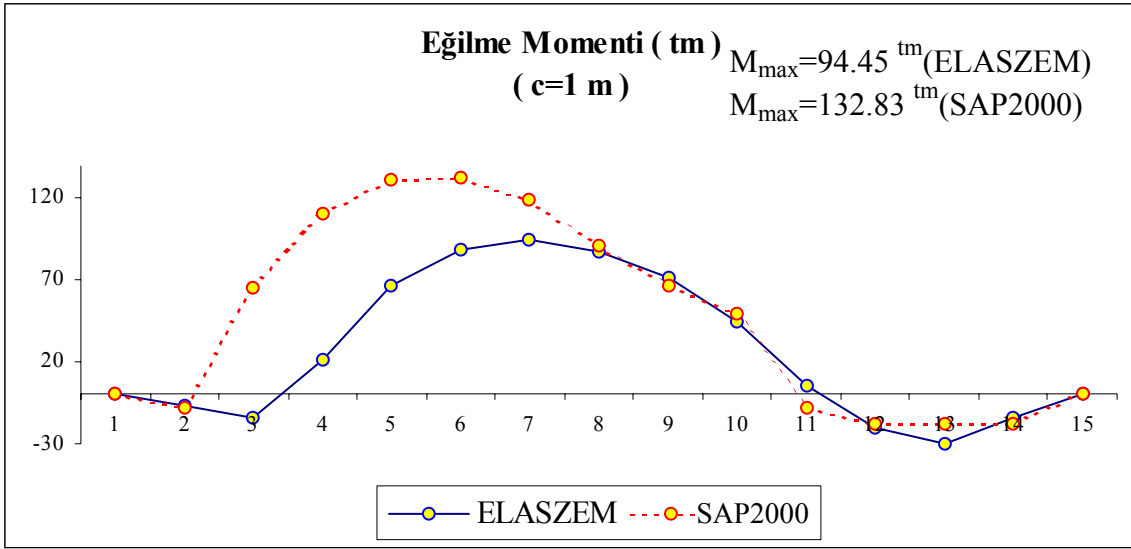
Şekil 15. Örnek 2’de kullanılan sürekli temel kirişi altındaki zemin çökmeleri

Örnek 3.

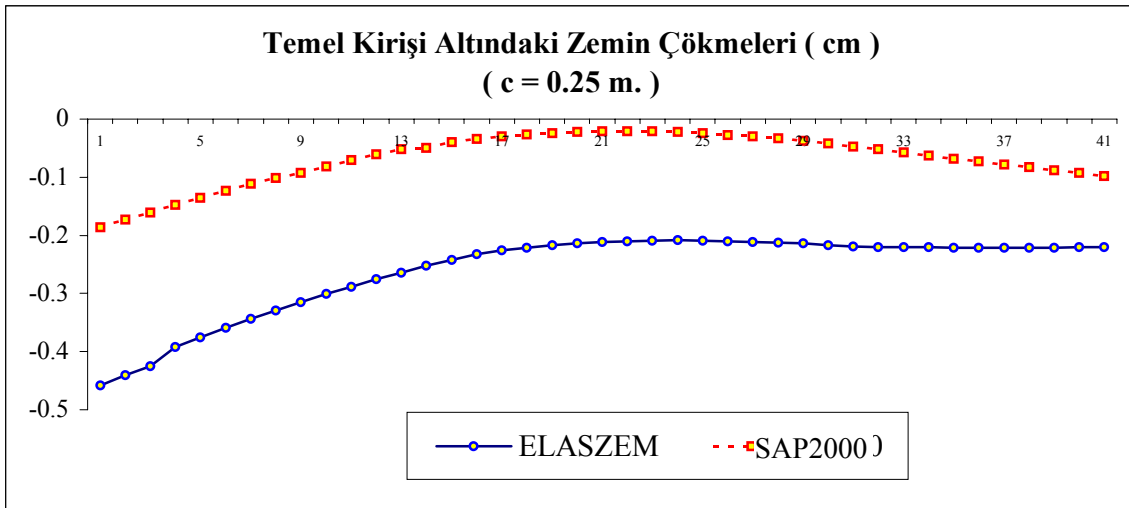
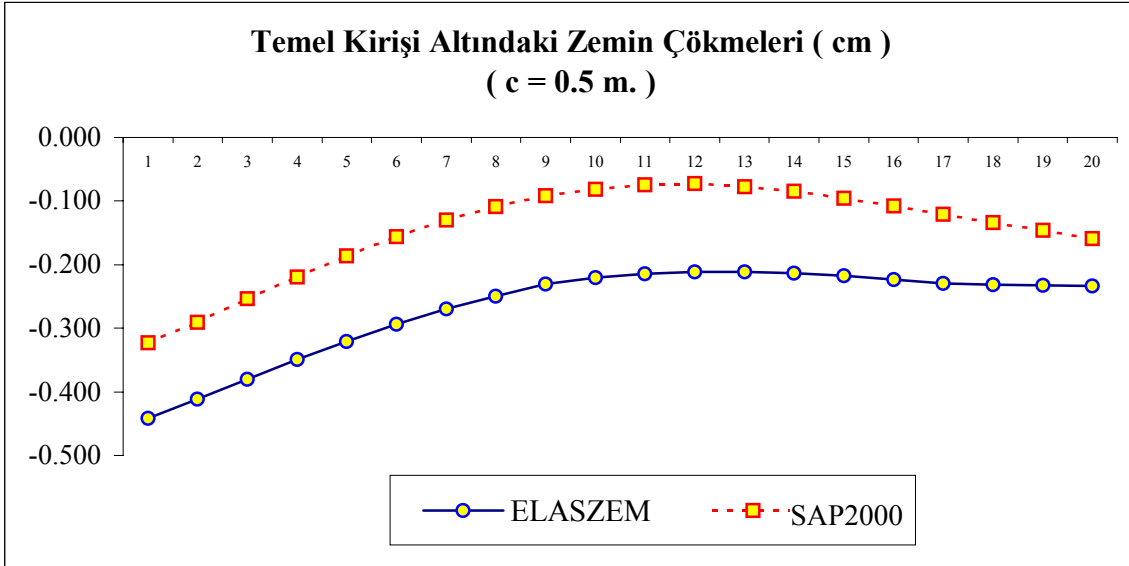
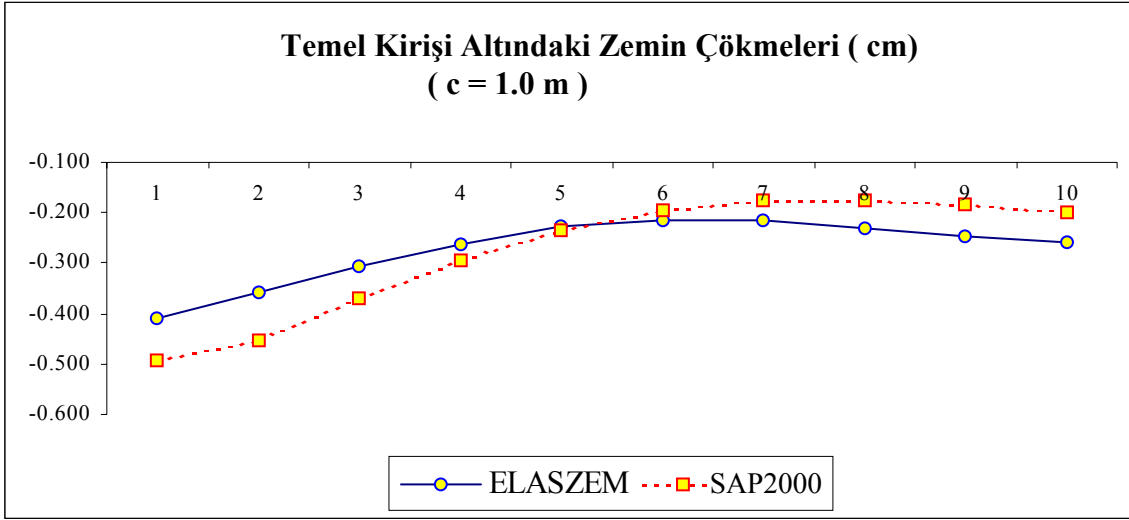
Bu örnekte Şekil 16’da yükleme durumu ve en kesit boyutları verilen elastik zemine oturan sürekli temel kirişinin çözümü; Fiktif Elastik Mesnet çubukları arasındaki “c” mesafesinin değişiminin zemin çökmelerine ve temel kirişi iç kuvvetlerdeki etkisinin incelenmesi amacıyla farklı “c” değerleri alınarak, ELASZEM ve SAP2000 bilgisayar programları ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan zemin çökmeleri ve kiriş eğilme momenti değerleri grafik olarak karşılaştırılmıştır.



Şekil 16. Örnek 3'de kullanılan sürekli temel kirişi ve verileri



Şekil 17. Örnek 3’de kullanılan sürekli temel kirişinin farklı “c” değerleri kullanılması sonucu elde edilen karşılaştırmalı eğilme momenti diyagramları



Şekil 18. Örnek 3’de kullanılan sürekli temel kirişinin farklı “c” değerleri kullanılması sonucu elde edilen karşılaştırmalı zemin çökmeleri

4. SONUÇ

Uygulamada, yapı sistemlerinin önemli bir parçası olan temellerin hesabı, genelde temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerini dikkate almayan basit yaklaşık yöntemlerle yapılmaktadır. Oysa her zemin, üst yapıdan temele aktarılan yükler altında deformasyona uğramakta ve çökmektedir. Bu nedenle analizlerde, temel altındaki zeminin fiziksel özelliklerini ve temel ile birlikte üst yapı rijitliğini de dikkate alan hesap yöntemlerinin kullanılması temel sistemlerinin daha güvenli ve ekonomik olmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada sürekli temellerin hesabı için, temel sistemi altındaki zeminin fiziksel özelliklerini de dikkate alan ve uygulamadaki basit yaklaşık yöntemlere göre daha gerçekçi sonuçlar veren “Kuvvet Yöntemi”ne dayalı bir analiz yöntemi açıklanmış ve ayrıca, sürekli temellerin “Kuvvet Yöntemi” ile sayısal hesabının pratik uygulamalarda kullanılabilmesi için BASIC dilliyle kodlanmış “ELASZEM” isimli bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

ELASZEM bilgisayar programı ile çözülen değişik sürekli temel kirişi örneklerinden elde edilen; zemin çökmeleri ve temel kirişine ait iç kuvvet tesirlerinin uluslararası düzeyde yaygın kabul gören SAP2000 programından elde edilen sonuçlar ile çok büyük benzerlikler gösterdiği görülmektedir.

Geliştirilen ELASZEM bilgisayar programı ile çözülen örneklerden; elastik zemini temsil eden fiktif elastik mesnetlerin sayısının çözüme etkili olduğu gözlenmiştir. Fiktif elastik mesnetlerin sayısı arttıkça, yani kiriş boyunca fiktif mesnetler arasındaki “c” mesafesi değerinin azalması, temel kirişi altındaki zemin gerilme ve çökmeleri ile temel kirişi iç kuvvet tesirlerinin SAP2000 paket programı kullanılarak elde edilen sonuçlar ile yakınlık gösterdiği görülmüştür. Kullanılan bilgisayarın kapasitesi ölçüsünde “c” mesafesi daha da küçültülerek daha hassas ve daha kesin hesaplara ulaşmak mümkündür.

Sonuç olarak elastik zemine oturan sürekli temellerin kuvvet yöntemi ile analizi ve bu amaçla geliştirilen bilgisayar programının, yapılan karşılaştırmalı örnek çözümlerden, yöntemin gerçeğe yakın ve güvenilir sonuçlar verdiği ve inşaat mühendisliğinin ilgili alanlarında çalışmalar yapan kişilerce kullanılabilmesi söylenebilir.

KAYNAKÇA

İnan M. (1967): “Cisimlerin Mukavemeti”, Arı Kitabevi, İstanbul.

Keskinel F, Kumbasar N. (1976): “Sürekli Temeller ve Dönel Kabuklar”, İ.T.Ü., İstanbul.

Jemoçkin B.N., Sinitsin A.P. (1962) “Elastik Zemine Oturan Kiriş ve Plaklar İçin Pratik Metotlar”, Moskova.

Bilyap S. (1969): “Elastik Zemine Oturan Kirişler”, Ankara.

Düzgün M. (1977): “Elastik Zemine Oturan Sonlu Kirişlerin Winkler ve Enerji Metotları İle İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, E.Ü. M.B.F, İzmir.

SAP2000 (2000): “Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures”, Computers and Structures Inc, 3rd Edition, California, USA.