

624.023.8  
E 73 d

Yapılmadı. 1996-1254

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU

205

PROJE NO: MAG-205

**DOLGULU ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞ VE  
MUKAVEMETİ**

Proje Yürütücüleri : Assoc.Prof.Dr.Uğur ERSOY  
Assoc.Prof.Dr.Şafak UZSOY

Ankara, 1971



624.023.8  
E 73 d

Yapılmadı. 1996-1254

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK  
ARAŞTIRMA KURUMU

205

PROJE NO: MAG-205

**DOLGULU ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞ VE  
MUKAVEMETİ**

Proje Yürütücülere : Assoc.Prof.Dr.Uğur ERSOY  
Assoc.Prof.Dr.Şafak UZSOY

Ankara, 1971



624.023.8

E23d

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU  
Mühendislik Araştırma Grubu  
Proje No : MAG-205

DOLGULU ÇERÇEVELERİN DAVRANIŞ VE  
MUKAVEMETİ

Proje Yürütücüleri : Assoc.Prof.Dr.Uğur ERSOY  
Assoc.Prof.Dr.Şafak UZSOY

Yardımcı Araştırmacı : Y.Müh. Emin AKTAN

Bu Proje Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun  
Destegi ile O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümünde Yapılmıştır.

Başlama Tarihi : 1.11.1969

Bitme Tarihi : 10.2.1971

264/1



## ÖNSÖZ

Betonarme hesabı yapan Mühendislerle ışıık tutacağına inandığımız bu araştırma projesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nin destekleri sayesinde gerçekleşmiştir.

Araştırmanın deneysel kısmı O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği laboratuvarında yapılmış, sonuçların değerlendirilmesinde ve teorik hesaplarda O.D.T.Ü. Elektronik Hesap Merkezindeki elektronik hesap makinesinden yararlanılmıştır. Proje Dr. U. Ersoy, Dr. Ş. Uzsoy, Y. Müh. E. Aktan ve Müh. S. Sonar tarafından müştereken yürütülmüştür.

Araştırmacılar araştırmanın deneysel kısmında feragatla çalışan Yapı Mekaniği Laboratuvarı personeline ve bilhassa Baş Teknisyen Burhan Avcı'ya teşekkürü bir borç bilirler.

Bu araştırmanın gerçekleşmesinde maddî ve manevî destekte bulunan TÜHİTAK ve O.D.T.Ü. yetkilileri şükranla anılır.



İÇİNDEKİLER

Sayfa No.

ONSÖZ	i
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÖZET	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 GENEL	1
1.2 KONU İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ARAŞTIRMALAR	3
1.3 ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI	12
2. DENEY MODELLERİ VE LABORATUVAR TEKNİĞİ	13
2.1 DENEY MODELLERİ	13
2.2 MODELLERİN HAZIRLANIŞI	17
2.3 YÜKLEME SİSTEMİ	19
2.4 ÖLÇME ALATLARI	19
2.5 MODEL ÖZELLİKLERİ	19
3. MODELLERİN DAVRANIŞ VE MUKAVEMETİ	24
3.1 MODELLERİN DAVRANIŞLARI	24
3.1.1 Model 1	24
3.1.2 Model 2	26
3.1.3 Model 3	27
3.1.4 Model 4	29
3.1.5 Model 5	29
3.1.6 Model 6	31
3.1.7 Model 7	33
3.1.8 Model 8	33
3.1.9 Model 9	34



4.	DENEY SONUÇLARININ İNCELENMESİ	36
4.1	DENEY SONUÇLARI	36
4.1.1	Genel	36
4.1.1.1	Genel	37
4.1.1.2	Yük-Yanal Deplasman Eğrileri	48
4.1.1.3	Diagonalde Birim Kısalmalar	53
4.1.1.4	Deformasyonlar	53
4.2	DEĞİŞKENLERİN ETKİLERİ	55
4.2.1	Genel	56
4.2.1.1	Genel	57
4.2.1.2	Dolgunun Çerçeve Üzerinde Etkisi	62
4.2.1.3	$K_b/K_c$ Oranının Çerçeve Üzerinde Etkisi	63
4.2.1.4	Dolgu ve Çerçeve Arasındaki Aderansın Etkisi	70
4.2.1.5	Düşey Yükün Çerçeve Üzerinde Etkisi	70
5.	ANALİZ	74
5.1	ANALİZ METODU	74
5.2	HESAP ŞEKLİ	76
5.3	ANALİZ SONUÇLARI	87
5.4	ANALİZ SONUÇLARININ İNCELENMESİ	90
6.	BULGULAR VE ÖNERİLER	90
6.1	GENEL	90
6.2	BULGULAR	92
6.3	ÖNERİLER	94
	REFERANSLAR	



TABLO LİSTESİ

Tablo No.

Sayfa No.

- |   |    |
|---|----|
| 1. Çerçeve Özellikleki                                    | 23 |
| 2. Dolgunun Çerçeve Üzerinde Etkisi                       | 58 |
| 3. Analitik Çözümün Deney Sonuçları ile Karşılaştırılması | 88 |



SEKİL LİSTESİ

Sayfa No.

Sekil No.

1. Prototip arçeve	14
2. Model Çerçevesi	14
3. (a) Çerçevenin Gerçek Yüklennesi,	
(b) Deneyde Kullanılan Eşdeğer Konfigürasyon	16
4. Dolgulu Model Çerçevesi Boyutları	16
5. Modellerin Donatı Detayları	18
6. Model İnalinde Kullanılan Ayarlı Kalıp	20
7. Yükleme Sistemi	20
8. Yüklene Çerçevesi ve Model	21
9. Ölçü Aletleri	22
10. Çerçeve Elemanlarının Adlandırılması	25
11. Model 1	25
12. Model 2	28
13. Model 3	28
14. Model 4	30
15. Model 5	30
16. Model 6	32
17. Model 7	32
18. Model 8	35
19. Model 9	35
20. Yük-Yanal Deplasman Eğrisi (Model 2)	39
21. Yük-Yanal Deplasman Eğrisi (Model 3)	40
22. Yük-Yanal Deplasman Eğrisi (Model 4)	41
23. Yük-Yanal Deplasman Eğrisi (Model 5)	42

24.	Yük-Yanal Deplasman Eğrisi (Model 5)	43
25.	Yük-Yanal Deplasman Eğrisi (Model 6)	44
26.	Yük-Yanal Deplasman Eğrisi (Model 7)	45
27.	Yük-Yanal Deplasman Eğrisi (Model 8)	46
28.	Yük-Yanal Deplasman Eğrisi (Model 9)	47
29.	Yük-Diyagonal Boyunca Birim Kısalma Eğrisi (Model 3)	49
30.	Yük-Diyagonal Boyunca Birim Kısalma Eğrisi (Model 4)	50
31.	Yük-Diyagonal Boyunca Birim Kısalma Eğrisi (Model 6)	51
32.	Yük-Diyagonal Boyunca Birim Kısalma Eğrisi (Model 9)	52
33.	Kolon Deformasyonları	54
34.	$K_p/K_c$ Oranının Dolgulu Çerçeve Üzerinde Etkisi (Model 3-Model 8)	60
35.	$K_p/K_c$ Oranının Dolgulu Çerçeve Üzerinde Etkisi (Model 4-Model 9)	61
36.	Çerçeve ile Dolgu Arasındaki Aderansın Dolgulu Çerçeve Üzerinde Etkisi (Model 3-Model 4)	64
37.	Çerçeve ile Dolgu Arasındaki Aderansın Dolgulu Çerçeve Üzerinde Etkisi (Model 6-Model 7)	65
38.	Çerçeve ile Dolgu Arasındaki Aderansın Dolgulu Çerçeve Üzerinde Etkisi (Model 8-Model 9)	66
39.	Düşey Yükün Dolgulu Çerçeve Üzerinde Etkisi (Model 3-Model 6)	68
40.	Düşey Yükün Dolgulu Çerçeve Üzerinde Etkisi (Model 4-Model 7)	69
41.	(a) Dolgulu Çerçeve, (b) Analizde Kullanılan Basınç Çubuklu Çerçeve	73
42.	Basınç Çubuğu Genişliğinin Çerçeve Yanal Rijiditesine Etkisi ( $K_p/K_c = 2$ )	77



43.	Basınç Çubuğu Genişliğinin Gerçeğe Yanal Rijiditesine Etkisi ( $K_p/K_c = 4$ )	78
44.	Analytik Çözümün Deneysel Sonuçları ile Karşılaştırılması (Model 2)	79
45.	Analytik Çözümün Deneysel Sonuçları ile Karşılaştırılması (Model 3)	80
46.	Analytik Çözümün Deneysel Sonuçları ile Karşılaştırılması (Model 4)	81
47.	Analytik Çözümün Deneysel Sonuçları ile Karşılaştırılması (Model 5)	82
48.	Analytik Çözümün Deneysel Sonuçları ile Karşılaştırılması (Model 6)	83
49.	Analytik Çözümün Deneysel Sonuçları ile Karşılaştırılması (Model 7)	84
50.	Analytik Çözümün Deneysel Sonuçları ile Karşılaştırılması (Model 8)	85
51.	Analytik Çözümün Deneysel Sonuçları ile Karşılaştırılması (Model 9)	86

## ÖZET

Betonarme dolgulu çerçevelerin yük altında davranış ve mukavemeti bugün çeşitli ülkelerde yapılan araştırmalara konu teşkil etmektedir. Halen bu tip çerçevelerin hesabı için gerçekçi bir hesap metodu ortaya atılmamıştır. Bu araştırmanın amacı dolgulu betonarme çerçevelerin değişik yükler altındaki davranış ve mukavemetini incelemek ve elde edilen sonuçlara dayanarak daha gerçekçi bir hesap metodu geliştirmektir.

Bu amaçla değişik özelliklere sahip 9 betonarme dolgulu çerçeve değişik yükler altında denenmiş ve davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçların ışığında pratikte kullanılabilecek bir hesap metodu geliştirilmiştir. Deneysel sayısının azlığı daha kesin sonuçlara ulaşma imkânını vermemiştir. İleride yapılacak araştırmalarda daha fazla değişikkenin etkileri incelenmeli ve teklif edilen hesap metodunun doğruluk derecesi ve genelliği araştırılmalıdır.



## 1- GİRİŞ

### 1.1 GENEL

Kiriş ve kolonlardan oluşmuş bir çerçevenin içinin düşey plânda herhangi bir malzemeyle doldurulmasıyla meydana gelen dolgulu çerçevelerin kullanılışı geleneksel kiriş-kolon inşaat sistemi kadar eskidir. Bilinçli bir şekilde, dolgulu çerçeveyi bir yapı ünitesi olarak kullanmak için olmasa bile, binaları fonksiyonel bir hale getirmek için örülen duvarlar, yapılarda kendiliğinden dolgulu çerçeveler meydana gelmesine sebep olmuştur. Daha yakın zamanlarda, dolgunun, rüzgâr ve deprem gibi yanıl tesirlere karşı yapıların mukavemetini arttıracığı düşünülmüş ve bu gaye ile bilhassa yüksek yapılarda, betonarme perdeler teşkiline gidilmiş, veya dolguların klasik kontrvantman sistemleri gibi çalıştırıldığı yapılar inşa edilmiştir. Bu şekilde, çeşitli ihtiyaçlar ve düşüncelerle teşkil edilen perdeler ve duvarlar, kullanılan dıkları sistemleri dolgulu çerçeveler haline getirdikleri halde, bazı istisnalar dışında bu çerçevelerin analizleri halen normal dolgusuz çerçeveler gibi yapılagelmektedir. Böylece dolgunun, yapının mukavemetine olan katkısı ihmal edildiği gibi, dolgu ağırlığı da çerçeveye taşıtılarak, önemli ekonomik kayıplara sebep olmaktadır.

Son zamanlarda dolgulu çerçeveler ile ilgili araştırmalar ve bilhassa modeller üzerinde yapılan çok sayıda deney şunu ortaya koymuştur ki, normal bir çerçeveye dolgu ilâve etmekle, sistem, düşey ve yatay yükler altında dolgusuz çerçeveye nazaran çok farklı davranışlar gösteren bir sisteme dönüşmektedir. Çeşitli araştırmacıların değişik modeller üzerinde yapmış oldukları deneylerden çıkan genel ve ortak netice, dolgulu çerçevelerin mukavemetinin dolgusuz çerçevelerinkinin bir kaç katı

olduğudur. Dolgunun meydana getirdiği bu büyük ve önemli mukavemet artışı ve çerçevenin davranışlarında sebep olduğu değişiklikler, dolgu çerçevelerin yeni ve değişik bir analiz metoduyla ele alınmasını gerektirmektedir.

**Dolgu çerçevelerin davranışlarının bilinmesi ve bir analiz metodu geliştirilmesinin pratikte iki yönde faydası olacağı düşünülebilir. Birincisi, yapıların projelendirilmesinde ve özellikle yatay tesirlerin önemli olduğu hallerde, çerçeve ve dolgunun beraber çalışan bir ünite olarak düşünülmesi ile rasyonel ve ekonomik çözümlere varılabilmesidir. İkinci husus ise özellikle deprem bölgelerinde önem kazanmaktadır. Bu bölgelerde depreme dayanıklı olarak inşa edilmemiş veya depremden kısmen zarar görmüş yapıların takviyesi çoğunlukla önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Böyle durumlarda yapıım kolaylığından dolayı en çok kullanılan usul, çerçeveleri perdeler teşkili ile yatay tesirlere mukavim hale getirmektir. Böyle bir takviyenin ekonomik bir şekilde yapılabilmesi ve emniyet derecesinin bilinebilmesi için dolgu çerçevelerin davranışlarının anlaşılması gerekmektedir.**

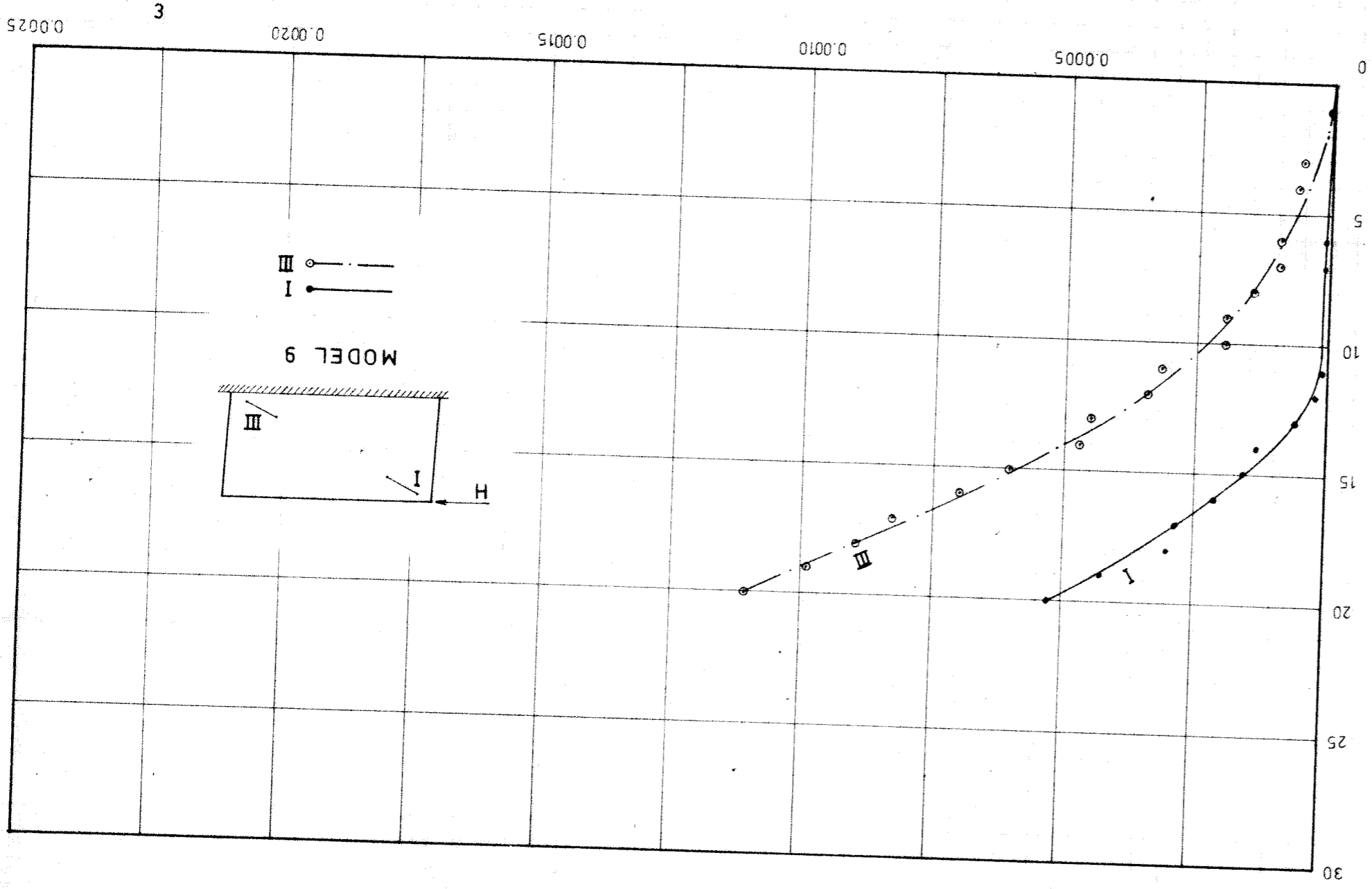
Pratikte, çeşitli yapı malzemelerinin kullanılması ve değişik yapıım tekniklerinin uygulanmasıyla dolgu çerçeveler karşımıza çok sayıda ve birbirinden farklı tipler halinde çıkmaktadır. En geniş uygulama sahası olan betonarme ve çelik çerçevelerin tuğla veya betonarme dolgularla değişik kombinasyonları görüldüğü gibi, bu dolgu malzemelerinin ahşap çerçevelerde kullanıldığı veya dolgunun mahallî malzemelerle (meselâ kerpiç gibi) yapıldığı da çok rastlanan durumlardır. Ayrıca yapıım tekniği de dolgu çerçevenin değişik özellikler kazanmasında belirli bir rol oynamaktadır. Bu durum özellikle



çerçeve ile dolgu arasında aderansın temin edilip edilmemesi sorunu ile ilgilidir. Böyle değişik tipteki çerçevelerin gerçekte ayrı ayrı incelenmeleri gerekmektedir. Çeşitli malzemelerin kendilerine özgü davranışlarının bilinmesiyle, yapının şartlarına en uygun yapı malzemesinin seçilmesi ve dolayısıyla ekonomik çözümlere ulaşılması mümkün olacaktır. Aynı şekilde yapım tekniğinin ve özellikle dolgu ile çerçeve arasındaki aderansın dolgulu çerçevenin davranış ve mukavemetine katkısının anlaşılması pratik açıdan önemli yapım güçlüklerini ortadan kaldırmayabilecek nitelikte görünmektedir. Çerçeve ile dolgu arasında tam aderans sağlanması, her malzemeyle mümkün olmadığı gibi, dolgunun çerçevenin inşasından sonra teşkilinde ve özellikle hasar görmüş yapıların sonradan takviyesinde bir takım yapım güçlükleri yaratmaktadır. Çerçeve ve dolgu arasındaki aderansın sistemin davranışı üzerindeki etkisinin bilinmesi belki de bir dereceye kadar gereksiz olan bu güçlükleri önleyebileceği gibi, bizi daha da ekonomik çözümlere götürebilecek ve örneğin prefabrik duvar bloklarına geniş bir uygulama sahası bularak, onların emniyetle kullanılmalarına olanak sağlayabilecektir.

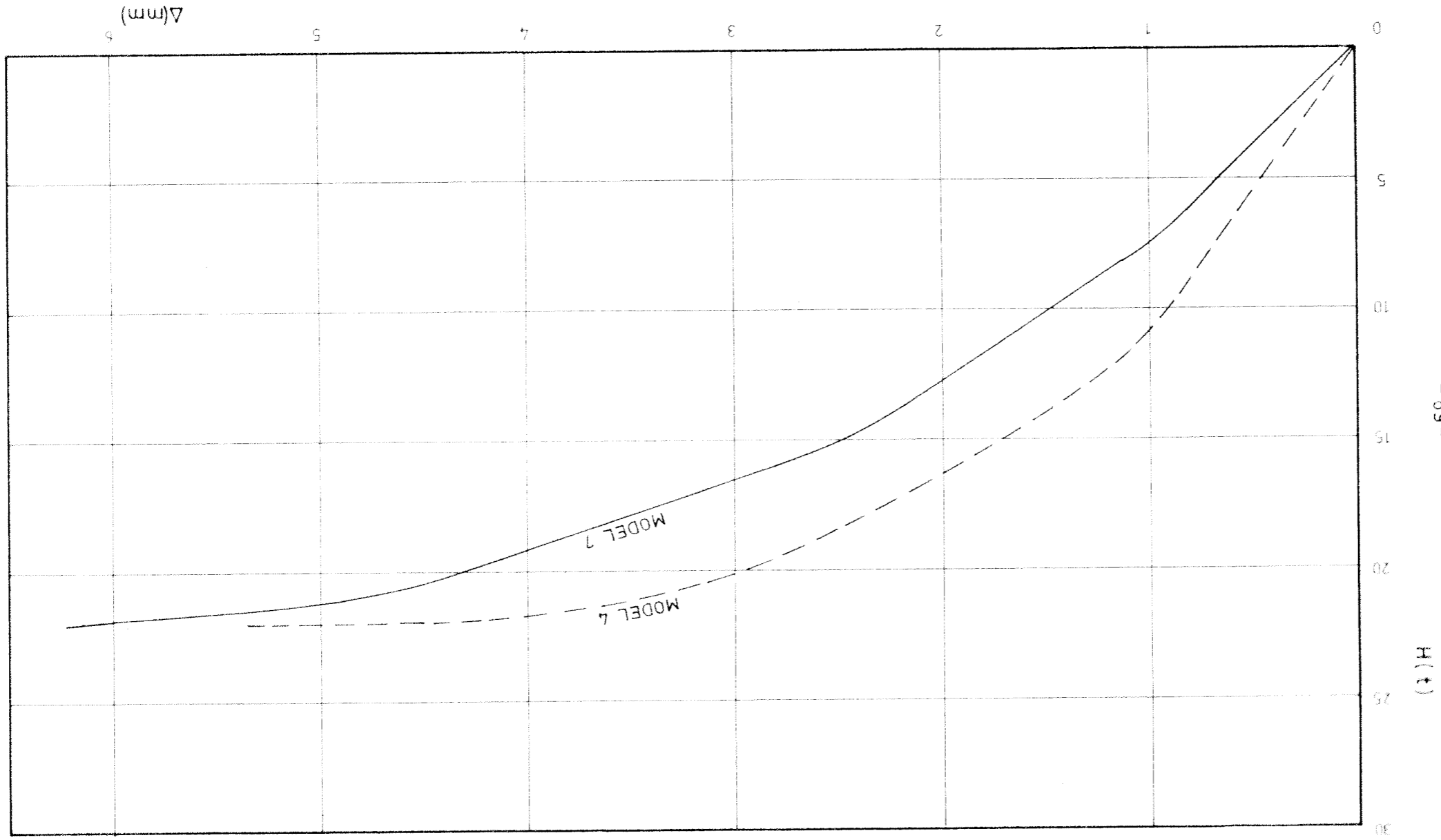
## 1.2 KONU İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ARAŞTIRMALAR

Yatay yüklerin etkilediği dolgulu çerçeveler üzerinde ilk büyük araştırmaya 1948 yılında Polyakov tarafından başlanmıştır. Moskova'da, Endüstri Yapıları Merkezi Araştırma Kurumun'da yapılan araştırma, tuğla dolgulu mafsallı çelik çerçevelerin davranışlarını incelemeyi konu almıştır. Dancy neticelerinde, deliksiz dolguların, basınç diagonalı boyunca harcın çatlaması ile yük taşıma kapasitelerini kaybettiği bulunmuştur. Dolgudaki gerilmeler yaklaşık bir elastisite teorisi metodu ile incelenmiş, dolgu sınırları boyunca gerilmeler bir fonksiyonla





ŞEKİL 40 DÜŞEY YÜKÜN DOLGULU ÇERÇEVE ÜZERİNDE ETKİSİ



MODEL 7

MODEL 6

ifade edilmiş, bulunan değerler deney neticelerine uymuştur. Araştırma sonunda delikli veya deliksiz dolguların mukavemetini veren bir takım deneysel bağlantılar çıkarılmış, bunlar dolgunun basınç çubukları şeklinde davrandığı prensibine dayanmıştır. (1)

1949 da, Whitney, Anderson ve Cohen, Amerika Birleşik Devletlerinde, ordu hesabına, dolgu çerçevelerin yatay şok yükleri altında mukavemet ve deformasyon özelliklerini araştırmaya başladılar. 1955 te, bu araştırma neticelerini ne dayanan bir makale (2) neşrederek, dolgu çerçeveyi, kesiti I şeklinde olan bir kiriş gibi düşünerek hesaplamak için basit yaklaşık metodlar ileri sürdüler.

1951 de, Whitney, Anderson ve Cohen tarafından başlanmış olan projeye, Benjamin ve Williams Stanford Üniversitesinde devam etmişler ve araştırma sonuçlarını 3 makale (3,4,5) halinde yayınlamışlardır. Bunlardan birincisi, betonarme bir çerçeve içindeki betonarme dolgu oluşmuş sistemlerin kırılma yükü ve kırılmadan önceki davranışını açıklığa kavuşturabilmek amacını gütmektedir. Deneysel çalışmalardan önce bir takım teorik metodlar denenmiş, fakat, malzeme özelliklerinin son derece değişken olması nedeni ile basit mukavemet analizinin daha uygulanabilir sonuçlar verdiği kanısına varılmıştır. Çatlak yerlerinin önceden tahmin edilebilmesi halinde uygulanan teorik metodun davranışı aksettirdiği ileri sürülmektedir. Bir analiz metodu bulmak için iki model tipi üzerinde deneysel çalışmaları yapılmıştır. Bunlar 25 cm x 50 cm ile 3 m x 7,5 m boyutlarında betonarme modeller olup her iki tipte de dolgu ve çerçeve arasında tam aderans sağlanmıştır. Etkileri araştırılan değişkenler, sırası ile, yükleme durumları, malzeme, dolgu kalınlık ve tevizatı ile kolonların detayı ve inşa metodudur. Modellerin yük-deformasyon

eğrileri çıkarılmış; bu eğrilerin: statik, çatlama ve kırılma öncesi olarak üç davranış bölgesi için düz hatlarla yaklaşılabileceği sonucuna varılmıştır. Çatlamamış sistemin davranışının basit mukavemet prensipleri ile açıklanabileceği de çıkarılan sonuçlar arasındadır. Sistemin kırılma yükünü, deneylerden çıkarılan bağlantılarla hesaplamanın mümkün olduğu ileri sürülmüştür.

Benjamin ve Williams, ikinci tebliğlerinde tek katlı ve delikli dolgulu çerçeveler üzerinde yaptıkları araştırmaları ve vardıkları sonuçları açıklamışlardır. Araştırmanın amacı delikli dolgulu çerçevelerin deformatiyon özelliklerini incelemek ve davranışlarını tahmin edebilmektir. Bunlara ek olarak, delikler etrafında donatı detaylarının etkisi araştırılarak en uygun detayın bulunmasına da çalışılmıştır. Gene basit mukavemet uygulamaları ile sistemin elastik davranışının önceden tahmin edilebileceği, fakat kırılma yükünün hesabında bu yol ve diğer teorik yaklaşımların hatalı sonuçlar verdiği de ileri sürülmüştür. Birinci tebliğlerinde açıklanan modellerin deliklileri üzerinde deneyler yapılmış, delik boyutları ve yeri ile kenarlardaki donatı detaylarının davranışa olan etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Tebliğin sonunda kırılma yükü ve deformatasyonların bulunabilmesi için bir takım metodlar ileri sürülmekte, delik çevreleri için detay örnekleri verilmektedir.

Son tebliğde ise, tuğla dolgulu betonarme çerçeveler üzerinde yapılmış teorik ve deneysel çalışmalar ile varılan sonuçlar yer almaktadır.

1958'de, yüksek binaların stabilitesi ile ilgili tebliğinde (6), Wood, yüksek binalarda bölme duvarları ile kendiliğinden meydana gelen dolgulu çerçevelerin önemine değinmiştir. Wood, yüksek binalardaki dolguların çerçevelerin

yanal rijitliklerine olan etkilerinin de hesaba alınabilmesi halinde, limit analiz metodları ile hesap yapmanın mümkün olduğunu iddia etmektedir. Tebliğde, şimdiye kadar yüksek çerçevelerin hesaplanmasında kullanılan bütün metodlar araştırılmış, limit analiz açısından çerçevelerin yatay stabiliteleleri çok ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Çerçeve elemanlarının davranışlarının birleşim noktalarındaki rotasyon özellikleri ile nasıl değiştiği ve plâstik mafsalların meydana gelmesi ile yanal rijitliğin azalması da araştırılan noktalaradır. Neticede, dolguların, binanın yanal rijitliğine yaptıkları katkının da hesaba alınması halinde, binanın yatay stabilite probleminin de hesaba alınmasına lüzum kalmıyacağı kanısına varılmıştır. Dolguların yüksek çerçevelerdeki katkıları ise bir kaç konu halinde özetlenmiştir. Döşeme ve duvarlardan kirişlere gelen yüklerin daha yaygın olması, kiriş köşelerinin rotasyon rijitliklerinin artması ve yanal deplasmanların azalması bunlar arasındadır.

Malcolm Holmes, dolgu çerçevelerle ilgili ilk araştırma sonuçlarını 1961 yılında yayınlamıştır.<sup>(7)</sup> Bu araştırmasında Holmes, betonarme ve tuğla dolgu tek katlı çelik çerçevelerin taşıyabileceği maksimum yatay yükü ve yatay sehimi verebilecek yarı-empirik bir formülasyon bulmaya çalışmış; bu formülasyonla elde ettiği neticeleri ufak ölçekli ve genellikle tuğla dolgu modeller üzerinde yaptığı deneylerin neticeleri ile karşılaştırmıştır.

Üst köşesinden yatay kuvvete maruz tek katlı bir çelik çerçevede, kırılma anına yaklaşıp çerçeve deformasyonları büyüdüğü zaman, dolgu ve çerçeve elemanları arasındaki temasın yüklenen ve diagonaldaki köşe civarında olacağı, diğer kısımlarda çerçeve elemanlarının deforme olup dolgudan ayrılacağı fikrinden hareket ederek dolguyu basınç diagonaline yerleştirilmiş bir basınç çubuğu olarak



düşünmüştür. Böylece esas çerçeve elemanları ile bir diagonal basınç çubuğundan meydana gelen sistemde, elastik analizle, yalnız çerçeve elemanlarına gelen kuvvetler altında çerçevenin diagonal yönündeki deformasyonunu basınç çubuğunun kısalmasına eşitleyerek, dolgulu çerçevenin yatay kırılma yükünü, a) çerçeve elemanlarının ve dolgunun geometrik karakteristikleri, b) dolgu malzemesinin kırılma mukavemeti, c) bu malzemenin maksimum gerilmedeki birim uzaması ve, d) analizde dolgu perdenin çerçeveye sağladığı mukavemete eşit bir mukavemet vereceği öngörülmüş olan aynı dolgu malzemesinden yapıldığı farzedilen hayali basınç elemanının haiz olması gereken kesit alanı cinsinden veren bir ifade bulmuştur. Bu basınç çubuğunun kesit alanının bulunması için, Holmes, kare şeklinde bir dolgunun deformasyonunu ele aldığını ve çerçeve elemanları ile dolgu arasındaki reaksiyonun yük gelen köşedeki maksimum değeri ile, yandaki köşedeki sıfır değeri arasında lineer olarak değiştiğini kabul ettiğini söyleyerek, kesit alanını veren ifadeyi  $\frac{1}{3}$  olarak öngörmüştür. Burada d çerçevenin diagonal uzunluğu ve t dolgunun kalınlığıdır.

Değişik çerçeve ve eleman boyutları ve değişik kalınlıkta beton ve tuğla dolgulu modeller üzerinde yapılan 13 deneyin neticeleri Holmes'in formülasyonu ile elde edilen neticelerle karşılaştırılmış ve aradaki maksimum farkın %14 civarında olduğu görülmüştür. Holmes deney neticelerinin bir kısmının R.H. Wood'un 1958 de neşrettiği bir makaledeki (6) deneylerden alındığını bildirmektedir.

Aynı konu üzerinde bir grup deneyle araştırmalarına devam eden Holmes, çalışma sonuçlarını 1963 yılında yayınlamıştır. (8) Bu araştırmada 5 adet tek katlı ve 5 adet 2 katlı dolgulu çelik çerçeve modeli üzerinde deneyler yapılmış, tek katlı çerçevelerin ikisi yalnız

yatay, ikisi yalnız kiriş ortasında düşey yük ve biri yatay ve düşey yük kombinasyonu altında incelenmiştir.

Yalnız düşey yük altındaki dolgulu çerçevelerin kırılma yükünü veren bir formülasyon bulmak için Holmes, A.E. Seddon'ın beton perdelerin basınç altındaki mukavemetlerini inceleyen makalesinin ( 9 ) neticelerinden faydalanmıştır. Bu şekilde beton perdenin taşıyabileceği maksimum yük (P) altındaki sehimini, (W-P) ile yüklenmiş boş çerçevenin sehimine eşitleyerek, dolgulu çerçevenin kırılma yükü (W)yi aynen yatay kırılma yükünü veren ifadedeki parametrelere bağlı olarak veren bir formülasyon bulmuştur. Analizde yine elastik metod kullanıldığı için Holmes ilk makalesinde belirtilmemiş olan, çerçeve kuvvetlerinin plastik moment yaratacak mertebeden daha ufaak olması lâzım geldiği şartını ilâve etmiştir.

Deney neticeleri ile Holmes'un formülasyonunun verdiği neticeler tatmin edici bir derecede uyumuş, fakat , şartırtıcı ve izah edilememiş bir husus olarak, yalnız yatay yük altında dolgusuz çerçeve ile yapılan deneyin neticesi aynı uyumuşmayı göstermemiştir.

Yatay ve düşey yük kombinasyonunun etkisi altındaki dolgulu çerçeveler için kırılma yükünü verecek bir formülasyon elde etmek için bir çalışma yapılmamış, yalnız deney neticesinden düşey yükün mevcudiyetinin, yatay kırılma yükünü %13 civarında azalttığı müşahade edilmiştir. Bu azalma miktarını verecek teorik bir formülasyonun bulunamadığı ifade edilmektedir.

Sonuç olarak deneyler dolgunun mevcudiyetinin boş çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini %300 civarında arttırdığını göstermiştir.

M. Holmes ile aynı sıralarda bu konu ile ilgilenmeye başlayan Bryan Stafford Smith araştırmalarından elde ettiği ilk sonuçları 1962'de yayınladığı bir makalede (10) açıklamıştır.

Tek katlı dolgulu çelik çerçevelerin yatay yükler altında davranışını incelemek için yaptığı ilk deneylerde, çerçeve elemanlarındaki gerilmeleri ölçerek ve dolgu ile çerçeve arasında temasın kaldığı ve kaybolmuş olduğu bölgeleri inceleyerek, Smith'de dolgulu çerçevenin, çerçeve elemanları ve diagonal basınç elemanından meydana gelmiş bir sistem gibi davrandığı kanaatine varmış ve araştırmalarını bu yönde geliştirmiştir.

Smith, dolgunun diagonal basınç altındaki davranışını incelemek için çerçevesiz dolgu modelleri üzerinde diagonal yükler altında deneyler yapmıştır. Bu deneylerde dolgunun diagonal yük kapasitesine tesir edebilecek parametreler olarak, dolgu malzemesinin özellikleri ve dolgunun geometrik karakteristiklerini göz önünde bulundurmuş, fakat, daha komplike olması dolayısıyla, dolgu köşelerinde yükün etki ettiği mesafeyi bir değişken olarak almakta kaçınmıştır. Çerçevenin marif elemanlardan yapılmış olacağını düşünerek ve bütün deneylerini çerçeve ile dolgu arasında bir aderans bulunmadığı hallere inhisar ettirdiğinden diagonal yükün dolguya köşelerde ufak bir alan boyunca etki ettiğini kabul etmiştir. Dolgular üzerinde yaptığı bu deneyler ve ayrıca bu deneyleri teyit eden teorik araştırmaları sonunda dolguya eşit bir rijidite sağlayacak aynı malzemeden ve aynı kalınlıktaki basınç elemanının genişliğinin, çerçevenin değişik yükseklik- açıklık oranlarına göre,  $d/4$  ile  $d/11$  arasında değiştiğini bulmuştur. (d çerçevenin diagonal boyudur). Bu şekilde, dolguya eş değerdeki basınç elemanının boyutlarını tespit ettikten sonra birim uzama enerjisi metoduyla dolgulu

sistemin yatay yük kapasitesini veren bir formülasyon elde etmiştir. Yapılan deney neticeleri ile formülasyon neticeleri %16 kadar farklılık göstermiştir. Smith deneylerinde, kolon tabanları rijit olarak tutturulmuş bir çerçeveye benzer bir davranış göstereceği için, çift gözlü çerçeve modelleri kullanmıştır. İki katlı çerçeveler için de aynı şekilde deneyler ve teorik çalışmalar yapan Smith, çift gözlü çerçeve sistemi her kat sayısını için iki çerçeve gözü gerektiğinden, deneylerini daha fazla katlı çerçevelere teşmil etmiştir.

Bu konudaki araştırmalarına devam eden ve doktora tezini (11) bu konuda yapan Smith sonraki araştırmaları ile ilgili bir makale daha yayınlamış (12) ve başından beri yapmış olduğu araştırmaları 1966 yılında Southampton Üniversitesinde yapmış olan Yüksek Binalar Sempozyumunda özetlemiştir (13). Bu makalelerden anlaşılacağına göre dolgunun mukavemetinde önemli bir rol oynayan çerçeveye gelen yükün dolguya aktarıldığı çerçeve ve dolgu arasındaki temas sathının uzunluğunun, çerçeve elemanlarının ve dolgunun relatif rijiditesine bağlı olduğu kanaatine varan Smith, deneyler ve yaklaşık teorik formülasyonlarla bu relatif rijiditeye göre temas uzunluğunu veren bağlantılar bulunmuş ve formülasyonlarını deney neticelerine uyacak şekilde düzenlemiştir.

Bundan sonra yatay yük ve düzgün yayılı düşey yük kombinasyonları ile çok sayıda deney yapan Smith bu araştırmalarının neticelerini 1968 de yayınladığı bir makalede açıklamıştır. Değişik düşey yükler altında yatay kırılma yüklerini incelemiş ve düşey kırılma yükünün yarı değerine kadar düşey yükler altında yatay yük kapasitesinin arttığını müşahade etmiştir. Çeşitli yük kombinasyonları altında kırılma tiplerini de incelemiş ve düşey yük, düşey kırılma yükünün yarı değerini aştığı zaman kırılma şeklinin düşey yük altında kırılma tipine dönüştüğünü ve yatay yük



taşıma kapasitesinin azaldığını görmüştür. Böylece, kırılma şeklinin değiştiği düşey kırılma yükünün yaklaşık olarak yarısına eşit bir düşey yük altında dolgulu çerçevenin maksimum yatay yük taşıma kapasitesine eriştiği tesbit edilmiştir.

Yüksek Einalar üzerinde, Southampton Üniversitesinde 1968 yılında yapılan sempozyumda, Karamanski (15) verdiği tebliğde dolgulu çerçevelerin analizi ile ilgili çalışmaları açıklamıştır. Sonlu elemanlar metodunu kullanarak yaptığı çalışmada, Karamanski çerçeve elemanlarının sadece normal kuvvetlere maruz kaldığı, çerçeveye yöneltile yüklerin değişmeden dolguya transfer olduğu, dolgu ve çerçeve arasındaki bağlantının bozulmadığı, dolgu ve çerçevenin tamamen elastik davranıldığı ve temelde ankastre olduğu gibi reeliteden oldukça uzak bazı kabuller yapmıştır.

Sonlu elemanlar metodu, Kaldjian (16) tarafından yapılan ve amacı dolgulu çerçevelerin analizi olan bir çalışmada daha büyük bir başarı ile kullanılmıştır. Üçgen elemanlar kullanılan Kaldjian, çerçeveyi çok daha küçük, dolguyu ise daha büyük parçalara ayırış, dolgu ve çerçeve arasındaki bağlantının ise çok sayıda yaydan ibaret olduğunu kabul etmiştir. Hazırlanan elektronik hesaplayıcı programı ile herhangi bir dolgulu çerçevenin analizi ve deformasyon özellikleri bulunabilmektedir.

Bu literatür çalışmasından da görüleceği gibi dolgulu çerçeveler üzerinde yüksek yapılar veya deprem kuvvetlerinin önemli olduğu ülkelerde önemli bazı araştırmalar yapılmaktadır. Betonarme dolgunun tek katlı bir çerçevenin yanal mukavemetini bir kaç kat arttırdığı göz önüne alınırsa, dolgulu çerçevelerin ekonomik açıdan önemleri ortaya çıkmaktadır.

### 1.3 ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI

Görüldüğü gibi, dolgulu çerçeveler ile ilgili araştırmalar çok kısa bir geçmişe sahiptir. Bu süre içinde, değişik etkenler ve çeşitli tipteki dolgulu çerçevelerin ancak belirli bir gruba incelenebilmiş; bunlar da henüz kesin sonuçlara vardiirılanmıştır.

Bu projenin amacı, pratikte çok rastlanan betonarme dolgulu çerçevelerin incelenmesi, betonarme dolgunun betonarme çerçevenin yük taşıma kapasitesi ve rijiditesi üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Sınırlı sayıda deneyi kapsayan bir program dahilinde önemli görülen değişkenler, imkânlar nisbetinde incelenecek ve bu deney sonuçlarından elde edilecek bilgilerle pratikte uygulananı mümkün bir analiz metodunun geliştirilmesine çalışılacaktır.

Dolgulu çerçevelerin yük taşıma kapasitesi ve rijiditesine birinci derecede tesir edeceği düşünülmüş ve bu araştırmada incelenilmesine çalışılmış olan değişkenler aşağıda belirtilmiştir :

- i. Çerçeve açıklığının çerçeve yüksekliğine oranı  $L_p/L_c$
- ii. Karış rijiditesinin kolon rijiditesine oranı  $K_p/K_c$
- iii. Dolgu kalınlığı t
- iv. Dolgu ile çerçeve arasında aderansın varlığı veya yokluğu.
- v. Çerçeveye etki eden yatay yükün düşey yüke oranı  $H/Q$

## 2. DENEY MODELLERİ VE LABORATUVAR TEKNİĞİ

### 2.1 DENEY MODELLERİ

Deneylede kullanılacak modeller için bir prototip seçmek amacıyla bir proje bürosunda istatistiksel bir çalışma yapılmıştır. Bu araştırma sonucunda pratikte rastlanan tek katlı ve tek açıklıklı betonarme çerçevelerde açıklığın yüksekliğe oranının 2 civarında olduğu, kiriş rijiditesinin kolon rijiditesine oranının ise 2 ile 4 arasında değiştiği görülmüştür. Bu değerler göz önünde tutularak Şekil 1 de gösterilen çerçeve, prototip olarak seçilmiştir.

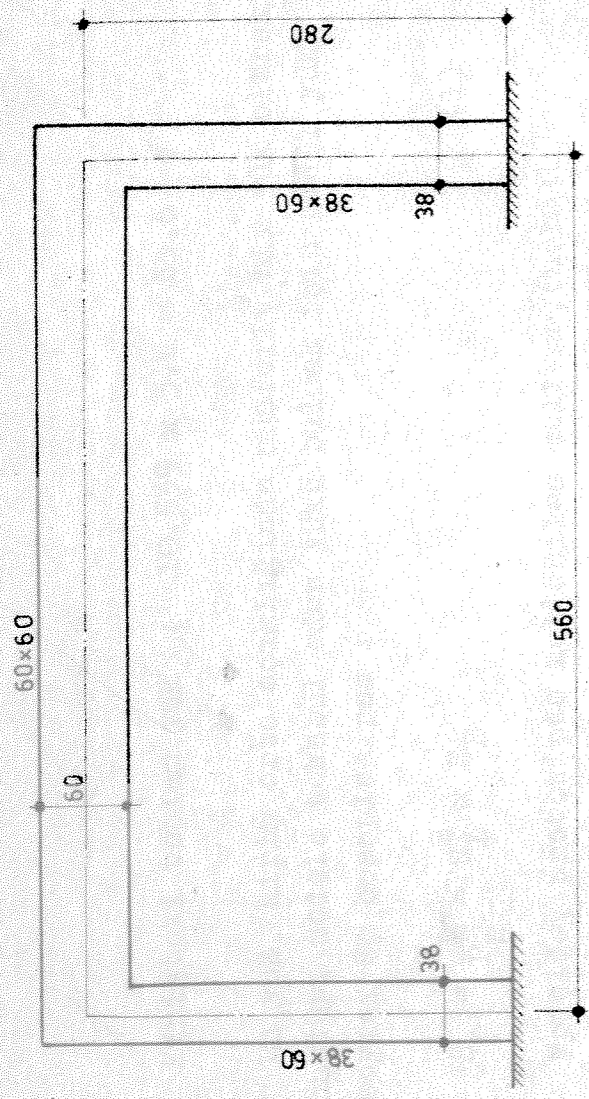
O.D.T.Ü. Statik ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarında bu projeye ayrılacak yer imkânları ve yüklenme sisteminin kapasitesi göz önünde bulundurularak prototiple model arasındaki geometrik boyut katsayısı  $S_L = L_p/L_n = 4$  olarak alınmıştır.

Bu katsayının verdiği model ölçüleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Prototip çerçeveye etki edebilecek yüklerin hesaplanmasında çerçevelerin 5.00 metre aralıklarla yerleştirildiği varsayılmış ve eşeğideki zati ve hareketli yük kabulleri yapılmıştır.

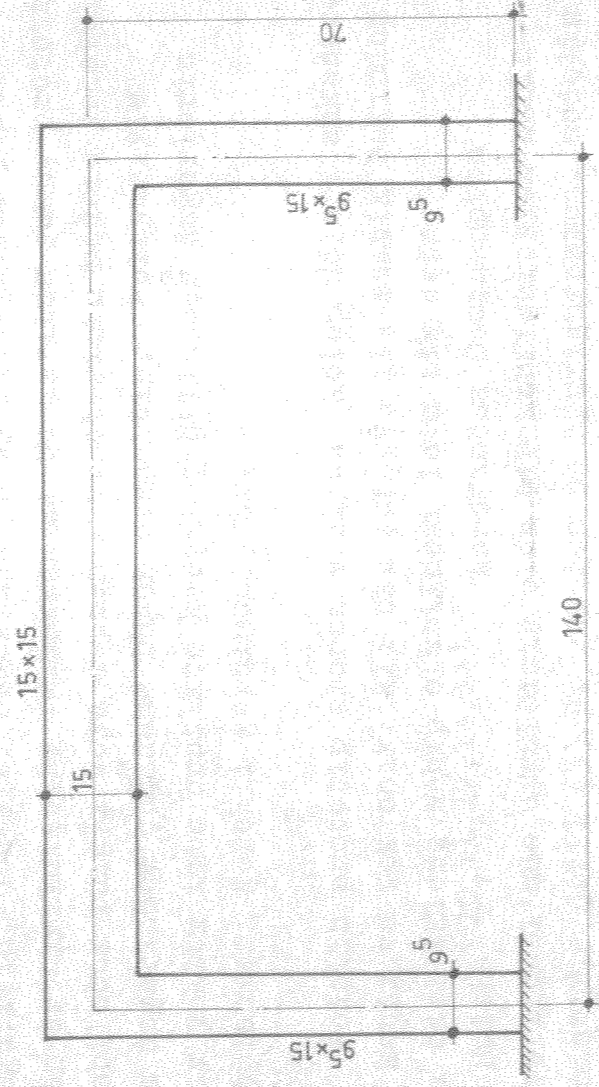
Düşey Yükler :

Kiriş zati ağırlığı :	0.6 x 0.6 x 2.4 = 0.864 t/m
Döşene zati yükü :	0.15x 2.4 x 5.0 = 1.800 t/m
Çatı ve çatı kaplaması :	0.5 x 5.0 = 2.500 t/m
Kar yükü :	0.075 x 5.0 = 0.375 t/m
Hareketli yük (sinema salonu ve aşırı yük katsayısı 2 ile)	1.0 x 5.0 = 5.000 t/m
	<u>10.539 t/m</u>



Ölçüler cm. dir.

ŞEKİL 1 PROTOTİP ÇERÇEVE



Ölçüler cm. dir.

ŞEKİL 2 MODEL ÇERÇEVESİ



Kirişteki toplam yük :  $10.539 \times 5.6 = 61.6 \text{ t}$

Bu yük, kiriş orta açıklığında münferit bir yük olarak düşünülüp, modele tekabül eden yükü bulmak için model yük katsayısı  $S_p$  hesaplanırsa :

$$S_p = \frac{P}{P_n} = S_L^2 \times S_E \quad (1)$$

Modelde, prototipte kullanılan malzeme, (normal betonarme), kullanılacağından Elastisite Modülü Katsayısı  $S_E = 1.0$  olacaktır.

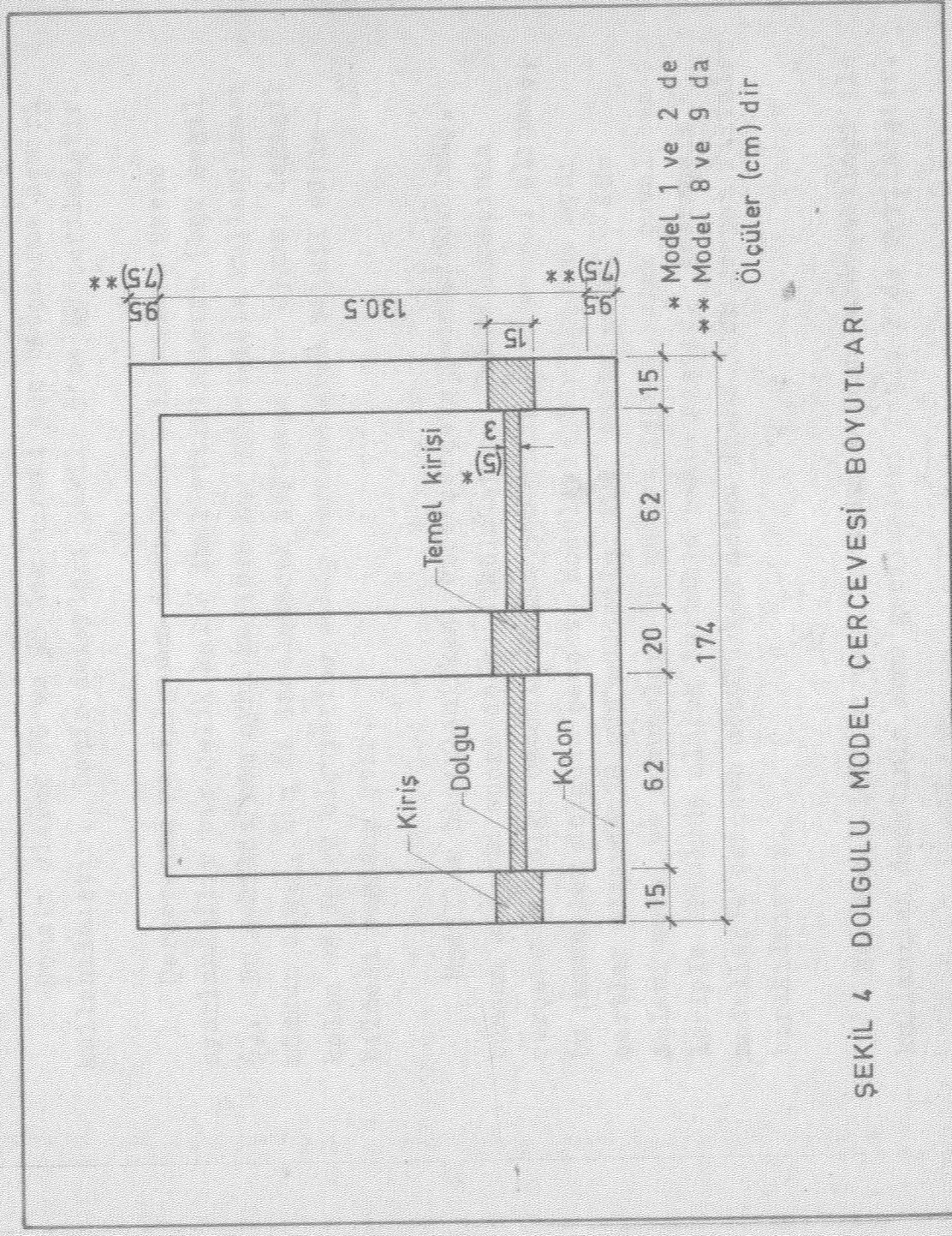
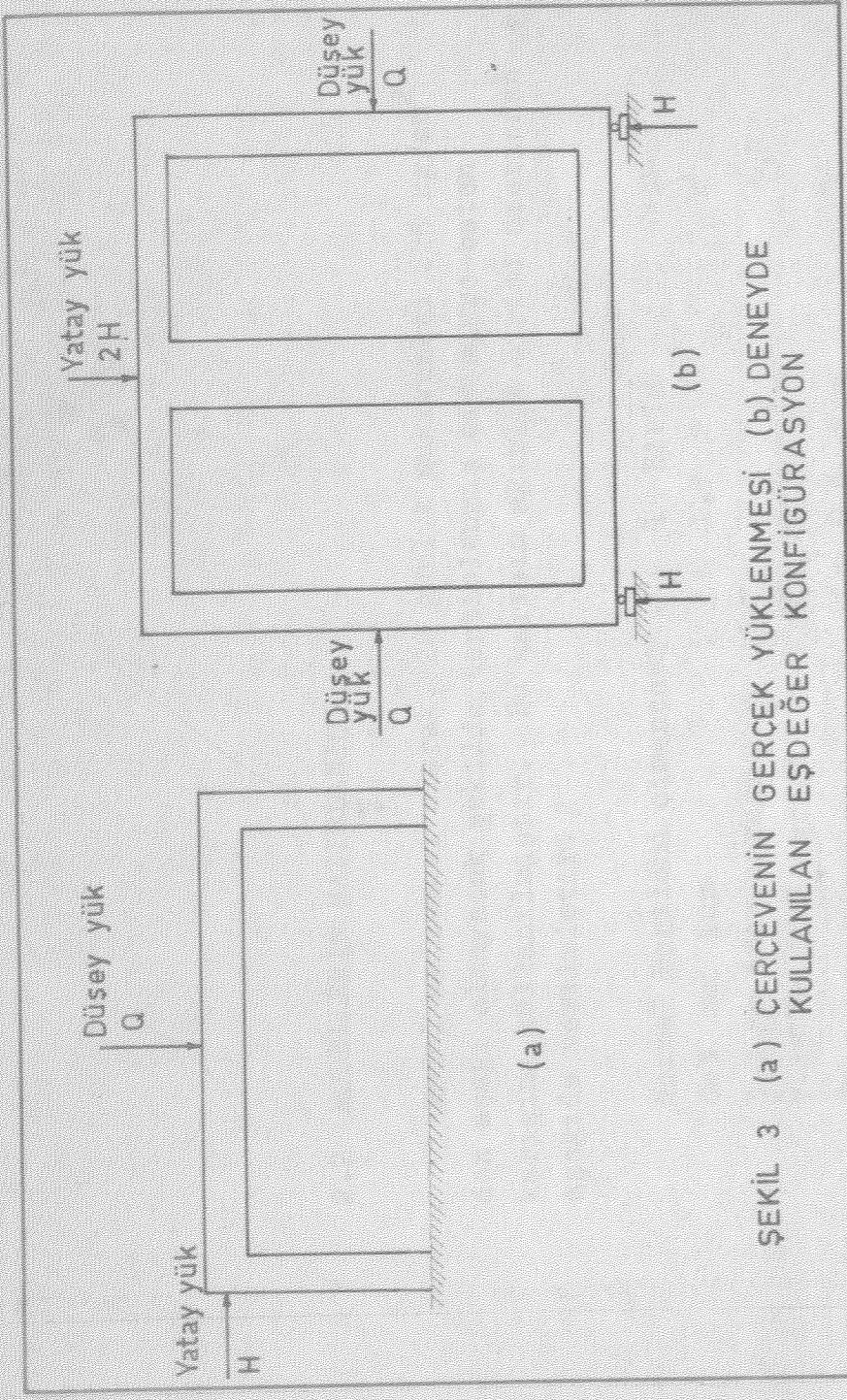
$$S_p = S_L^2 = (4.0)^2 = 16.0 \quad (2)$$

$$P_n = \frac{61.6}{16.0} = 3.85 \text{ t} \quad (3)$$

Yatay yükler için yukarıdaki benzer bir hesap tarzı uygulanmıştır. Deneylerin en başta gelen amacı dolgu çerçevesinin yatay yük taşıma kapasitesinin incelenmesi olduğu için, deneyler esnasında yatay yük kırılma yüküne kadar arttırılmıştır. Muhakkak ki bu kırılma yükü, prototipe gelebilecek rüzgâr veya deprem kuvvetlerinin modele tekabül eden değerinden çok daha büyük olacaktır. Dolayısıyla yatay yükler için pratikte karşılaşılabilecek değerlerin hesaplanması gerekli görülmüştür.

Modelin prototip olarak seçilen, kolon uçları ankastre, tek katlı ve tek açıklıklı bir çerçeve ile statik bakından aynı özelliklere sahip olabilmesi için ilk defa S. Smith (10,11,12,13,14) tarafından Southampton Üniversitesi'nde uygulanmış olan bir konfigürasyon kullanılmıştır. Şekil (3) de görülen bu konfigürasyon, modelin prototiple aynı özelliklere sahip olmasını sağladıktan başka, hem yüküne problemini kolaylaştırmakta hem de, iki gözlü olması dolayısıyla, çerçevenin üzerine ölçme aletlerinin yerleştirilmesi bakımından tek bir çerçevenin sağladığı yer inkânının iki katını vermektedir. Bu şekilde teşkil edilmiş olan model çerçevesinin boyutları Şekil (4) de verilmiştir.







## 2.2 MODELLERİN HAZIRLANIŞI

Model malzemesi olarak, 28 günlük mukavemeti  $225 \text{ kg/cm}^2$  den aşağı olmayacak şekilde tertiplenmiş bir mikro-beton karışımı kullanılmıştır. Bu karışım ağırlık birimi üzerinden aşağıda verilmiştir.

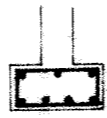
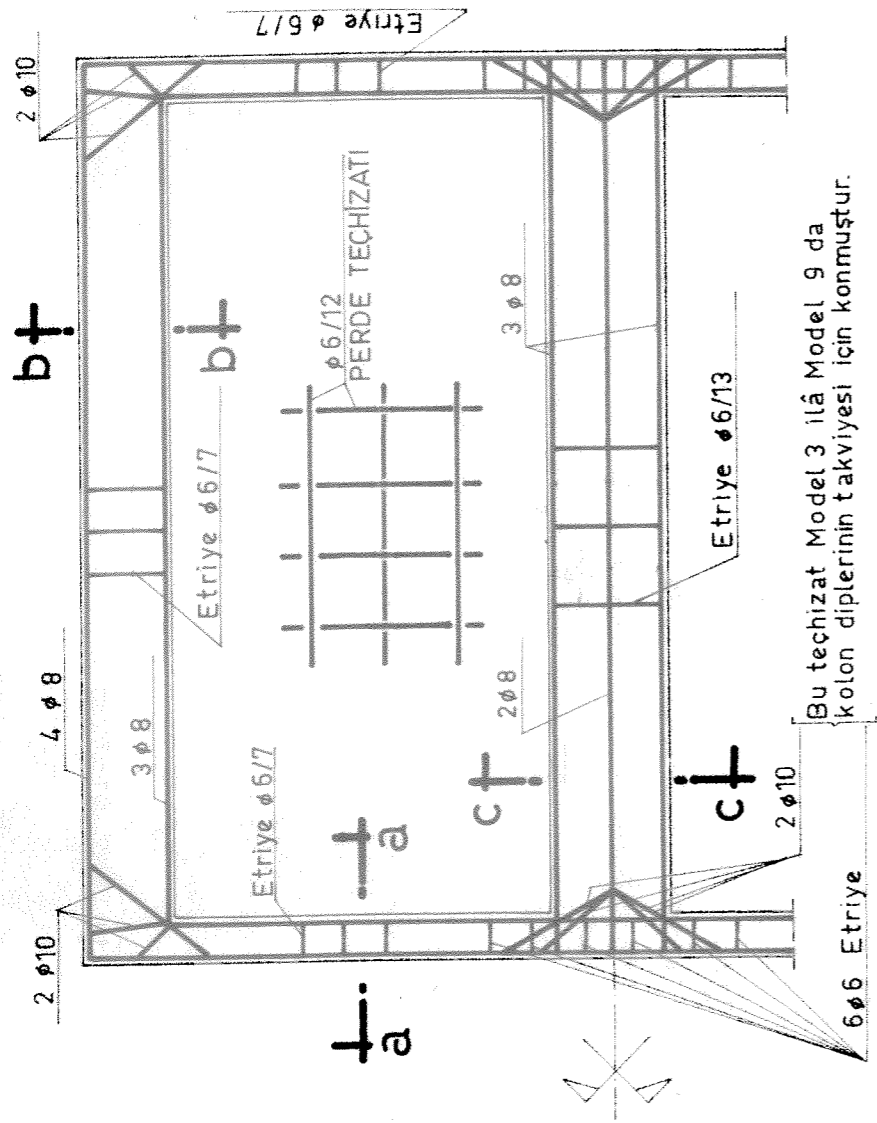
Normal Portland çimentosu	: 1 Birim
0-3 mm Kum	: 1.7 "
3-7 mm ince agrega	: 1 "
7-15 mm ince agrega	: 2 "
Su	: 0.5 "

Donatı olarak  $\emptyset 6$  ve  $\emptyset 8$  lik normal düz betonarme demiri kullanılmıştır. Demir detayları Şekil 5'te gösterilmiştir.

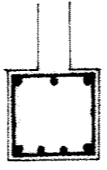
Çerçevenin ve dolgunun dökümünde kullanılmak üzere ayarlanabilir bir çelik kalıp imal ettirilmiştir (bak şekil 6). Bu şekilde hem aynı kalıbın her model için kullanılması mümkün olmuş, hem de incelenecek değişkenlere uygun, değişik kolon ve dolgu ölçülerine sahip çerçevelerin teşkil edilebilmesi sağlanmıştır.

Modeller hazırlanırken, önce çerçeve betonu dökülmüş, bundan bir gün sonra dolgu dökülmüştür. Döküm esnasında çerçeve ve dolgu betonlarından 5er silindir numunesi alınmış; bu numuneler dolgu çerçeve modeliyile birlikte ve aynı şartlar altında 28 gün müddetle kür edilmiştir. Kür işlemi model ve numuneleri bu müddet içinde ıslak çuval bezleriyle örtülmüş olarak tutmakla sağlanmıştır. Aderanslı modellerde çerçeve dökülürken dolgu içine 3 cm uzanan filizler bırakılmıştır.

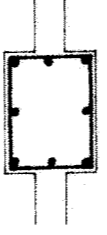
Her model için çerçeve ve dolgu betonu mukavemetleri ile kullanılan donatının akma gerilmeleri Tablo 1'de verilmiştir.



a-a KESİTİ



b-b KESİTİ



c-c KESİTİ

ŞEKİL 5 MODELLERİN DONATI DETAYLARI



### 2.3 YÜKLEME SİSTEMİ

Deneyler esnasında kolaylık ve emniyet sağlayacağından modellerin yatay bir düzlemde yüklenmelerini sağlayacak bir sisteme gidilmiştir. Bu sayede masraflı ve detaylı bir yükleme gerçevesi teşkil edilmesi zorunluluğu ortadan kaldırılmıştır. Kullanılan yatay yükleme sistemi Şekil 7 ve 8'de gösterilmiştir.

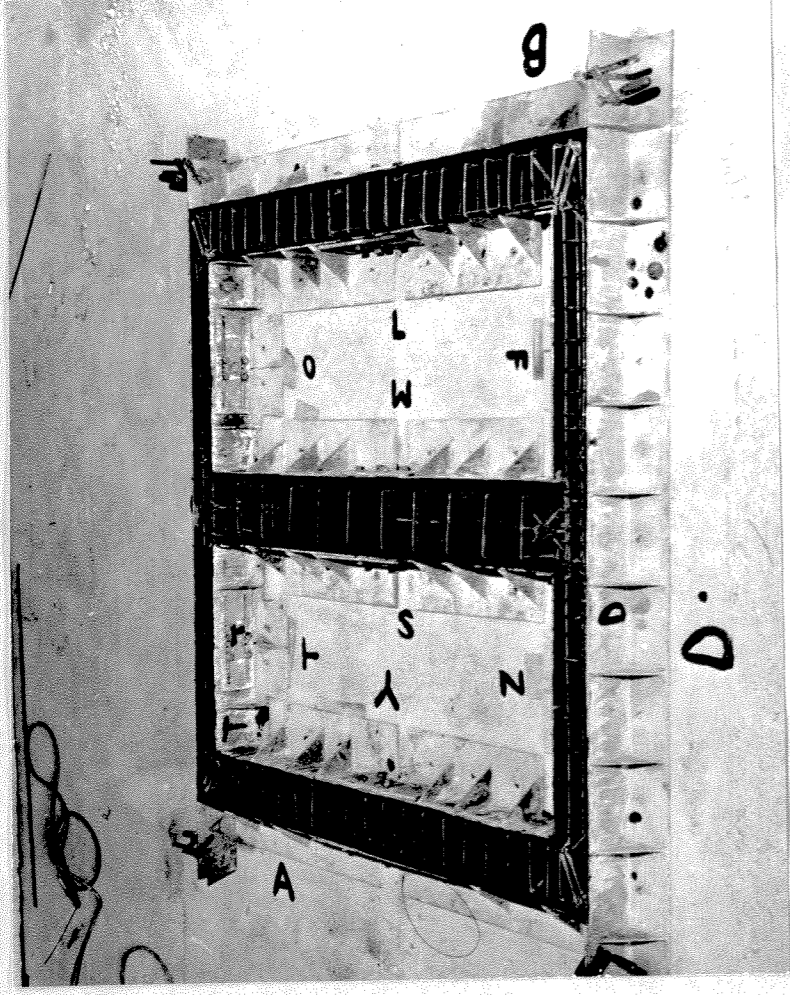
Gerek "düşey" yük, Q, ve gerekse "yatay" yük, 2H, hidrolik krikolar vasıtasıyla tatbik edilmiştir. Tatbik edilen yükün mertebesi, krikoların ucuna yerleştirilmiş yük ölçme hücreleri (load cell) yardımıyla tesbit edilmiştir. Bu yük ölçme hücreleri, O.D.T.Ü. Statik Laboratuvarında imal edilmiş ve Malzeme Laboratuvarında kalibre edilmiştir. Deneyler esnasında bu kalibrasyon deneyleri neticesinde elde edilen yük-deformasyon eğrilerinden faydalanılmıştır.

### 2.4 ÖLÇME ALETLERİ

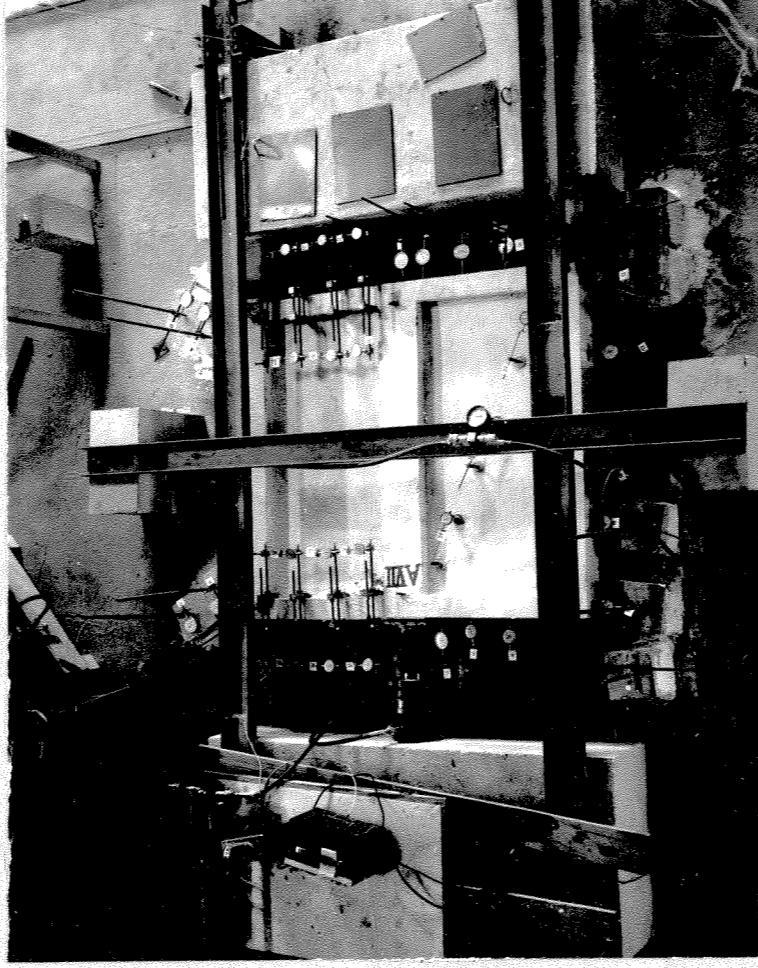
Daha önce de belirtildiği gibi çift gözlü bir çerçeve konfigürasyonuna gidilmesi, okuma aletlerinin yerleştirilmesi bakımından büyük kolaylıklar sağlamış, bu sayede model üzerine çok sayıda deformasyon ve rotasyon göstergesi yerleştirilmesi mümkün olmuştur. Ölçme aletlerinin genel yerleştirme planı Şekil 9'da gösterilmiştir. Dolgulu çerçevelerin davranışlarının incelenmesinde ve bir analiz metodu geliştirilmesinde en önemli rolü oynayacakları düşünülmüş, bütün modellerde, çerçevelerin yanal deplasman miktarını verecek olan köşelerdeki deformasyon göstergeleri için elde mevcut en hassas göstergelerin kullanılması yoluna gidilmiştir.

### 2.5 MODEL ÖZELLİKLERİ

Çeşitli değişkenlerin incelenebilmesi için değişik özelliklere sahip olacak şekilde beş farklı çaplı olan modellerin bu özellikleri Tablo (1) de toplu halde gösterilmiştir.

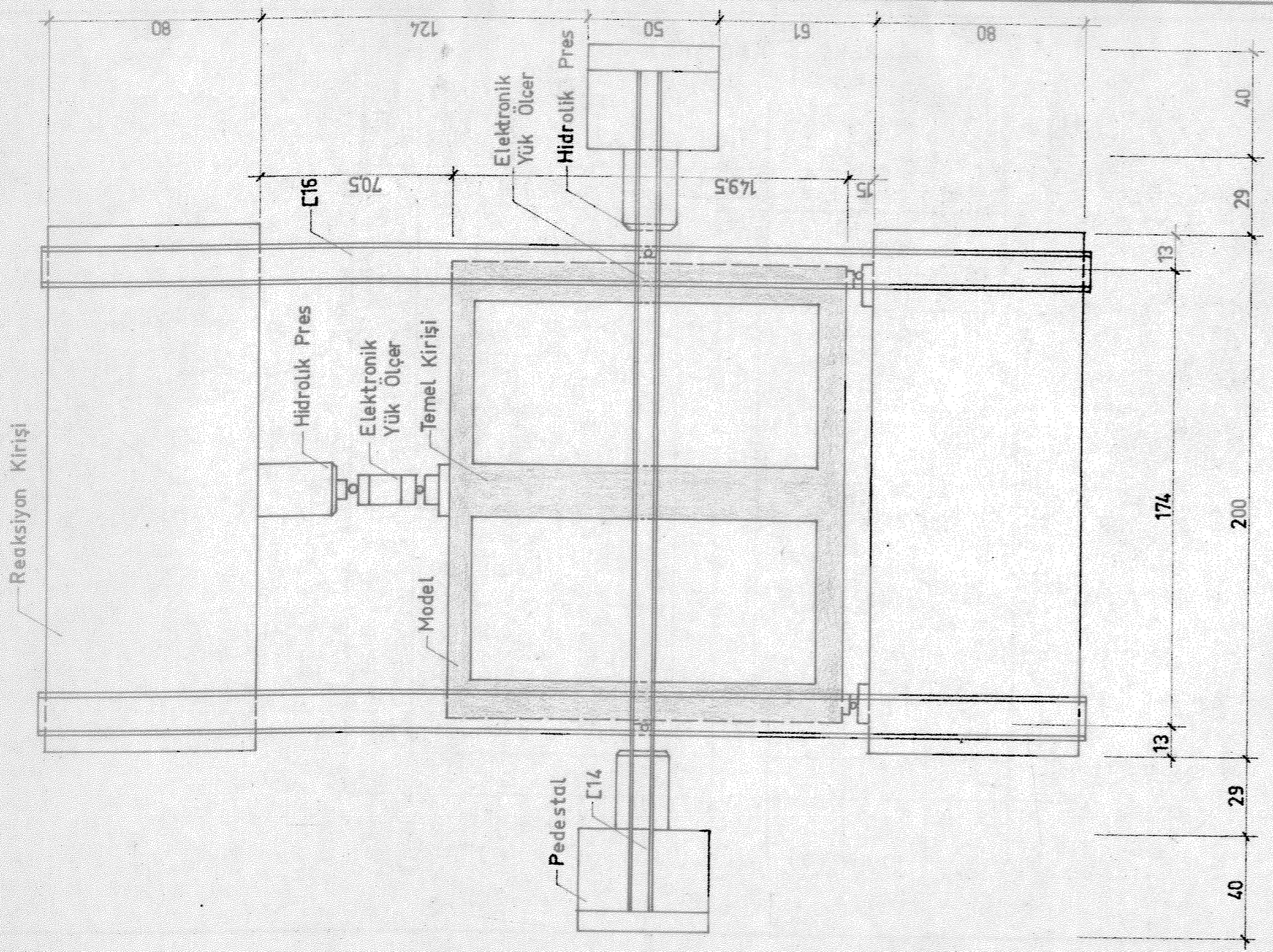


ŞEKİL 6 MODEL İMALİNDE KULLANILAN AYARLI KALIP



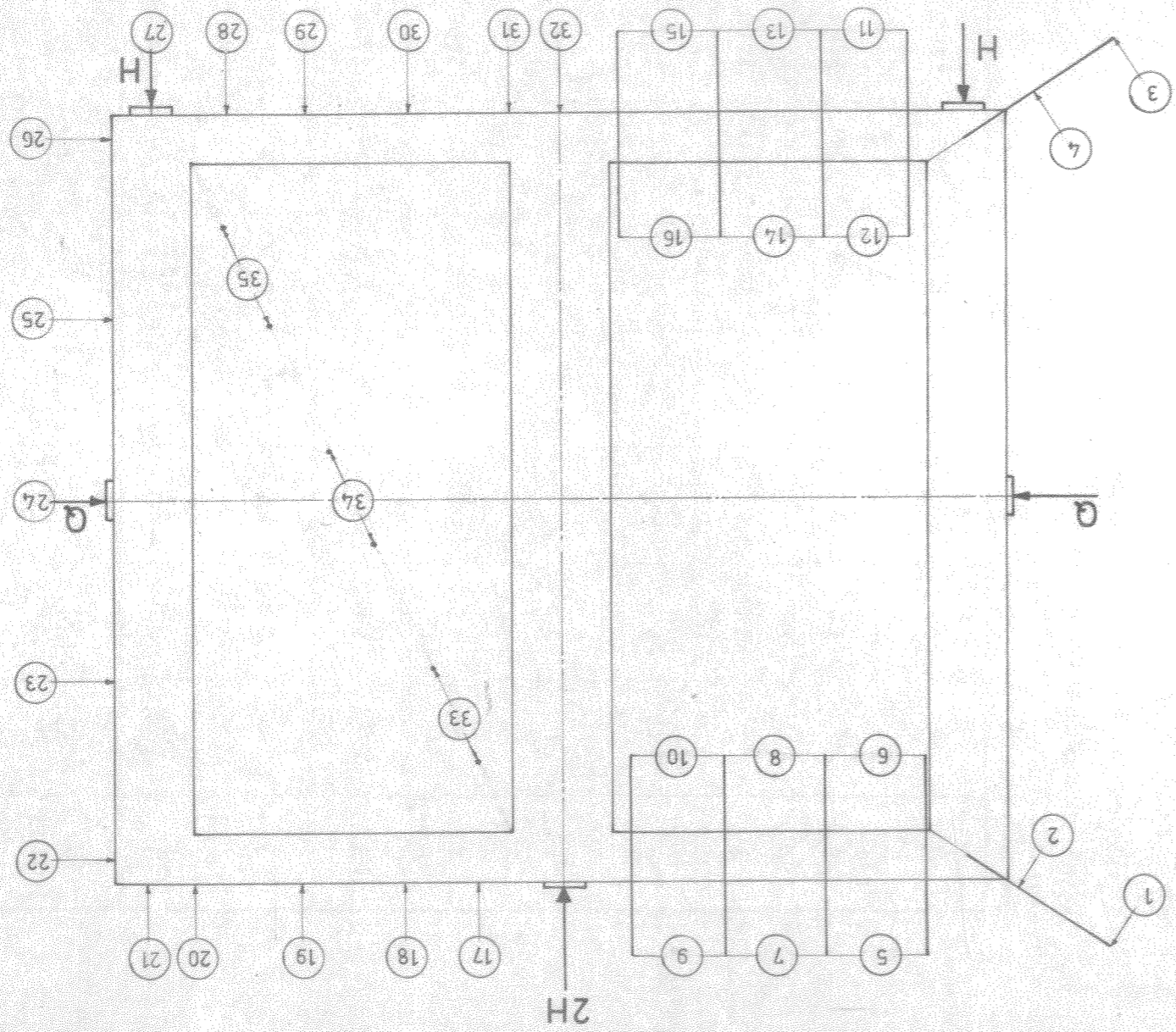
ŞEKİL 7 YÜKLEME SİSTEMİ





SEKİL 8 YÜKLEME ÇERÇEVESİ VE MODEL , 1/20 , cm.

SEKIL 9 ÖLÇÜ ALETLERİ





MODEL NO	$\frac{H}{Q}$	$\frac{K_b}{K_c}$	Dolgu kalınlığı t (cm)	Aderans	Çerçeve $G_b^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Dolgu $G_b^*$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Betonarme demiri $G_a^2$ (kg/cm <sup>2</sup> )
1	$\infty$	2.0	5.0	—	292	248	2400
2	$\infty$	2.0	5.0	+	263	280	2400
3	$\infty$	2.0	3.0	—	324	351	2400
4	$\infty$	2.0	3.0	+	302	255	2400
5	$\infty$	2.0	DOLGUSUZ		266	—	2400
6	$\frac{H}{9.0t}$	2.0	3.0	—	278	394	2400
7	$\frac{H}{30t}$	2.0	3.0	+	285	290	2400
8	$\infty$	4.0	3.0	—	368	306	2400
9	$\infty$	4.0	3.0	+	252	323	2400

NOT:

$K_b/K_c$  Kiris rijiditesinin kolon rijiditesine oranı

$G_b^*$  = 28 Günlük beton silindirik mukavemeti

$G_a^2$  = Çeliğin akma sınırı

TABLO 1 ÇERÇEVE ÖZELLİKLERİ

### 3. MODELLERİN DAVRANIŞ VE MUKAVEMETİ

#### 3.1 MODELLERİN DAVRANIŞLARI

Her modelde incelenen değişkenler ve bu modellerin deney esnasındaki davranışları aşağıda kısaca anlatılmıştır. Bu anlatım esnasında modeldeki değişik kolon ve kirişlerin ayırdedilebilmesi için bu elemanlar Şekil (10) de gösterildiği şekilde adlandırılmıştır.

##### 3.1.1 Model 1

$$K_b/K_c = 2$$

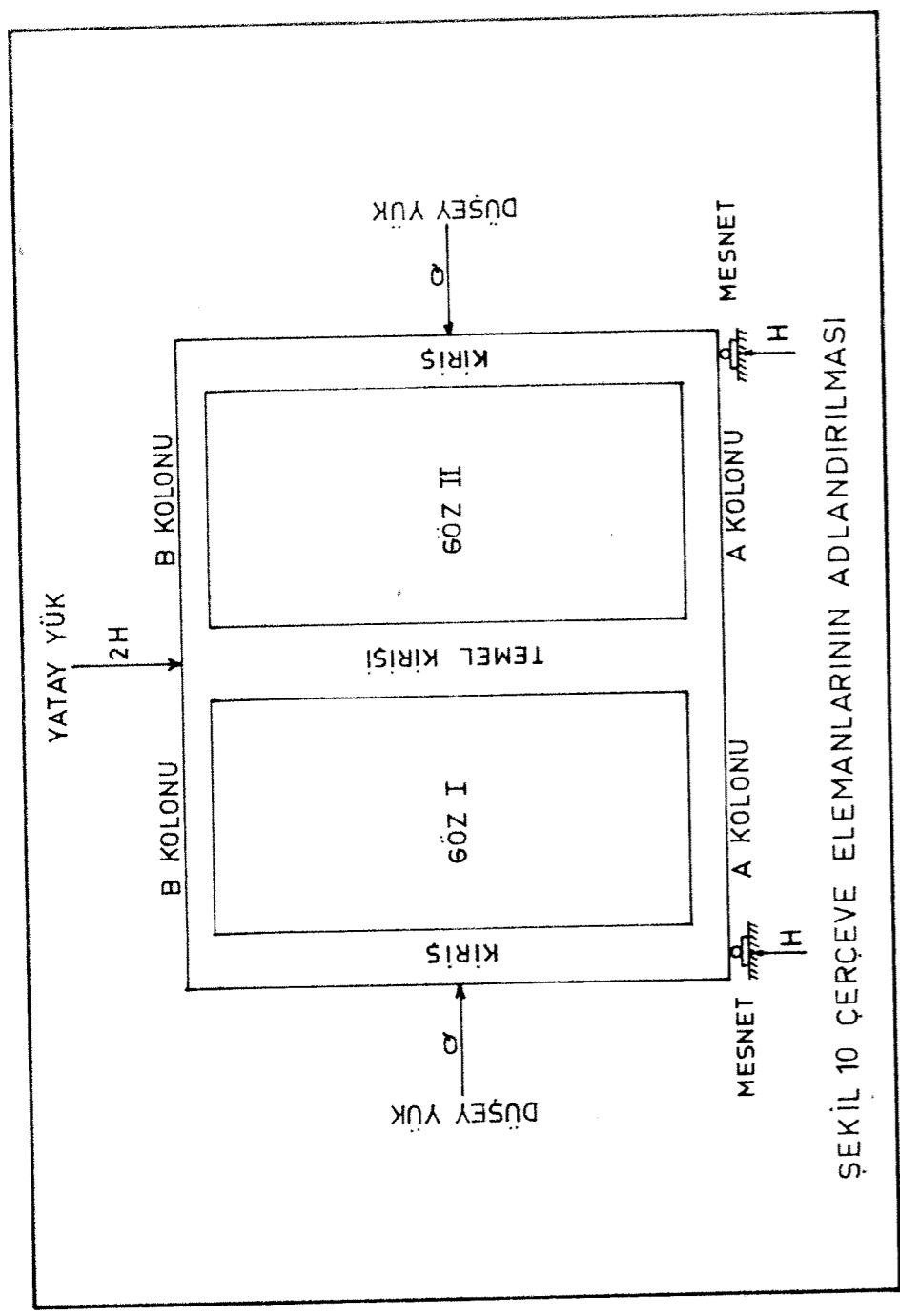
Aderanssız dolgu

Dolgu kalınlığı  $t = 5$  cm

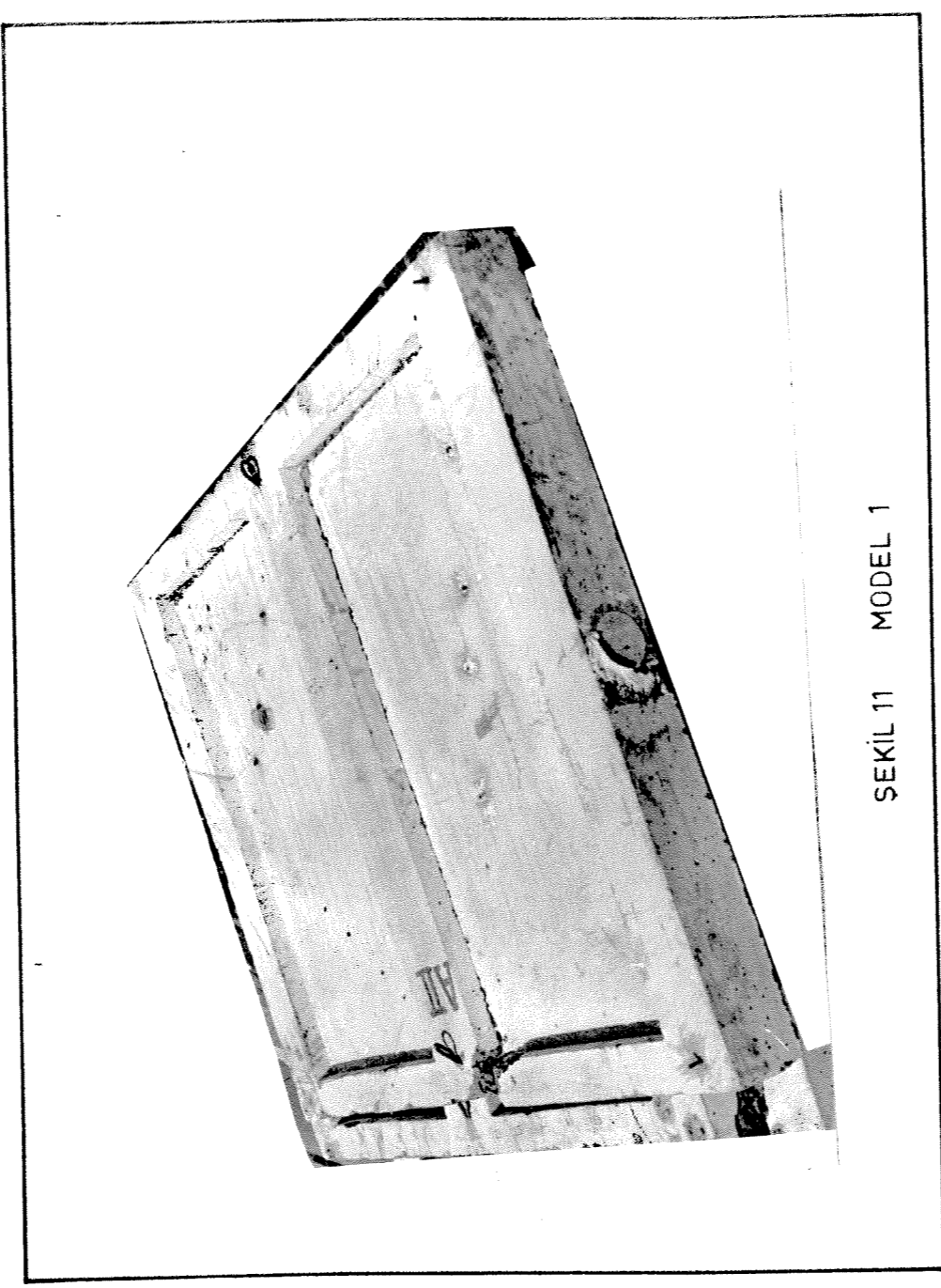
Denenen ilk model olmasından ötürü bu deney esnasında önceden görülemeyen bir takım güçlükler ortaya çıkmış, dolayısıyla deneyi durdurup, modelin üstünden yükleri kaldırarak deneyin birkaç gün sonra tekrarlanması yoluna gidilmiştir.

İlk denemede  $H/Q = 0.5$  oranı sabit tutularak düşey ve yatay yükler beraber arttırılmış,  $2H = 7 - 8$  t civarında mesnetlerde yersel ezilmeler görülmüştür.  $2H = 10$  t'ye varıldığında, zemin kirişi ile A kolonları köşelerinde dolguyla çerçeve arasında ayrılmalar başlamıştır. Ön hesaplarda yapılan bir hatadan dolayı bu yük civarında hidrolik krikoların kapasitelerinin aşılması tehlikesi doğduğundan deneye son verilmiştir.

İkinci denemede,  $2H = Q = 25$  t de yük ölçme hücrelerinin kapasitelerine erişildiğinden modele daha fazla yük verilmemiş, ve yükler kaldırılarak deney ikinci kez durdurulmuştur. Yukarıda belirtilen yük seviyelerinde deformasyonların çok küçük olduğu ve modelde çatlamaların başlamamış olması belirtildiği gereken önemli bir husustur.



ŞEKİL 10 ÇERÇEVE ELEMANLARININ ADLANDIRILMASI



Aynı model üzerinde yapılan üçüncü ve son deneyde 2H yükünün uygulanmasında paralel bağlanmış iki adet yük ölçme hücresi kullanılmış ve modele Q yükü verilmiştir. 2H=48 t'ye varıldığında yükün uygulama noktasında lokal kırılma olmuştur. Deneyden sonra yapılan incelemede yüklemeye plâkasının çerçeve betonunun içine 0.5 cm kadar gömülmüş olduğu görülmüştür. Plâka kenarlarında görülen eğik çatlaklar lokal kırılmanın kaynağı gerilmelerinden meydana geldiği kanısını vermekle beraber, yüklemeye plâkası altındaki betonun ezilme mukavemetinin eşitliği, karakteristik ezilme tahribatının mevcudiyetinden anlaşılmıştır.

3.1.2. Model 2

$K_p/K_c = 2$

Aderanslı dolgu

Dolgu kalınlığı  $t = 5$  cm

Model 1'de yatay yükün uygulama noktasında ve mesnetlerde görülmüş olan lokal beton ezilmeleri göz önünde bulundurularak bu modelde daha geniş yüklemeye plâkaları kullanılması yoluna gidilmiştir.

2H = 35 t'de A kolonlarının alt kısımlarında çatlaklar başlamış, yük arttırıldıkça kolonların üst kısımlarında da çatlakların meydana geldiği görülmüştür. Üst kısımlarda meydana gelen bu çatlakların kolonların dolgu tarafındaki yüzünde başladığı ve daha sonra kolonların dış yüzüne doğru uzadığı müşahede edilmiştir.

2H = 37.5 t'de zemin kirişi ile dolgu arasında ayrılmaların başladığı görülmüş, 2H = 45 t ve 2H = 52.5 t de dolgularda çapraz çekme çatlakları meydana gelmiştir.

2H = 37.5 t'de B kolonları ile zemin kirişi arasındaki köşede başlamış olan çatlaklar 2H = 52.5 t'de meydana gelen lokal kırılmaya sebep olmuştur. Bu lokal kırılmadan hemen sonra A kolonlarından birinde kayma gerilmelerinden dolayı eğik bir çatlak görülmüştür.



### 3.1.3. Model 3

$$K_b/K_c = 2$$

Aderanssız dolgu

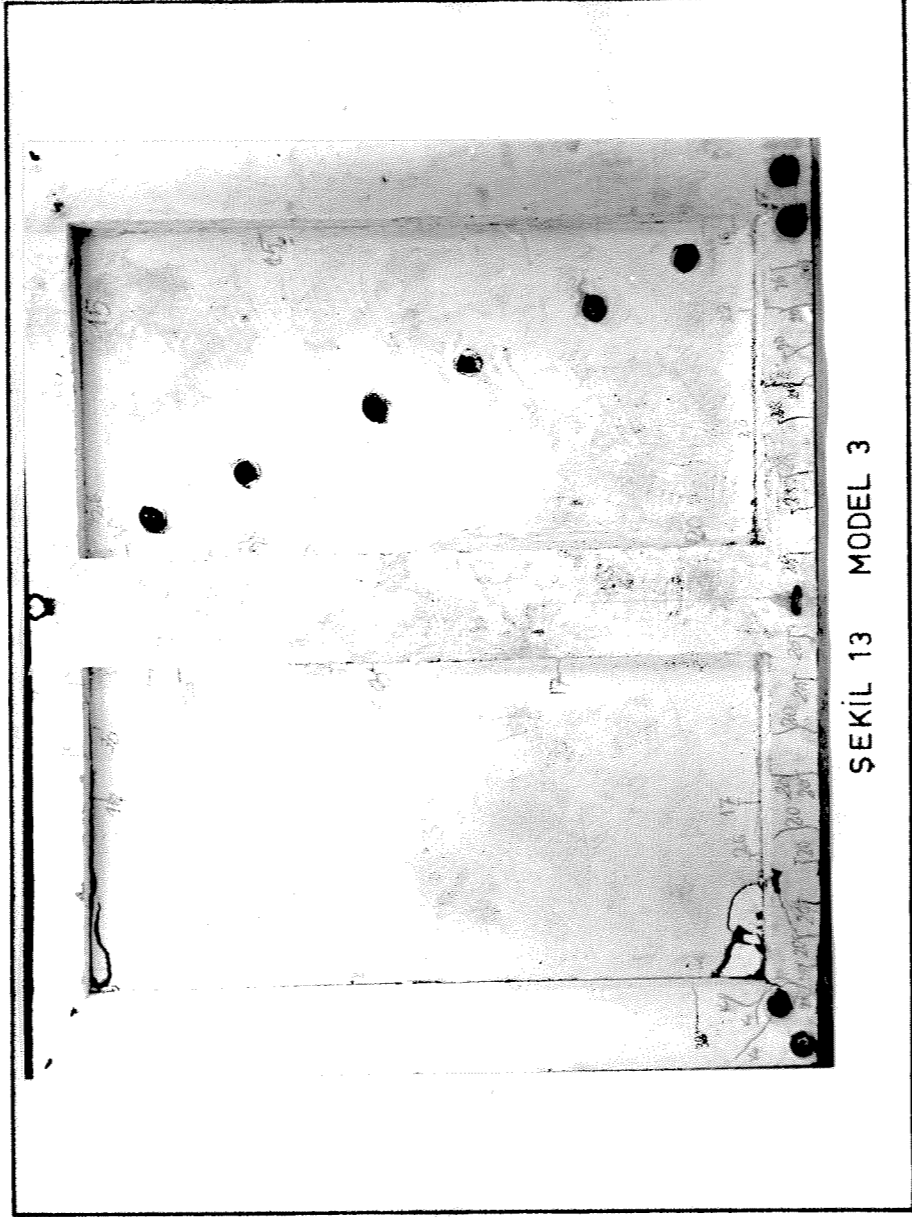
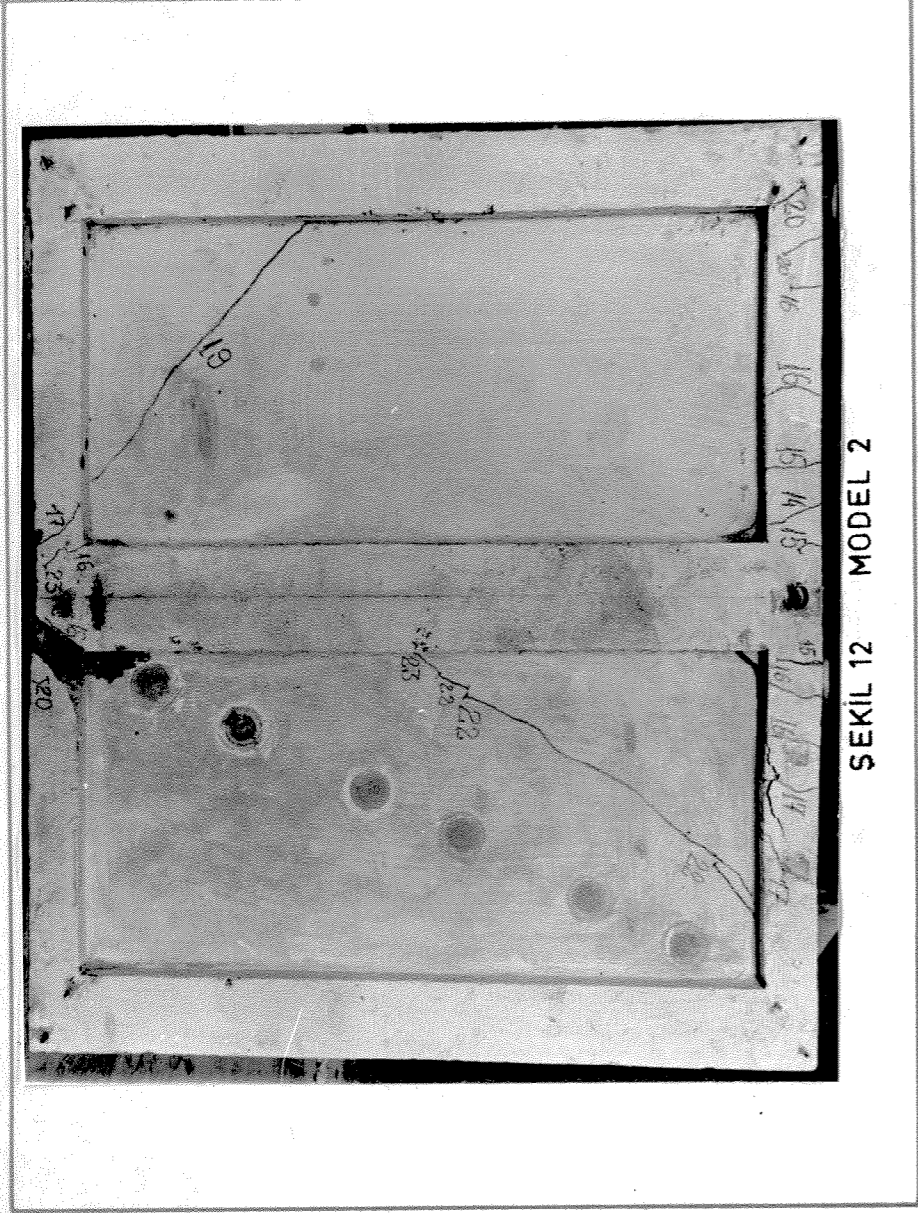
Dolgu kalınlığı  $t = 3$  cm

Bundan önceki her iki modelde de kolon dibinde yükün uygulandığı noktada lokal kırılma olduğundan, bu bölgelerde kolonların takviye edilmesine karar verilmiştir. Bu ve bundan sonraki bütün modellere kolonların dip kısımlarını takviye amacıyla konulan ilâve donatı Şekil 5'de gösterilmiştir. İkinci bir değişiklik olarak, çerçeve ve dolgunun beraber çalışma olanaklarının arttırılması amacıyla bundan böyle dolgu kalınlığının da 3 cm yapılması kararlaştırılmıştır.

Dolgu kalınlığının ve kolon donatısının aynı anda değiştirilmesi hernekaer bu iki değişkenin model üzerindeki etkilerinin ayrı ayrı izlenebilmesine bir engel teşkil ederse de, ilerdeki modellerden daha somut ve açıklayıcı neticeler alınabilmesi için bu değişiklikler - önceki iki deneyin sonuçları göz önünde bulundurularak - bir zaruret olarak belirmiştir. Üstelik ilk iki deneyin sonuçları ile bundan sonra yapılacak deneylerin sonuçları arasında bazı faydalı karşılaştırmalar yapılabilmesi imkânı da tamamen ortadan kalkmamaktadır.

Model 3'de düşey yük, Q, uygulanmamıştır.  $2H = 20$  t civarında A kolonlarında çatlaklar görülmeye başlamış, hemen hemen aynı zamanda dolguyla çerçeve arasında ayrılma çatlaklarının oluştuğu görülmüştür. Bu ayrılma çatlaklarının yük arttıkça dolgunun bütün etrafını saracak şekilde geliştiği görülmüştür.

$2H = 30$  t'ye varıldığında kirişlerden birinde eğilme çatlaklarının teşekkül ettiği gözlenmiştir. Kırılma  $2H=34$  t'de dolgunun bir mesnet köşesinde gevrek bir davranışla ezilmesi ve hemen arkasından mesnetin karşısındaki köşede dolgu ve çerçeve arasında çok geniş ayrılmalar meydana gelmesi şeklinde





oluşmuştur. Denei boyunca dolgu üzerinde çapraz çatlaklar görülmemiştir.

3.1.4 Model 4

$$K_b/K_c = 2$$

Aderanslı dolgu

Dolgu kalınlığı  $t = 3$  cm

Model 3'ten farklı olarak dolguyla çerçeve arasında aderansın temin edildiği bu modelde ilk çatlaklar,  $2H = 26$  t'de çapraz dolgu çatlakları şeklinde meydana gelmiştir. Yük arttırıldıkça bunlara paralel yeni çatlaklar oluşmaya devam etmiş ve B kolonlarıyla kirişlerin teşkil ettiği köşelerde dolguyla çerçeve arasında ayrılmalar başlamıştır.

$2H = 44$  t'de dolgunun mesnet köşelerinden birinde ezilmesiyle kırılma meydana gelmiştir. Bu kırılmayı müteakip dolguyla kirişler arasındaki filiz demirlerinin aderansın kaybolmasından dolayı yerlerinden çıktıkları ve aynı zamanda dolgunun ezildiği köşede kolonun kayna gerilmelerinin etkisi ile oluşan eğik çatlaklar teşekkülü ile kırıldığı görülmüştür.

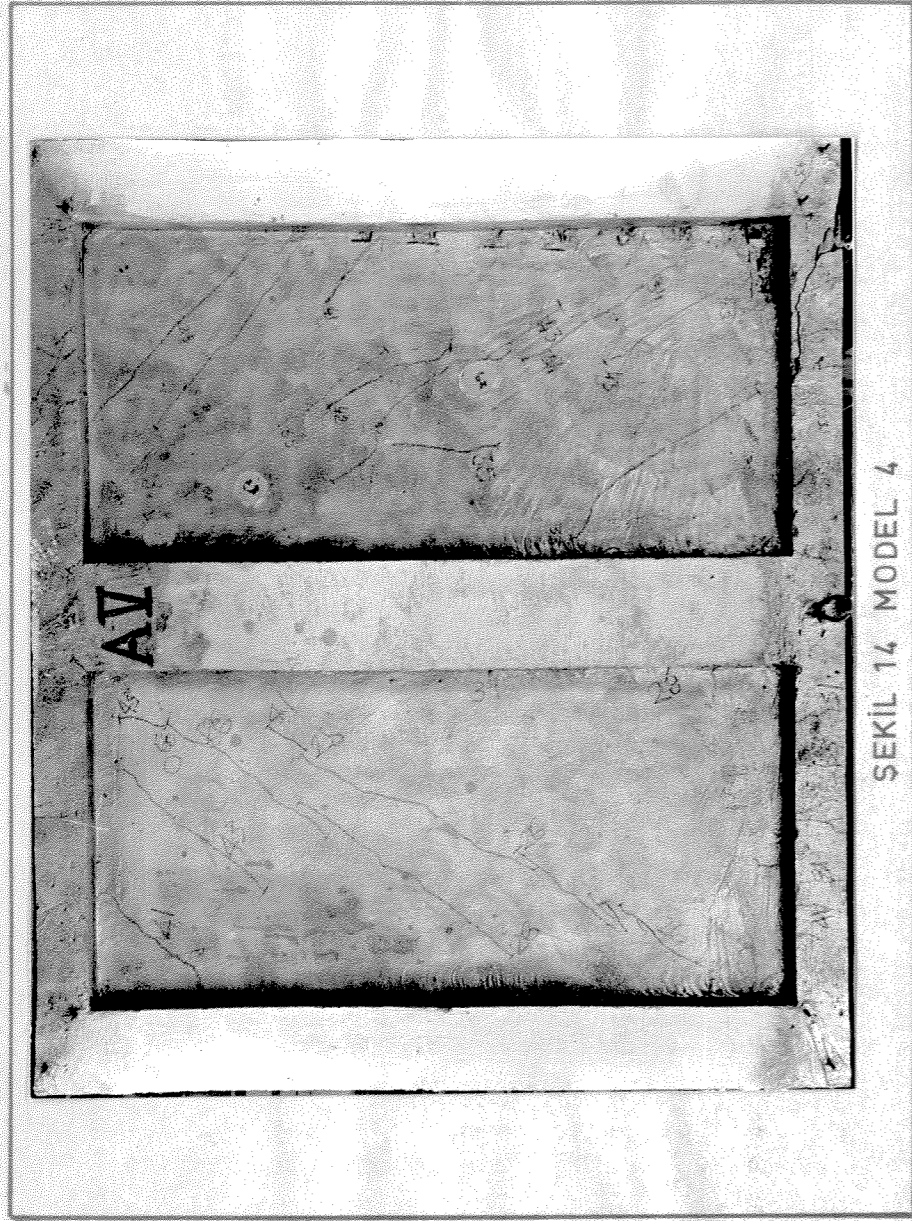
3.1.5 Model 5

$$K_b/K_c = 2$$

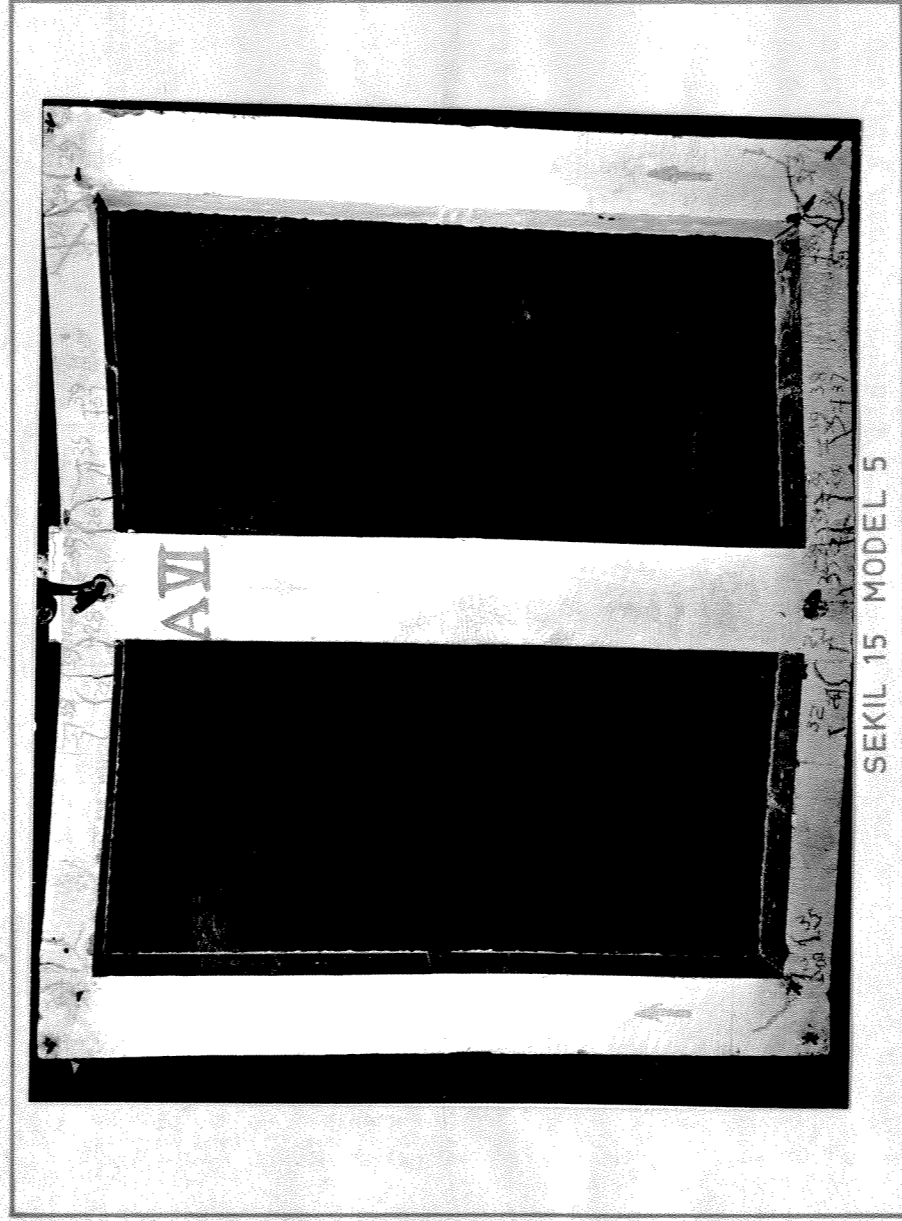
Dolgunsuz

Bu deneyin amacı çerçevenin yük taşıma kapasitesi ve rijiditesi üzerinde dolgunun etkilerini deneysel olarak görmektir.

Bundan önceki modellerle karşılaştırılır ise, Model 5'in kırılma yükünün ( $2H = 5.1$  t) önemli ölçüde azalmış olduğu görülür. Ayrıca, deney esnasında deformasyonlar da bundan önceki modellere kıyasla çok fazla olmuş ve çıplak gözle müşahade edilebilecek mertebelere erişmiştir.



SEKIL 14 MODEL 4



SEKIL 15 MODEL 5



İlk çatlaklar  $2H = 0.6 t$ 'de görülmüş. Kırılma, kolonların her iki ucunda başlayan çatlakların sonunda mafsalalar meydana getirmesiyle oluşan tipik bir çökme mekanizması şeklinde olmuştur.

3.1.6 Model 6

$$K_p/K_c = 2$$

Aderanssız Dolgu

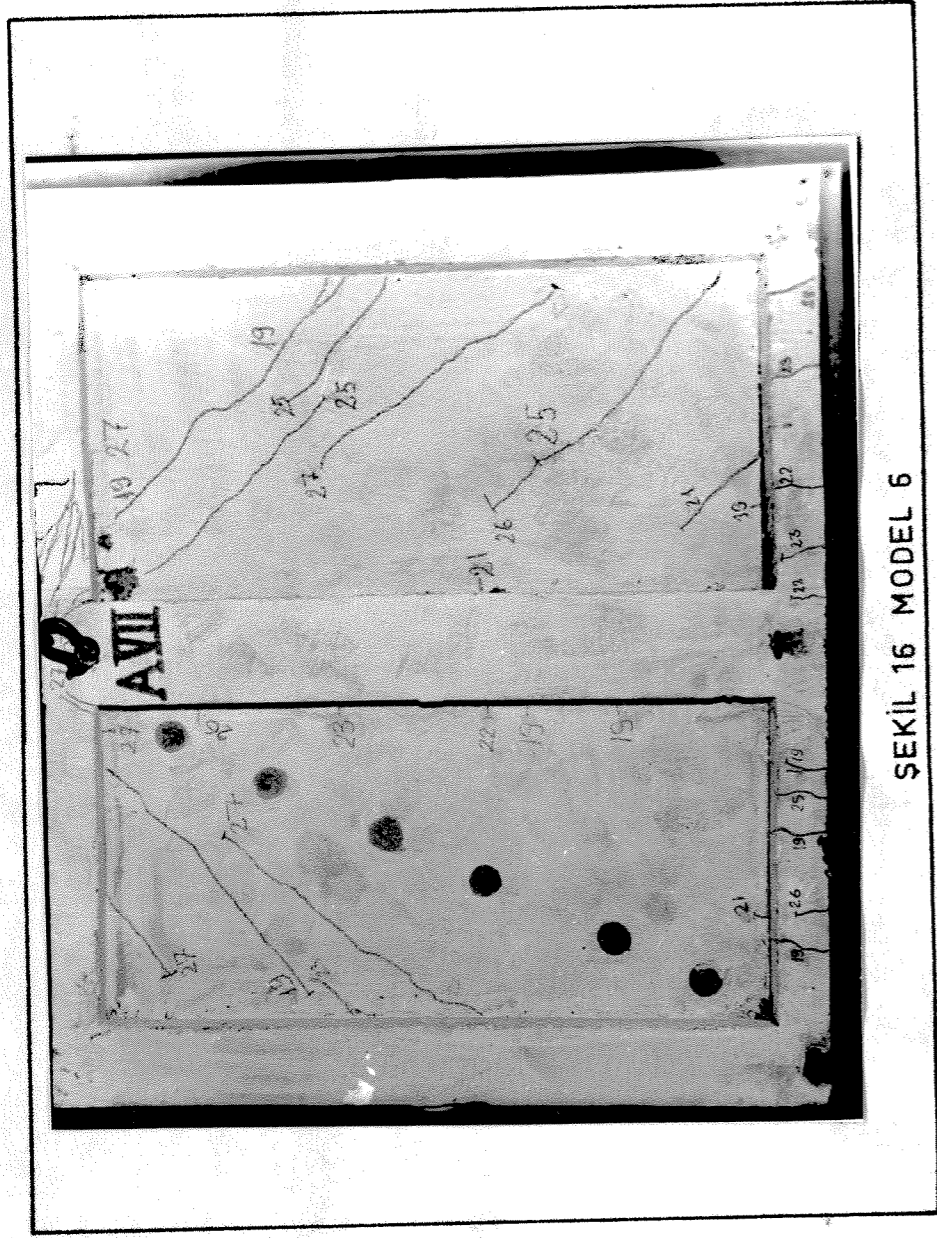
$$\text{Dolgu kalınlığı } t = 3 \text{ cm}$$

$$Q = 9 t$$

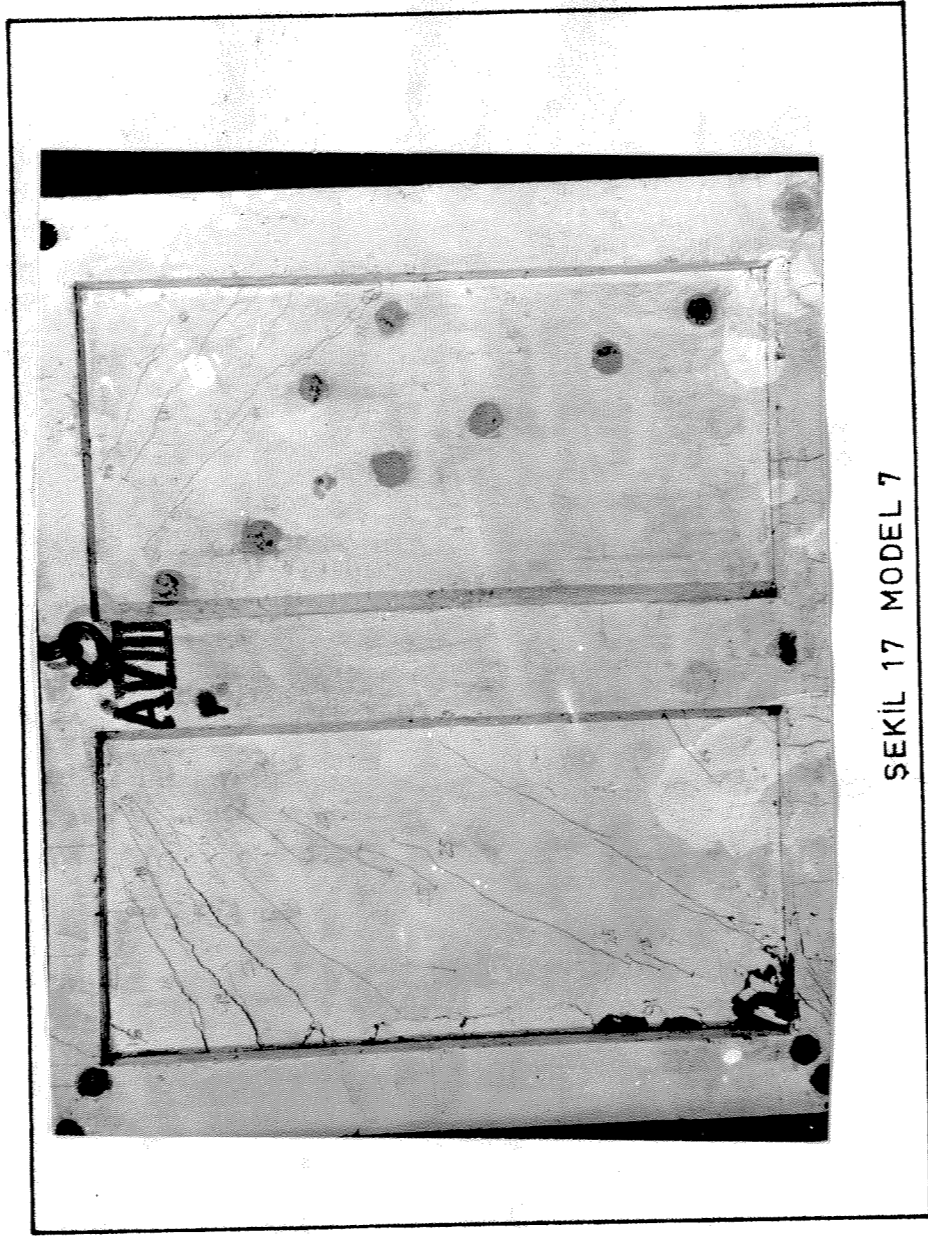
Bu deneyin başında yükleme aletlerinde yapılan bir yanlışlıktan dolayı düşey yük  $Q = 3 t$  yerine  $9 t$  olarak tatbik edilmiştir. Bu yanlışlık farkedildikten sonra, modelde yükün kaldırılmasından dolayı ilâve tesirler meydana getirmemek için yükün  $3t$ 'ye indirilmesi yoluna gidilmiş ve bu ilâve düşey yükün yeni bir değişken olarak incelenmesine karar verilmiştir.

Düşey yükü  $9 t$ 'de sabit tutarak yatay yük arttırılmıştır. İlk çatlaklar  $2H = 34 t$ 'de görülmüştür. Bunlar A kolonları ile zemin kirişi köşelerinde meydana çıkmış olan ayrılma çatlaklarıdır. Yük arttıkça her iki gözdeki dolgularda simetrik çapraz çatlaklar teşekkül etmeye başlamıştır. Bu çatlaklarla beraber A kolonlarında da çatlamlar görülmüştür. Kolonlardaki çatlakların mesnetlere yakın bölgelerde dolgu tarafında başlamasına karşılık, zemin kirişine yakın kısımlarda kolonun dış yüzünden başladığı müşahade edilmiştir. Bununla beraber  $2H$  yükü arttırıldıkça kolonlarda görülen yeni çatlaklar aynı eğilimi göstermemiştir.

$2H$  yükünün arttırılışı esnasında dolgularda ilk çapraz çatlaklara paralel yeni çatlakların teşekkül ettiği ve dolguyla çerçeve arasındaki ayrılmaların arttığı görülmüştür.  $2H = 50 t$ 'de yükün tatbik edildiği yerdeki kolon diplerinde çapraz çatlaklar meydana gelmiş,  $2.7 t$ 'de dolgunun yükleme



SEKIL 16 MODEL 6



SEKIL 17 MODEL 7

noktasında ezilme kırılması olmuştur. Bu kırılmayı takiben kırılma noktasının yanındaki kolon tabanında yine bir eğik çatlak oluşmuş ve hızla açılmıştır.

### 3.1.1.7 Model 7

$$K_b/K_c = 2$$

Aderanslı dolgu

$$\text{Dolgu kalınlığı } t = 3 \text{ cm}$$

$$Q = 3 t$$

Dolguyla çerçeve arasında ayrılmalar  $2H = 26 t$ 'de ve yüklenmemiş köşelerde başlamıştır.  $2H = 30 t$ 'de dolguda  $2H$  ve  $Q$  yüklerinin uygulama noktalarını birleştiren hat üzerinde çatlaklar görülmüştür. Yatay yük arttırdıkça dolgunun diagonaline yaklaşan yeni çatlaklar teşekkül etmeye başlamıştır.

$2H = 40 t$ 'de dolgulardan birinde  $2H$  yükünün uygulandığı nokta ile mesnet arasında boydan boya uzayan bir çekme çatlakları meydana gelmiş ve  $2H = 44 t$ 'de bu dolgu mesnet köşesinde ezilerek kırılma olmuştur.

Dikkat edilmesi gereken bir husus, muhtemelen düşey yük  $Q$ 'nun mevcudiyetinden dolayı  $2H = 36 t$ 'ye kadar kolonlarda çekme çatlaklarının görülmemiş olmasıdır.

### 3.1.1.8 Model 8

$$K_b/K_c = 4$$

Aderanssız dolgu

$$\text{Dolgu kalınlığı } t = 3 \text{ cm}$$

$$Q = 0$$

Kiriş ve kolon rijidite oranı  $K_b/K_c$  nin dolgulu çerçevenin davranışları üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla bu modelde kolon genişliği  $7.5 \text{ cm}$  ye indirilerek  $K_b/K_c$  oranının 4 olması sağlanmıştır.

Dolguyla çerçeve arasında ayrılma çatlakları  $2H = 14$  t'de başlamıştır. Bu yükün daha önceki modellerde görülen yükten oldukça küçük olmasının nedeni, çerçevenin diğerlerine kıyasla daha esnek bir hale gelmiş olmasıdır. Aynı sebepten dolayı  $2H = 26$  t gibi düşük bir yükte kolonlarda boydan boya çatlakları meydana gelmiştir. Bu çatlakların  $2H$  yükü arttırıldıkça hem sayılarının arttığı hem de boylarının uzadığı görülmüştür.

$2H = 28$  t'de bir dolguda çapraz bir çekme çatlakları teşekkül etmiş ve bunu takiben  $2H$  yükünün uygulama noktasında kolon diplerinde eğik çatlaklar meydana gelmiştir.  $2H = 28$  t'de bir dolguda görülen çapraz çatlak, diğer dolguda simetrik olarak,  $2H = 34$  t'de meydana gelmiştir.

Yükün daha fazla arttırılmasına imkân kalmadan bu yeni çatlakların uçuşunda dolgunun mesnet köşesinde ezilme kırılması olmuştur.

3.1.1.9 Model 9

$$K_b/K_c = 4$$

Aderanslı dolgu

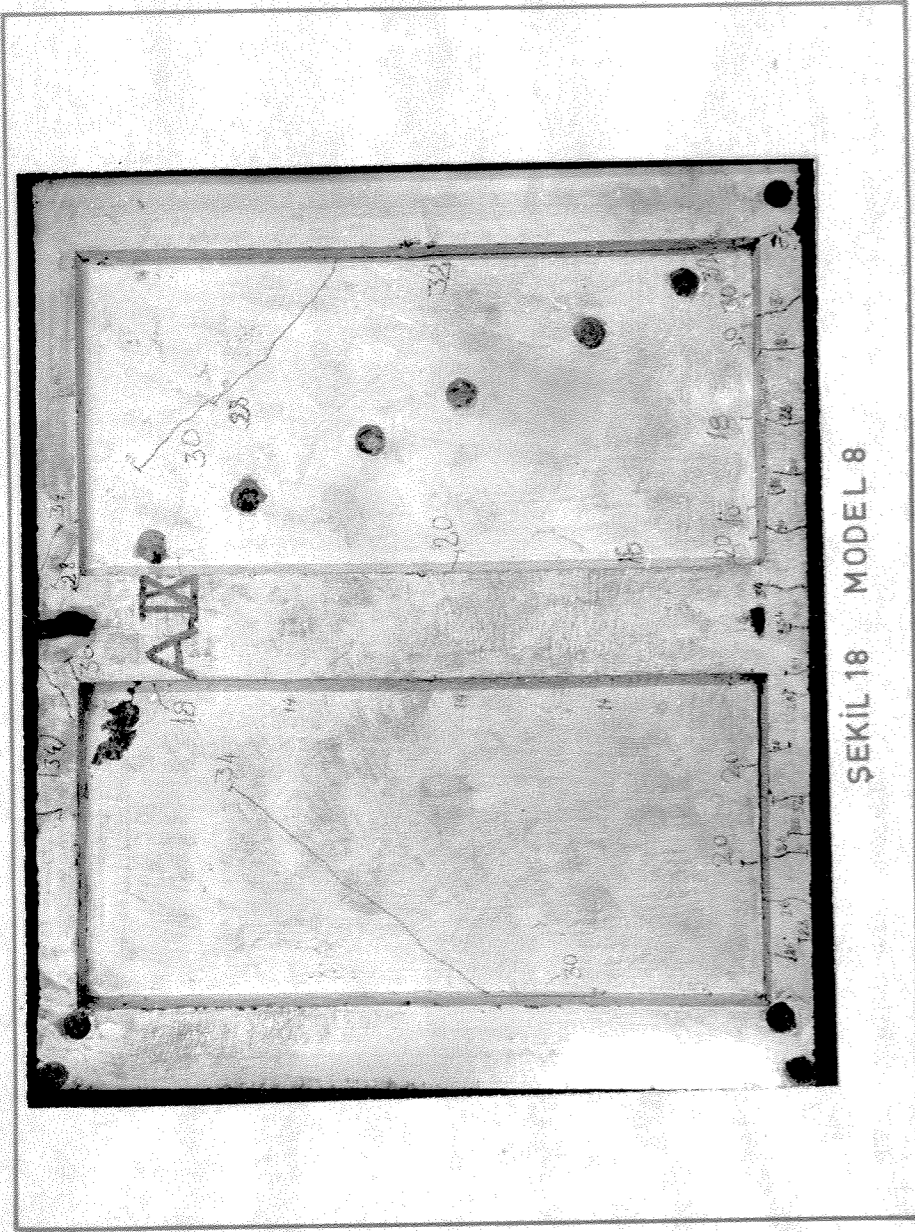
$$\text{Dolgu kalınlığı } t = 3 \text{ cm}$$

$$Q = 0$$

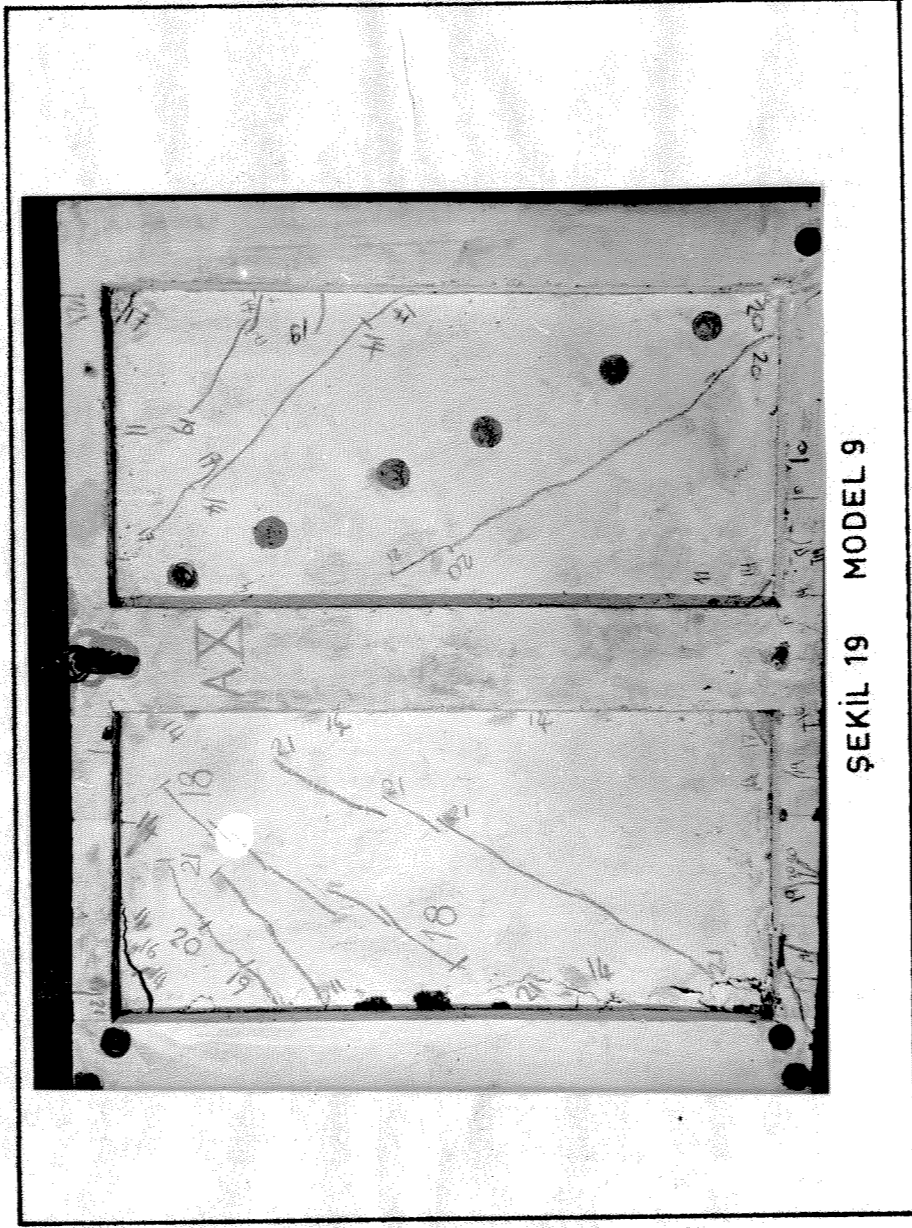
Bu modeldeki çatlakların oluşumu Model 8'e çok benzer bir şekil takip etmiştir. Bir farklı dolgularda münferit çapraz çatlaklar yerine bir çatlaklar grubu meydana gelmiştir.

Kırılma yine dolgunun mesnet köşesinde ezilmesi, arkasından filiz demirlerindeki aderansın ka/bolması ve böylece demirlerin sıyrılması ile oluşmuştur. Kırılma yükü  $2H = 40$  t olarak saptanmıştır.





ŞEKİL 18 MODEL 8



ŞEKİL 19 MODEL 9

#### 4. DENEY SONUÇLARININ İNCELENİŞİ

##### 4.1 DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde ölçme aletleri vasıtasıyla deneyler sırasında modellere alınan veriler sunulmuştur. Bu veriler üzerindeki bazı düşünceler ve yorumlar ötesinde, modellerin davranışları açısından birbirleriyle karşılaştırılmaları yoluna gidilmemiş, bu kıyaslama ayrı bir bölüm halinde 4.2 DEĞİŞKENLERİN TESİRLERİ başlığı altında yapılmıştır.

##### 4.1.1 Genel

Modellerin çift gözlü olarak teşkil etmenin sağladığı avantajdan tam anlamıyla yararlanabilmek için, Ölçme Aletleri Bölümünden de anlaşılacağı gibi, modeller üzerine çok sayıda deformasyon ve rotasyon göstergesi yerleştirilmiştir. Bunların sayısı genel olarak 35 gibi yüksek bir seviyede tutulmuştur. Fakat, modelin yük altındaki davranışının daha iyi anlaşılması için takip edilen bu yol, diğer bir yönden sakıncalı olmuştur. Gerek eldeki ölçme aletlerinin, gerekse laboratuvar personelinin sınırlı oluşu, hem aletlerin yerleştirilmesinde, hem de okumaların kaydedilmesinde bazı güçlükler ortaya çıkmıştır. Genel olarak, elde mevcut en hassas aletler model üzerinde kritik olabileceği düşünülen noktalara yerleştirilmiş, diğer noktalarda daha az hassas aletlerle yetinilmesi yoluna gidilmiştir. Okumaların tesbit edilmesinde de aynı paralelde bir yol takip edilmiştir. Çok sayıdaki okuma aletinin gerektirdiği oranda teknisyen temininde çekilen güçlükler sonucu, bu işte tam anlamıyla ehil olmadıkları halde yardımcılarının baş vurulmak zorunda kalınan personel, mümkün olduğu nispette, ikinci derecede önemli olacağı öngörülen noktalardaki ölçme aletlerinden sorumlu tutulmuştur. Bütün bunlara rağmen deney sonuçlarına toplu olarak bakıldığında bazı tutarsız ve yanlış okumalar göze çarpmaktadır. Bunlardan sistematik bir okuma hatasından meydana geldiği teşhis



edilebilenlerin mümkün olduğu nisbette düzeltilmesine çalışılmıştır. Buna karşılık, yanlış olduğu açık olan bazı okumalar, böyle sistematik ve kesin bir sebebe bağlanamadığı hallerde oldukları gibi bırakılmışlardır.

Yukarıda sebepleri izah edilen bazı yanlış ve tutarsız okumaların mevcudiyetine rağmen genel olarak ölçme aletlerinden, modellerin davranışı hakkında bir fikir verecek kadar bilgi toplanabilmiştir. Dolgu üzerinde yük ve mesnet köşesi arasındaki diagonalde ölçülen birim kısaltmalar, kolonların geçitli noktalarındaki deplasman okumaları oldukça tutarlı ve güvenilir sonuçlar vermişlerdir. Bunlardan başka, modellerin davranışı hakkında en doğru ve güvenilir bilgi çerçevelerin yanal deplasmanlarından elde edilmiştir. Bu okumalara dayanılarak çizilen yatay yük - yanal deplasman eğrileri, çerçevelerin davranışlarının incelenmesinde ve bir takım değişkenlerin etkilerinin karşılaştırılmasında kullanılan başlıca kaynak olmuştur.

Dolgunsuz çerçeve - Model 5 - dışındaki bütün dolgu modellerde, rotasyonların çok küçük olmasından dolayı rotasyon aletlerinden fazla bir bilgi alınamamıştır. Bu yüzden bu okumalar model davranışlarının incelenmesinde kullanılamamıştır. Ayrıca ilk denenen Model 1'den alınan okumalar bu modelin daha önce anlatıldığı şekilde üç aşamada yüklenmesinden dolayı güvenilir olmaktan çıkmış, dolayısıyla, bu modelden alınan tüm okumalar incelemeye dahil edilmemiştir. Model 2'de ise dolgunun yine 5 cm olması, bütün deformasyonların çok küçük mertebelerde kalmasına sebep olmuştur. Bu modelden çerçeve yanal deplasmanı dışında başkaca bir bilgi almak mümkün olmamıştır.

#### 4.1.2 Yük-Yanal Deplasman Eğrileri

Daha önce de belirtildiği gibi, yanal deplasmanlar deneylerden alınmış olan değerlerin en tutarlı ve güvenilir olanıdır. Mesnet çökmelerini de hesaba katarak çerçevenin net yanal deplasmanı Şekil 9'daki 32 ve 27 numaralı deformasyon

aletlerinin farkı olarak hesaplanmıştır. Mesnet çökmelerinin ufak olacağı düşünüülerek, bunların doğru olarak ölçülebilirlerini sağlamak için bu noktalara eldeki en hassas ölçme aletleri olan LC-4 tipi 1/10000 inch'lik göstergeler yerleştirilmiştir.

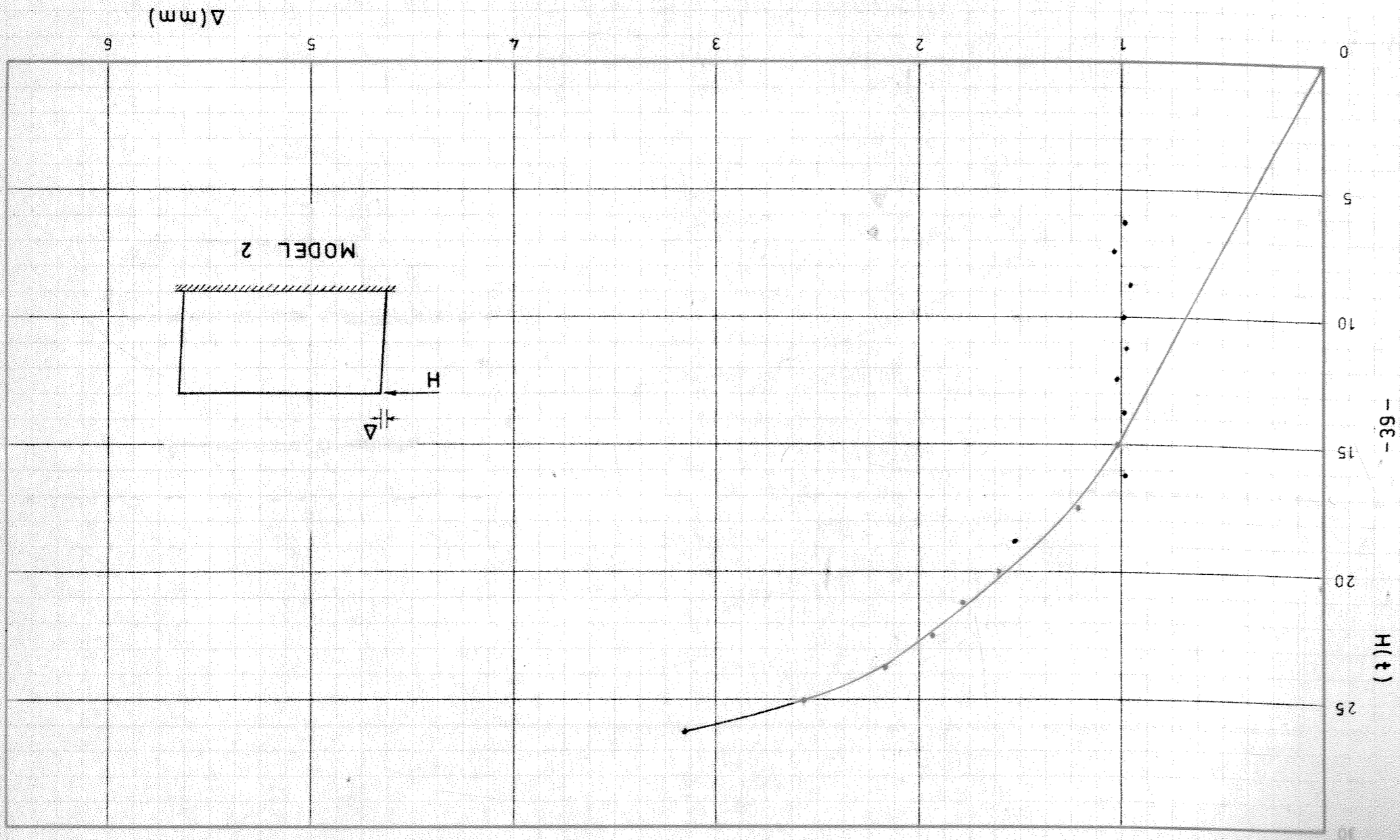
Bu şekilde elde edilen yük-yanal deplasman eğrileri, Model 1 hariç diğer modeller için, Şekil 20 ilâ 28'de verilmiştir. Dolgusuz çerçeve Model 5'in ilk çatlama yükü çok düşük olduğu için bu modelin yük-yanal deplasman eğrisinin ilk kısımları, 10 misli büyütülmüş olarak, Şekil 24'de ayrıca gösterilmiştir.

Bütün eğrilerde görülen ortak bir husus ilk yüklerde deplasmanda görülen sapmalardır. Bu sapmalar yüklemenin hemen başlarında meydana gelen mesnet çökmeleri ve modelin yükleme çerçevesi içine yerleşmesinden dolayı meydana gelmiştir. Nitekim yük arttıktan sonra bu büyük sapmaların kaybolduğu ve yatay yük ile yanal deplasman arasında tutarlı bir bağlantı kurulduğu görülmektedir.

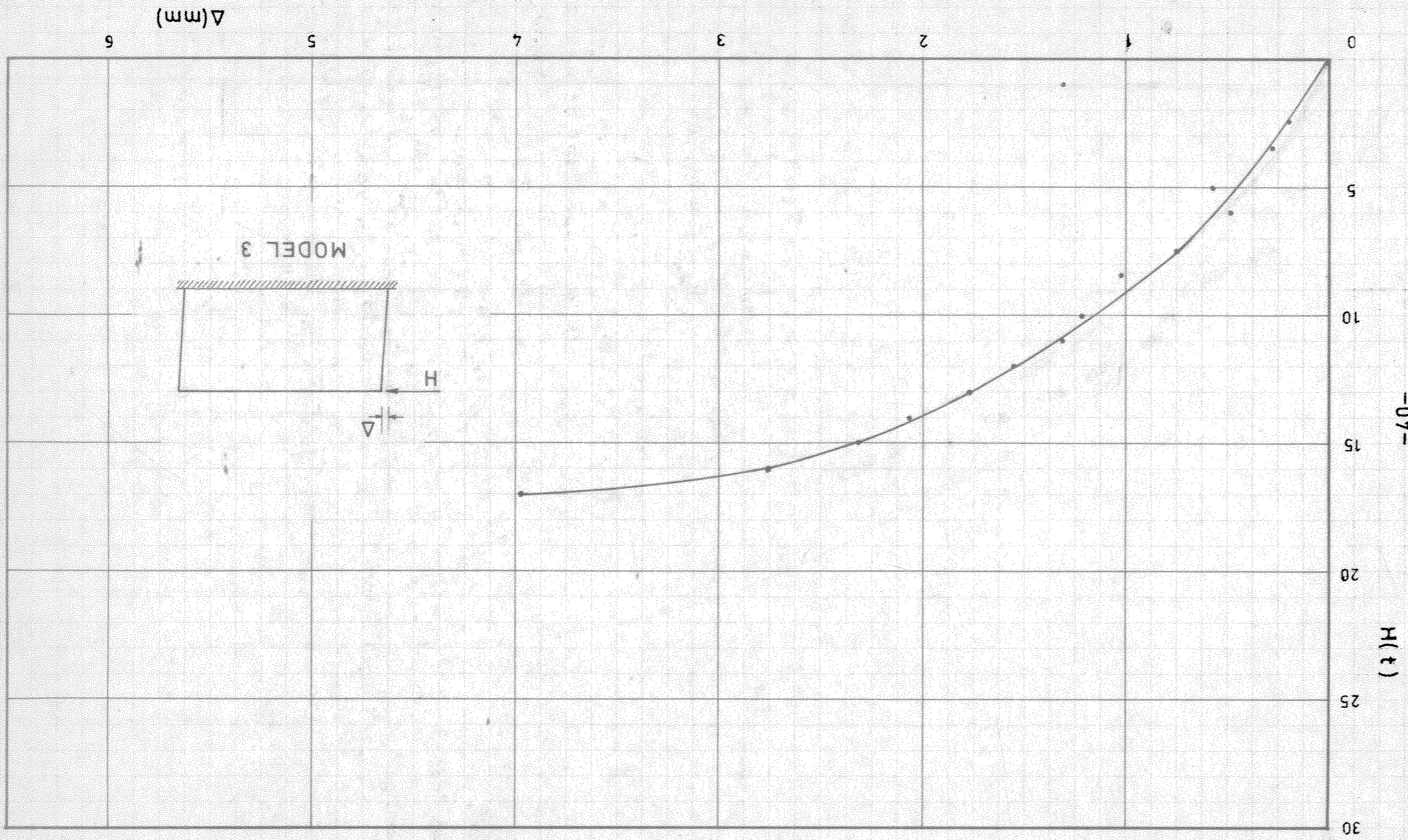
Model 2'de deney neticeleri ile çizilen eğrinin ancak H= 15 t'den sonra çakıştıkları görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, Model 2'den alınan sonuçlar deplasman ve deformasyonların küçük olması sebebiyle sıhhatli olmamıştır. En tutarlı sonuç yanal deplasmanlardan alınmıştır ki bunda da H = 15 t'a kadar deplasmanın 1 mm'de sabit kaldığı görülmektedir. Çerçevenin gerçek yanal deplasmanını yansıtamayacağı aşıkâr olan bu duruma deney başlarında aletlerde meydana gelen bir sapmanın sebep olabileceği düşünülmüştür. Şöyle ki, çerçevenin gerçek yanal deplasmanı H = 15 t civarında aletlerdeki ilk sapmanın değerini aşındırmaya kadar ölçme aletleri sabit değer göstermekte devam etmişlerdir. Bu düşünce tarzına uygun olarak sıfır noktası ile H = 15 t' daki deplasman değeri birleştirilmiş ve daha önceki noktalar ihmal edilmişlerdir. Bu şekilde teşkil edilmiş olan eğride H= 17.5 t'dan sonra görülen eğim azalması, deney esnasında ilk çatlakların



SEKIL 20 YÜK-YANAL DEPLASMAN EĞRİSİ

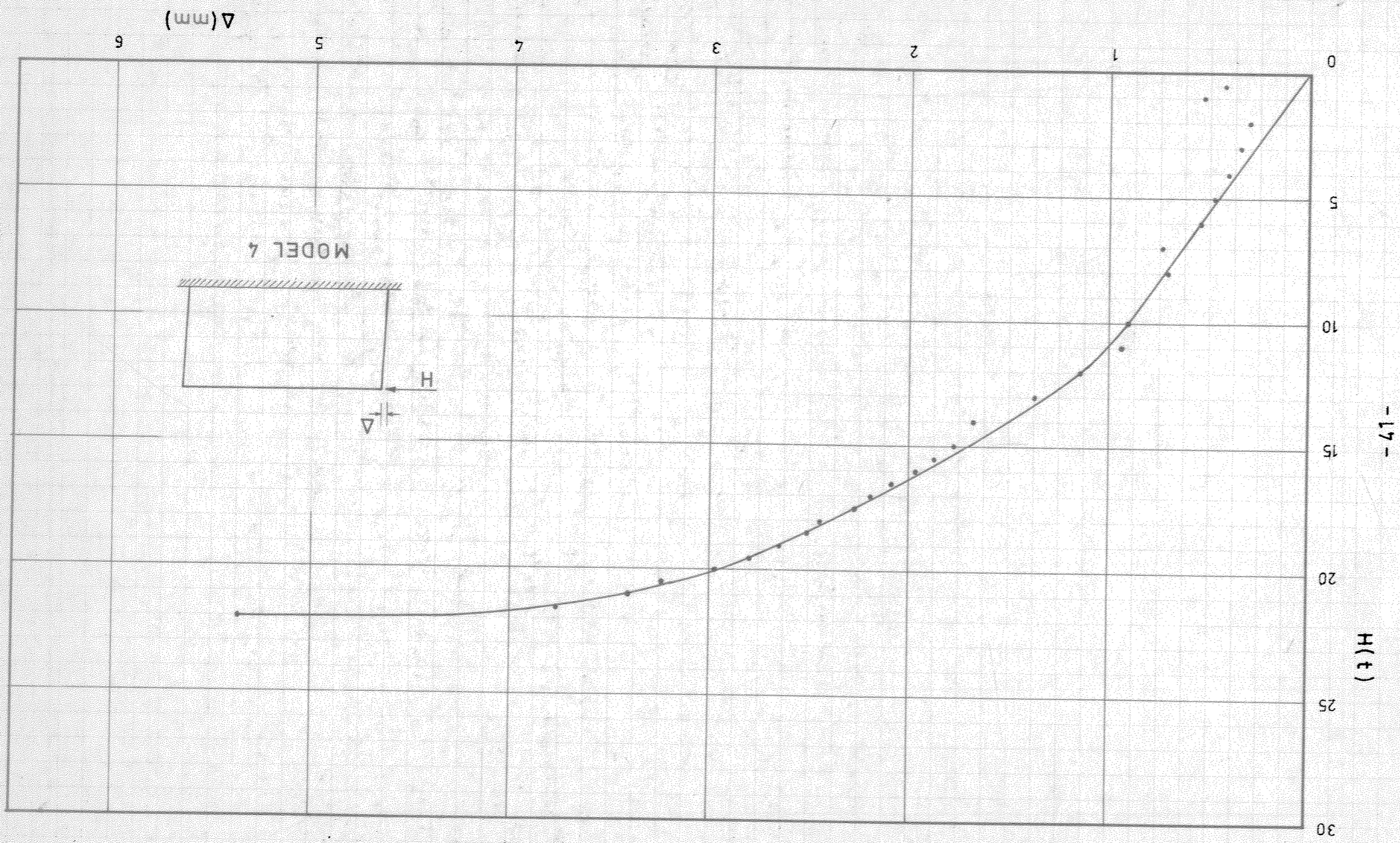


SEKIL 21 YÜK-YANAL DEPLASMAN EĞRİSİ



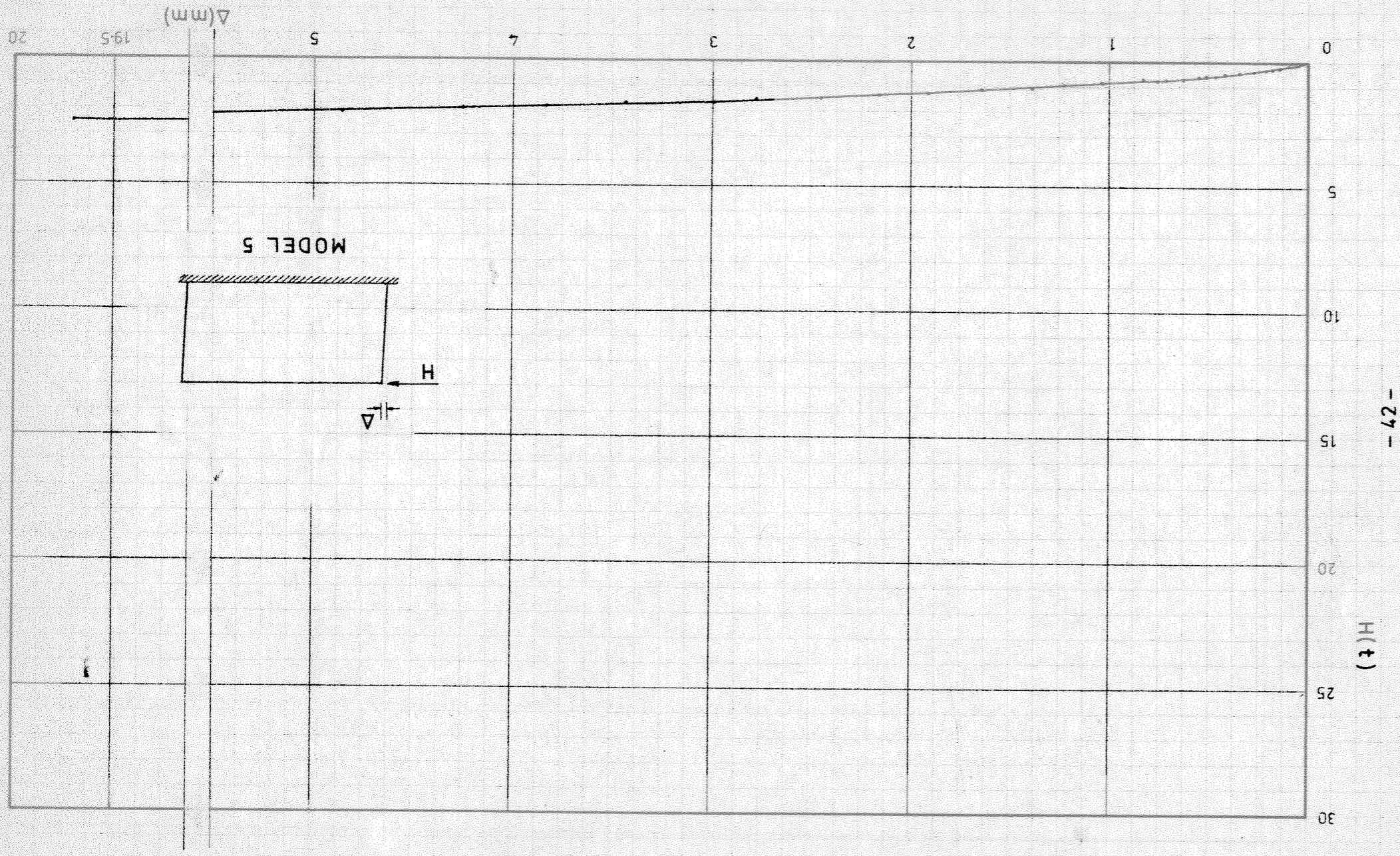


SEKIL 22 YÜK-YANAL DEPLASMAN EĞRİSİ

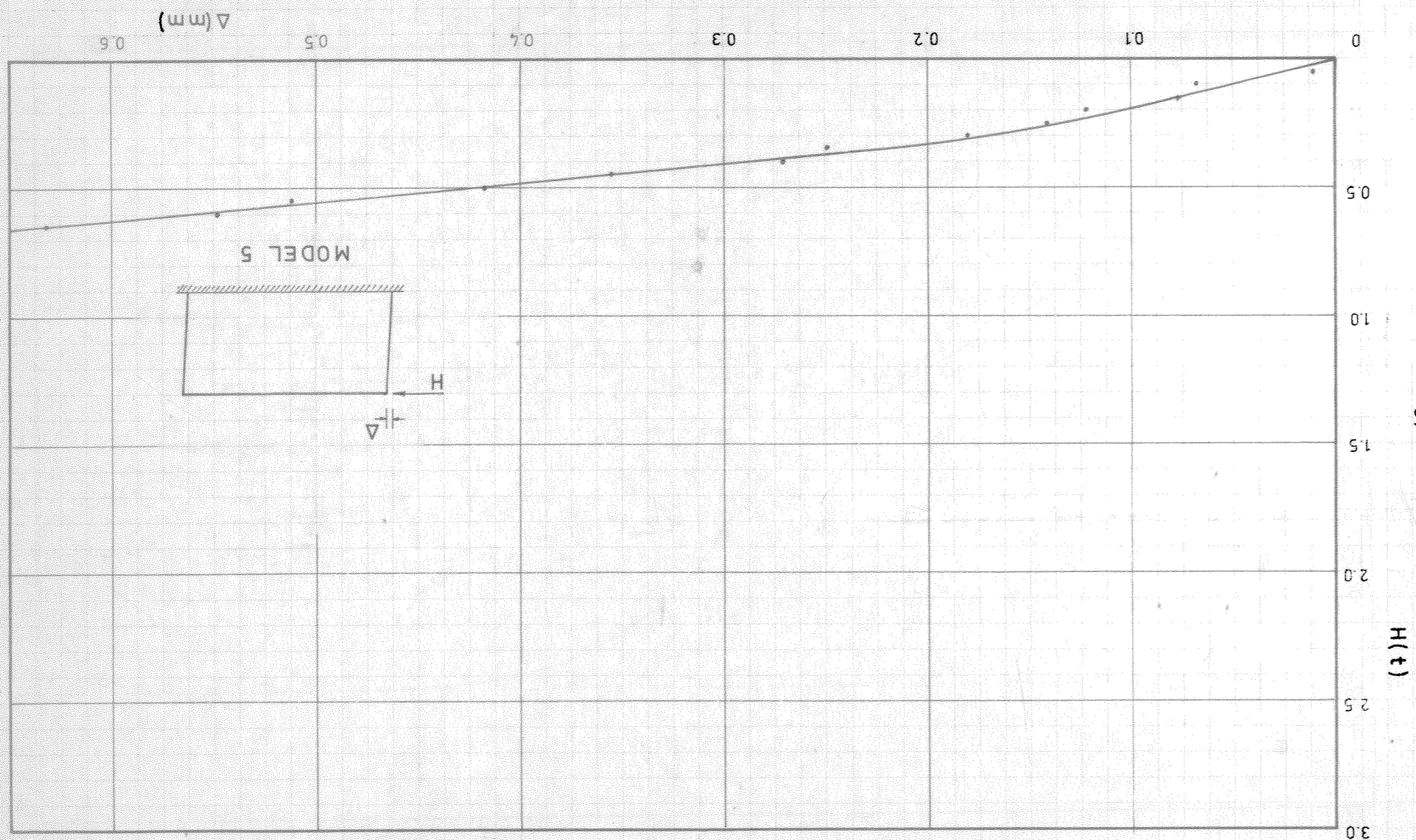




SEKIL 23 YÜK-YANAL DEPLASMAN EĞRİSİ

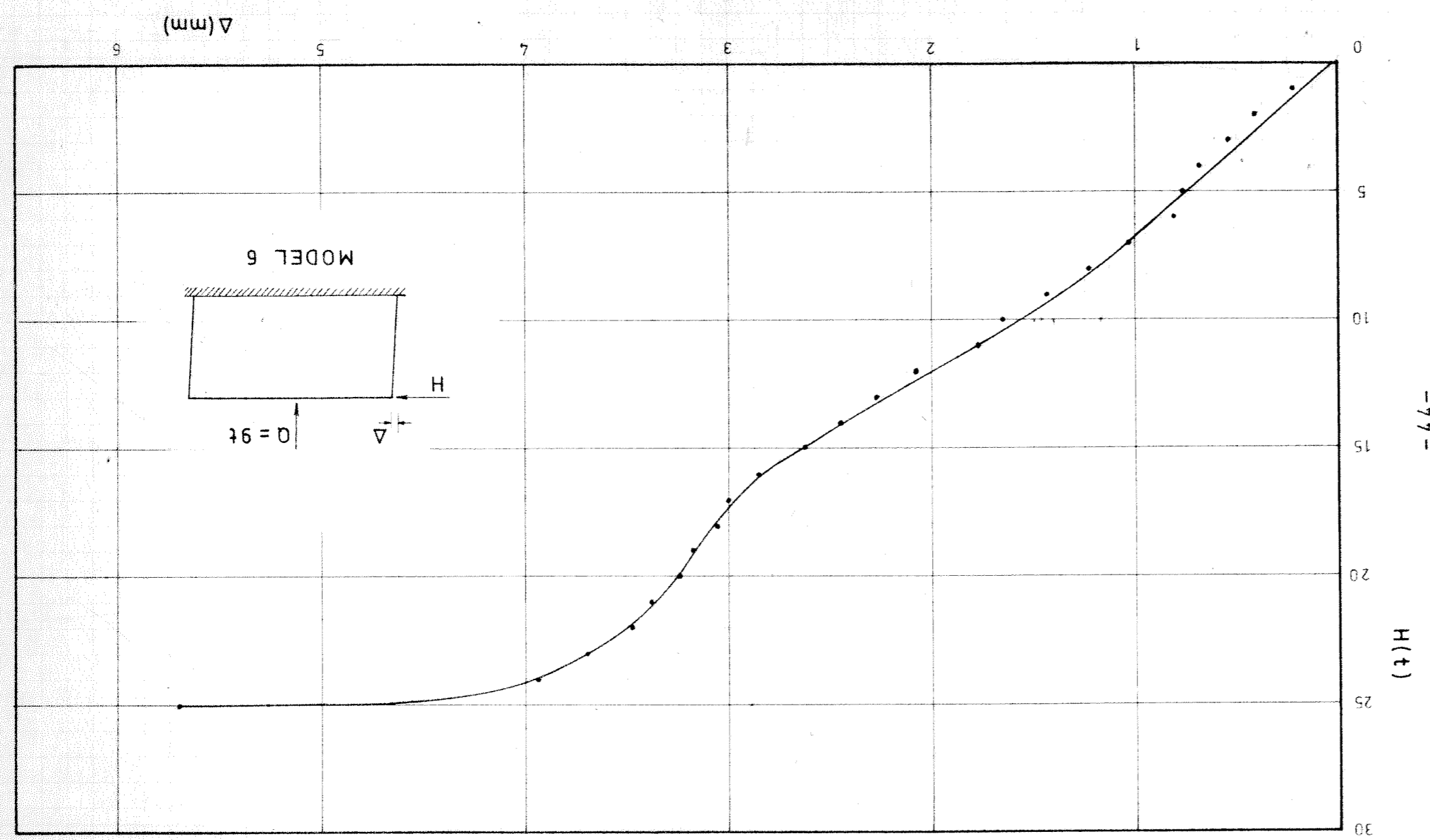


ŞEKİL 24 YÜK-YANAL DEPLASMAN EĞRİSİ





ŞEKİL 25 YÜK-YANAL DEPLASMAN EĞRİSİ



-77-

H(t)

$\Delta$  (mm)

MODEL 6

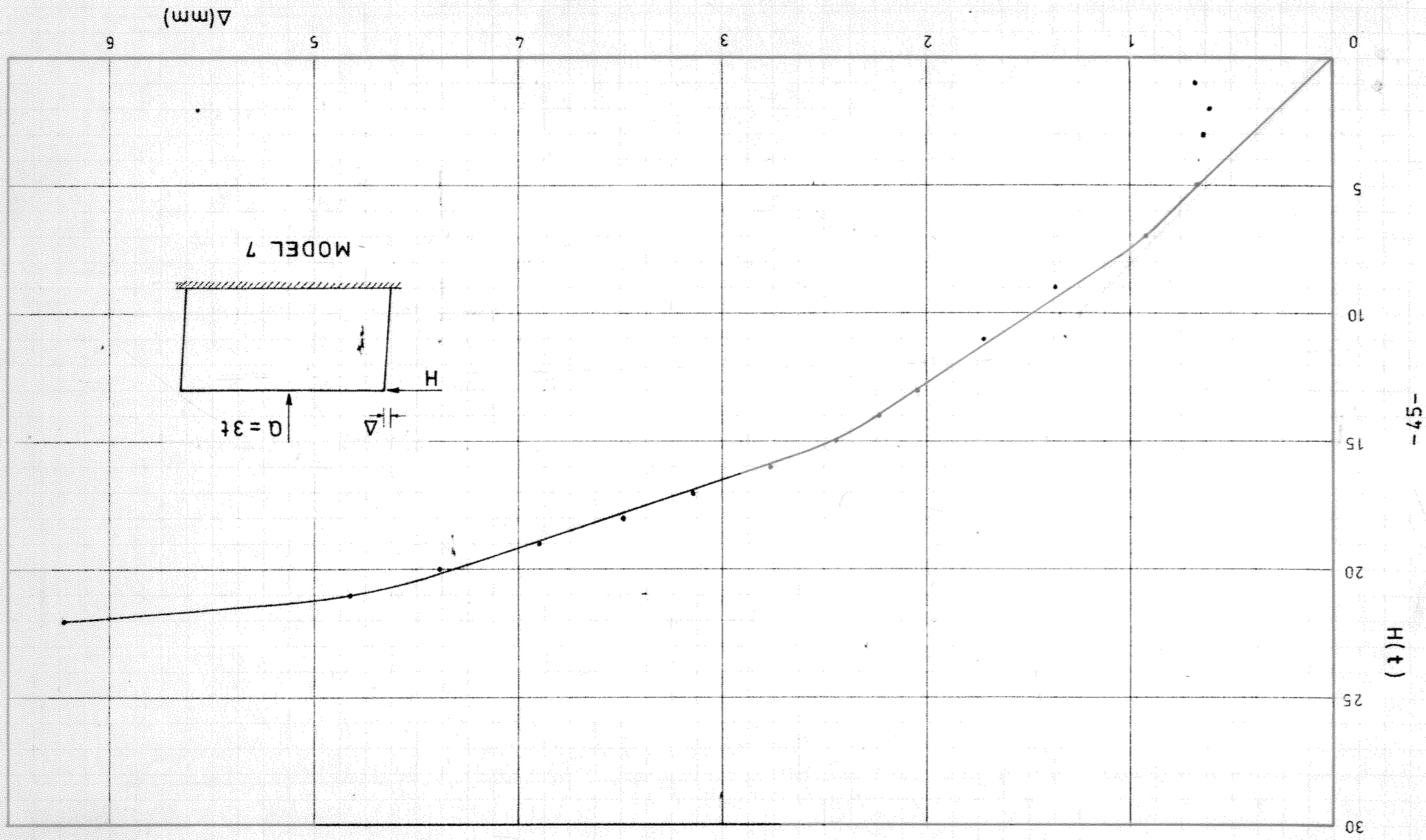
$Q=9t$

H

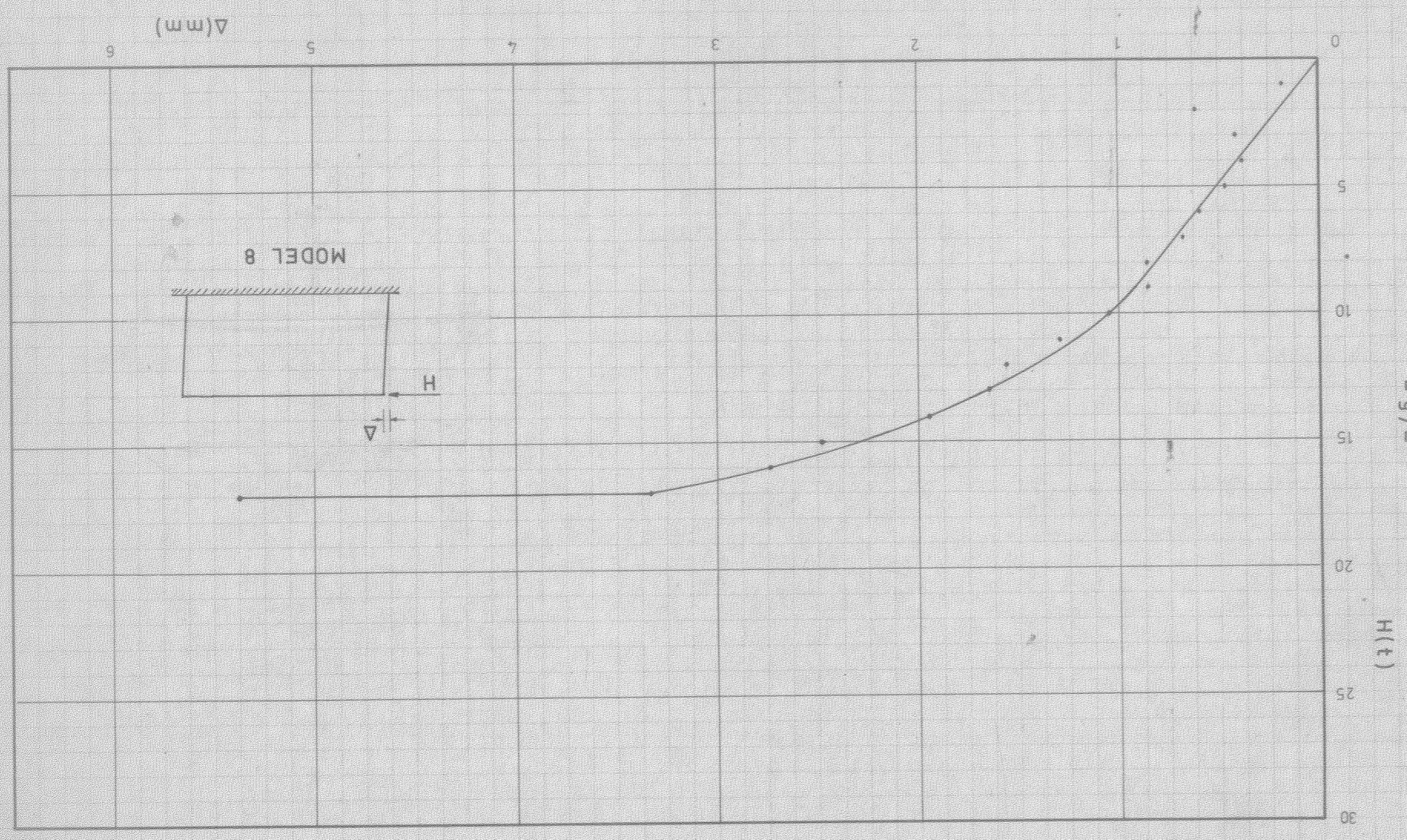
$\Delta$



ŞEKİL 26 YÜK-YANAL DEPLASMAN EĞRİSİ

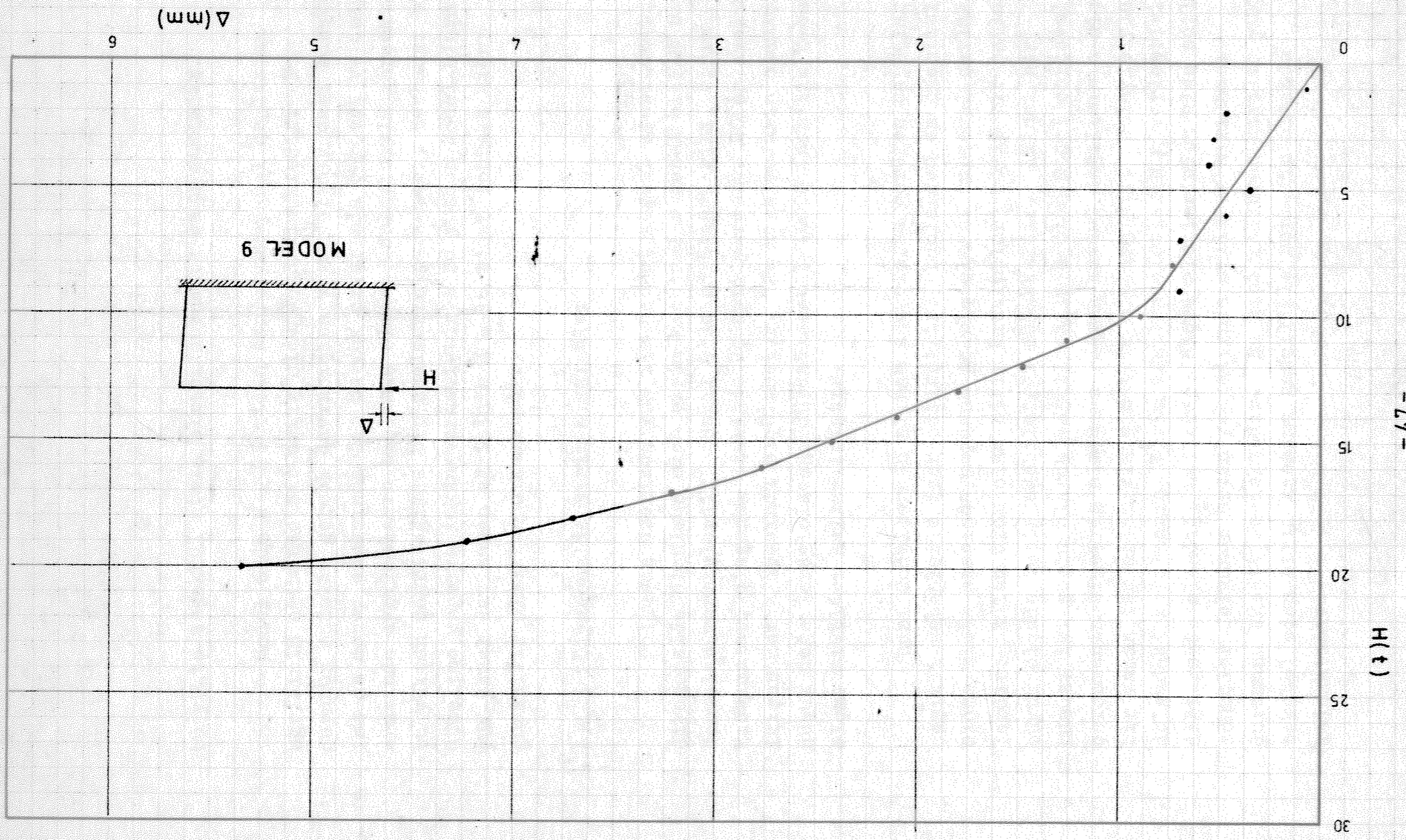








ŞEKİL 28 YÜK-VANAL DEPLASMAN EĞRİSİ





bu yükte teşekkül etmiş olması durumuna da uymaktadır.

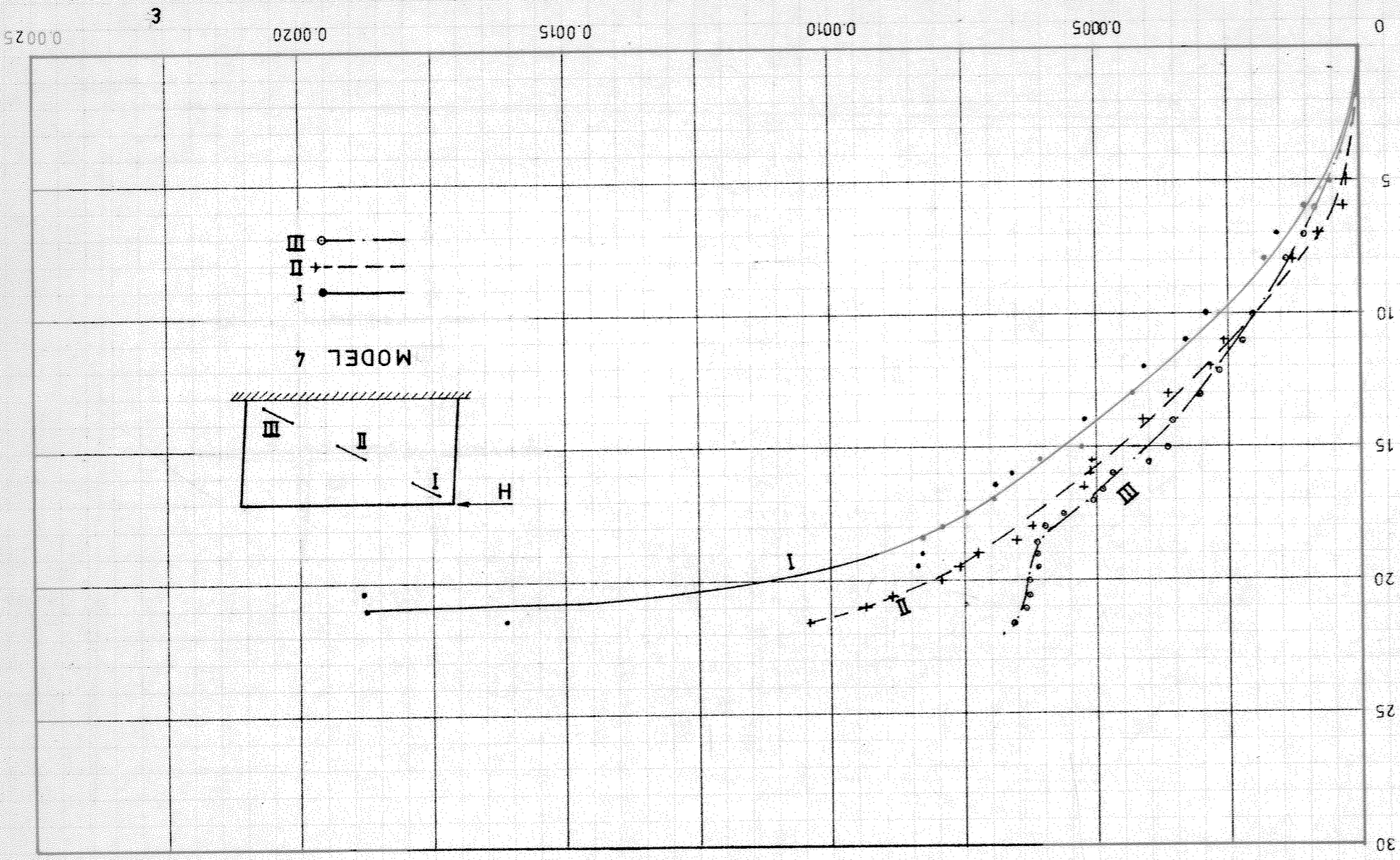
Model 6'da  $H = 16$  t'dan sonra yük-yanal deplasman eğrisinin eğiminde bir artış olduğu görülmektedir. Bu durumun modelin gerçek davranışına uygun olamayacağı muhakkak ise de deney esnasında tam bu yük civarında çerçeve ve dolgu arasında ayrılmaların başlamış olması, dolayısıyla gerçekte bu yükten sonra eğimde bir azalmanın gerekmesi, herhangi bir düzeltme yapmaya imkân vermemiştir. Bu yüzden Model 6'nın yük-yanal deplasman eğrisinin  $H = 16$  t'dan sonraki kısmı güvenilirdir olmaktan çıkmaktadır.

#### 4.1.3 Diagonalde Birim Kısaltmalar

Dolgunun üzerinde yük ile mesnet köşesi arasındaki diyagonalde ölçülmüş olan birim kısaltmalar genel olarak tutarlı sonuçlar vermişlerdir. Şekil 9'da görüldüğü gibi, birim kısaltmalar, diagonal üzerinde üç ayrı yerde ve 20 cm aralıktaki ikişer nokta arasında ölçülmüştür. Bu kısaltmaların oldukça düşük değerlerde olacağı düşünülerek 1/10000 inch'lik hassas ölçme aletleri kullanılmıştır.

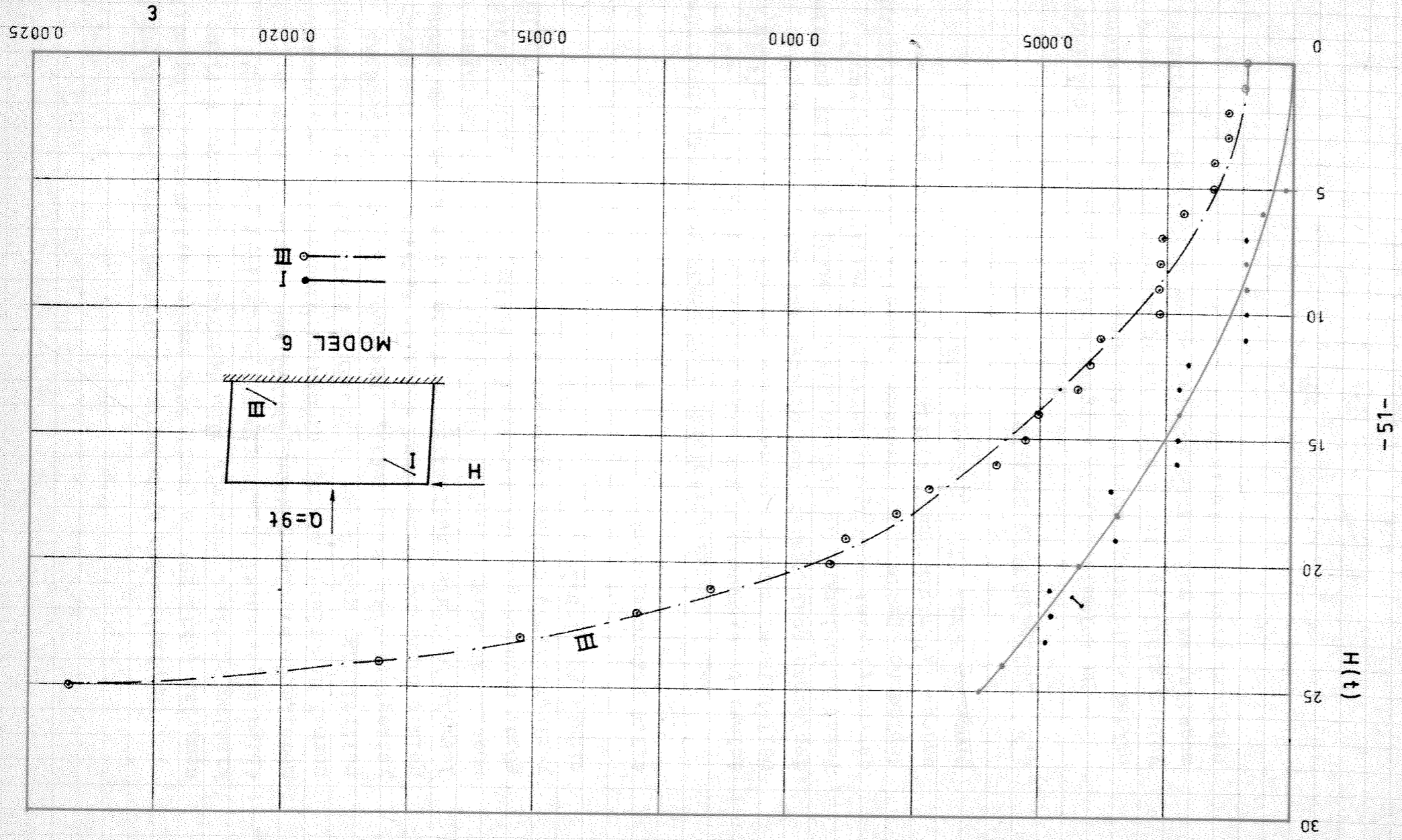
Bazı modellerden alınan sonuçlarda görülen sapmalar çeşitli sebeplerle izah edilebilir. Bunlardan en önemlisi iki ölçme aleti arasında meydana gelmiş olması muhtemel çatlaklardır. Zaten ufak olan birim kısaltmalara böyle bir çatlakın büyük ölçüde tesir edebileceği muhakkaktır. İkinci bir husus, iki gözlü olarak teşkil edilmiş olan model çerçevelerinde, çerçevenin simetrik olmasına rağmen kuvvet dağılımının hiç bir zaman tam anlamıyla simetrik olmadığıdır. Dolayısıyla dolgudaki kırılmanın, birim kısalma aletlerinin yerleştirildiği gözde olmadığı hallerde, ölçme aletlerinden elde edilen sonuçlar dolgunun artan yük altında ezilerek kırılması durumunu aksettirmemektedir. Bu gibi hallerde kırılma yüküne tekabül eden birim kısalma genellikle normalin altında kalmaktadır.







SEKİL 31 YÜK(H)-DİYAGONAL BOYUNCA BİRİM KISALMA (ε) EĞRİSİ



Birim kısalma ölçmelerinden elde edilmiş olan bazı tipik sonuçlar Şekil 29'dan Şekil 32'e kadar verilmiştir. Yük-birim kısalma eğrileri verilmiş olan modellerin hepsinde, kırılma dolgu köşesindeki kırılmayla meydana gelmiş ise de, bazı modellerde kırılma yüküne tekabül eden birim kısalmanın normal değerlerin altında olduğu görülmektedir. Bu, yukarıda belirtildiği gibi dolgu ezilmesinin birim kısalma aletlerinin yerleştirildiği gözde değil, diğer gözdeki dolguda meydana gelmiş olmasındandır. Buna karşılık eğriler model fotoğraf-larıyla birlikte incelenirse en fazla birim kısalmanın bütün modellerde dolgu ezilmesi olan köşede veya ezilmenin diğer gözde meydana geldiği durumlarda, ezilme olan köşenin aletlerin yerleştirilmiş olduğu dolgudaki simetriği olan köşede ölçülmüş olduğu görülebilir.

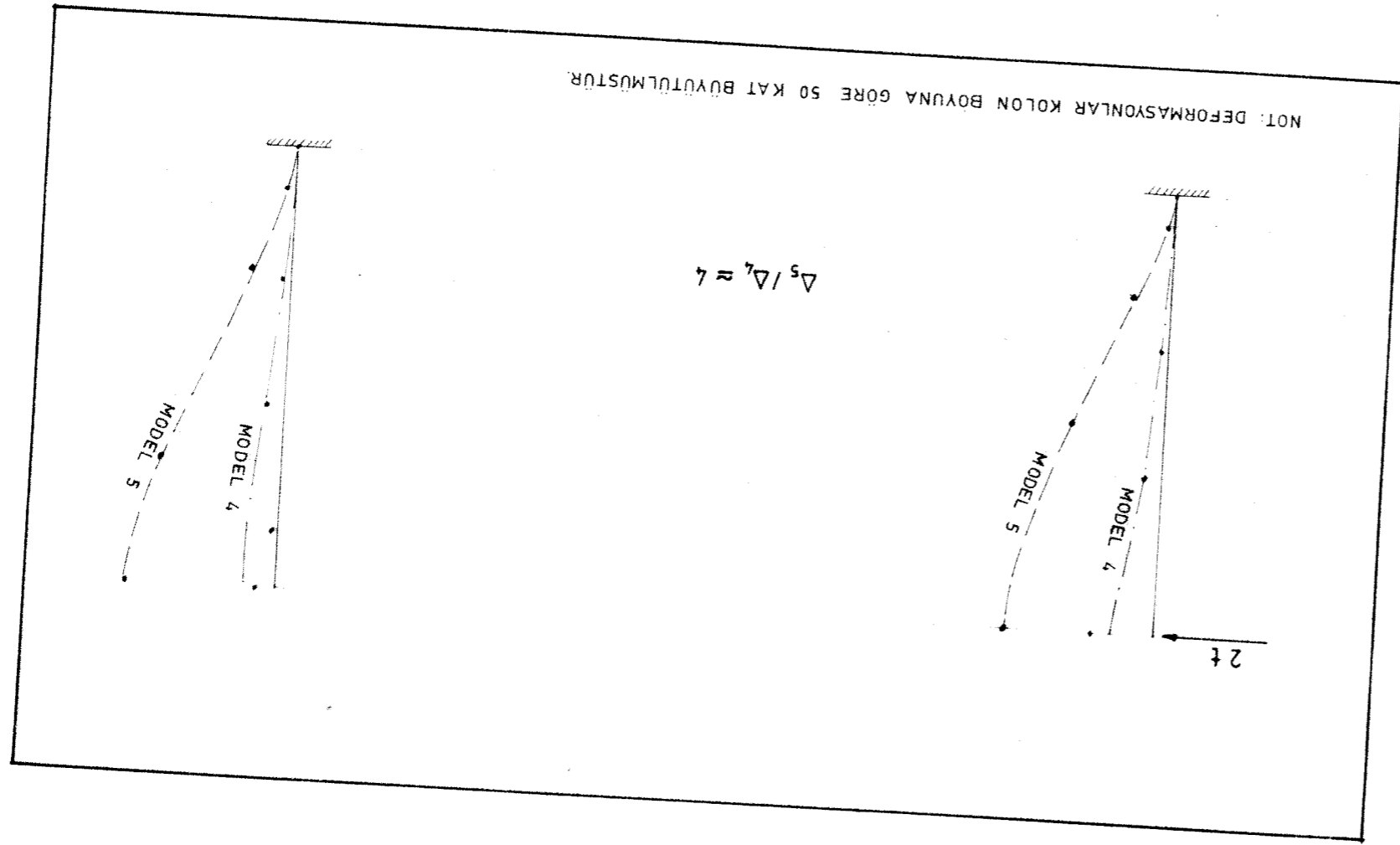
#### 4.1.4 Deformasyonlar

Genel olarak kirişlerde deplasmanların küçük olmasından dolayı bu elemanların yük altında aldığı şekillerin tespit edilebilmesi mümkün olamamıştır. Kolonlara yerleştirilmiş deplasman göstergeleri ise oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Fakat kolonların yük altında deforme olmuş şekilleri modellerin davranışlarını açıklaması bakımından çerçevenin yük-yanal deplasman eğrilerinin ötesinde, ilâve bir bilgi veremediğinden sadece iki tipik örnek verilmesi yoluna gidilmiştir. Bu örnekler Şekil 33'de görülmektedir.

#### 4.2 DEĞİŞKENLERİN ETKİLERİ

Bu bölümde dolgulu çerçevelerin davranışları üzerinde etkisi olabileceği düşünülerek, deneyler esnasında incelenmesi yoluna gidilmiş olan çeşitli değişkenlerin dolgulu çerçeve modellerinin yük taşıma kapasitesi ve rijiditesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

SEKIL 33 KOLON DEFORMASYONLARI





#### 4.2.1 GENEL

Bölüm 1.3'te bu araştırmanın amacı ve kapsamı tarif edilirken dolgu çerçevelerin yük taşıma kapasitesi ve rijiditesi üzerinde birinci derecede etkili olabileceği düşünülmüş ve proje içinde incelenilmesine karar verilmiş olan değişkenler şu şekilde belirtilmişti :

- (i) Çerçeve açıklığının çerçeve yüksekliğine oranı  $L_b/L_c$
- (ii) Kiriş rijiditesinin kolon rijiditesine oranı  $K_b/K_c$
- (iii) Dolgu kalınlığı , t
- (iv) Dolgu ile çerçeve arasındaki aderans durumu
- (v) Çerçeveye etki eden yatay yükün düşey yüke oranı H/Q

Projenin imkânları dahilinde deney yapılabilecek model sayısının sınırlı oluşu yukarıda (i) numaralı değişken olarak belirtilmiş olan çerçeve açıklığının çerçeve yüksekliğine oranı  $L_b/L_c$ 'nin incelenebilmesini imkânsız kılmıştır. Buna karşılık, Bölüm 2.1'de belirtilmiş olduğu gibi, bu değişkenin ihmalini bir dereceye kadar telafi etmek amacıyla pratikte en çok rastlanan betonarme çerçeve tipi olarak  $L_b/L_c$  oranının 2 olduğu bir çerçeve prototip olarak seçilmiştir. Bununla beraber, herne kadar bu araştırma sonucu elde edilecek sonuçların, model boyutlarının pratikte rastlanan oranlarda tutulmuş olmasından dolayı, bu oranlar civarındaki çerçevelere teşmil edilebileceği önerilebilirse de, bu genellenenin daha sıhhatli olarak yapılabilmesi için  $L_b/L_c$  oranının dolgu çerçeve davranışları üzerindeki etkilerinin de ayrıca incelenmesi gerekmektedir.

Değişkenler listesinde (iii) numaralı değişken olarak verilmiş olan dolgu kalınlığı t'nin dolgulu çerçevelerin yük taşıma kapasitesi ve rijiditesine etkisi iki adet model diğerlerinden değişik dolgu kalınlığı ile imal edilmiş olduğu halde gereğince incelenenmiştir. Buna sebep dolgu kalınlığı 5 cm olan ilk iki modelden - Model 1 ve Model 2 den - yeterli bilginin elde edilememiş olmasındandır. Daha önce izah edilmiş sebeplerden dolayı Model 1 den hiç bir tutarlı bilgi alınamamış, Model 2'den ise fazla sığışıklı olmayan bir yük-yanal deplasman eğrisi elde edilebilmiştir. Dolayısıyla, dolgu kalınlığının etkilerinin incelenebilmesi imkânı son derece sınırlanmış olmaktadır. Yine de Model 2'den alınan sonuçların geliştirilecek hesap metoduna yararlılığı incelenecektir.

Diğer değişkenlerin tesirleri aşağıda teker teker incelenmiştir. Her değişkenin incelenmesinde diğer bütün parametrelerin aynı olduğu modeller eş olarak seçilmiştir. Bu değişkenlerin tesirlerinin araştırılmasına geçilmeden önce belirtildiğinde yarar olan bir husus, modellerde kullanılmış olan betonun kırılma mukavemetinin model yük taşıma kapasitesine ve rijiditesine olan etkisidir. Modellerin imali sırasında değişik kalitede kum ve agrega kullanılmış olması beton kırılma mukavemetinin gerek modeller arasında, gerekse bir modeldeki çerçeve ve dolgu betonlarında değişik değerler göstermesine sebep olmuştur. Bununla beraber dolgulu çerçevelerin kırılmasında beton mukavemetinin rolü tam anlamıyla anlaşılacağından deney sonuçlarında değişik beton mukavemetlerine göre bir düzeltme yapılması mümkün olamamıştır.

#### 4.2.2 Dolgunun Çerçeve Üzerinde Etkisi

Dolgunun çerçevenin yük taşıma kapasitesi ve rijiditesi üzerindeki etkisinin deneysel olarak görülebilmesi için, daha önce de belirtildiği gibi, Model 5 dolgusuz olarak teşkil edilmiştir. Dolgusuz modelin esas olarak diğer parametrelerin

İdugu Model 3 ve Model 4 ile karşılaştırılması mümkün  
Tablo 2'de Model 5 kırılma yatağı yükü, kırılma yanal  
deplasmanı ve elastik sınırlardaki yanal rijiditesi diğer  
bütün modellerinki ile karşılaştırılmıştır.

Bu tablodan görülebileceği üzere, Model 5'in Model 3 ve  
Model 4 ile karşılaştırılması, dolgunun yatay kırılma yükünü  
%500-700 oranında arttırdığı, buna karşılık kırılma anındaki  
yanal deplasmanı %70 azalttığı sonucunu ortaya koymaktadır.  
Aynı şekilde dolgunun mevcudiyeti, çerçevelerin elastik sınırlar  
içerisindeki yanal rijiditesini %500-600 oranında, ilk  
çatlama yatay yükünü veya başka bir deyimle elastik bölgenin  
sınırını tayin eden yatay yükü, dolgunsuz çerçeveninkine oranla  
30 katına çıkarmaktadır.

Karşılaştırmanın içine başka değişkenlerin de girmesi  
icap ettiği halde bunlar ihmal edilerek dolgunsuz çerçeve  
Model 5 diğer bütün modellerle kıyaslanırsa, kabaca, dolgunun  
yatay yük taşıma kapasitesini %700 oranında arttırdığı ve  
yanal deplasmanı %65 oranında azalttığı  
görülmektedir.

### 3.3 $K_b/K_c$ Oranının Çerçeve Üzerinde Etkisi

Kiriş rijiditesinin kolon rijiditesine oranının dolgu  
çerçevelerin yük taşıma kapasitesi ve yanal rijiditesi üzerindeki  
etkisinin incelenebilmesi için  $K_b/K_c$  oranı dışında diğer  
değişkenlerin bir farklılık göstermediği Model 3 - Model 8 ve  
Model 4 - Model 9 çiftlerinin yatay yük-yanal deplasman eğrileri  
Şekil 34 ve Şekil 35'de verilmiştir.

Gerek çerçeve ile dolgu arasında aderans bulunmayan  
Model 3-Model 8 çiftinde, gerekse aderansın sağlanmış olduğu  
Model 4-Model 9 çiftinde,  $K_b/K_c = 2$  ile  $K_b/K_c = 4$  oranlarına  
sahip bulunan modeller arasında yatay yük-yanal deplasman  
eğrileri açısından oldukça yakın bir uyuma olduğu görülmektedir.



TABLO 2 DOLGUNUN GERÇEVE ÜZERİNDE ETKİSİ

MODEL NO	KIRILMA YÜKÜ HK (t)	KIRILMA YANAL DEPLASMAN ΔK (mm)	ELASTİK YANAL DEPLASMAN RÜJİDİTE He/Δe (t)	ELASTİK YANAL DEPLASMAN RÜJİDİTE He/Δe (mm)	ELASTİK YANAL DEPLASMAN RÜJİDİTE He/Δe (t/mm)	$\frac{H_K}{H_{eS}}$	$\frac{\Delta K}{\Delta K_S}$	$\frac{H_e}{H_{eS}}$	$\frac{\Delta e}{\Delta e_S}$	$\frac{H_e/\Delta e}{H_{eS}/\Delta e_S}$
2	26.25	3.144	15.00	1.014	14.79	10.29	0.21	60.00	7.19	8.36
3	17.00	3.970	6.00	0.510	11.76	6.67	0.27	24.00	3.62	6.64
4	22.00	5.361	10.00	0.910	10.99	8.63	0.36	40.00	6.45	6.21
5	25.5	14.703	0.250	0.141	1.77	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6	25.00	5.696	7.00	1.031	6.79	9.80	0.39	28.00	7.31	3.84
7	22.00	6.236	7.00	0.920	7.61	8.63	0.42	28.00	6.52	4.30
8	17.00	3.426	10.00	1.051	9.51	6.67	0.23	40.00	7.45	5.37
9	20.00	5.351	10.00	0.900	11.11	7.84	0.36	40.00	6.38	6.28

MODEL 5 İLE KARŞILAŞTIRMA



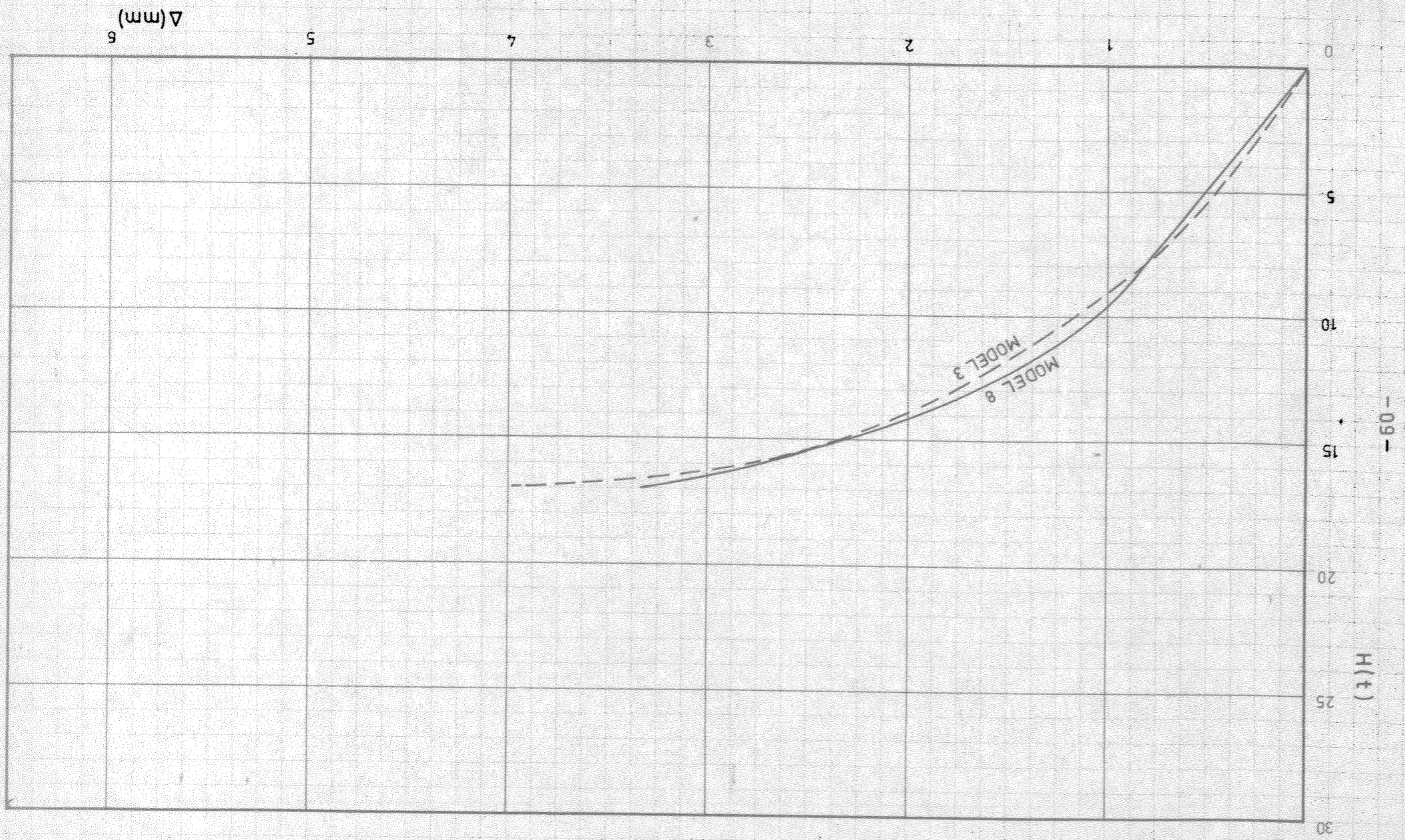
Ozellikle aderanslı modellerde (Şekil 35) çatlaksız bölgedeki yük-yanal deplasman eğrilerinin tamamen çakışması, bu bölgede dolgunun dolgulu çerçeve davranışlarını kontrol eden faktör olduğunu çerçevenin yanal rijidite üzerinde ancak ikinci derecede bir rol oynamakta olduğunu göstermektedir.

Aderanslı modellerde ilk çatlaklardan sonra  $K_b/K_c = 4$  oranına sahip, dolayısıyla kolonları daha narin olan Model 9'un Model 4'e oranla daha esnek olduğu görülmektedir. Bununla beraber, bu sonuçtan herhangi bir genellemeye gitmek için elde yeterli bilgi mevcut değildir. Nitekim aderanssız çerçevelerde çatlamaadan sonra bir farklılık görülmediği gibi, aderanslı çerçevelerdeki yukarda belirtilen durum Model 4 ve Model 9'daki beton kırılma mukavemetlerinin eşit olmasından da meydana gelmiş olabilir. Burada belirtilmesinde yarar olan ikinci bir hususta Model 9'un çatlak teşekkülünden sonra daha esnek bir davranış göstermiş olmasına rağmen, kırılma anındaki yanal deplasmanın, kolonları daha rijit olan Model 4 ünkine eşit olmasıdır. Bundan çıkartılabilecek sonuç ise çatlak teşekkülünden sonra da dolgunun, yanal rijiditeyi kontrol eden bir numaralı faktör olmakta devam ettiğidir.

Yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılmasında aderanssız çerçevelerin eşit yatay yükler altında kırılmış oldukları görülmektedir. Aderanslı çerçevelerin mukayesesinde Model 4'te %10 luk bir yük kapasitesi artışı görülmekte ise de bu küçük artış farklı beton kırılma mukavemetlerinden aogmuş olabileceğinden, bu durumu kiriş-kolon rijidite oranının bir etkisi olarak kabul etmek doğru değildir.

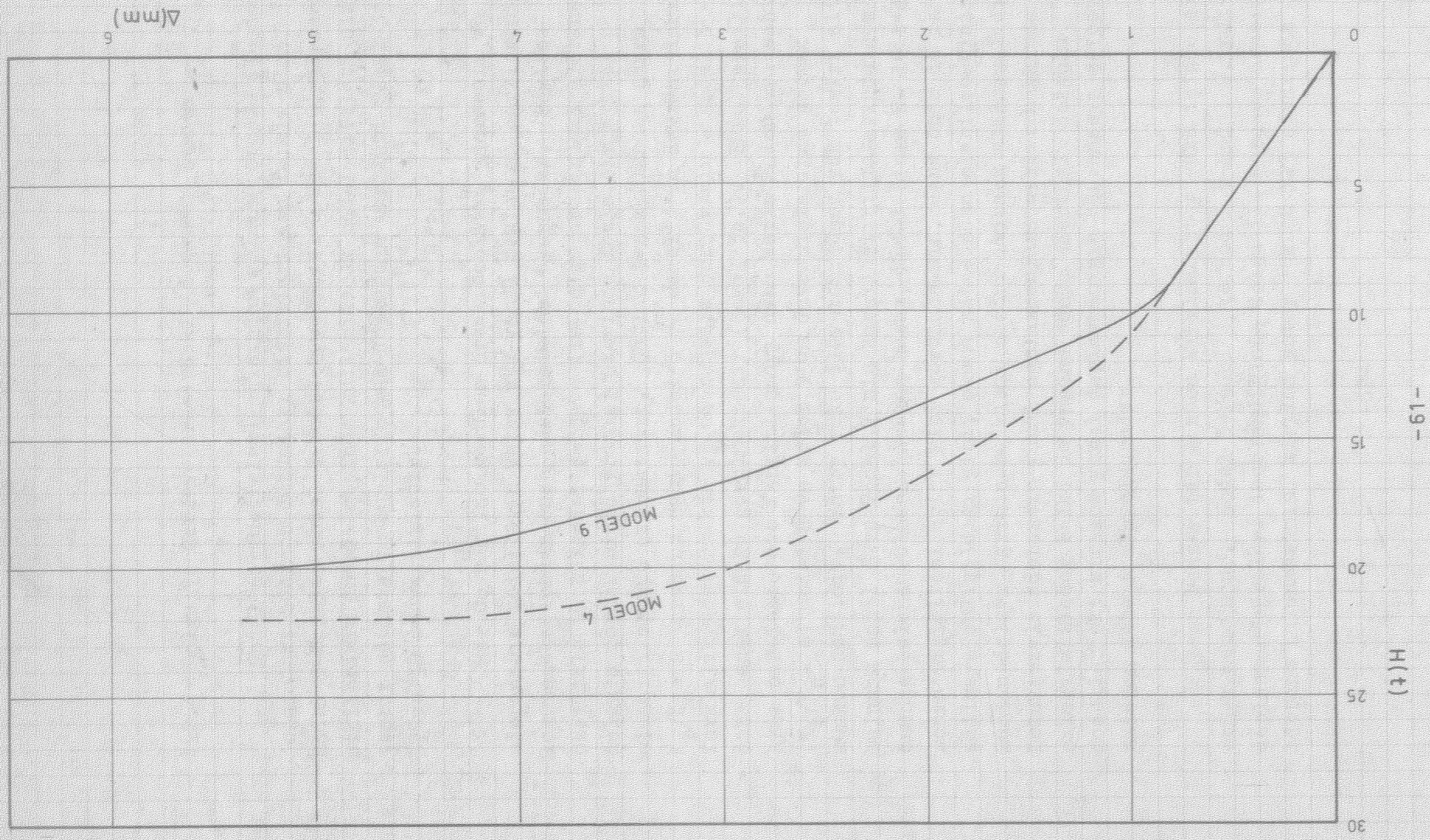
Sonuç olarak çerçeve ve dolgu boyutlarının bu oranları içerisinde, dolgulu çerçevelerin yatay yükler altındaki davranışlarını etkileyen faktörlerden dolgunun, kiriş rijiditesinin kolon rijiditesine oranına kıyasla çok daha önemli bir rol oynadığı ve dolayısıyla  $K_b/K_c$  oranını ikinci plâna ittiği söylenebilir.

SEKIL 34 K<sub>p</sub>/K<sub>c</sub> ORANININ DOLGULU CERÇEVE ÜZERİNDE ETKİSİ





SEKIL 35  $K_p / K_c$  ORANININ DOLGULU GERÇEVE ÜZERİNDE ETKİSİ





#### 4.2.4 Dolgu ve Çerçeve Arasındaki Adersansın Etkisi

Model parametreleri açısından yalnız çerçeve ile dolgu arasındaki adersans durumları birbirlerinden farklı olan Model 3-Model 4, Model 6-Model 7 ve Model 8-Model 9, adersans etkilerinin incelenmesinde kullanılacak model çiftleri olarak tesbit edilmiş ve bunların yük-deplasman eğrileri Şekil 36, 37 ve 38 de verilmiştir.

Her üç şekilde görülen ortak özellik, adersanlı ve adersansız modellerin yatay yük-yanal deplasman eğrilerinin çatlak teşekkülünden önce gösterdikleri uyuşmadır. Böylece özellikle bu bölgede, çerçeve ile dolgu arasındaki adersansın dolgulu çerçevenin davranışı üzerinde fazla bir etkisi olmadığı ortaya çıkmaktadır. Çatlak teşekkülünden sonra  $K_b/K_c = 2$  oranına sahip Model 3 ve Model 4'ün davranışları farklılık göstermekte ve adersansız çerçevenin - Model 3 - daha esnek olduğu görülmektedir (Şekil 36.). Buna karşılık aynı paralelde bir farklılaşmayı daha narin kolonlara sahip ( $K_b/K_c = 4$ ) Model 8 ve Model 9'un davranışlarında görmek mümkün değildir. Yatay yüke ilâveten düşey yük tesiri altında bulunan Model 6 ve Model 7'nin karşılaştırılmalarında göz önünde bulundurulması gereken husus, Model 6'nın H= 16 t'dan sonra rijiditesi artar gibi görünmesinin, daha önce de izah edilmeye çalışıldığı gibi, okuma hatasından olabileceğidir. Bundan dolayı eğrinin bu kısmı nazarı itibara alınmamalıdır. Dolayısıyla adersansın yanal deplasmanlara etkisi hakkında çıkarılabilecek belki de yegâne sonuç adersanlı dolgulu modellerdeki kırılma yanal deplasmanının adersansız çerçevelere nazaran daha fazla olduğudur.

Buna benzer bir sonucu kırılma yatay yükü içinde elde etmek mümkündür. Model 3-Model 4 ve Model 8-Model 9, yük-yanal deplasman eğrileri incelendiğinde dolgu ile çerçeve arasında adersans bulunmasının, kırılma yatay yükünü %23 civarında

arttırdığı görülmektedir. Herne kadar bu artış Model 6 ve Model 7'de görülmemekte ise de bunda daha önce de belirtilmiş olduğu gibi Model 7'ye düşey yük olarak  $Q=3$  t tatbik edilmiş olmasına karşılık, bir hata sonucu Model 6'da bu yükün  $Q=9$  t olarak verilmiş olmasının büyük rolü vardır.

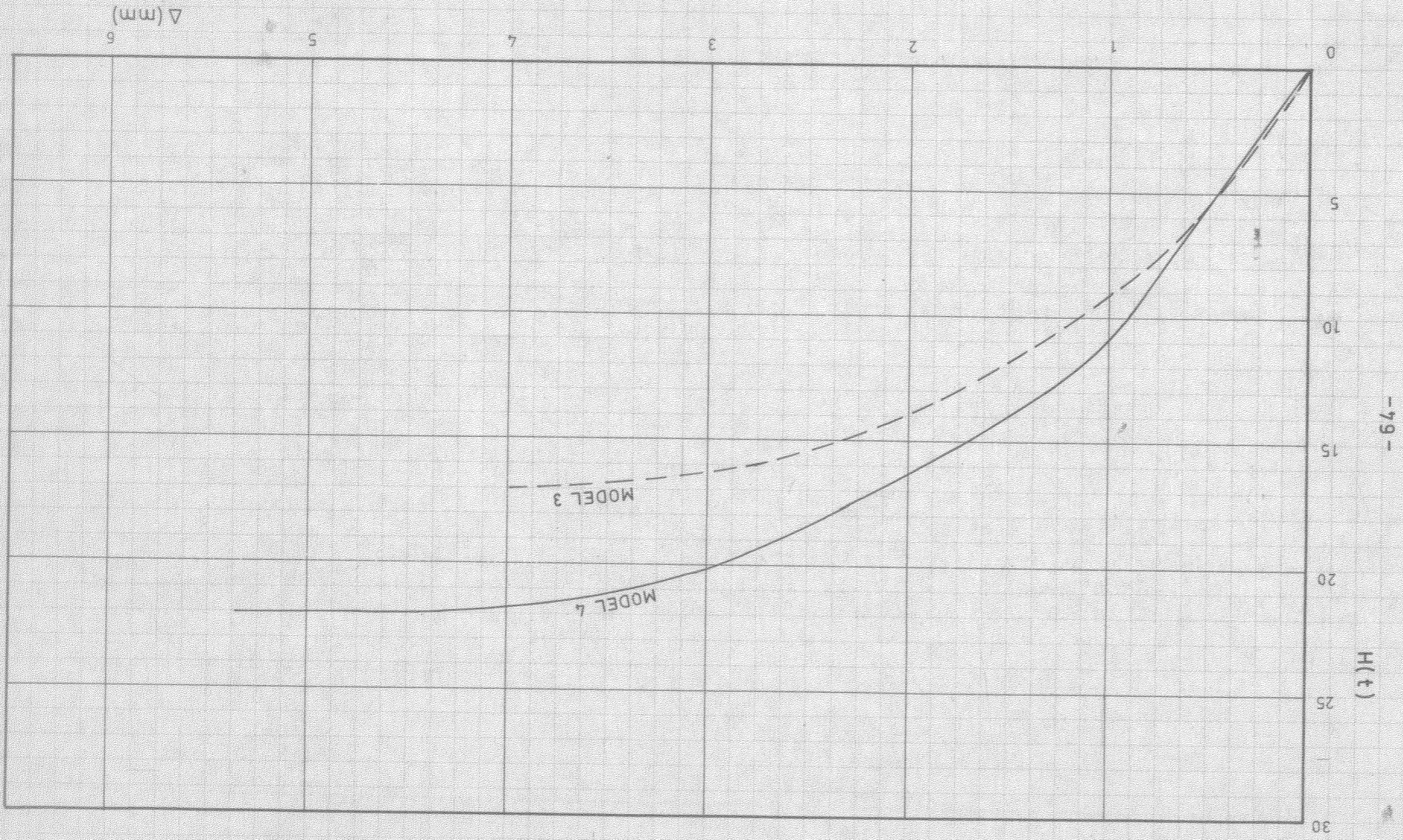
Sonuç olarak normal şartlar dahilinde çerçeve ile dolgu arasında aderans sağlanmasının çok önemli bir husus olmaya çağı ortaya çıkmaktadır. Özellikle dolgunun çerçeve betonu ile birlikte dökülmeyeceği veya çerçevenin sonradan dolgulu çerçeve şekline sokulmasının düşünüldüğü durumlarda çerçeve ve dolgu arasında aderans temin etmenin güçlükleri göz önünde bulundurulursa, aderanstan vazgeçmenin teşkil edilecek dolgulu çerçevenin mukavemetini önemli bir ölçüde azaltıyacağına bilinmesi yapı tekniğinde önemli kolaylıklar ve ekonomî sağlayacaktır. Herne kadar, deney sonuçlarına bakarak aderansın yatay yük taşıma kapasitesinde %23'lük bir artış sağladığı ileri sürülebilirse de, aderanssız dolgunun çerçeveye kazandırdığı çok büyük yatay yük kapasitesi artışı düşünülürse, %23'lük ilâve bir kapasite artışının mutlak artış olarak öneminin kaybedeceği söylenebilir.

#### 4.2.5 Düşey Yükün Çerçeve Üzerinde Etkisi

Tatbik edilen yatay yüke ilâveten üzerlerinde sabit değerde bir düşey yük bulunan Model 6 ve Model 7, düşey yükün çerçeve davranışlarına etkisini inceleyebilmek için üzerlerinde düşey yük bulunmayan ve aynı çerçeve ve dolgu özelliklerine sahip Model 3 ve Model 4 ile karşılaştırılmış ve bunların yatay yük-yanal deplasman eğrileri aderanssız ve aderanslı çerçeveler olmak üzere iki çift halinde Şekil 39 ve Şekil 40'da verilmiştir. Daha önce de belirtilmiş olduğu gibi, böyle bir karşılaştırmanın doğru olarak yapılabilmesi için Model 6 ve Model 7'de eşit düşey yüklerin tatbik edilmiş olması gerektiği halde, yalnız Model 7'de karşılaştırıldığı şekilde  $Q=3$  t tatbik edilebilmiş, buna karşılık Model 6 bir

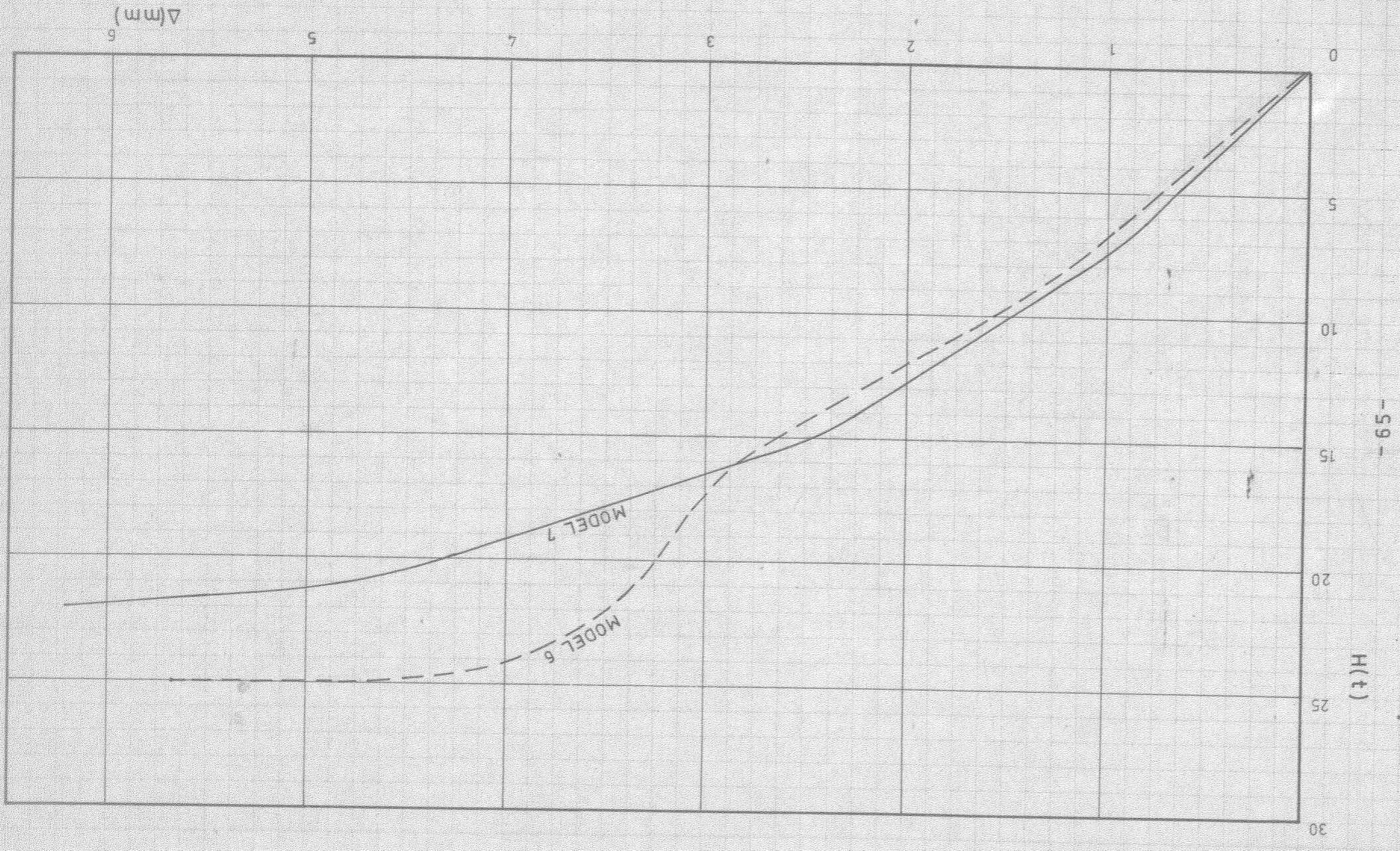


SEKIL 36 CERCEVE ILE DOLGU ARASINDAKI ADERANSIN DOLGULU CERCEVE ÜZERİNDE ETKİSİ

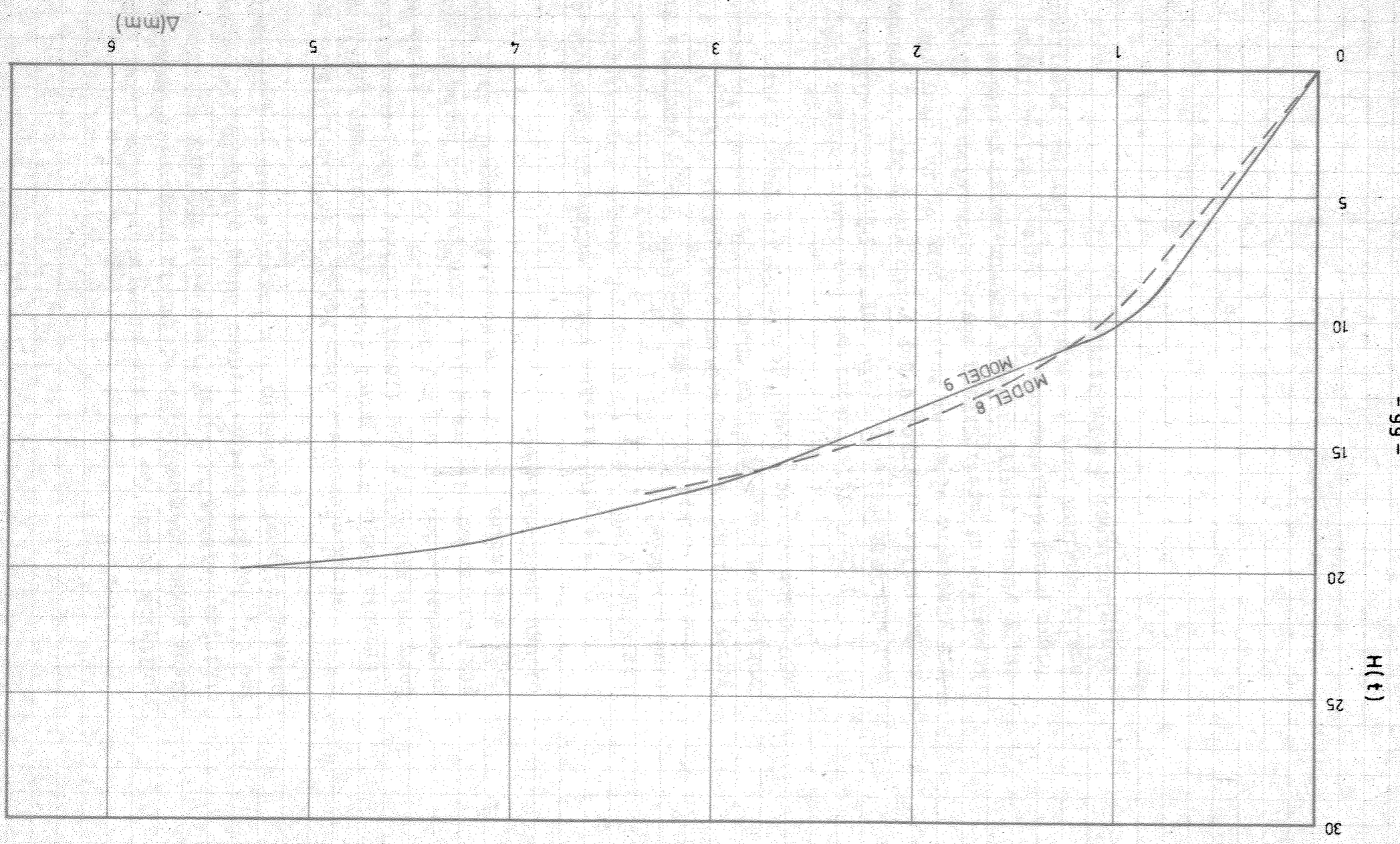




SEKİL 37 CERÇEVE İLE DOLGU ARASINDAKİ ADERANSIN DOLGULU CERÇEVE ÜZERİNDE ETKİSİ



ŞEKİL 38 CERÇEVE İLE DOLGU ARASINDAKİ ADERANSIN DOLGULU CERÇEVE ÜZERİNDE ETKİSİ





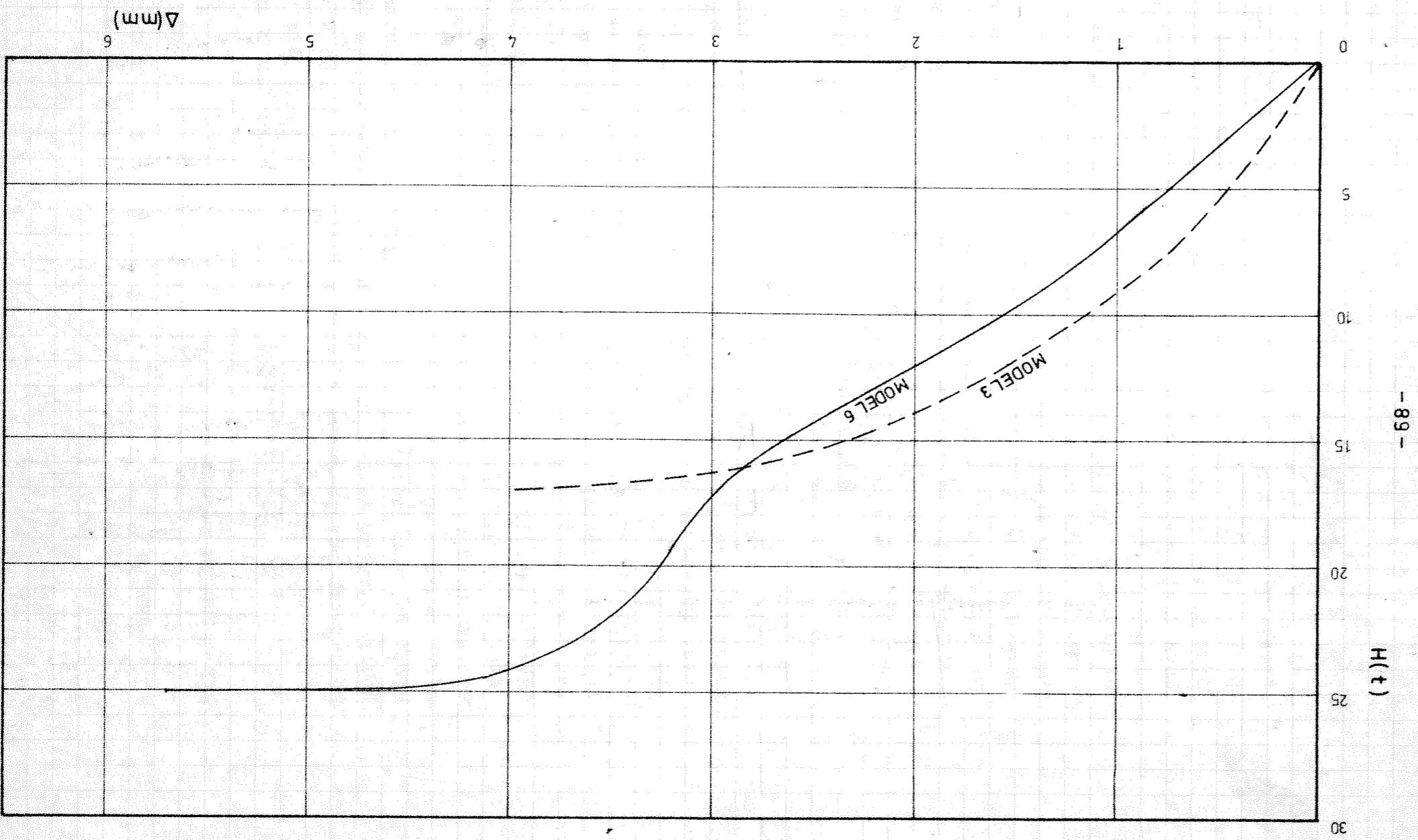
yanlılık sonucu  $Q=9$  t ile yüklenmiştir. Bu durum hernekadar düşey yükün aderanssız ve aderanslı çerçeveler üzerindeki etkisinin sınırlı olarak mukayesesi imkânını sınırlanmış ise de, değişik mertebelerdeki düşey yüklerin etkilerinin incelenebilmesi olanaklarını bir bakıma sağlamış olmaktadır.

Gerek aderanssız olan Model 3 ve Model 6'nın, gerekse aderanslı Model 4 ve Model 7'nin yük-deplasman eğrileri çerçevelerin düşey yük ilavesi halinde daha esnek bir davranış gösterdiklerini ortaya koymaktadır. Ayrıca üzerinde düşey yük bulunan Model 6 ve Model 7'nin kırılma anındaki yanar deplasmanlarının Model 3 ve Model 4'e kıyasla daha büyük olduğu görülmektedir.

$Q=3$  t gibi kırılma yatay yüküne oranla küçük olan bir düşey yükün çerçeve yatay yük taşıma kapasitesine etkili olmadığı Model 4 ve Model 7'nin karşılaştırılmasından anlaşıl-  
maktadır. (Şekil 40). Buna karşılık düşey yükün  $Q=9$  t gibi yatay kırılma yükünün %40'ına yaklaştığı Model 6'da yatay yük taşıma kapasitesinin düşey yüksüz Model 3'e oranla %50 kadar artmış olduğu görülmektedir (Şek. 39).

Dolayısıyla yukarıdaki sonuçlara bakarak düşey yükün, dolgu çerçevelerin yatay yük altındaki esnekliğini arttırdığı söylenebilir. Ayrıca düşey yükün yatay kırılma yükünün önemli bir yüzdesine ulaşması halinde çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini arttırdığını söylemek mümkündür. Tabii ki düşey yükün, yatay kırılma yükünün hangi yüzdelisinde ve daha başka hangi değişkenlere bağlı olarak optimum fayda sağlanacağını tesbit edilebilmesi için bu araştırmanın genişletilmesi gerekmektedir.

ŞEKİL 39 DÜŞEY YÜKÜN DOLGULU CERÇEVE ÜZERİNDE ETKİSİ



- 89 -

H(t)

$\Delta$ (mm)

## 5. ANALİZ

### 5.1 Analiz Metodu

1.1 ve 1.2 bölümlerinde dolgulu çerçevelerin analizi için çeşitli metodların denenmiş olduğu belirtilmişti. Bu metodların içinde tamamen ampirik olanlar bulunduğu gibi pratik olmayan ve yorucu, tamamen teorik metodlar da yer almış bulunmaktadır. Teorik metodlar da probleme bakış açısı bakımından kendi aralarında büyük farklılıklar göstermektedirler. Fakat birbirinden çok değişik olan bütün bu metodların belki de en göze batan ortak tarafları değişik özellikler gösteren dolgulu çerçeveler için genel bir çözüm verememiş olmalarıdır. Bazı araştırmacılar uzun ve karışık teorik metodların - hiç olmazsa araştırmaların şimdiki safhasında - verimli olamayacaklarını savunmaktadırlar. Bunlar gerçekte olarak, bu metodlarla elde edilen sonuçların basit mukavemet prensipleriyle elde edilen analiz sonuçlarına kıyasla model deneylerinden elde edilen sonuçlarla uyuşmakta hiç bir bariz üstünlük gösterememiş olmalarını öne sürmektedirler.

Bu araştırmanın belli başlı gayelerinden birinin dolgulu çerçeveler rijiditesinin ve yatay yük taşıma kapasitesinin hesaplanabilmesinde kullanılabilecek pratik bir analiz metodu geliştirmek olduğu daha önce belirtilmişti. Bu projenin çerçevesi içinde üzerinde deney yapılan model adedinin sınırlı olması ve bu sınırlamadan dolayı örneğin çerçeve geometrisi gibi bazı önemli değişkenlerin incelenememiş olduğu hatırlanırsa, eldeki dokuz model deneyinin sonuçlarına uyacak şekilde geliştirilecek bir analiz metodunun betonarme dolgulu çerçeveler için genel bir çözüm yolu olup olmayacağı üzerinde tahminler yürütmek bile zor olacaktır. Bu hususlar göz önünde bulundurularak direkt ve basit bir metod olan basınç çubuğu analogjisi (strut analogy) problemin çözümünde kullanılacak yol olarak benimsenmiştir.



Basınç çubuğu analojisininin analiz metodu olarak seçilmesi, sadece bu metodun basit ve pratik olarak kullanılmasına uygun olmasından dolayı değildir.

Dolgu çerçevesi üzerinde yapılmış olan araştırmaların büyük bir çoğunluğunda ve bilhassa Polyakov (1), Holmes (7,8) ve Smith (10-14)'in yapmış oldukları araştırmalarda - bu araştırmaların betonarme dolgu betonarme çerçeveler üzerinde yapılmış oldukları hususu unutulmamalıdır - elde edilen sonuçlar basınç çubuğu analojisinin dayanan analiz oldukça gerçekçi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Analojiye dayanan analiz bir çok hallerde empirik veya teorik analiz metodlarının verdiği sonuçlara kıyasla deney sonuçları ile daha iyi bir uyumluluk göstermiştir. Buna ilâveten, bu projede üzerinde deney yapılmış modellerin genel davranışlarına bakıldığında, yüklenmiş köşelerde başlayan dolgu ile çerçeve arasındaki ayrılma çatlakları, daha ileri yüklerde görülen dolgu diyagonal çatlakları gibi müsterek davranışlar, dolgunun çerçeve içinde çapraz bir basınç elemanı gibi çalıştığını doğrular nitelikte kuvvetli deliller olarak müşahede edilmişlerdir. Yukarıda bahsedilen araştırmacıların çelik çerçevesi ve tuğla dolgu modellerle yapılmış oldukları deneyler sırasında müşahede etmiş oldukları benzer davranışlar, bu araştırmacıları dolgunun basınç elemanı gibi çalıştığı sonucuna varırmış ve bu noktadan hareket ederek geliştirmiş oldukları analiz metodları deney neticelerine oldukça uygun sonuçlar vermiştir.

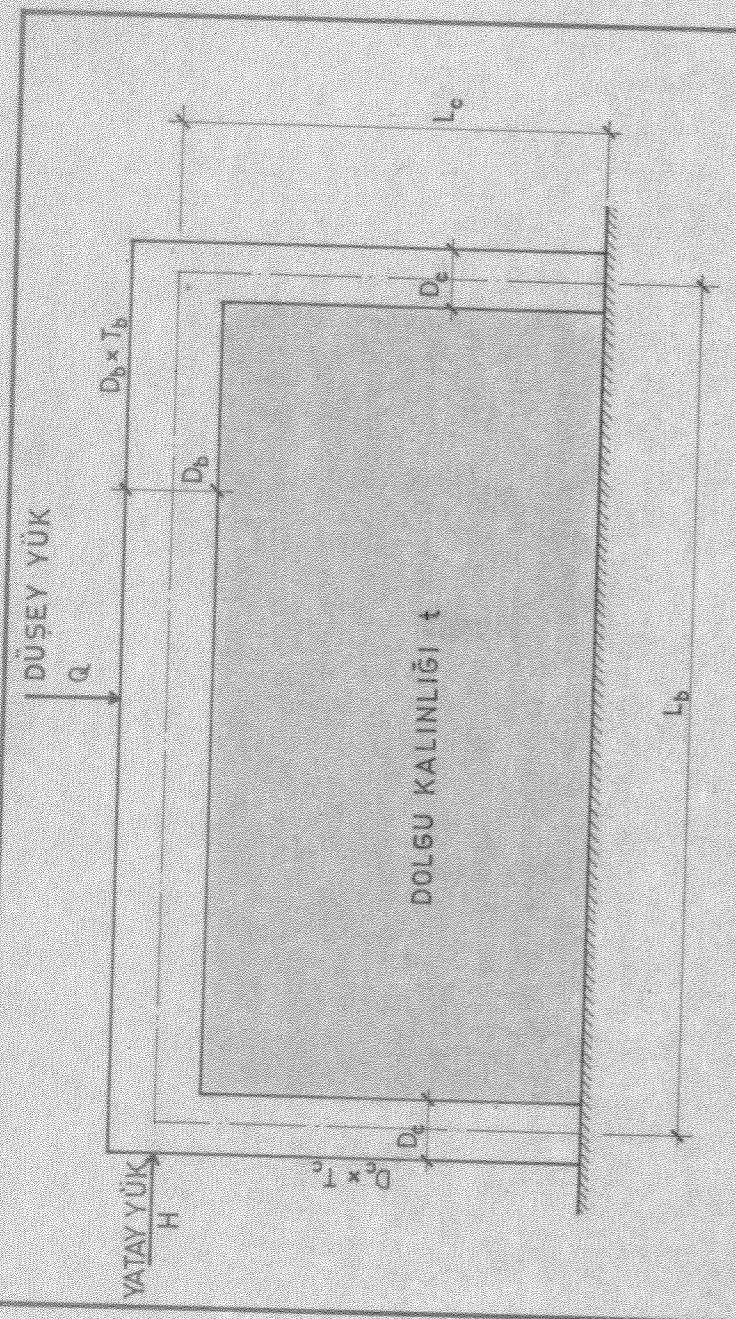
Bu araştırmadaki modellerin, yukarıda bahsedilen yüklenmiş köşelerdeki dolgu çerçeve ayrılmaları ve bu köşeler arasında dolgu meydana gelen çapraz çekme çatlakları gibi davranışlarına ilâveten dolgunun çapraz basınç elemanı gibi çalıştığı kancaatini kuvvetlendirecek diğer bazı

müşterek davranışlarının da göz önünde bulundurulmasında fayda vardır. Lokal kırılmalar olan modeller hariç diğer modellerin hemen hepsinde görülen kırılma şekli dolgunun yüklenmiş köşelerden birinde ezilmesi şeklinde olmuştur. Yine hemen bütün modellerde dolgudaki bu ezilme meydana geldikten hemen sonra, kolonda ezilme olan köşe yakınında kayma çatlakları şeklinde beliren ikinci bir kırılma görülmüştür. Bunu şu şekilde yorumlamak mümkündür : Büyük rijiditesinden dolayı dolgu, çerçeve içinde çapraz bir basınç çubuğu gibi çalıştığı müddetçe yatay yükün önemli bir kısmını taşımaktadır. Fakat dolgudaki basıncın dolgu ezilme mukavemetini aşmasıyla dolgu ezilerek kırıldıktan sonra yatay yükün dolgu tarafından taşınmakta olan kısmı da çerçeve üzerine yüklenmekte ve çerçeve kolonlarının dolgu ezilmesi meydana gelmiş olan diplerinde kayna çatlakları görülmektedir.

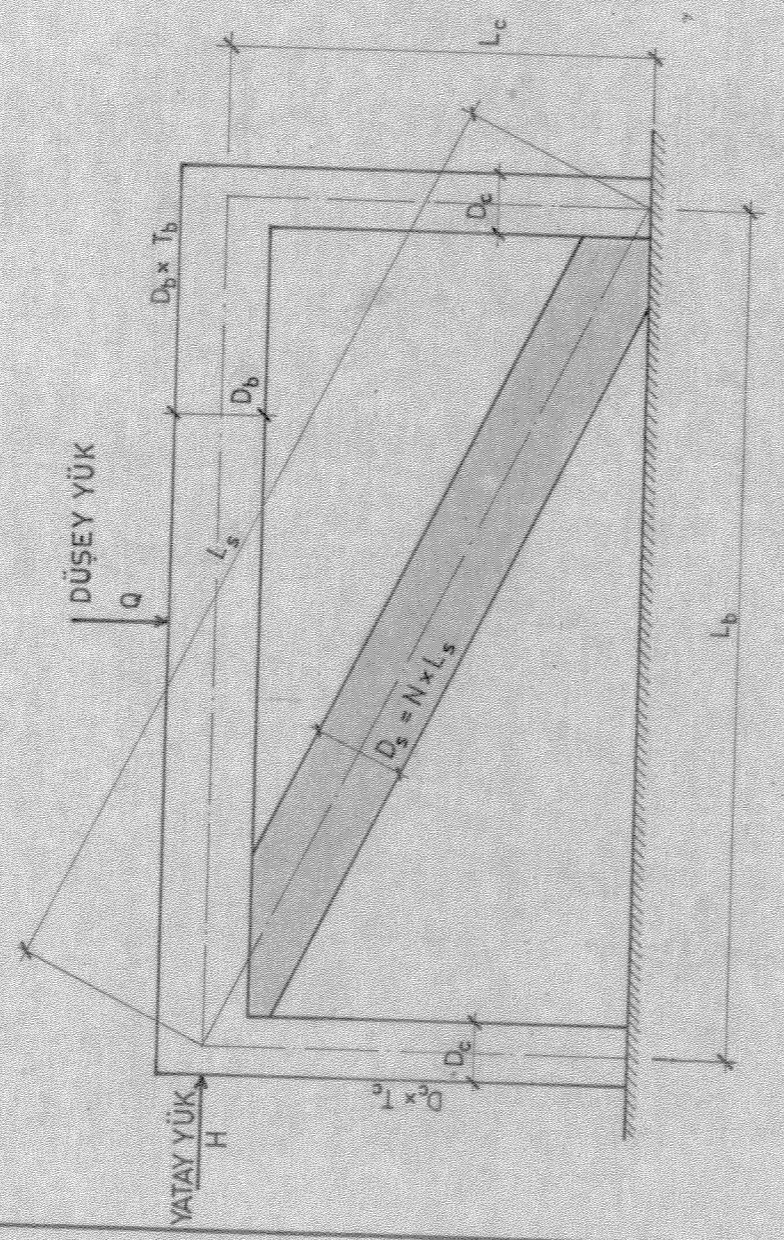
Yukarıdaki düşüncelerin ışığı altında basınç çubuğu analogisi analiz metodu olarak seçilmiş ve dolayısıyla problem, modellerle eş davranışlar gösteren fakat dolgulu olmak yerine yüklü köşeleri arasında fiktif bir basınç elemanı bulunan bir çerçevenin araştırılması ve incelenmesi şeklinde dönüşmüş olmaktadır.

Betonarme çerçeve ve dolguda çatlakların oluşunun önceden tahmin edilmesindeki güçlüklerden dolayı bu incelemenin yalnız elastik sınırlar içinde yapılmasına karar verilmiştir. Böylece, analizdeki esas amaç, köşeleri arasında fiktif bir basınç çubuğu bulunan eşdeğer çerçevenin elastik bölgedeki yük-yatay deplasman bağlantısını, ilgili modelin çatlak görülmeden önceki yük-yatay deplasman bağlantısına uyacak bir şekle getirebilmektir. Yukarıda belirtilen şekilde, bir analiz sonucu fiktif basınç çubuklu çerçeveden elde edilecek yük-deplasman eğrilerinin deney sonucu modellerden elde edilen yük-deplasman eğrilerine uyandırılmasına çalışılırken izlenecek yol, analiz için





(a)



(b)

SEKİL 41 (a) DOLGULU ÇERÇEVE (b) ANALİZDE KULLANILAN BASINÇ ÇUBUKLU ÇERÇEVE



kullanılacak çerçeve özelliklerinin model çerçevesinden aynen alınması ve fiktif basınç çubuğunun rijiditesinin yük-deplasman eğrileri arasında uyum sağlanacak şekilde ve model dolgu parametreleri cinsinden tesbit edilmesi olacaktır. Bu mukayeseli analiz sonucu fiktif basınç çubuğunun rijiditesi belli bir sınıır içinde tesbit edilebilirse dolgu çerçevenin davranışları, iki köşesi arasında belli özellikleri haiz bir basınç çubuğu bulunan basit bir çerçevenin çözümü sonucunda önceden bilinmiş olabilecektir.

## 5.2 Hesap Şekli

Yukarda belirtilmiş olan analiz metoduna uygun olarak, yatay yük-yanal deplasman ilişkisi açısından elastik bölgede model çerçevelerine eşdeğer bir analitik çerçevenin tesbit edilmesinde çok sayıda çerçeve çözümü denemesi gerekecektir. Ayrıca, herne kadar çözümü yapılması gereken bu çerçeveler sistem olarak basit işlemler de, gene de hesapstatiktirler. Bu nedenle, çok sayıda çözümün kolaylıkla yapılabilmesi için bir elektronik hesaplayıcının kullanılmasına karar verilmiştir.

Hesapların yapılmasında, O.D.T.Ü. Elektronik Hesap Bilimleri Bölümü Merkezî Hesaplama Laboratuvarındaki IBM 360/40-F sistemi ve STRESS programı kullanılmıştır. 1964 yılında Steven J. Fenves yönetimi altında IIT'de IBM System 7090/94 için geliştirilmiş olan STRESS (Structural Engineering System Solver) yapıların statik çözümleri için kullanılan bir programlar sistemidir. Bu program dahilinde değişik yüklenme şekillerinin gerek ayrı ayrı, gerekse birleştirilmiş olarak incelenebilmesi mümkün olduğu gibi, çözümün yapıdaki tam kuvvet dağılımını ve deformasyonları vermesi, çerçevenin daha detaylı olarak incelenebilmesi imkânını sağlamaktadır.

Analizde kullanılacak çerçevenin teşkilinde çerçeve ölçüleri aynen model çerçevesinden alınmıştır. Yatay yük tatbik edilen köşe ile karşısındaki mesnet arasına konacak ve dolgu malzemesinden imal edildiği düşünülen basınç çubuğunun kalınlığı, modeldeki dolgu kalınlığı (t) olarak alınmış, genişliğinin ise çerçeve dikeye ölçüsünün bir yüzdesi olarak tesbit edilmesine çalışılmıştır. Bu yüzde (N) ile ifade edilmiş ve yukarıda anlatılan işlem her model için tekrarlanmıştır. (Bak Şekil 41)

Betonun elastisite modülünün çerçevenin rijiditesine etkisini ihmal etmemek için elastisite modülü betonun 28 günlük kırılma mukavemetinin bir fonksiyonu olarak tesbit edilmiş ve bu değerler Alman betonarme normu olan DIN 1045 den alınmıştır. Bununla beraber bazı modellerde çerçeve ve dolgu betonlarının kırılma mukavemeti bakımından farklılık gösterdikleri görülmektedir. Bu farklılaşma bazı hallerde, yukarıda uyulduğu belirtilen DIN 1045'e göre değişik beton elastisite modülleri kullanılmasını icap ettirmektedir. Herne kadar elastisite modülünde bu farklar %10'u ancak aşmakta ise de STRESS programında yapıdaki bütün elemanlar için aynı elastisite modülünün kullanılmasının gerekmesi, gene de bir seçim yapmayı lüzumlu kılmaktadır. Bu seçimin yapılmasında modellerdeki kırılmanın dolgu ezilmesinden meydana gelmesi hususu göz önünde bulundurulmuş, dolayısıyla çerçeve ile dolgu betonunun farklı kırılma mukavemetleri göstermiş oldukları durumlarda dolgu betonunun kırılma mukavemeti, analitik modelde kullanılacak elastisite modülünün tesbitinde kriter olarak kullanılmıştır.

Çerçeve ile dolgu arasındaki aderens durumunun analiz metoduna yansıtılabilmesi için analitik çerçeveye konan basınç çubuğu iki ayrı halde incelenmiştir. Aderanssız dolguya tekabül etmesi düşünülen birinci halde, basınç çubuğu iki uçundan mafsallı olarak kabul edilmiş, aderanslı dolgular için ise iki ucu ankastre bir basınç çubuğunun davranışları araştırılmıştır.

### 5.3 Analiz Sonuçları

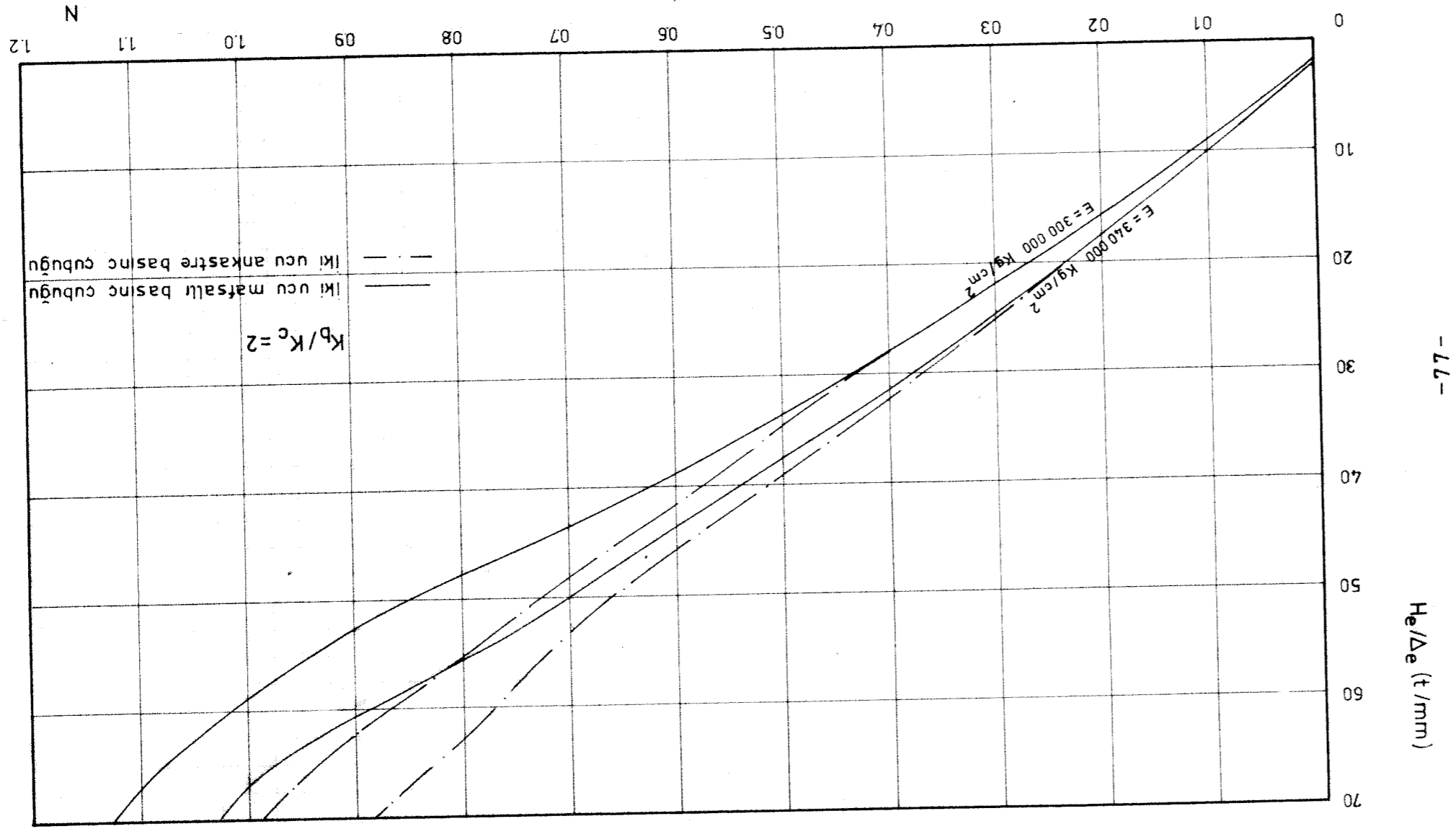
Analizde kullanılacak olan basınç çubuklu çerçevedeki basınç çubuğu genişliğinin, çerçevenin yatay yük altındaki yanal rijiditesine etkisinin incelenebilmesi amacıyla, bu genişliğin çeşitli değerleri için çözümler yapılmıştır. Bu işlem değişik elastisite modülleri kullanılarak ve basınç çubuğunun gerek iki ucundan mafsallı, gerekse iki ucunda ankastre olduğu haller için tekrarlanmıştır. Bu araştırmanın sonuçları  $K_b/K_c = 2$  oranına sahip çerçeveler için Şekil 42 'de,  $K_b/K_c = 4$  olan çerçeveler için ise Şekil 43'de verilmiştir.

Bu grafiklerin incelenmesinden çıkarılabilecek önemli bir sonuç basınç çubuğunun mafsallı veya ankastre olması halinde, basınç çubuğunun belirli bir genişliğinden sonra etkili olmaya başlamasıdır. Görülmektedir ki ancak basınç çubuğu genişliği çerçeve diyagonal ölçüsünün %20'sini ( $N=0.2$ ) aştıktan sonra mafsallı ve ankastre basınç çubuklu çerçevelerin yanal rijiditelerinde farklılık görülmektedir. Dolayısıyla, ileride tekrar bahsedileceği gibi, analitik çerçevenin modellerle eşit yatay yük-yanal deplasman ilişkisi göstermesini sağlayacak basınç çubuğu genişliği şart bu değerler altındaki sınırlar içinde kalırsa basınç çubuğunun mafsallı ve ankastre durumlarının ayrı ayrı incelenmelerine lüzum kalmayacak demektir.

Gerek Şekil 42 ve 43'deki grafiklerin yardımıyla, gerekse daha hassas sınırlar dahilinde kalabilmek amacıyla çeşitli hesap denemeleri yapılarak her model için, model şartlarına uyan analitik çerçevenin elastik sınırlar içinde modelle eşit yatay yük-yanal deplasman ilişkisi sağlayan basınç çubuğu genişliği tesbit edilmiştir. Şekil 44 ilâ Şekil 51'de bu analitik sonuçlar her modelin deneyden elde edilmiş yük-deplasman eğrileriyle birlikte verilmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere model 1 deneylerden gerekli bilginin sağlanamamış olmasından dolayı bu incelemeye dahil edilmemiştir.

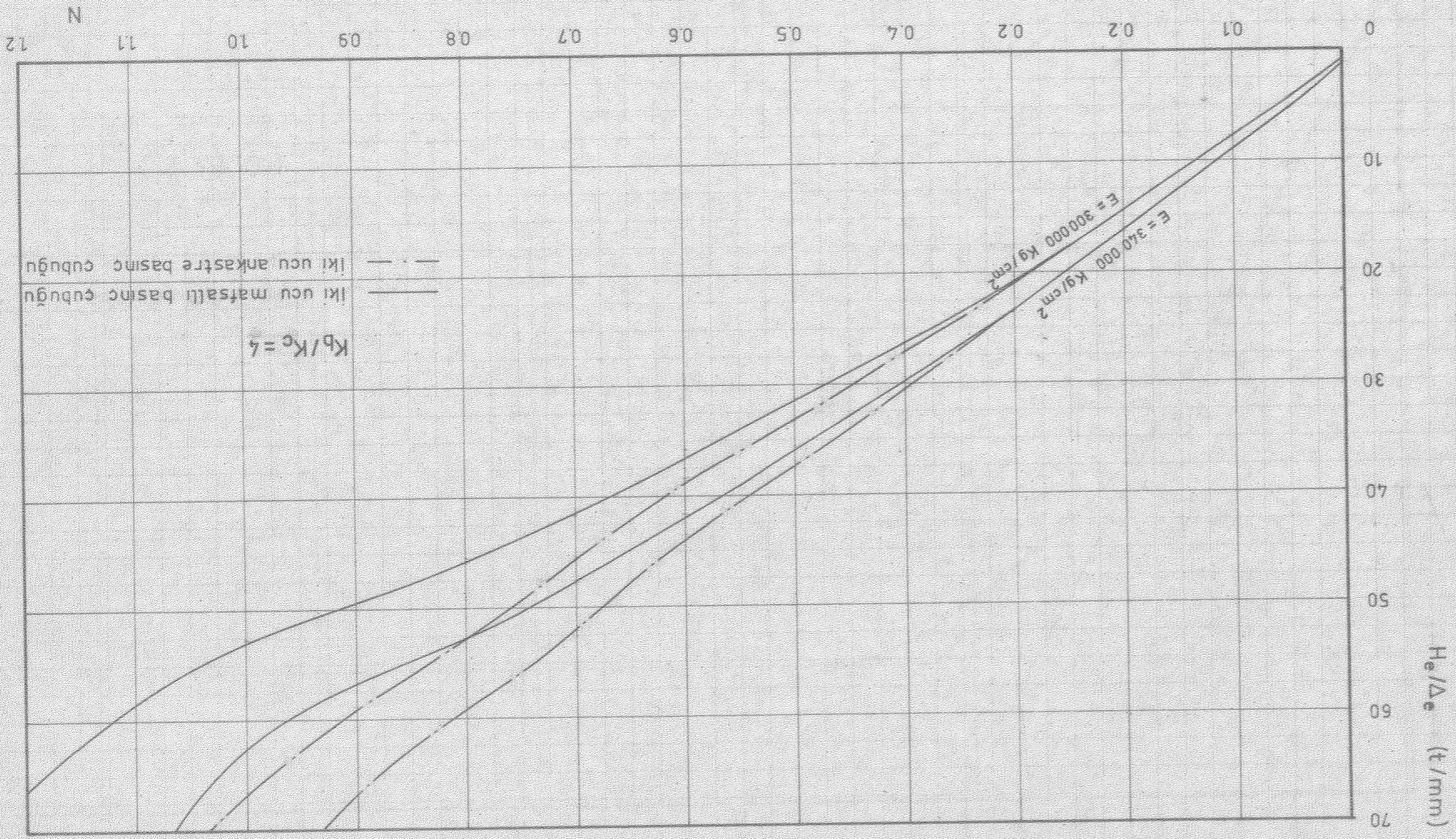


SEKIL 42 BASINC ÇUBUĞU GENİSLİĞİNİN CERCEVE YANAL RİJİDİTESİNE ETKİSİ

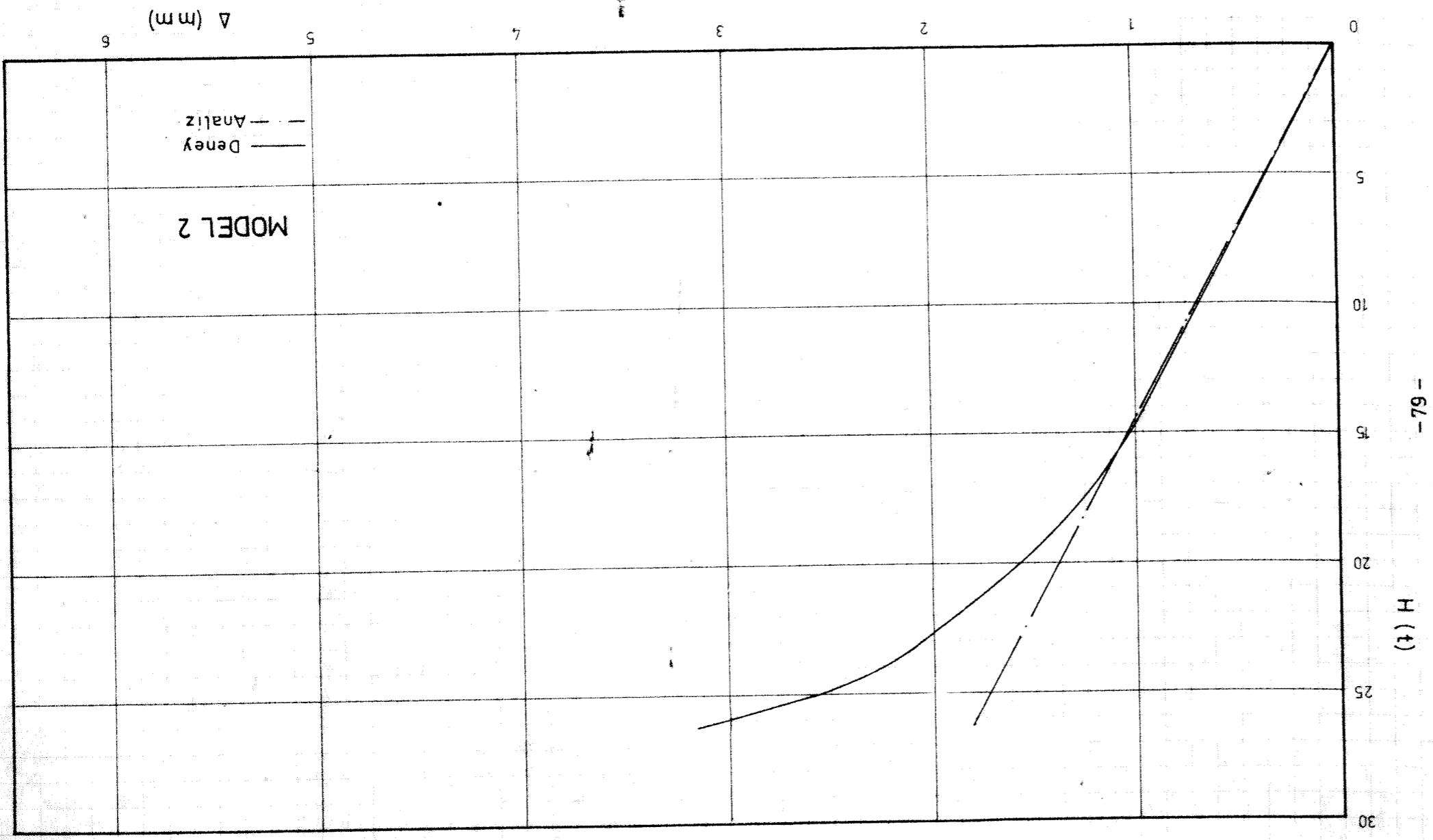


-77-

SEKIL 73 BASINC CUBUGU GENISLIGININ CERCEVE YANAL RIJIDITESINE ETKISI

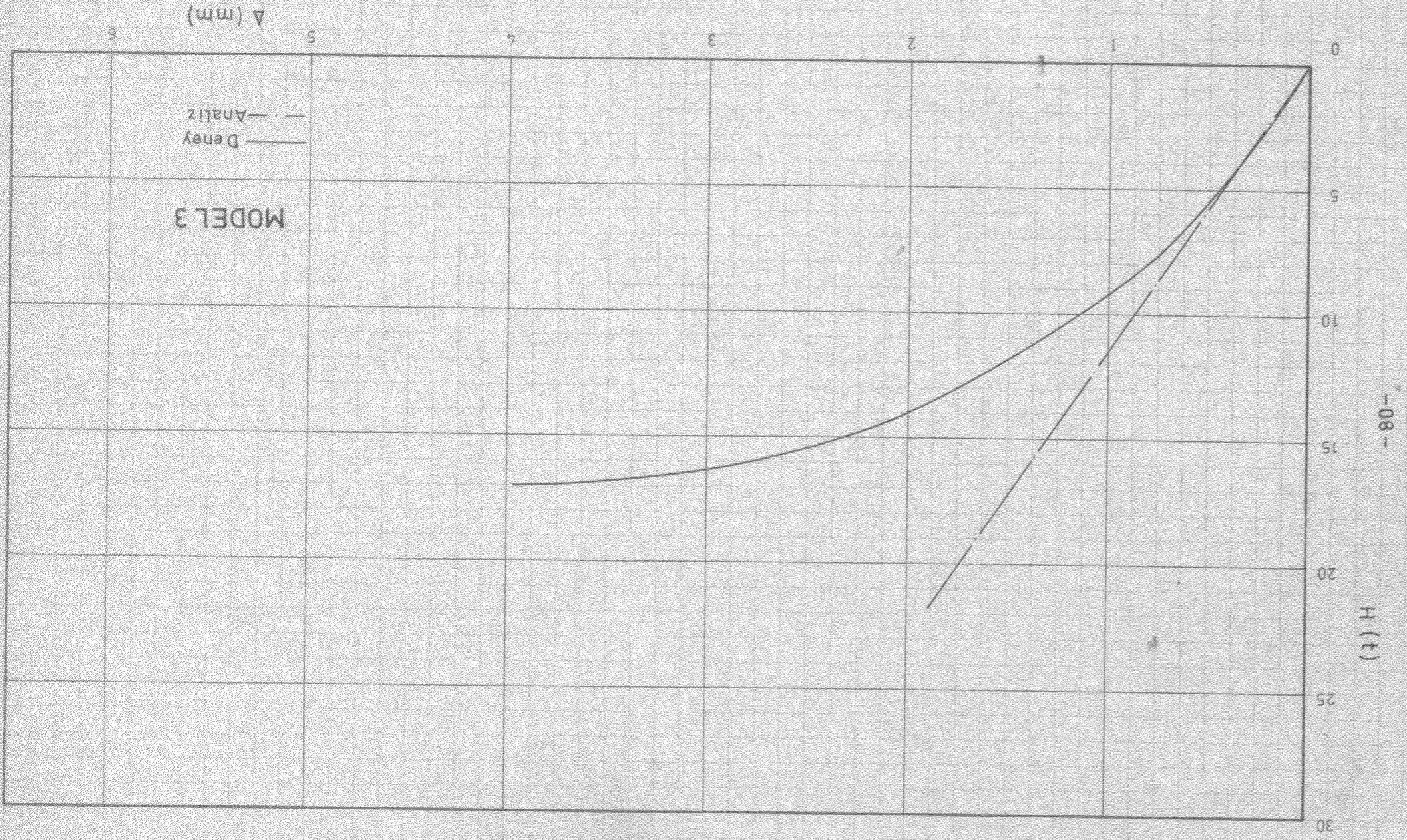


SEKIL 44 ANALITIK ÇÖZÜMÜN DENey SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI



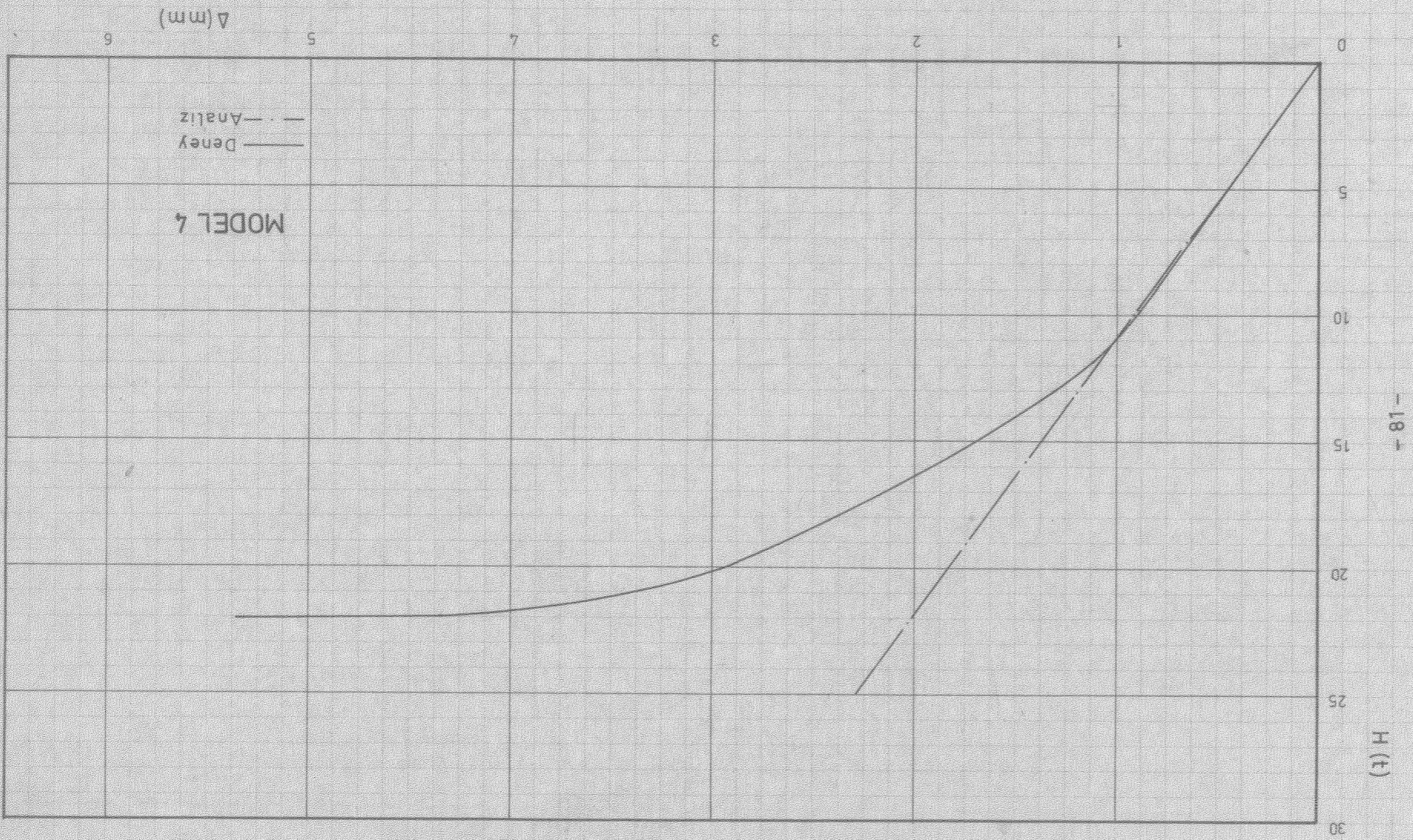


ŞEKİL 45 ANALİTİK ÇÖZÜMÜN DENEY SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI



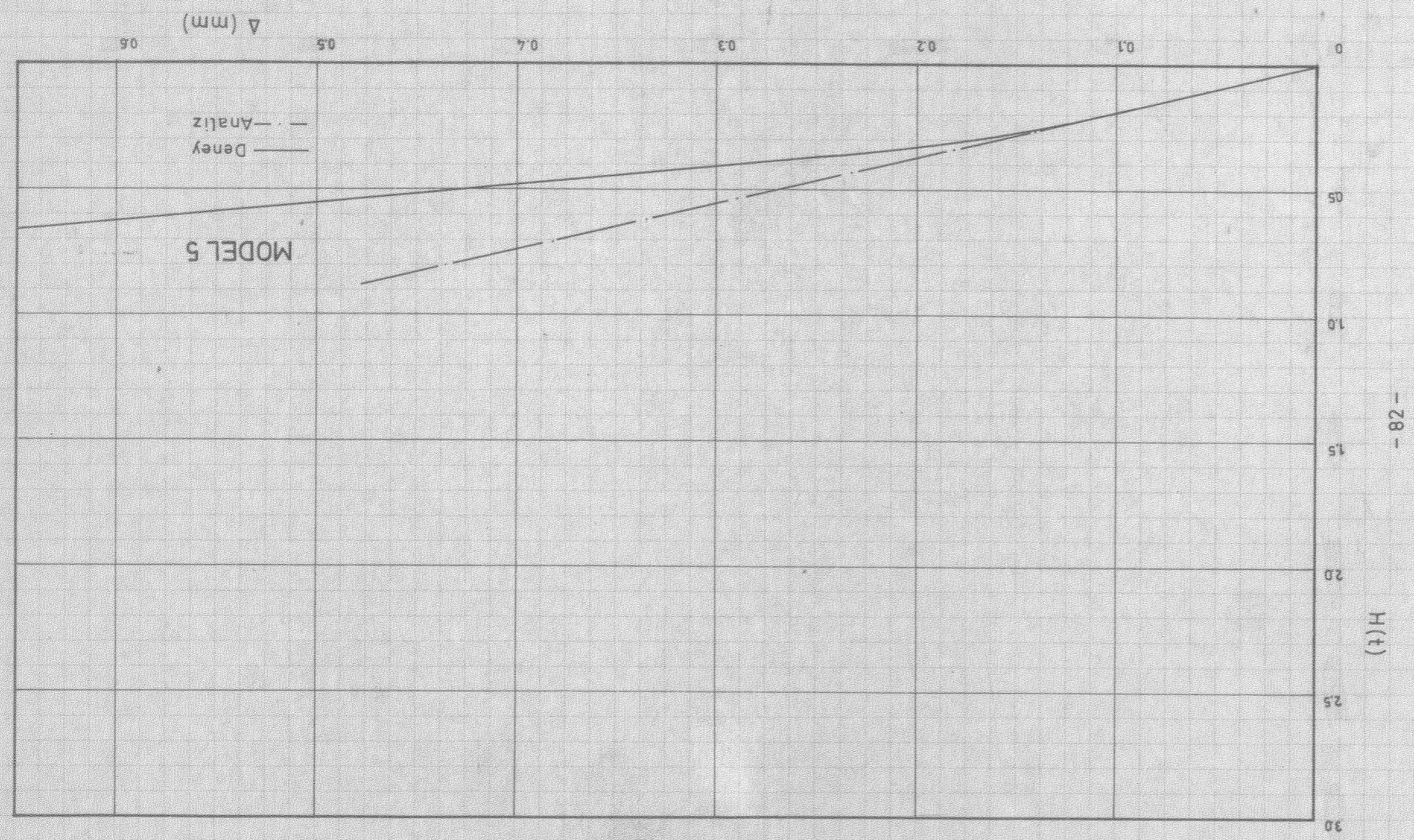


SEKIL 46 ANALITIK ÇÖZÜMÜN DENEY SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI



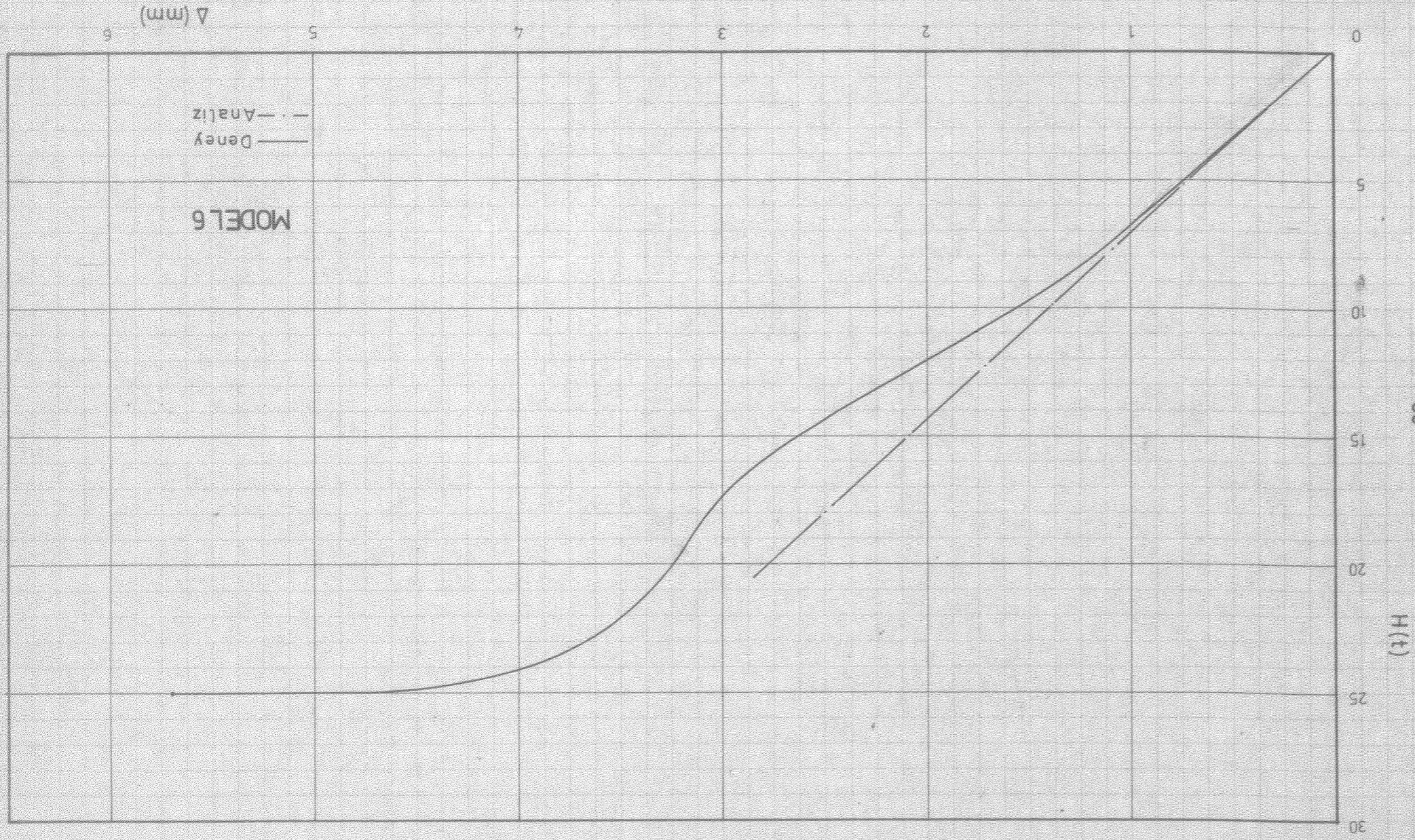


ŞEKİL 47 ANALİTİK ÇÖZÜMÜN DENEY SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI





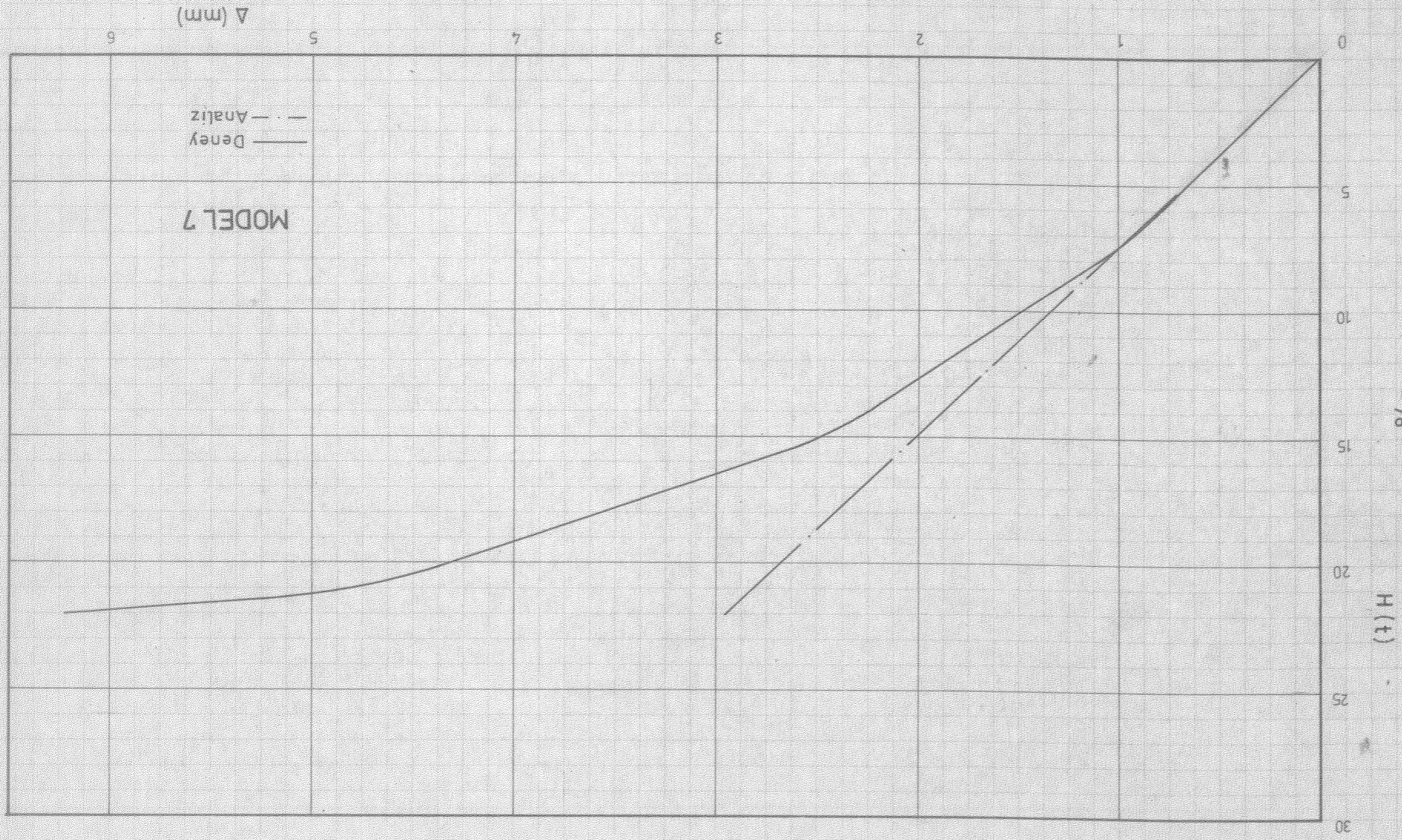
SEKIL 48 ANALITIK ÇÖZÜMÜN DENEY SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI



- 83 -

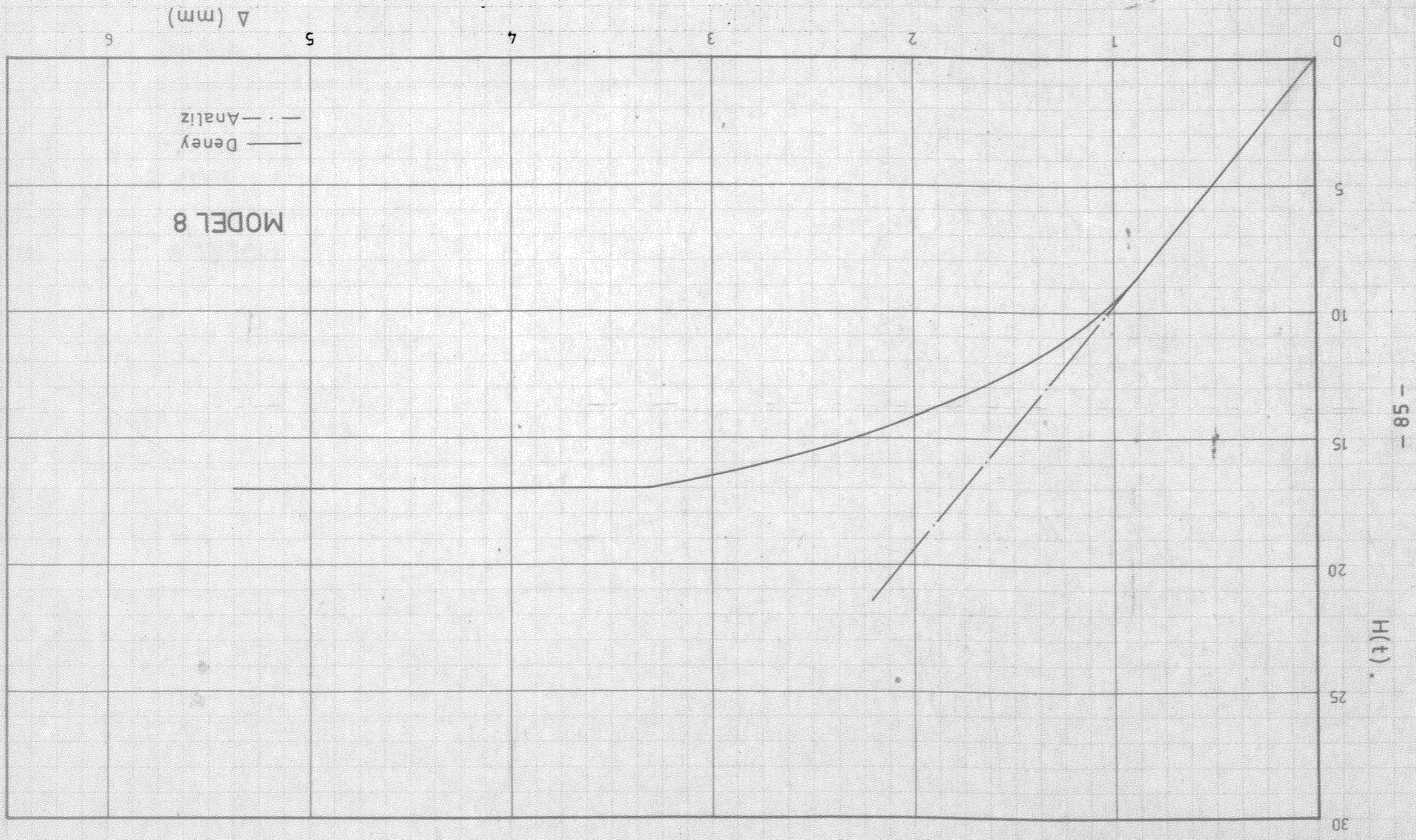


ŞEKİL 49 ANALİTİK ÇÖZÜMÜN DENEY SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI



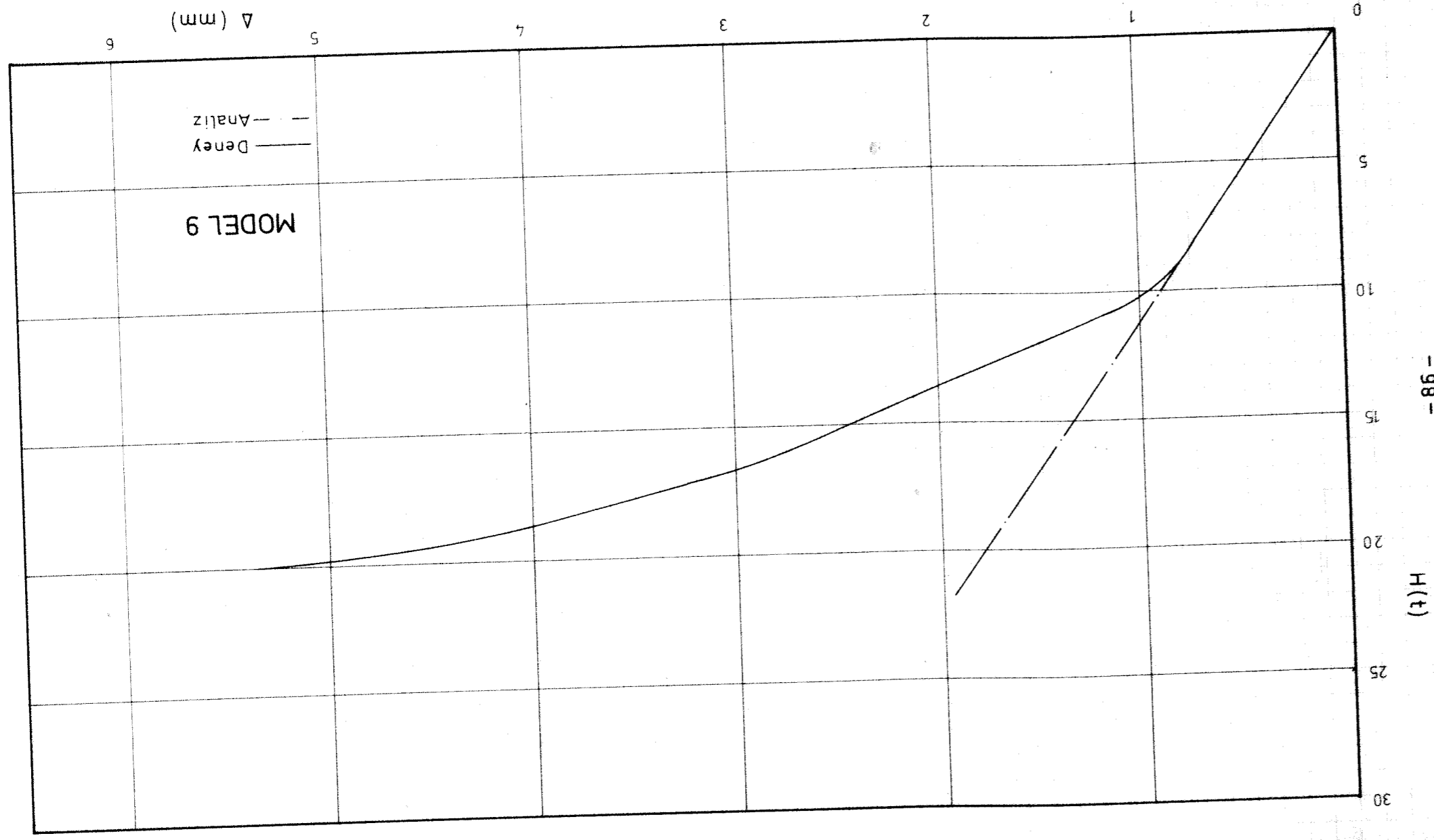


ŞEKİL 50 ANALİTİK ÇÖZÜMÜN DENEY SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI





ŞEKİL 51 ANALİTİK ÇÖZÜMÜN DENEY SONUÇLARI İLE KARSILAŞTIRILMASI



#### 5.4 Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Şekil 44 ilâ Şekil 51'de model yâk-doplasman çâriyle-  
nyile birlikte verilmiş olan analiz sonuçları Tablo 3'de  
bir araya getirilmiştir. İy tabloun incelenmesiyle çıkar-  
tılabilecek ilk sonuçlardan biri, bütün modeller için elde  
edilmiş olan N katsayılarının, bir önceki bölümde Şekil 42  
ve 43'ün incelenmesinde belirtilmiş olan  $N=0.20$  limitinin  
altında kalmış olmalarıdır. Basınç çubuğu genişliğinin  
çerçeve diyagonal ölçüsüne oranı H'nin bu sınır altında  
kaldıkça basınç çubuğunun çerçeveye mafsallı veya  
ankastre olarak bağlanmış olmasının, basınç çubuklu çerçeve-  
venin çanal rijiditesine tesir etmediği daha önce belir-  
tilmişti. Ayrıca, gene bu sınır altında kalınmak şartıyla,  
basınç çubuğunun mafsallı veya ankastre olmasının  
çerçevedeki kuvvet dağılımını etkilemediği çerçevelerin ana-  
litik çözümlerinden anlaşılmalıdır.

Basınç çubuğunun mafsallı olmak yerine ankastre  
olarak kabul edilmesi analizde kullanılacak olan basınç  
çubuklu çerçevenin hisopstatiklik derecesini 4'ten 6'ya  
çıkarmaktadır. Bu ise çözümlerinde hesaplanmasını gereken  
matrislerin hacmini bir mislinden fazla büyütecektir.  
Ozellikle elektronik hesap makinelerinin kullanılma olanağı  
olmadığı durumlarda göz önünde bulundurulursa, hiperstatiklik  
derecesindeki böyle bir artışın çözümü elle yapmak imkân-  
larını zorlayacağı ortaya çıkar. Delaysıyla dolgu  
çerçevelerin davranışlarını incelemek için çözümlenmesi  
gerekecek olan basınç çubuklu çerçeve, dolgu ile çerçeve  
arasında aderans olsun veya olmasın, basınç çubuğunun  
çerçeveye mafsallı olarak bağlanmış olduğunun kabul edilmesi  
elde edilecek sonuçlara aksi yönde tesir etmeyecek buna  
karşılık hesap işlemini oldukça basitleştirecektir.



TABLO 3 ANALİTİK ÇÖZÜMÜN DENEY SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

DENEY										ANALİZ									
MODEL NO	$\frac{Q}{H}$	$\frac{K_p}{K_c}$	Dolgu kalınlığı t (cm)	Cerceve ile dolgu arasında aderans	Dolgu $G_p$ ( $kg/cm^2$ )	Cerceve $G_p$ ( $kg/cm^2$ )	Yanal rijidite $He/De$ (t/mm)	$\frac{Q}{H}$	$\frac{K_p}{K_c}$	Basinc cubugu kalınlığı t (cm)	Basinc cubunun elastisite genisliginin yanal rijidite cerceve diagonal ölçüsüne N	Kullanilan cubugun elastisite genisliginin yanal rijidite cerceve diagonal ölçüsüne N	E modülü ( $kg/cm^2$ )	mesnetten- me sekl	MAFSAL	340 000	0.12	11.49	
2	$\infty$	$\infty$	5.0	+	280	263	14.79	$\infty$	$\infty$	2	5.0	MAFSAL	300 000	0.11	14.29				
3	$\infty$	$\infty$	3.0	-	351	324	11.76	$\infty$	$\infty$	2	3.0	"	340 000	0.12	11.49				
4	$\infty$	$\infty$	3.0	+	255	302	10.99	$\infty$	$\infty$	2	3.0	"	300 000	0.13	10.87				
5	$\infty$	$\infty$	2	DOLGUSUZ			177	$\infty$	$\infty$	2	0	-	300 000	0	1.83				
6	$\frac{H}{90t}$	$\frac{H}{90t}$	3.0	-	394	278	6.79	$\frac{H}{90t}$	$\frac{H}{90t}$	2	3.0	MAFSAL	340 000	0.07	7.14				
7	$\frac{H}{30t}$	$\frac{H}{30t}$	3.0	+	290	285	7.61	$\frac{H}{30t}$	$\frac{H}{30t}$	2	3.0	"	300 000	0.085	7.41				
8	$\infty$	$\infty$	3.0	-	306	368	9.51	$\infty$	$\infty$	4	3.0	"	340 000	0.11	9.71				
9	$\infty$	$\infty$	3.0	+	323	252	11.11	$\infty$	$\infty$	4	3.0	"	340 000	0.13	11.24				

Ber model için hesaplanmış olan analitik çerçevedeki basınç çubuğu genişlikleri incelense bunların  $K=0.07$  ile  $K=0.13$  arasında değişmekte olduğu görülmektedir. Aşırı düşey yük maruz bırakılan Model 6 analiz sonucu bir yana bırakılrsa,  $K$  değeri  $0.065$  ile  $0.13$  arasında sınırlanmaktadır. Düşey yük tesirine maruz bırakılmış modellere tabii eden basınç çubuğu genişlikleri ise daha da dar sınırlar içinde toplanmakta, bunlar için  $K$  değeri  $0.11$  ile  $0.13$  arasında değişmektedir.

Bernoulli tabiiyetinde düşey yük bulunan çerçeveler gibi bir sınıflandırmaya yopmanın fazla geçeceği olmayacağı ileri sürülebilirse de, üzerlerinde gayet cüzi düşey yük bulunan, özellikle tek katlı çerçeveleri ve esas itibarıyla düşey yük taşıma için değil de yapıya yanal stabilite ve rijidite kazandırmak için teşkil edilmiş çerçeveleri bu kategoriye dahil etmek yanlış olmasa gerekir. Dolayısıyla bu tip çerçevelerin dolgu teşkil edilmeleri halinde, hesap metodu olarak, çerçeve dolgu yerine genişliği çerçeve diyağonal ölçüsünün  $0.11-0.13$ 'ü arasında kalınlığı ise dolgu kalınlığının eşit ve dolgu malzemesinden imal edildiği düşünülürken bar basınç çubuğunun mevcudiyetini kabul etmenin olacağı deney sonuçlarına göre hüküm olacağı görülmektedir.

Model 6 ve Model 7'nin analizlerinden elde edilen sonuçlara göre ise üzerlerinde oldukça yüksek değerlerde düşey yükler bulunan çerçevelerde basınç çubuğu genişliğini  $0.07-0.065$  dolaylarında tutmak gerektiği ortaya çıkmaktadır. Unutulmamalıdır ki Model 7'ye tabii edilmiş olan 3t düşey yük de prototip çerçevenin aşırı yüklenmiş olması kabulünden hareket edilerek hesaplanmış bulunmaktadır.

Bu incelemelerin içine ancak sınırlı olarak dahil edilebilmiş olan ve dolgu kalınlığı diğer modellerden değişik olarak  $t=5$  cm olan Model 2'nin analiz sonucu elde



edilen basıncı çubuğu genişliğinin  $M=0.11$  olması ve dolayısıyla geliştirilmiş olan hesap metoduna uyarlılık göstermiş olması ümit vericidir. Bununla beraber Model 2'nin deney sonuçlarının sıhhat bakımından şüpheli olduklarının unutulmaması ve hesap metodunun değişik dolgu kalınlığı içinde geçerli olduğu gibi genelleme yapılırken ihtiyatlı davranılması gerekmektedir.

## 6. BULGULAR VE ÖNERİLER

### 6.1 Genel

Model denevlerinin ve bunlara dayanılarak geliştirilmiş olan analiz metodunun sonuçları incelenirken gözden uzak tutulmaması gereken en önemli husus, bütün bu sonuçların yapılan deneyler çerçevesinde geçerli olduğudur. Dolayısıyla herhangi bir genellemeye gidilirken ihtiyatlı olunması gerekmektedir. Özellikle yük altındaki davranışları kelinenin tam anlamıyla aydınlığa kavuşturulmuş olan betonarme elemanlardan teşekkül etmiş bir çerçevenin, deneyler sırasında gösterebilecekleri değişik ve karmaşık davranışlar hesaba katılırsa denenen model adedi çok sınırlı olan bir araştırma projesi çerçevesinde elde edilecek sonuçlardan genellemelere gitmenin güçlükleri daha belirli olarak ortaya çıkar.

### 6.2 Bulgular

Daha önceki bölümlerde değişkenlerin tesirleri incelenirken ve analiz sonuçlarıyla karşılaştırılırken belirtilmiş ve yorumlanmasına çalışılmış olan bulgular aşağıda özet olarak verilmişlerdir.

- (i) Dolgu, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini %700 oranında arttırmakta ve kırılma yanal deplasmanını %65 oranında azaltmaktadır.



Ayrıca, elastik sınırlar içerisinde çerçevenin yanıl rijiditesini %500 ve elastik bölgenin sınırını teşkil eden yatay yükü 30-35 kat arttırmaktadır.

(ii) Kiriş rijiditesinin kolon rijiditesine oranı  $K_b/K_c$ , çerçeve ve dolgu boyutlarının bu oranları dahilinde, dolgu çerçevenin yatay yük altındaki davranışlarını belirli bir şekilde etkilenenektedir.

(iii) Çerçeve ile dolgu arasında aderans olması dolgu çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini ve yanıl rijiditesini önemli ölçüde etkilenenektedir. Aderanslı dolgu çerçevelerde kırılma anındaki yanıl deplasmanda cüzi bir artış olmakta, yatay kırılma yükü ise %20 oranında artmaktadır. Bu %20'lik artış aderanslı veya aderanssız dolgunun çerçeveye kazandırdığı büyük yük taşıma kapasitesi ile karşılaştırılırsa, özellikle aderans temin etmenin konstrüksiyon zorlukları çıkardığı durumlarda önemini kaybeder.

(iv) Düşey yük, dolgu çerçevenin yatay yükler altındaki rijiditesini azaltmaktadır. Ayrıca, düşey yük, yatay kırılma yükünün önemli bir yüzdesine ulaşması halinde, dolgu çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini arttırmaktadır.

(v) Geliştirilmiş olan hesap tarzı uyarınca dolgu çerçevenin elastik sınırlar içerisinde ve yatay yük altındaki davranışını tahmin etmek çerçeveyi dolgu yerine yatay yük tatbik edilen köşe ile karşısındaki mesnet arasına çerçeveye mafsallı olarak bağlanmış bir

basınç çubuğu koyarak çözmekle mümkün olmaktadır. Basınç çubuğunun kalınlığı dolgu kalınlığına eşit olmakta, genişliği ise çerçeve diyagonal ölçüsünün bir yüzdesi olarak alınmaktadır. Bu yüzde, üzerinde düşey yükün bulunmadığı veya çok küçü olduğu durumlarda % 11-% 13 arasında, üzerinde aşırı düşey yük bulunan çerçevelerde ise % 7-% 8.5 civarında alınmalıdır. Bu basınç çubuğunun fiktif bir eleman olduğu ve sadece hesap metodunda yaklaşık olarak dolgu etkilerine eşit etkiler yaratması amacıyla kullanıldığı düşünüldükçe, hesaplarda basınç çubuğunda bulunan problemi nazarı itibara alınmamalıdır.

### 6.3 Öneriler

Bu araştırmanın sınırlı sayıda model üzerinde yapıldığı ve geliştirilen analiz metodlarının bu deneylerden elde edilmiş olan sonuçlara dayandırıldığı düşünüldükçe, gerek bu incelemelerden çıkan sonuçların doğruluk derecesini tahrik edebilmek için, gerekse elde edilen bulguların başka değişkenlerle olan ilgisinin saptanması için daha detaylı araştırmalar gereklidir.

Gerçeğin açıklık bölü yükseklik oranı ile dolgu kalınlığının etkileri ve bu değişkenlerin analiz metoduna uyarlılığının tesbiti ilerdeki projelerin kapsamına alınmalıdır. Dolayısıyla, bu ve bunun gibi değişkenlerin yeterince incelenmesiyle hesaplarda kullanılması önerilen basınç çubuğunun özellikleri, çeşitli parametrelerin ampirik bir fonksiyonu olarak saptanabilir.

Gerekliliği deneysel bilgilerin alınmasını olduğu Model 1 ve Model 2'nin ortaya çıkardıkları bir durumun



burada bahsedilmesinde bilhassa fayda vardır. Daha önce de belirtildiği gibi dolgu kalınlıkları 5 cm olan bu iki modelde kırılma "p" kolonlarının (Bak şekil 10 ) zemin kirisiyle birleştikleri yerde kolonlarda meydana gelen kayma kırılması şeklinde oluşmuştur. Bu iki modelde görülen bu durum üzerine Model 3'ten itibaren diğer bütün modellerde, kolon diplerindeki bu lokal kırılmaya neyden vermeye için, bu bölgeye ilâve teçhizat koyulması yoluna gidilmiştir. Kolon diplerinde meydana gelen bu kayma kırılması dolgunun bir basınç çubuğu gibi çalışarak bu noktalara intikal ettirdiği ilâve kesme kuvvetinden doğmaktadır. Dolayısıyla protikte imal edilecek dolgu çerçevesinde de dolgunun gereğince çalışmasını temin etmek için kolon diplerinin ilâve teçhizatla aşırı kesme kuvvetlerini karşılayabilecek şekilde güçlendirilmesi gerekmektedir. Aksi halde dolgu çerçevesinin yatay yük taşıma kapasitesine olan etkisini tam olarak göstermeden kolonlarda lokal kırılmalar meydana gelmesi durumu ortaya çıkar.



REFERANSIAR

1. Polyakov, S.V., On the Interaction Between Masonry Filler Walls and Enclosing Frame When Loaded in the Plane of the Walls. Translation in Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute, San Francisco 1960.
2. Whitney, C.S., Anderson, E.G., and Cohen, E., Design of Elast Resistant Construction for Atomic Explosions, Jnl. A.C.I., Vol. 51. pp. 655-73, 1955.
3. Benjamin, J.R., and Williams, H.A., The Behaviour of One-storey Reinforced Concrete Shear Walls, Proc. A.S.C.E., Vol. 83, No. S.F.3., paper No. 1254, May 1957.
4. Benjamin, J.R., and Williams, H.A., Behaviour of One-storey Walls Containing Openings, Jnl. A.C.I., Vol. 30, pp 605-18, 1958.
5. Benjamin, J.R., and Williams, H.A., The Behaviour of One-storey Brick Shear Walls, Proc. A.S.C.E., Vol. 84, No. S.F.4, paper No. 1723, 1958.
6. Wood, R.H., The Stability of Tall Buildings, Proc. I.C.E., Vol. 11, pp. 69-102, 1958.
7. Holmes, K., Steel Frames with Brickwork and Concrete Infilling, Proc. I.C.E., Vol. 19. pp. 473-8, 1961.
8. Holmes, K., Combined Loading on Infilled Frames, Proc. I.C.E., Vol. 25, pp. 31-8, 1963.

9. A.H. Seddon, The Strength of Concrete Walls Under Axial and Eccentric Loads. Symp. Strength Concrete Structure, Section D, Paper No. 1, 1956.
10. Smith, B.S. Lateral Stiffness of Infilled Frames, Proc. A.S.C.E., Vol. 88, No. S.T. 6, pp. 183-99, 1962.
11. Smith, B.S. Infilled Frames, Ph.D. Theses, University of Bristol, 1963.
12. Smith, B.S., Behaviour of Square Infilled Frames, J. of S.T. A.S.C.E. Vol. 92, No. SF 1, Feb. 1966, pp. 381.
13. Smith, B.S., The Composite Behaviour of Infilled Frames, Tall Buildings, P.P. Limited, London, 1967, pp.481-492.
14. Smith, B.S., Model Test Results of Vertical and Horizontal Loading of Infilled Frames, A.C.I. Journal, August, 1968.
15. Koramanski, T., Calculating Infilled Frames by the Method of Finite Elements, Tall Buildings, P.P. Limited, London, 1967, pp. 455-463.
16. Kaldjian, M.J., Behaviour of Infilled Shear Walls ofor Various Bond and Shear Strength, Unpublished.