

YER HAREKETİ ETKİSİNDEKİ ZEMİN YAPI SİSTEMLERİNİN ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMANLARLA MODELLENEREK İNCELENMESİ

Doç.Dr. Muzaffer ELMAS¹

Araş.Görv. Mustafa KUTANIS¹

¹ İnşaat Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, SAÜ, ADAPAZARI, TÜRKİYE

ÖZET: Bu çalışmada, dinamik zemin yapı etkileşimi sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Örnek olarak alınan yapı, dört değişik şekilde ele alınmıştır. İlk olarak, yapı temelini, zemin yüzeyinde oturduğu durum için çözüm yapılmıştır. İkinci olarak, yapı temelini, zemin içine gömülü olduğu örneği incelenmiştir. Daha sonra, yapı, zemin faktörü hesaba katılmadan, doğrudan zemine rijit olarak mesnetlendiği ve son olarak da zemin mekanik özelliklerinin yaylardan oluşan mesnetlere dönüştürülmesiyle oluşturulan modelin analizi yapılmıştır. Sonuçlar şekil ve tablolar halinde verilmiştir.

I. GİRİŞ

Zemin üzerine oturan bütün mühendislik yapılarında temeller, zâti ve hareketli yüklerin zemine aktarılmasını sağlar. Bu durum deprem esnasında kuvvetli yer hareketinin yapıya iletilmesinin yanında yapının titreşimine karşı direncinde rol oynadığı gibi, yer hareketinin tekrar zemine yansıtılmasında da rol oynar. Bir başka deyişle zemin ve yapı, yapının temeli vasıtasıyla karşılıklı etkileşirler. Bu olaya "zemin yapı etkileşimi" adı verilmekte ve özellikle deprem esnasındaki bu etkileşime "dinamik zemin yapı etkileşimi" olarak adlandırılmaktadır. Dinamik zemin yapı etkileşiminin yapıya etki derecesi, zeminin mekanik özelliklerine, yapının rijitliğine, doğal frekansına ve temel tipine bağlıdır. Mühendislik yapılarının pek çoğu alüvyonlu zemin üzerinde oturan yapılardır (Adapazarı şehri gibi). Bu tür ortamlarda, yapıların davranışı, zeminin karakteristik özelliklerinden dolayı oldukça değişmektedir. Bu yüzden, dinamik zemin yapı etkileşimi çalışmalarında, sonlu elemanlar yönteminden geniş ölçüde faydalanılmaktadır. Olabildiğince geniş ölçekli ve sık bir ağla oluşturulan bir model, dinamik zemin yapı etkileşimi'ni incelemek için gereklidir. Fakat bu tür bir modelin tasarlanması ve çözümü, çok gelişmiş bilgisayarlarda bile uzun zaman almaktadır. Sonlu eleman modeline ek olarak, detaylı bir biçimde arazi deneylerinin yapılması gerekmektedir. Bu deneylerden elde edilecek olan elastisite modülü E , poisson oranı μ ,

ve diğer zemin dinamik özellikleri oluşturulan modelde kullanılması açısından önemlidir. Çeşitli etkiler altında titreşim yapan yapılar ve bu yapıların altında yer alan zemin ortamı arasındaki etkileşim, son yıllarda pek çok araştırmalara konu olmuştur. Pandey, Kumar ve Sharma [1], yüksek yapılarda zemin yapı etkileşimi analizi için iteratif esaslara dayanan bir yöntemi geliştirmişlerdir. Bu metodun geçerliliğini kanıtlamak amacıyla ele alınan yapı sonlu elemanlar yöntemiyle de çözülmüş ve sonuçların birbirine yakın olduğu saptanmıştır. Wang, Schmid ve Chou [2], yaptıkları çalışmalarında, zemin yüzeyinde veya zeminin içine gömülü bulunan bir yapının dinamik mukabelesini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlarda, dinamik zemin yapı etkileşimli modellerde geometrik sönümün önemini göstermişlerdir. Wolf ve Meek [3], dinamik zemin yapı etkileşimi problemlerini basitleştirmek amacıyla kullanılan iki boyutlu modellerin sakıncalarını vurgulayarak, alternatif modeller üretmişlerdir. Hayashi ve Takahashi [4], zaman aralığında zemin yapı etkileşimi analizleri için yaklaşık bir yöntem ve hassas bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. Her iki yöntemde de üç boyutlu hibrid yaklaşım kullanılmıştır. Jean, Lin ve Penzien [5], zemin yapı etkileşimi problemlerinin çözümünde, frekans aralığında çözümlerin kullanıldığını, fakat bu yöntemin lineer olmayan analizler yapmak için uygun olmadığını belirterek lineer olmayan sistemlerin çözümü için frekanstan bağımsız bir yöntem geliştirmişlerdir. Ayrıca, bu yöntemin, yapılacak ufak değişikliklerle, herhangi bir dinamik analiz programına adapte edilebileceğini savunmuşlardır. Aydınoglu [6], çalışmasında dinamik dış etkiler altında zemin ortamının gerçekçi bir biçimde idealleştirilebilmesi için yeterli sayıda üç boyutlu sonlu elemanların kullanılması gerektiğini vurgulamıştır.

II. SONLU ELEMANLAR MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI

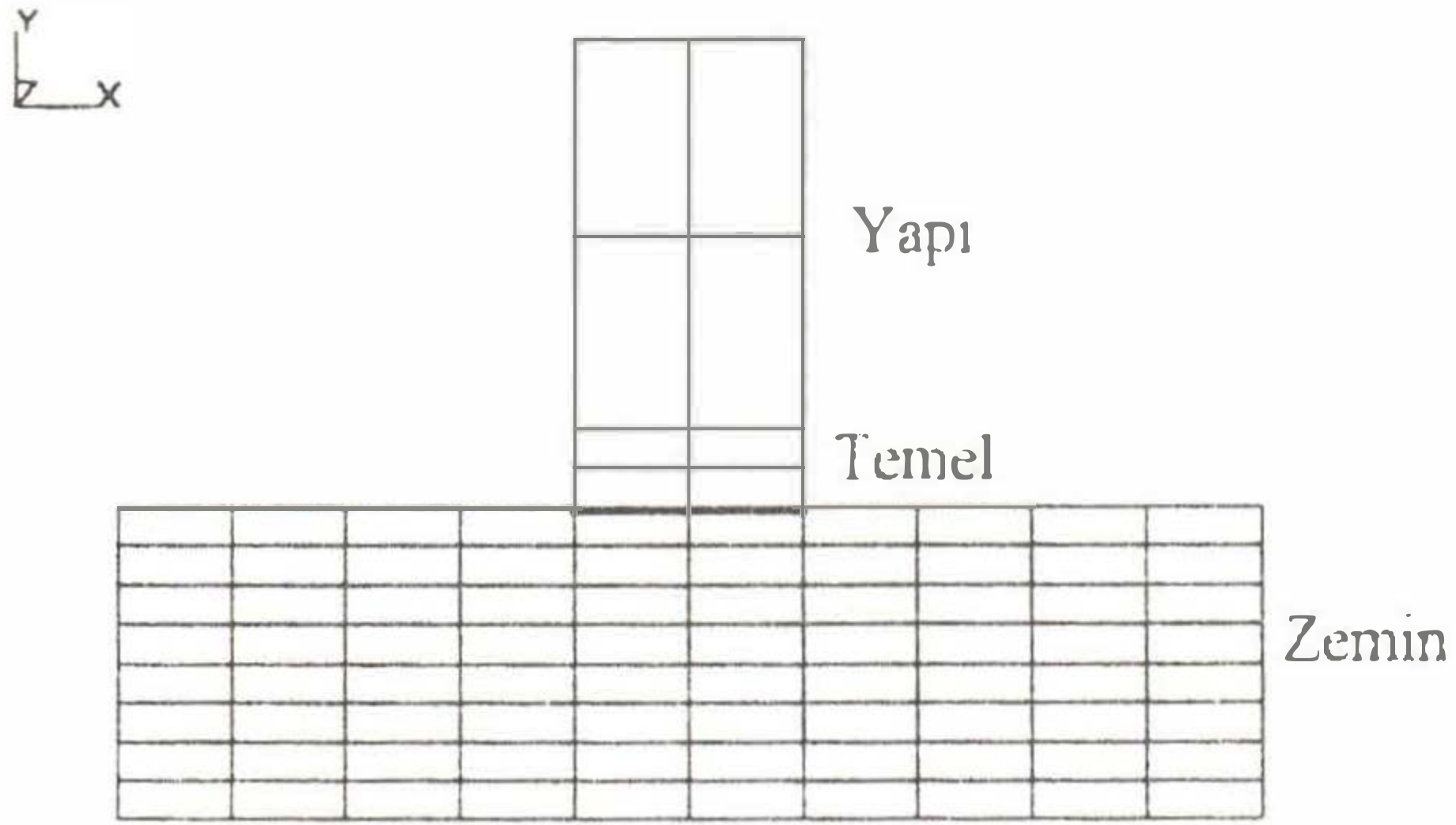
Sayısal çözümlerde, yapı zemin sistemi dört farklı biçimde ele alınmıştır:

1. Yapı temelini zemin yüzeyinde bulunması
2. Yapı temelini zemin içinde gömülü olması

3. Yapı temelini sabit mesnetli olması
4. Yapının zemine yaylarla mesnetli olması

II.1. YAPI TEMELİNİN ZEMİN YÜZEYİNDE BULUNMASI

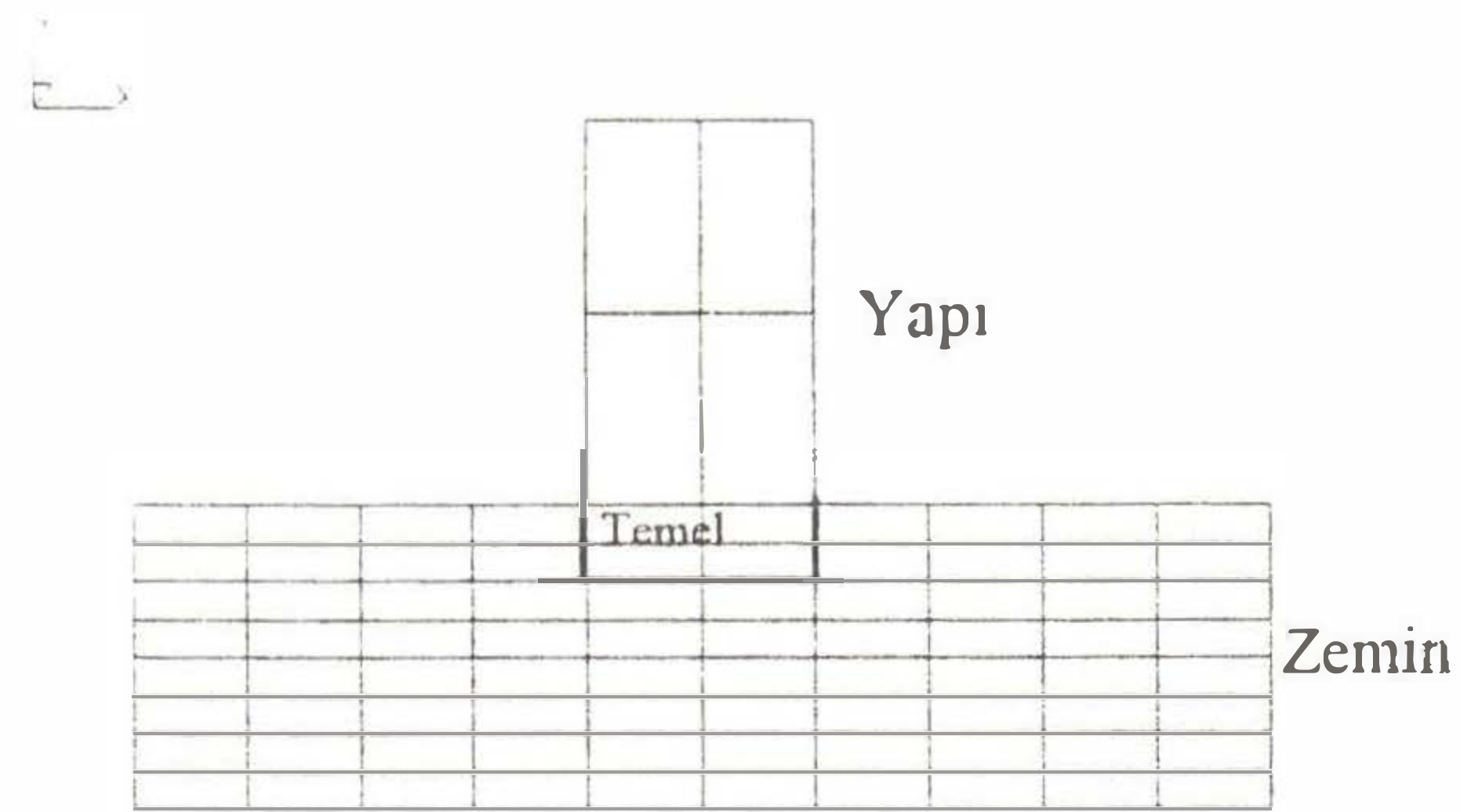
Model 1a.'da, (Şekil 1), yapı temeli zemin üzerinde durmaktadır. Gömülme etkisi ihmal edilmiştir. Yapı ve zemin, zemin yüzeyinde birbirine bağlanmıştır. Etkileşim yalnızca temelin alt yüzeyinde olmaktadır.



Şekil 1. Model 1a: Yapının zemin üzerinde bulunması

II.2. YAPI TEMELİNİN ZEMİN İÇİNDE GÖMÜLÜ OLMASI

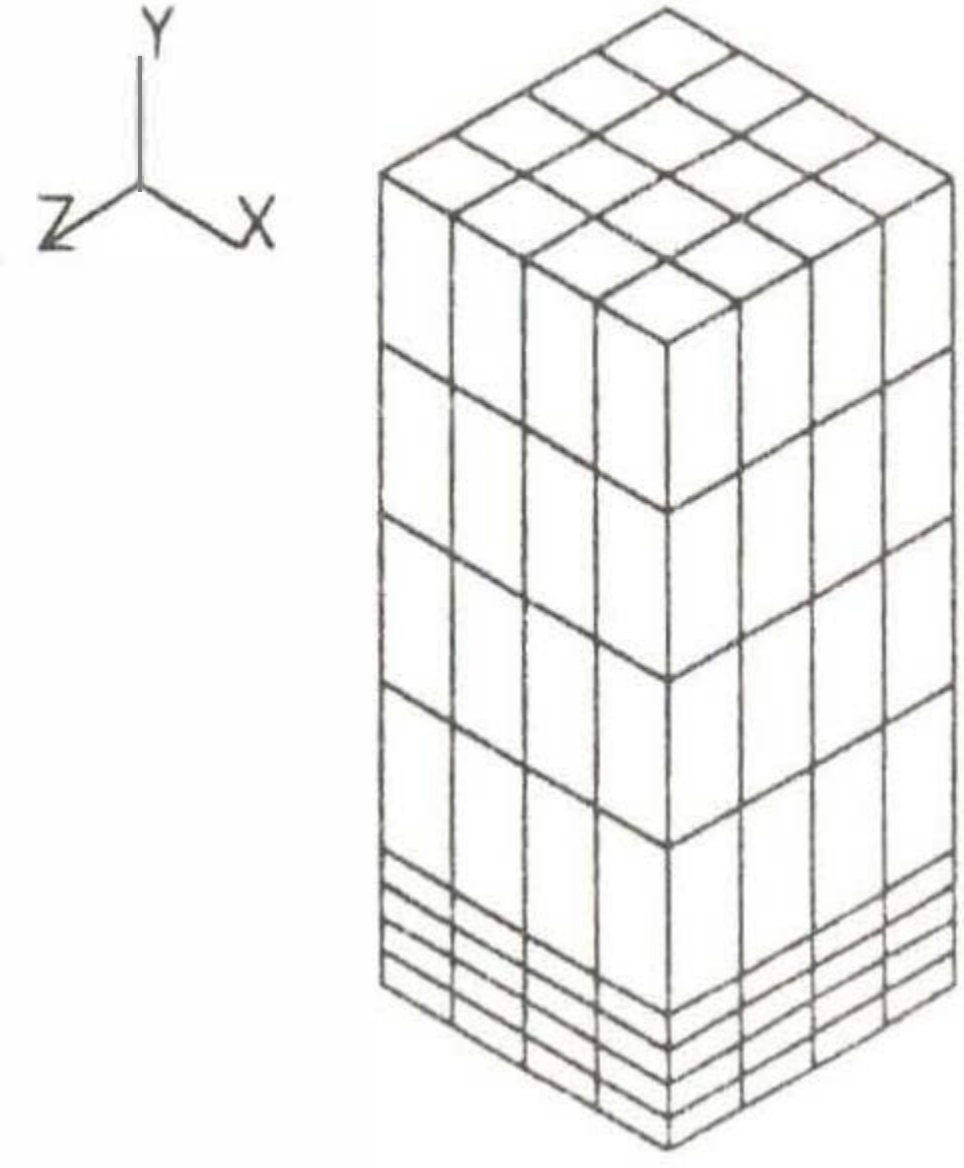
Model 1b.'de, (Şekil 2), yapı zemin içinde gömülü durmaktadır. Gömülme etkisinden dolayı etkileşim temelin alt yüzeyinde ve yan yüzeylerinde oluşmaktadır. Yapı ve zemin, zeminin içinde birbirine bağlanmıştır.



Şekil 2. Model 1b: Yapının zemin içinde gömülü durması

II.3. YAPI TEMELİNİN SABİT MESNETLİ OLMASI

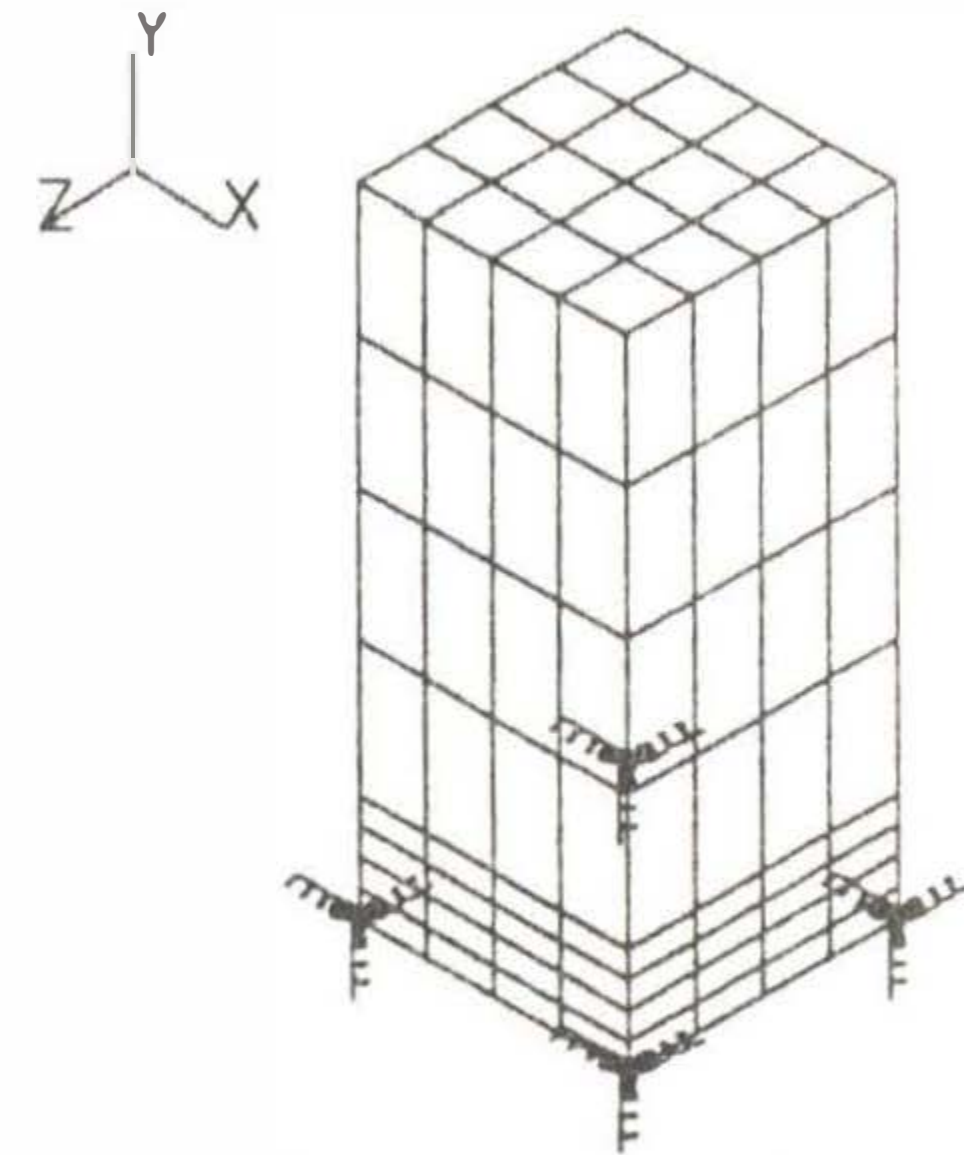
Bilindiği gibi, yapı analizleri, genellikle zemin yapı etkileşimi düşünülmeden, direkt olarak yapı zemine sabit mesnetlerle bağlanarak yapılır. Bu örneğe uygun olarak Model 2a'da (Şekil 3), zemin faktörü hesaba katılmadan yapı çözümlenmiştir.



Şekil 3. Model 2a: Zemine sabit mesnetlerle bağlı yapı modeli

II.4. YAPININ ZEMİNE YAYLARLA MESNETLİ OLMASI

Yapıyı zemine elastik yaylarla mesnetlendirilerek, zemin yapı etkileşimini hesaplayan Model 2b, Şekil 4.'te gösterilmiştir. Bu modelde yapı zemine x, y, z doğrultularında uygulanacak yay mesnetlerle bağlanmıştır. Yay sabitleri aşağıda verilen denklemlerle hesaplanmıştır [7],[8]:



Şekil 4. Model 2a: Yapının yaylarla mesnetlendirilmiş hali.

L, B temel boyları (L>B); G zemin kesme modülü; μ zemin poisson oranı; A temel alanı; S_y ve S_x temel şekli ile ilgili parametreler; K_y ve K_x düşey ve yatay yay sabitleri olmak üzere:

Düşey yay sabiti :

$$K_y = S_y \frac{2LG}{1-\mu} \quad (1)$$

Burada S_y değeri:

$$\frac{A}{(4L^2)} < 0.02 \text{ için } S_y = 0.8 \quad (1a)$$

$$\frac{A}{(4L^2)} > 0.02 \text{ için } S_y = 0.73 + 1.54 \left(\frac{A}{(4L^2)} \right)^{0.75} \quad (1b)$$

Yatay yay sabiti :

$$K_x = S_x \frac{2LG}{2 - \mu} \quad (2)$$

Burada S_x değeri:

$$\frac{A}{(4L^2)} < 0.16 \text{ için } S_x = 2.24 \quad (2a)$$

$$\frac{A}{(4L^2)} > 0.16 \text{ için } S_x = 4.5 \left(\frac{A}{(4L^2)} \right)^{0.38} \quad (2b)$$

olarak hesaplanacaktır.

III. SAYISAL ANALİZ

Ele alınan sonlu eleman modellerinin çözümü, LUSAS 11 programında yapılmıştır. LUSAS, genel amaçlı bir sonlu elemanlar programı olup pek çok mühendislik problemlerinin çözümü için (lineer ve non-linear gerilme analizleri; dinamik, titreşim, termal, akı problemleri vb..) kullanılabilir [9].

Bu çalışmada, zemin ve yapının, lineer elastik, izotropik malzemelerden oluştuğu varsayılmıştır. Malzeme değerleri Tablo 1a'de gösterilmiştir. Çalışmada birimler ton, metre ve saniye olarak seçilmiştir.

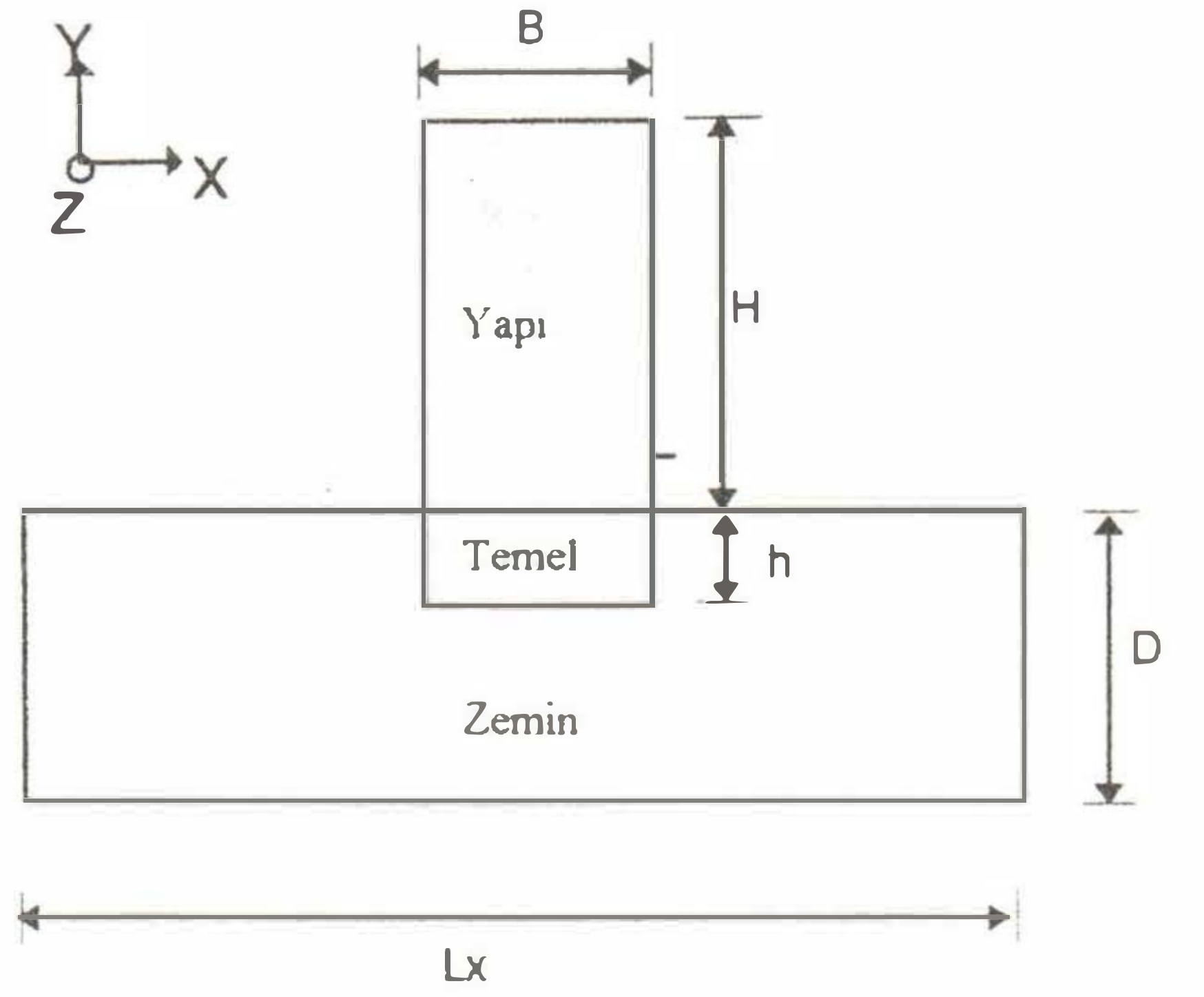
Tablo 1a. Modelde kullanılan malzeme özellikleri.

Malzeme Özellikleri	Zemin	Yapı
Elastisite Modülü, E (t/m ²)	5000	2000000
Poisson Oranı, μ	0.3	0.2
Sönüm	0.09	0.05
Kütle Yoğunluğu, ρ (t.sn ² /m ⁴)	0.12	0.250

Ele alınan yapının boyutlandırılması Tablo 1b'de gösterilmiştir. B, H, h, D ve Lx için Şekil 5'e bakınız.

Tablo 1b. Modellerin boyutlandırılması (metre)

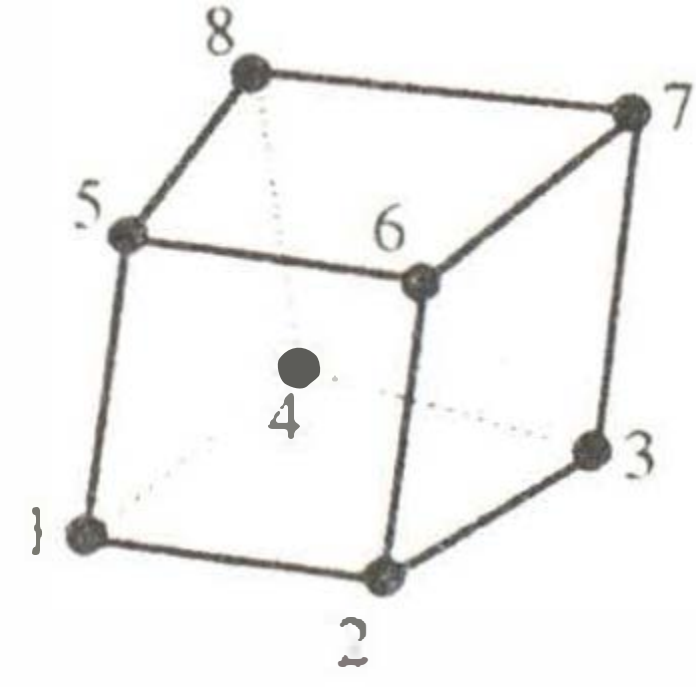
	B	H	h	D	Lx
Model 1a	5	10	2	8	25
Model 1b	5	10	2	8	25
Model 2a	5	10	2	-	-
Model 2b	5	10	2	-	-



Şekil 5. Modellerin boyutlandırılması

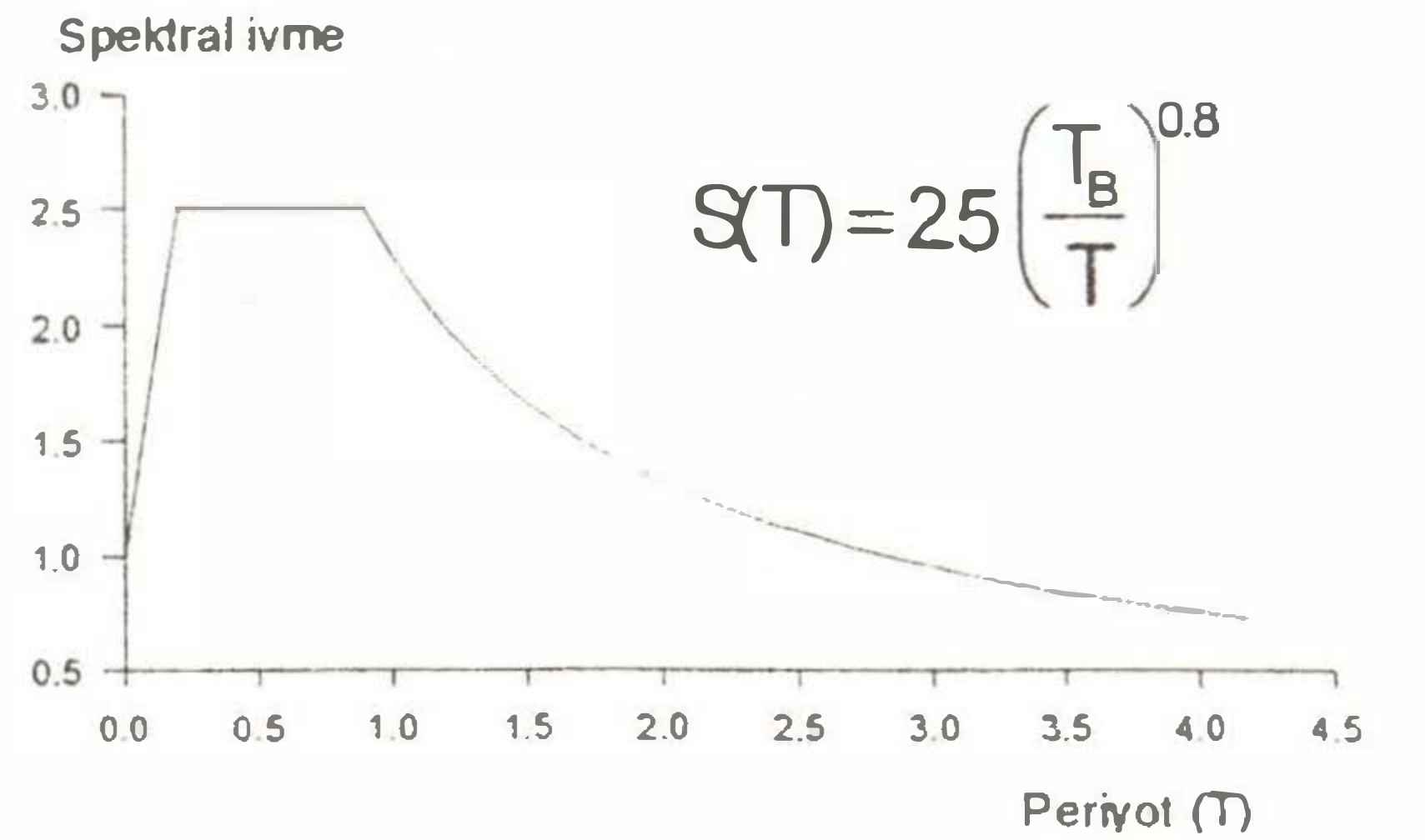
Modellerde z yönündeki genişlik temel genişliği kadar alınmış olup 5 metredir.

Modelde sonlu elemanlar ağı, üç serbestlik dereceli (u,v,w) ve üç boyutlu katı sürekli (solid continuum) hexahedral eleman kullanılarak düzenli bir ağ sağlanmıştır Şekil 6. [10].



Şekil 6. Modelde kullanılan sonlu eleman.

Sonlu eleman modelleri, önce, zâti ağırlıkları altında eigenvalue analizleri yapılmıştır. Daha sonra buradan elde edilen değerlere, sisteme x-doğrultusunda (yatay) etkiyen yer hareketi etkisinde spektral analiz yapılmıştır. Spektral analiz, Afet Bölgelerinde Yapılan Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1996 'ya göre yapılmıştır Şekil 7, [11].

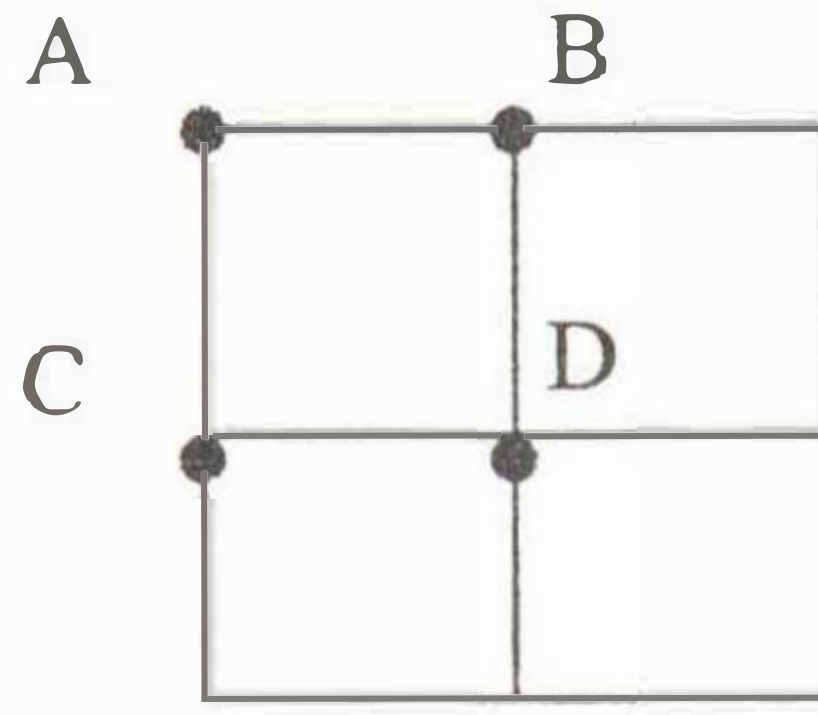


Şekil 7. Spektral ivme - Periyot eğrisi.

Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B), Yönetmelikte belirtildiği üzere [6], yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu kalın alüvyon tabakaları için (Adapazarı örneğinde olduğu gibi) sırasıyla 0.2 sn ve 0.9 sn alınmıştır [11].

Yukarıda açıklanan modellerin çözüm sonuçları Şekil 8, 9, 10 ve 11'de verilmiştir.

Şekil 8, 9, 10 ve 11'de verilen sonuçlardan elde edilen temel alt yüzeyindeki gerilme dağılımı aşağıda gösterilmiştir (Şekil 12, Tablo 2.). Temel kare şeklinde olduğundan gerilme dağılımı simetrik çıkmaktadır. Tablo 2.'de, A, B, C ve D noktaları için Model 1a, Model 1b, Model 2a ve Model 2b 'den elde edilen değerler verilmiştir.



Şekil 12. Temel alt yüzeyi planı

Tablo 2. Temel alt yüzeyinde gerilme değerleri.

A noktasında				
	M.1a	M.1b	M.2a	M.2b
$S_{xx} =$	8.54	1.9	18.27	97.37
$S_{yy} =$	29.53	106.76	64.27	498.9
$S_{xy} =$	2.8	18.28	9.38	73.61

B noktasında				
	M.1a	M.1b	M.2a	M.2b
$S_{xx} =$	2.88	30.95	44.12	124.3
$S_{yy} =$	1.18	5.08	5.8	20.68
$S_{xy} =$	2.8	4.89	9.38	19.97

C noktasında				
	M.1a	M.1b	M.2a	M.2b
$S_{xx} =$	5.79	13.21	37.29	59.73
$S_{yy} =$	27.65	5.08	50.68	20.68
$S_{xy} =$	3.9	2.12	4.17	5.52

D noktasında				
	M.1a	M.1b	M.2a	M.2b
$S_{xx} =$	10.28	2.55	19.09	4.18
$S_{yy} =$	0.719	1.578	0.315	6.39
$S_{xy} =$	3.91	0.856	4.170	3.94

Burada S_{xx} x yönü normal gerilmesini, S_{yy} y yönü normal gerilmesini ve S_{xy} ise kesme gerilmesini göstermektedir. Birimleri t/m^2 olarak alınmıştır.

Temel alt yüzeyinde y-yönünde maksimum yer değiştirmeleri; Model 1a'da $u_y = -1.19$ cm ve Model 1b ise $u_y = -2.27$ cm olarak elde edilmiştir.

Dinamik analizden elde edilen titreşim karakteristikleri Tablo 3.'te verilmiştir.

Tablo 3. Birinci mod spektral değerleri.(E: Eigenvalue, T:Periyot (sn), M:Toplam kütle (tn))

	Model 1a	Model 1b	Model 2a	Model 2b
E	7.709	12.39	1932	52.99
T	2.293	1.785	0.1429	0.8632
M	195	189	75	75

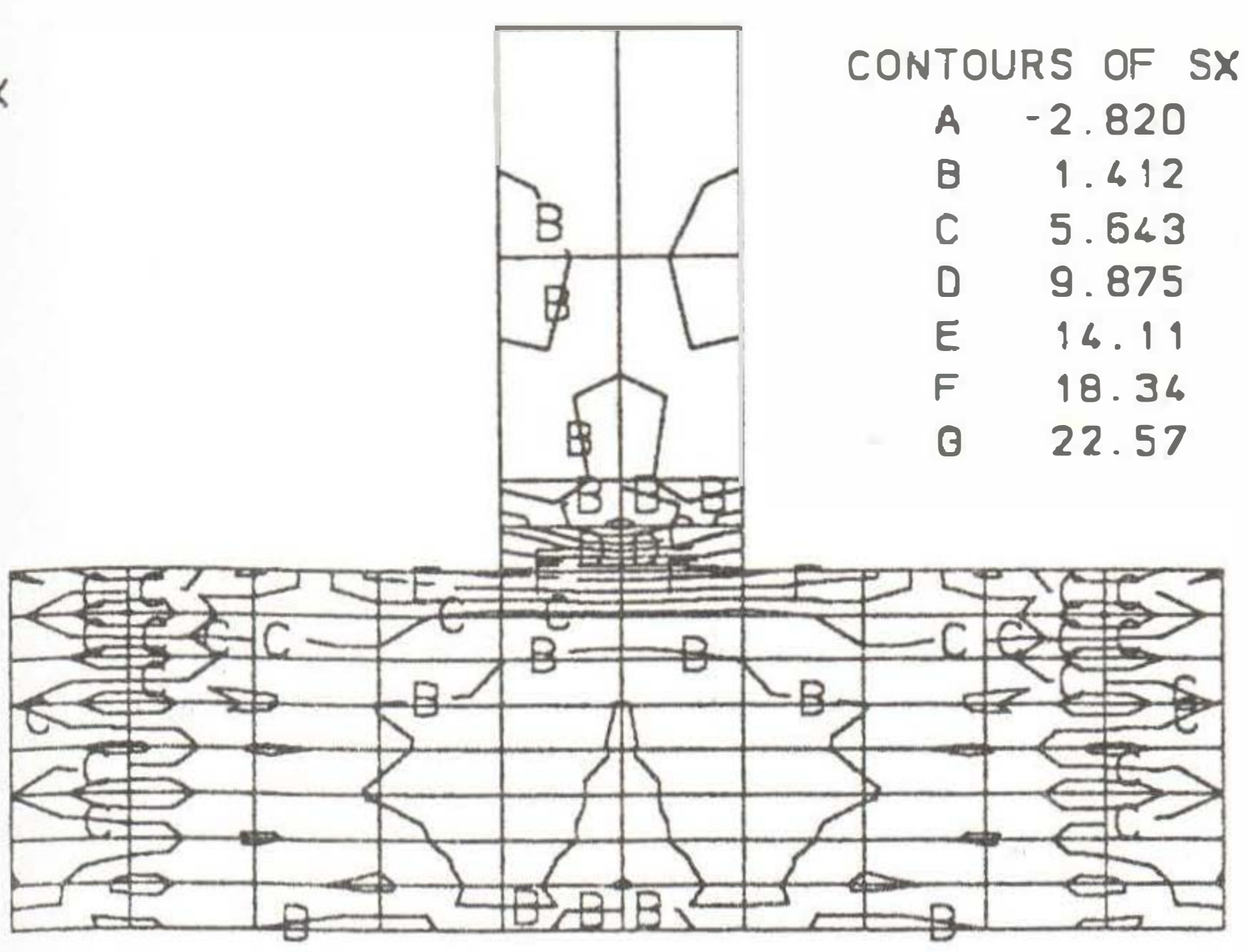
IV. SONUÇLAR

Ele alınan örneğin, sonlu elemanlar yöntemi ile zemin ve yapının farklı malzeme ve dinamik özelliklerini de göz önünde bulundurarak çözümü yapılmıştır. Elde edilen neticeler şu şekilde özetlenebilir:

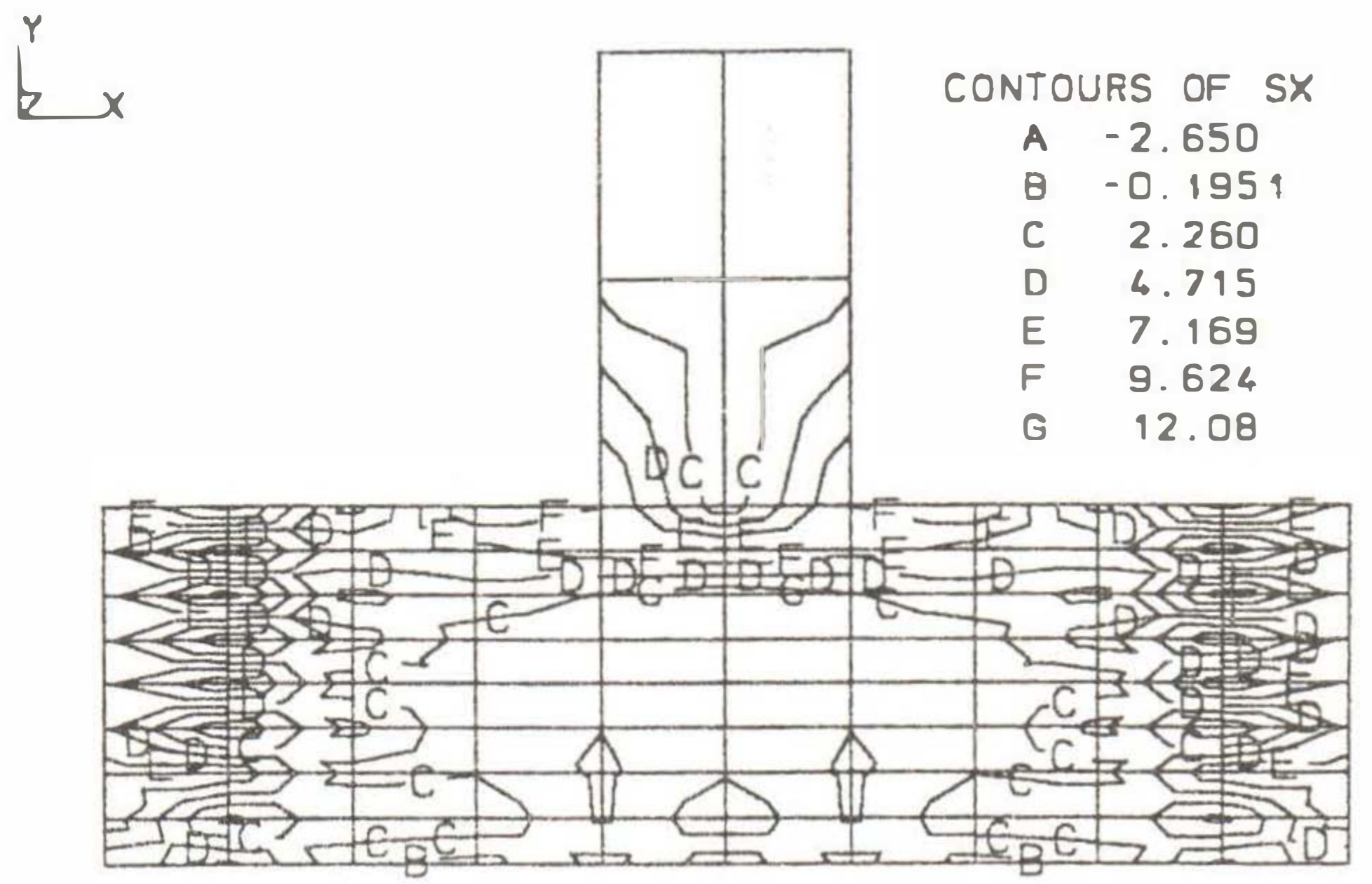
Yapının dinamik davranışı, zemin ortamının etkisi ile değişmektedir. Tablo 3.'te de görüldüğü gibi zemin ortamında yapılan çözümlerinde (Model 1a ve Model 1b) periyotlar daha yüksek çıkarken; zemin ortamının yaylardan oluşan mesnetlerle mesnetlendirilen modelde biraz daha düşük ve sabit mesnetli modelde ise en düşük olduğu görülmektedir.

Zemin yapı etkileşiminin bir diğer etkisi de şudur: Kuvvetli yer hareketinin sismik dalgalar şeklinde bina temelini alt yüzeyine vardığında, bu dalgaların bir kısmı tekrar zemin derinliklerine yansıtılırken, bir kısım dalgalarda binanın temelinden tepesine kadar yayılır ve bu yayılma esnasında bina titreşir. Dalgalar binanın tepesinden zemine tekrar ulaştığında, bir kısmı zemine iletilirken kalan kısmı tekrar binanın içine yansır. Bu durum, zemin yapı etkileşimli bilgisayar modellerinde, zeminin çözüme dahil edilmesi ve çeşitli arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilecek zemin dinamik özelliklerinin kullanımı ile mümkün olmaktadır.

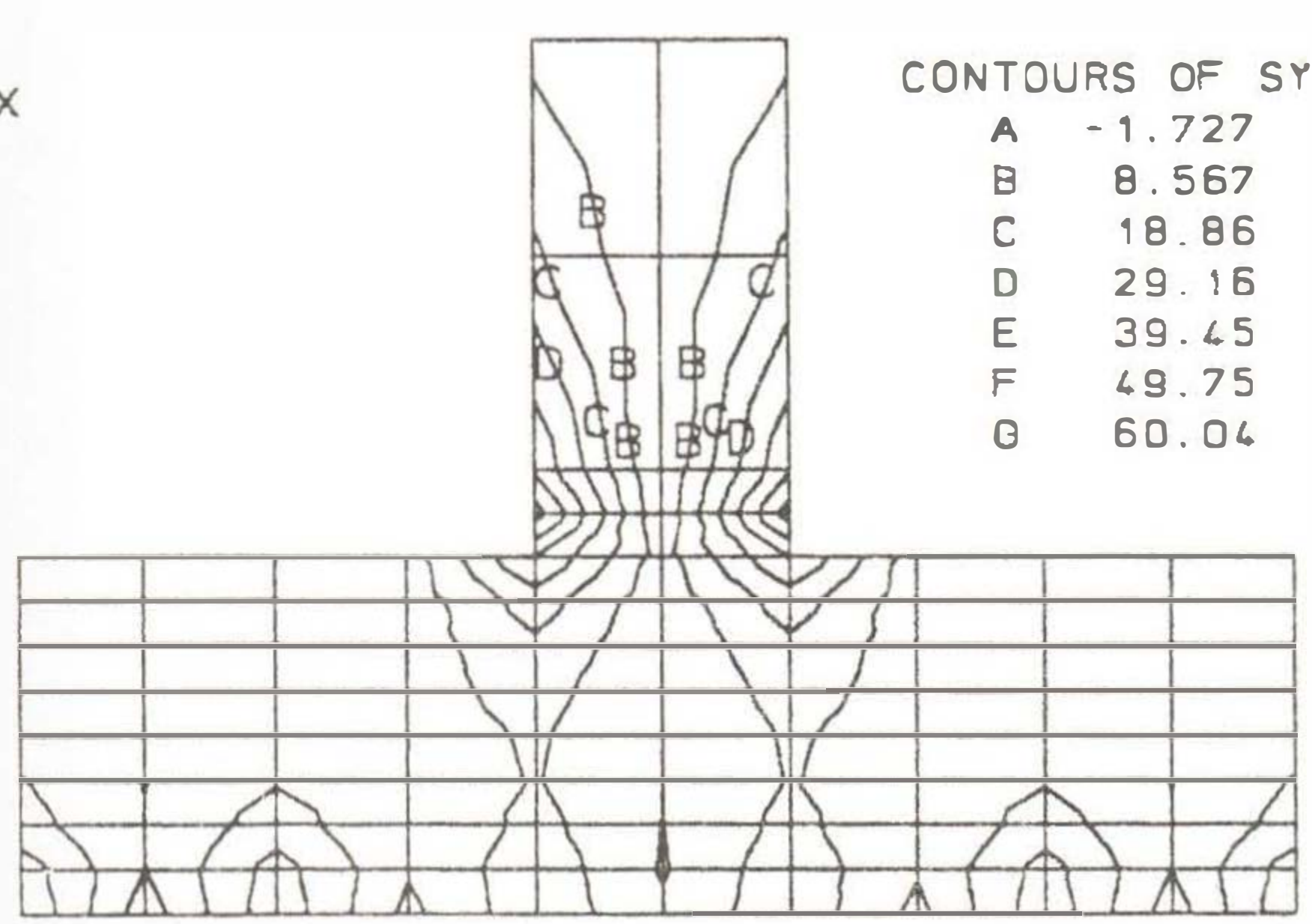
Bu şekilde, zemin sönüm etkisinin çözüme dahil edilmesi, üst yapıdaki yer değiştirmeler ve iç kuvvetlerde önemli ölçüde azalmalara neden olmaktadır.



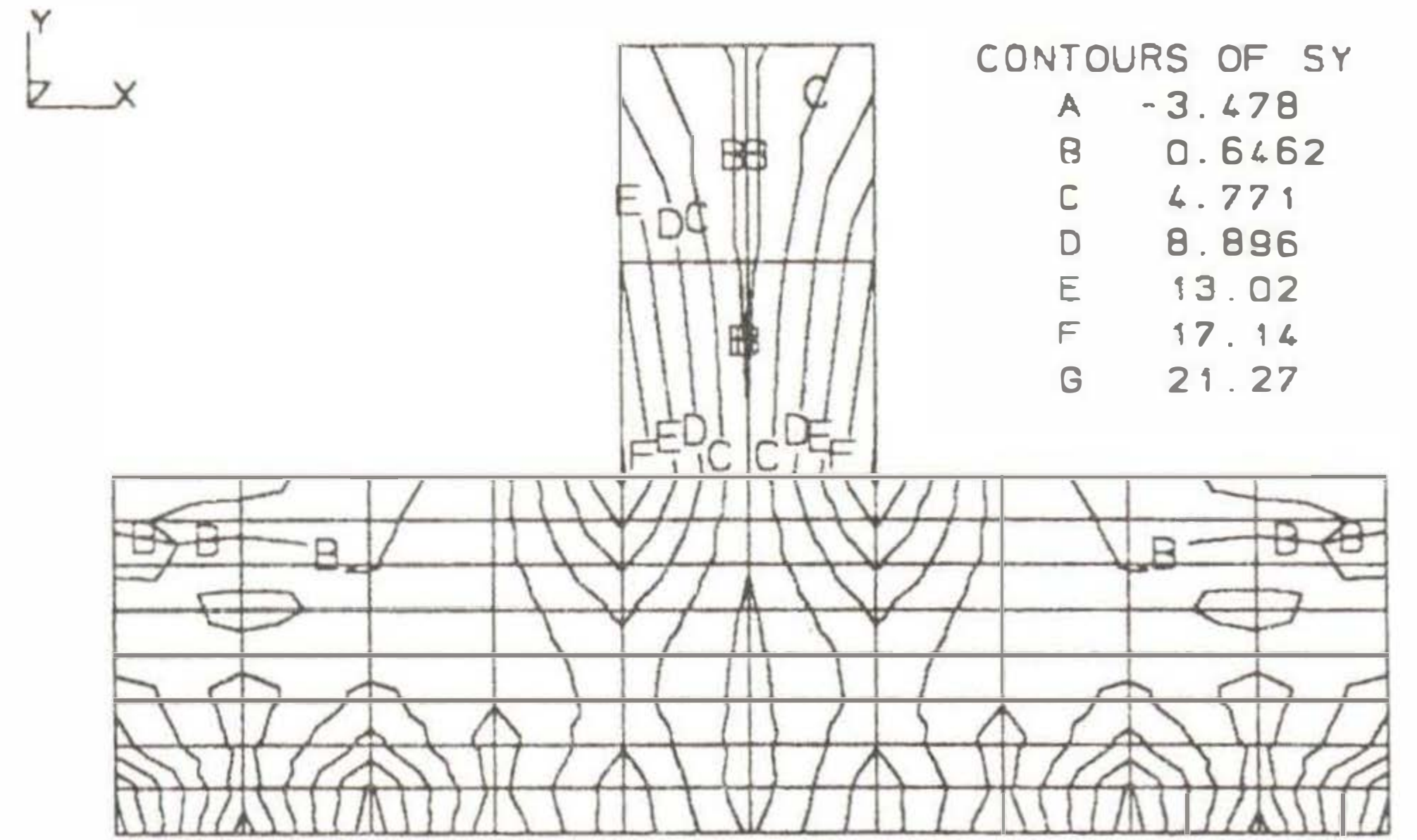
Şekil 8a. Model 1a'da S_{xx} gerilme dağılımı. (t/m^2)



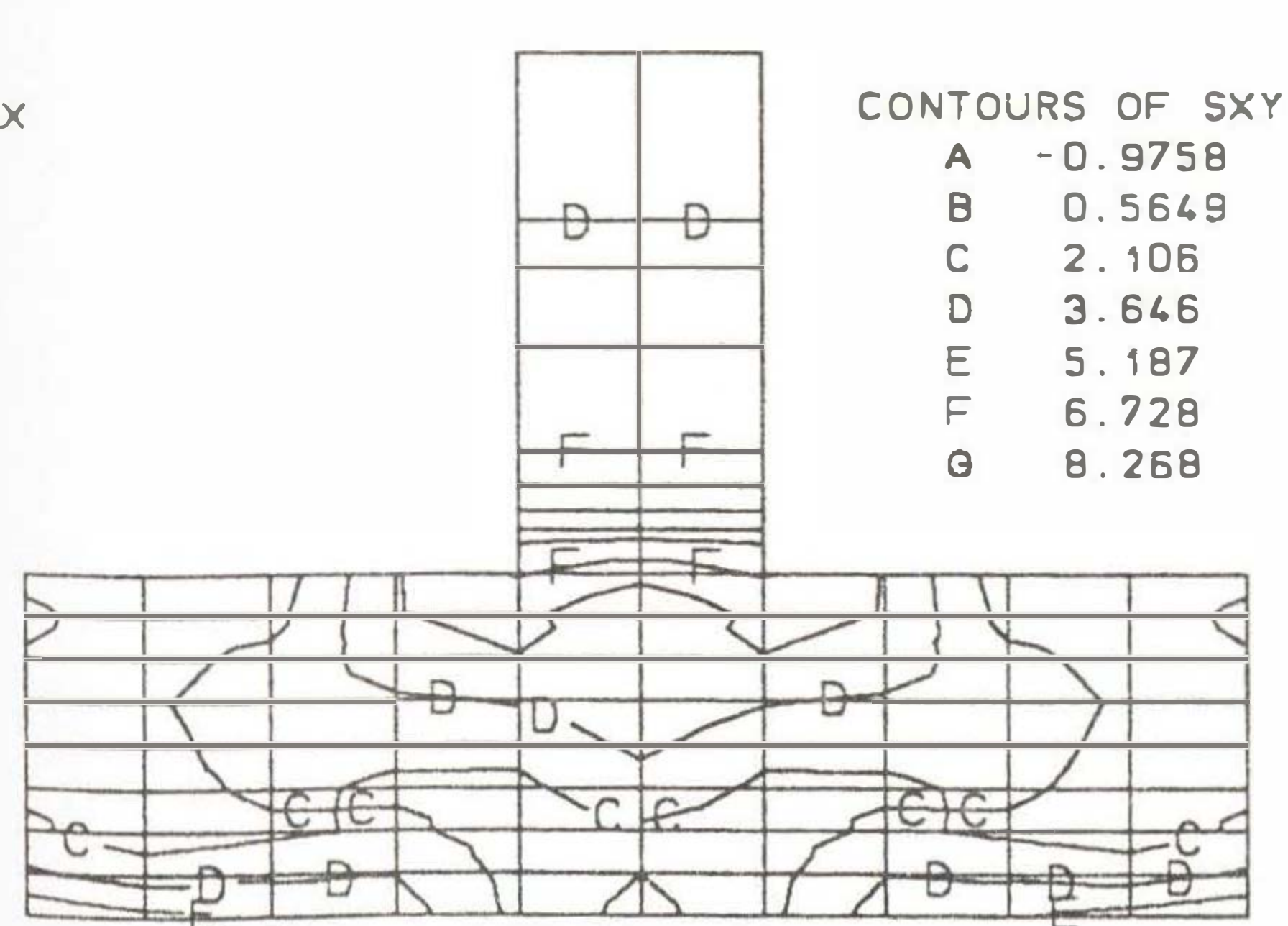
Şekil 9a. Model 1b'de S_{xx} gerilme dağılımı. (t/m^2)



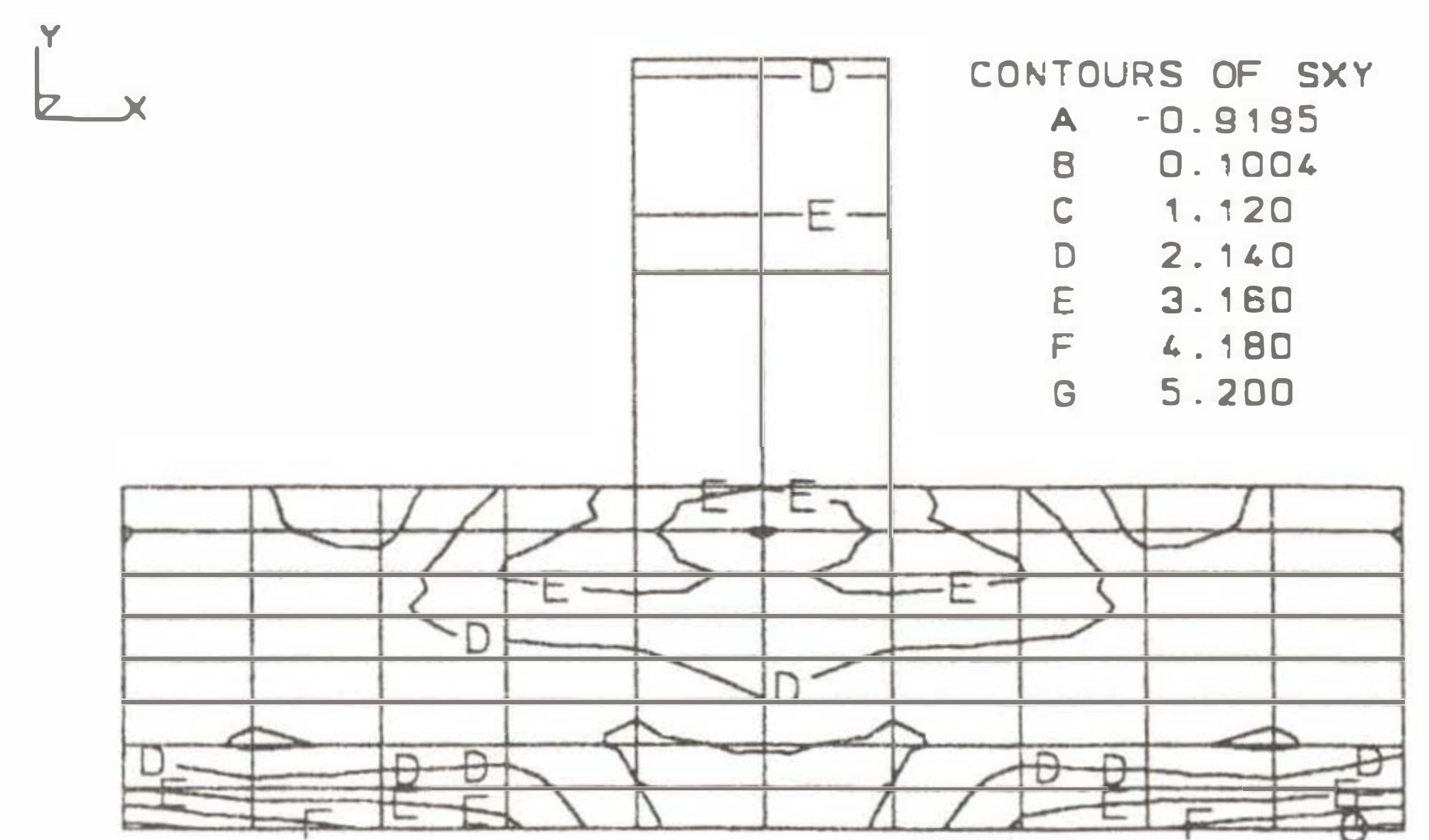
Şekil 8b. Model 1a'da S_{yy} gerilme dağılımı. (t/m^2)



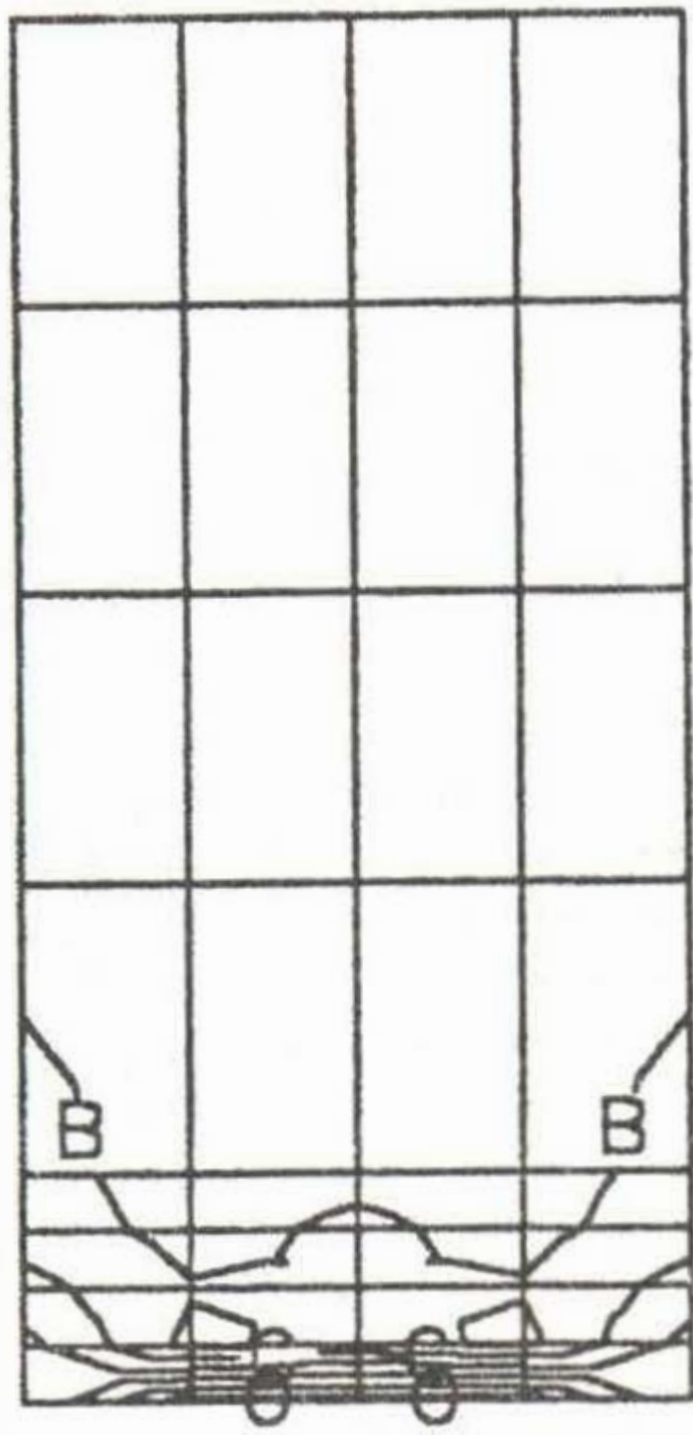
Şekil 9b. Model 1b'de S_{yy} gerilme dağılımı (t/m^2)



Şekil 8c. Model 1a'da S_{xy} gerilme dağılımı. (t/m^2)

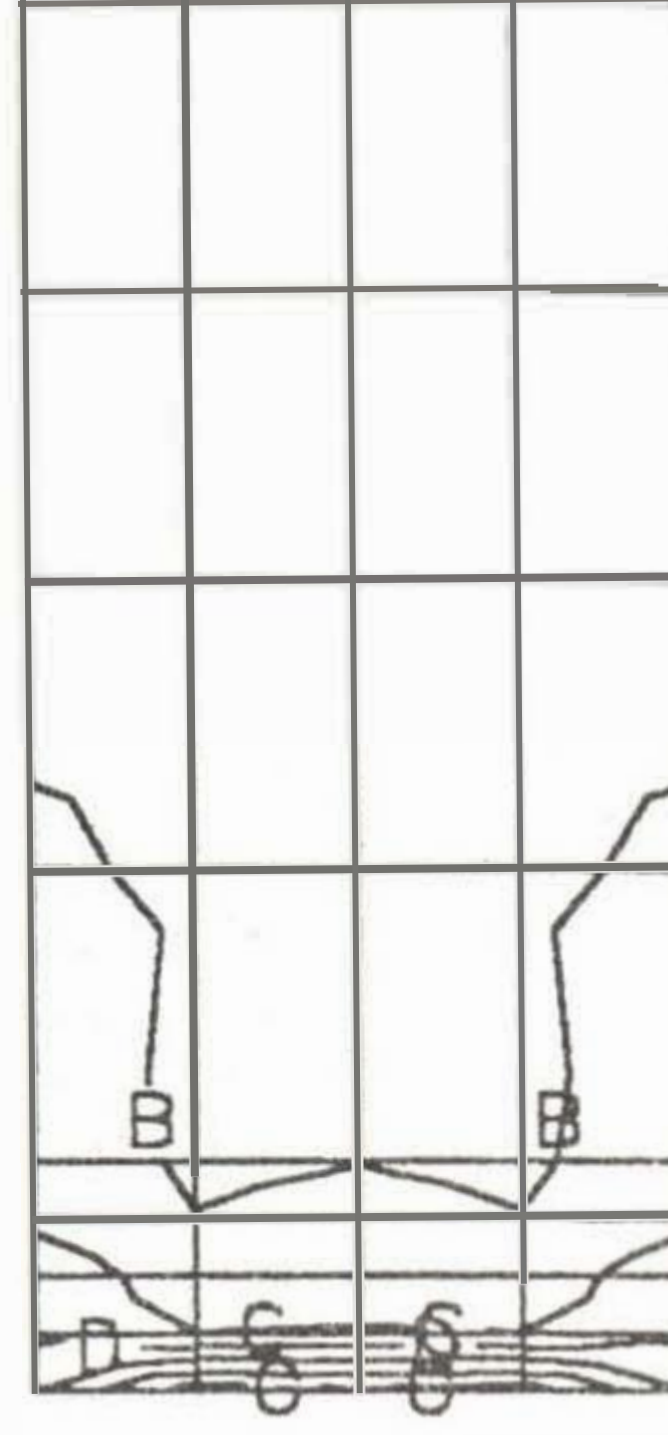


Şekil 9c. Model 1b'de S_{xy} gerilme dağılımı. (t/m^2)



CONTOURS OF SX

A	-2.287
B	2.029
C	6.344
D	10.66
E	14.97
F	19.29
G	23.61

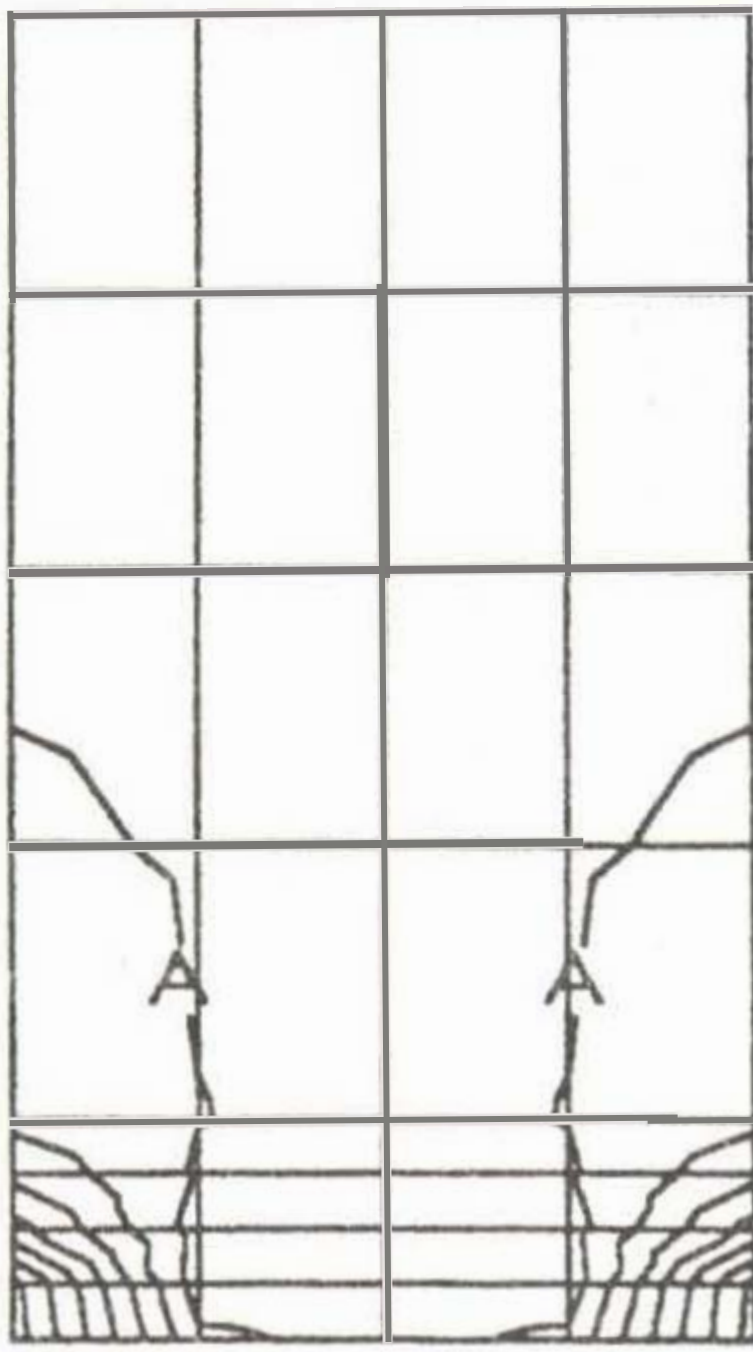


CONTOURS OF SX

A	-9.959
B	1.934
C	13.83
D	25.72
E	37.61
F	49.50
G	61.40

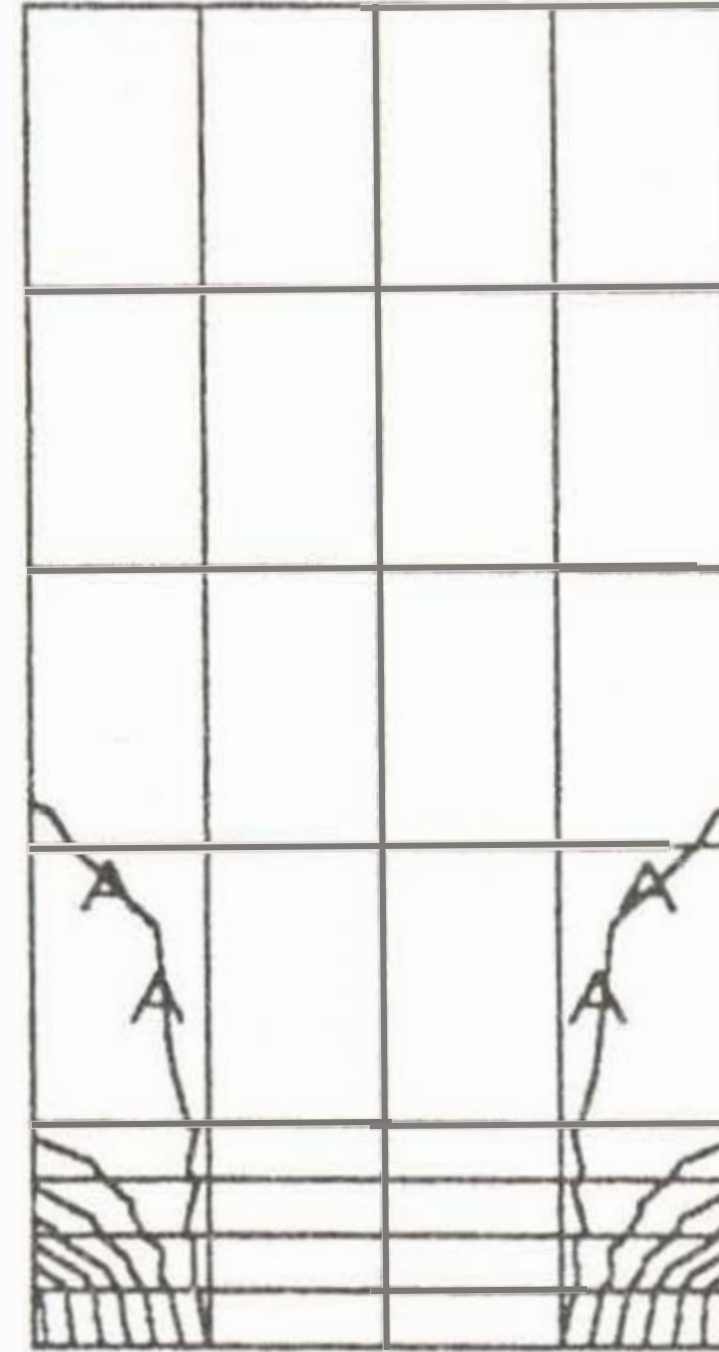
Şekil 10a: Model 2a'da S_{xx} gerilme dağılımı (t/m^2)

Şekil 11a: Model 2b'da S_{xx} gerilme dağılımı (t/m^2)



CONTOURS OF SY

A	4.869
B	20.63
C	36.40
D	52.16
E	67.92
F	83.69
G	99.45

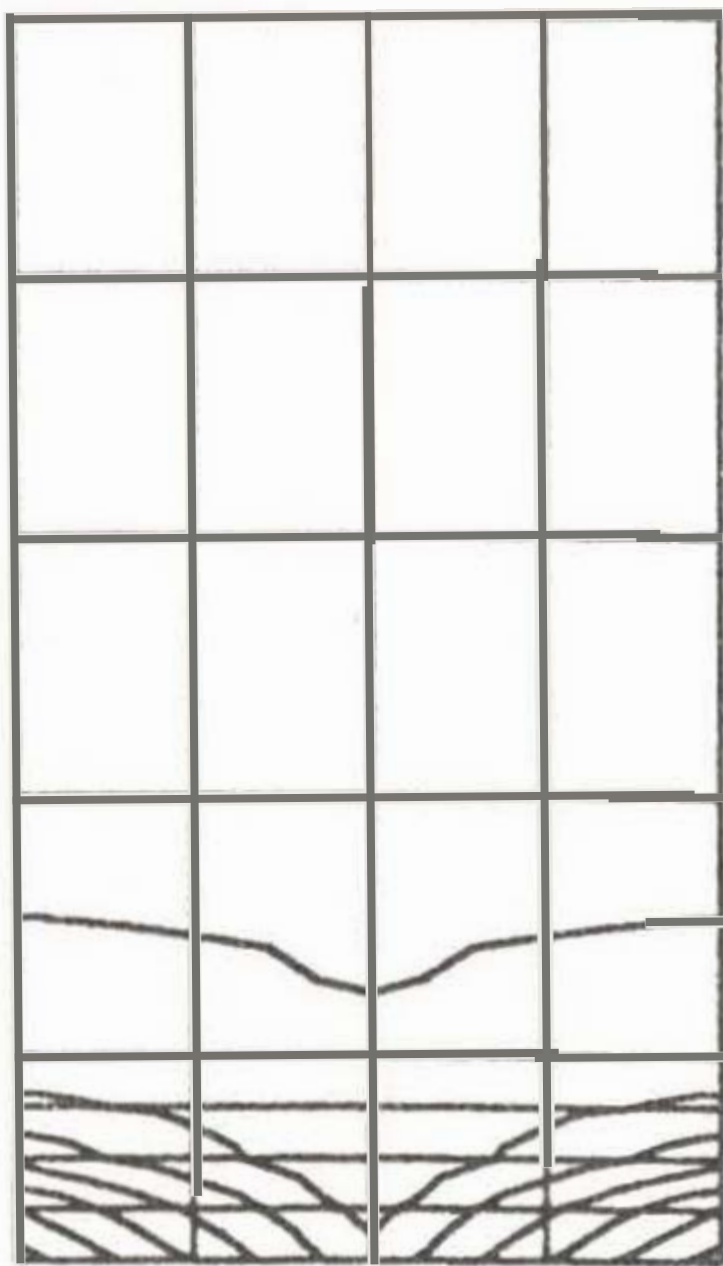


CONTOURS OF SY

A	17.17
B	60.00
C	102.8
D	145.7
E	188.5
F	231.3
G	274.2

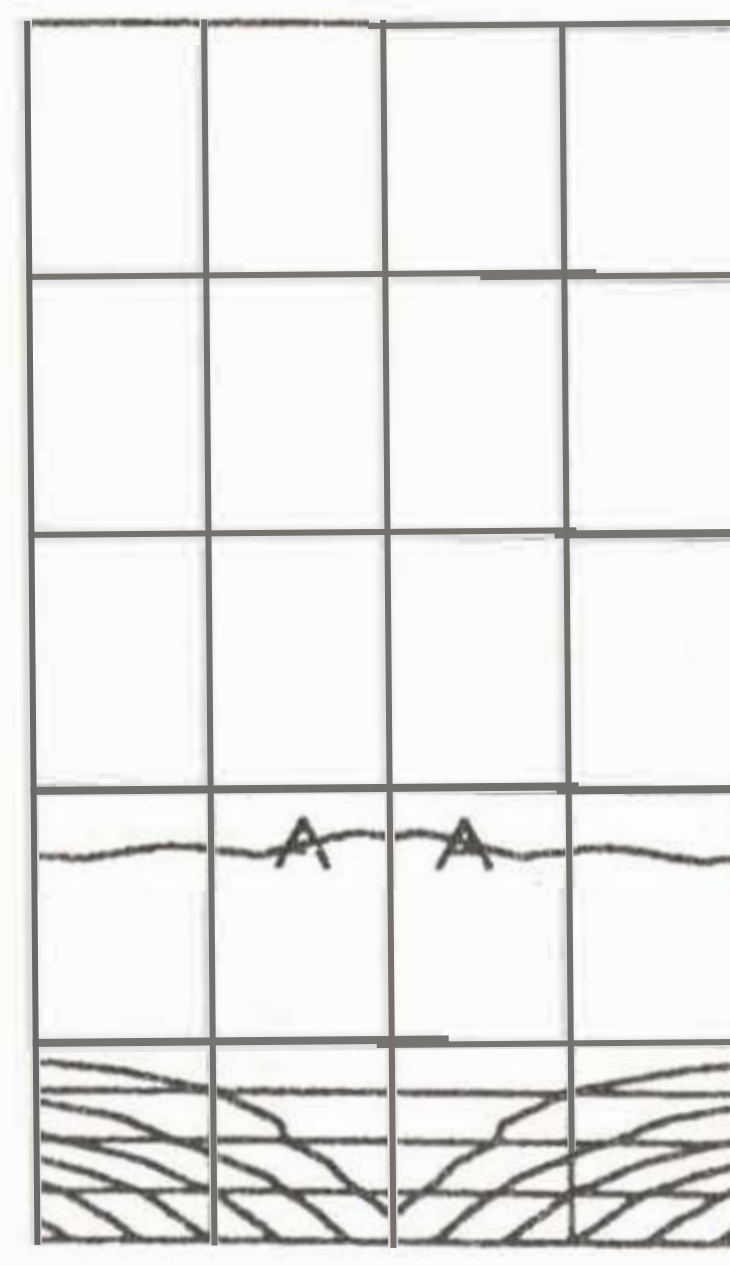
Şekil 10b: Model 2a'da S_{yy} gerilme dağılımı (t/m^2)

Şekil 11b: Model 2b'da S_{yy} gerilme dağılımı (t/m^2)



CONTOURS OF SXY

A	1.373
B	3.972
C	6.571
D	9.170
E	11.77
F	14.37
G	16.97



CONTOURS OF SXY

A	3.089
B	9.368
C	15.65
D	21.93
E	28.20
F	34.48
G	40.76

Şekil 10c: Model 2a'da S_{xy} gerilme dağılımı (t/m^2)

Şekil 11c: Model 2b'da S_{xy} gerilme dağılımı (t/m^2)

Bu çalışmada dinamik zemin yapı etkileşiminden dolayı yapı temelinin durumu ele alınmıştır. Başka bir çalışmada üst yapı elemanlarının davranışı incelenecektir.

V. KAYNAKÇA

- [1] PANDEY, A.K., KUMAR, G. ve SHARMA, S.P., "An Iterative Approach for the Soil Structure Interaction in Tall Buildings", Engineering Fracture Mechanics Vol. 47, No.2, pp. 169-176, 1994
- [2] SHU, W., SCHIMID, G. ve CHOUW, N., "Geometrical Interaction Effects on the Dynamic Responses of Soil Structure Systems", Computers & Structures Vol. 44, No. 1/2, pp. 367-373, 1992
- [3] WOLF, J.P. ve MEEK, J.W., "Insight on 2-D versus 3-D Modelling of Surface Foundations via Strength-of-Materials Solutions for Soil Dynamics", Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol.23, pp. 91-112, 1994
- [4] HAYASHI, Y. ve TAKAHASHI, I., "An Effective Time Domain Soil Structure Interaction Analysis Based on the Dynamic Stiffness of an Unbounded Soil", Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol.21, pp. 787-798, 1992
- [5] JEAN, W., LIN, T. ve PENZIEN, J., "System Parameters of Soil Foundations for Time Domain Dynamic Analysis", Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol.19, pp. 541-553, 1990
- [6] AYDINOĞLU, M.N., "Yapı Analizi ve Tasarımı Sürecinde Statik ve Dinamik Yapı Zemin Etkileşimi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, 218-229, ODTÜ, Ankara, 1994
- [7] DOBRY, R. ve GAZETAS, G., "Dynamic Response of Arbitrarily Shaped Foundations" ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 2, pp. 109-135, 1986
- [8] DOBRY, R. ve GAZETAS, G., "Dynamic Response of Arbitrarily Shaped Foundations: Experimental Verification" ASCE Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 2, pp. 136-154, 1986
- [9] LUSAS User Manual, FEA.Ltd.
- [10] LUSAS Finite Element Library, FEA.Ltd.
- [11] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. Resmi Gazete, 13/05/1996.

