

DÖRT KENARI ANKASTRE MESNETLİ ÇELİK LEVHALARIN TAŞIMA YÜKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ahmet Necati YELGİN* Hüseyin YELGİN**

* Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi - SAKARYA
** Sakarya Üniversitesi Sapanca M.Y.O - SAKARYA

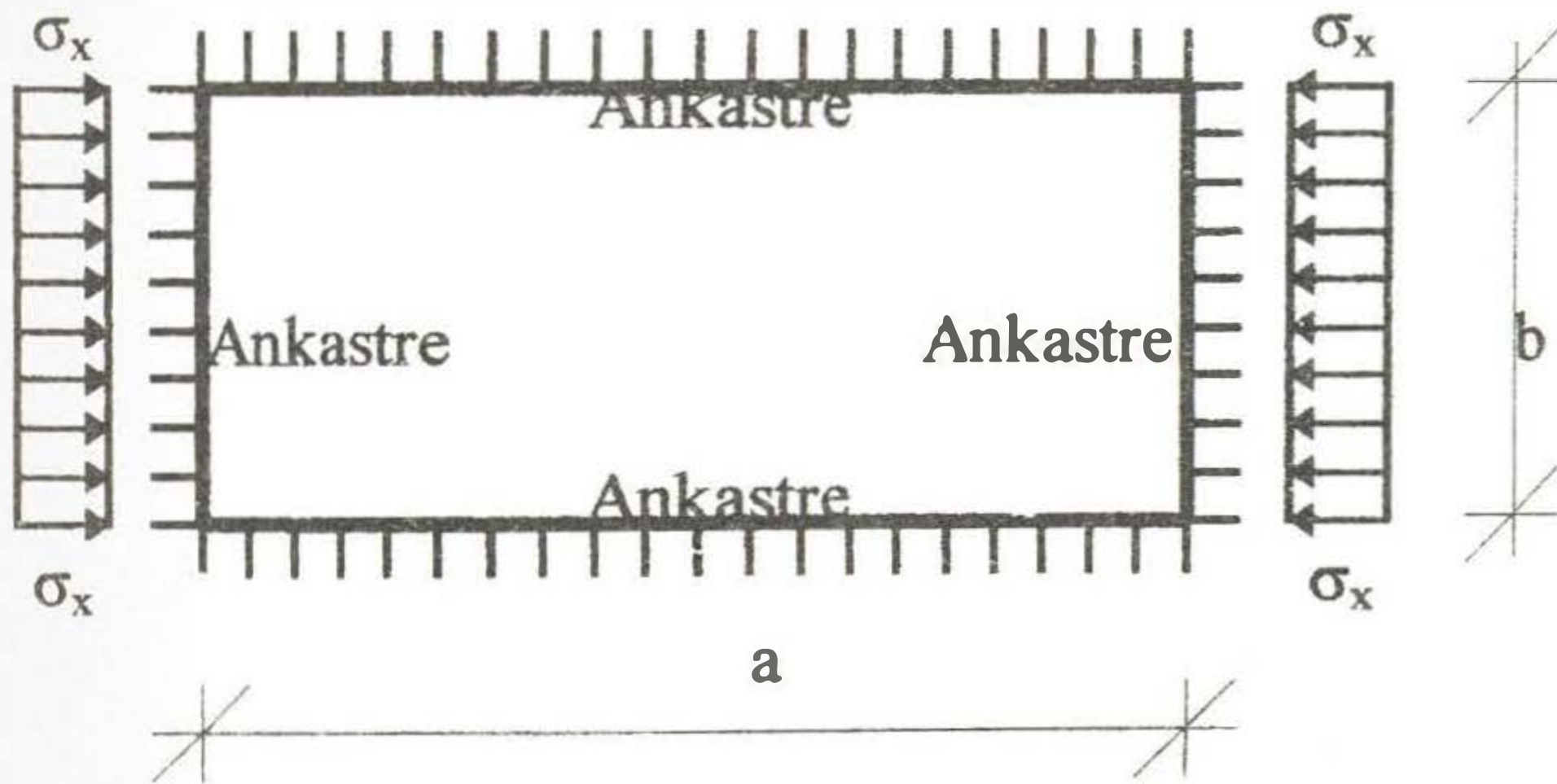
ÖZET: Çelik konstrüksiyonlarda, dört kenarı ankastre mesnetlenmiş dikdörtgen çelik levhalar çok sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tür levhalar genellikle kutu kesitli yapma kolonlarda, yapma I kirişlerinin gövdelerinde, gemi ve uçak sanayiinde gemi ve uçakların dış yüzeyini örtmek için kullanılırlar. Buralarda kullanılan levhalar teorik hesaplamalarda dört kenarı ankastre mesnetlenmiş gibi kabul edilirler.

Bu çalışmada, b/t levha narinliği ve $\alpha = a/b$ levha kenar oranının değişik durumları incelenecektir. Bu oranlar dikkate alınarak deney epruvetleri hazırlanıp deneye tabi tutulmuştur. Her bir epruvetin taşıma yükleri ölçülerek tablo ve diyagramlarla verilecektir.

Deney sonuçları üzerinde irdeleme ve değerlendirmeler yapılarak dört kenarı ankastre mesnetli levhalar için formüller önerilecektir.

I. GİRİŞ

Dört tarafı ankastre mesnetlenmiş dikdörtgen çelik levhalar çelik yapıda taşıyıcı sistemlerin önemli elemanları olarak çok kullanılmaktadır. Şekil 1.1 de bu tür levha ve yükleme şekli görülmektedir.



Şekil 1.1 : Dört Kenarı Ankastre Mesnetli Levha

Bu levhalar basınç yükü altında belirli bir değere ulaştıkları anda, yerel burkulma (Buruşma) yapabilmektedirler. Bu nedenle, bu tür levhaların

taşıma davranışlarının ve taşıma yüklerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu tür levhaların ideal buruşma yükleri DIN 4114 ' e göre tesbit edilebilmekte, fakat taşıma yüklerinin ve tüm şekil değiştirme davranışlarının doğru olarak tesbiti pek mümkün olmamaktadır.

Bu çalışmada, b/t levha narinliği ve $\alpha = a/b$ levha kenar oranının değişik durumları incelenecektir. Araştırma için, $t = 3$ mm ve $t = 4$ mm olmak üzere iki tür levha kullanılmıştır. Söz konusu deney epruvetleri, farklı kalınlıklı, aynı malzeme özellikli (St 37) ve tek parça 375×375 , 375×325 , 375×275 , 375×225 ve 375×175 ebatlarında kesilerek elde edilmiştir. Her bir tür kesitten 2 adet olmak üzere $t = 3$ mm kalınlıklı levhadan 10 adet ve $t = 4$ mm kalınlıklı levhadan 10 adet olmak üzere toplam 20 adet deney epruveti hazırlanmıştır.

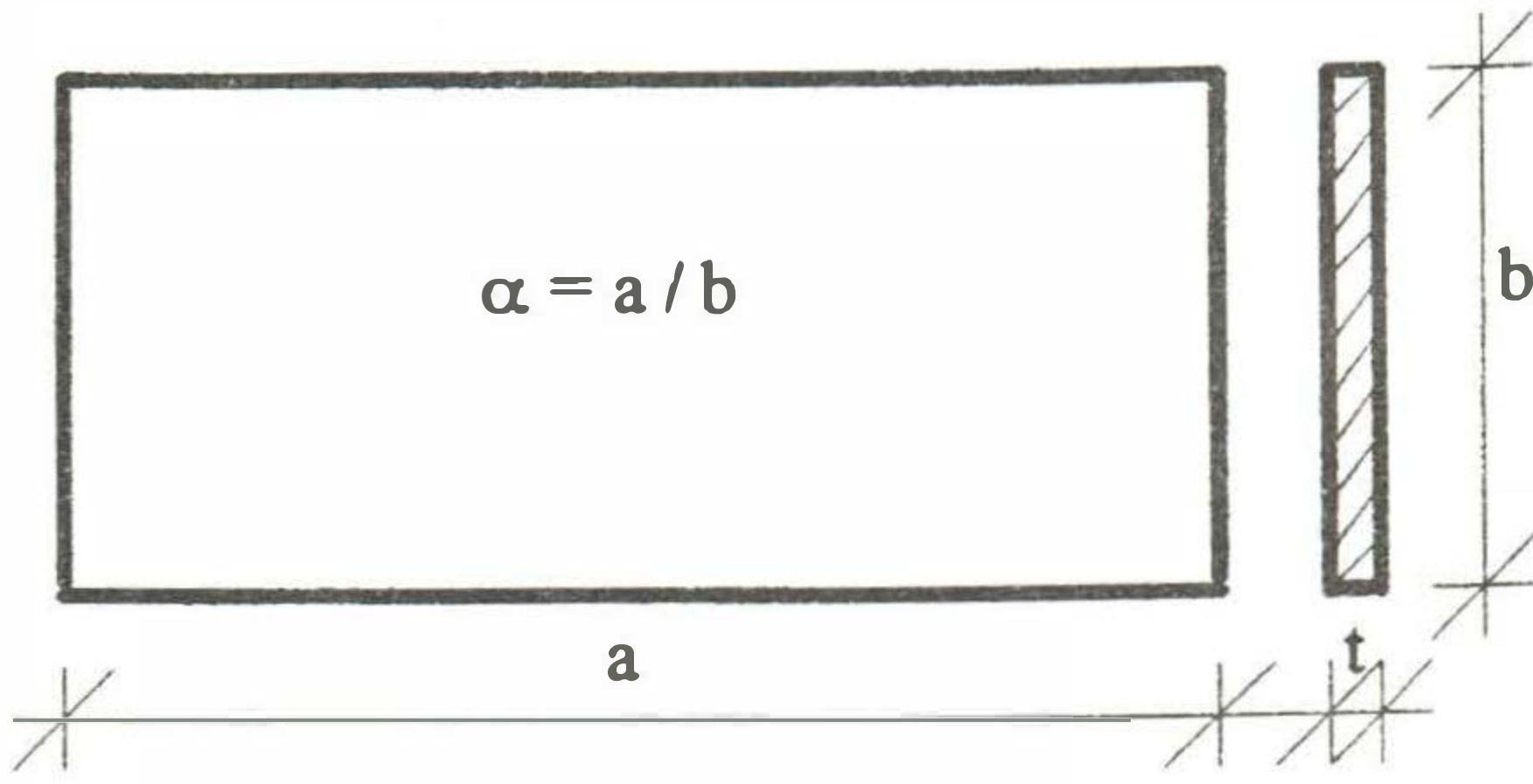
II. LEVHALARIN BURUŞMASI

Levhalar, narin yapıda bir malzeme olduğundan dolayı basınç yükü ile yüklendiği zaman belirli bir yük altında kendi yükleme düzlemine dik olarak burkulurlar. Levhaların buruşma davranışı, çeşitli parametrelere bağlıdır. Bu parametreler sayesinde güvenli ve ekonomik bir taşıyıcı sistem oluşturmak mümkün olmaktadır.

Bu konu başlığı altında lineer ve lineer olmayan buruşma teorilerinden bilinen yedi adet parametre tanıtılacaktır.

- Levha narinliği, levha genişliği b ve levha kalınlığı t arasındaki oran olarak tanımlanır (Şekil 2.1). Levha genişliği b basınç yükü ile yüklenmiş levha kenarının boyutudur. Çalışmada, b/t oranı, $t = 3$ mm kalınlıklı levhalarda 58 ila 125 arasında, $t = 4$ mm kalınlıklı levhalarda ise 44 ila 94 arasında değişmektedir.

- Levha kenar oranı, levha uzunluğu a ve levha genişliği b arasındaki oran olarak tanımlanır ve α ile gösterilir. Çalışmada levha kenar oranı α , 1 ila 2.14 arasında seçilmiş ve bu orana bağlı olarak deney epruvetleri imal edilmiştir.



Şekil 2.1 : Dört Kenar Ankastr Mesnetli levha

- Levha kenarlarının mesnetlenmesi, levha kenarlarının mesnetlenmesinin incelenmesinde, konstrüksiyon ve diferansiyel denklemlerin çözümü için gerekli olan matematiksel sınır şartları ve levhanın mesnet davranışı arasında farklılıklar olabilir. Hiçbir zaman teorik hesaplarda kullanılan gerçek mesnet şartlarını elde etmek mümkün olmaz. Bu nedenle hesaplamalar bazı ön kabuller yapılarak gerçekleştirilir. Matematiksel sınır şartları olarak genel anlamda üç sınır şartından bahsetmek mümkündür.

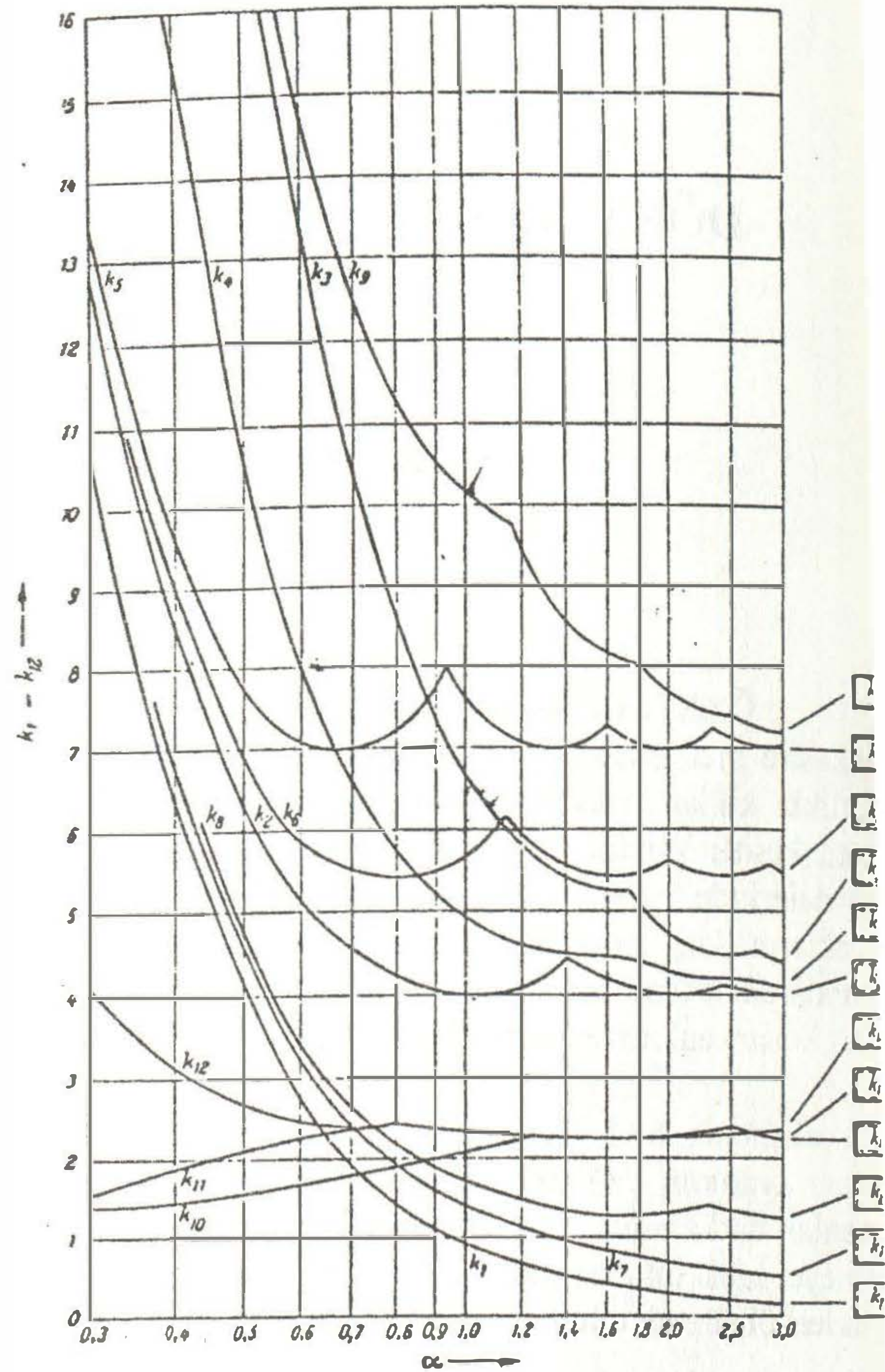
* Boşta (serbest) Kenarlar

* Mafsallı Mesnetlenmiş Kenarlar

* Ankastr Kenarlar

Enine kenar mesnetlenmesinin k buruşma katsayısına etkisi büyüktür. Dört tarafından ankastr mesnetlenmiş levhalarda kullanılacak k buruşma katsayısının değerleri Şekil 2.2'den alınacaktır. Diğer tür mesnetlenme hallerinde de k buruşma katsayısı değeri de bu şekilden alınabilir. Sözkonusu bu diyagramlar, çeşitli türde mesnetlenmiş levhaların enerji yöntemine göre hesaplanmış değerlerine dayanılarak çizilmiştir.

- Malzeme akma sınırı, levhanın malzeme özelliklerinin taşıma yükü üzerine etkisi büyüktür. Dolayısıyla kullanılacak malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyi tespit edilmesi gerekmektedir. Şayet malzeme özelliklerinin tespiti hakkında gerekli özen gösterilmez ise yapılacak hesaplamalar sonucu çıkacak değerler yanıltıcı olacaktır.



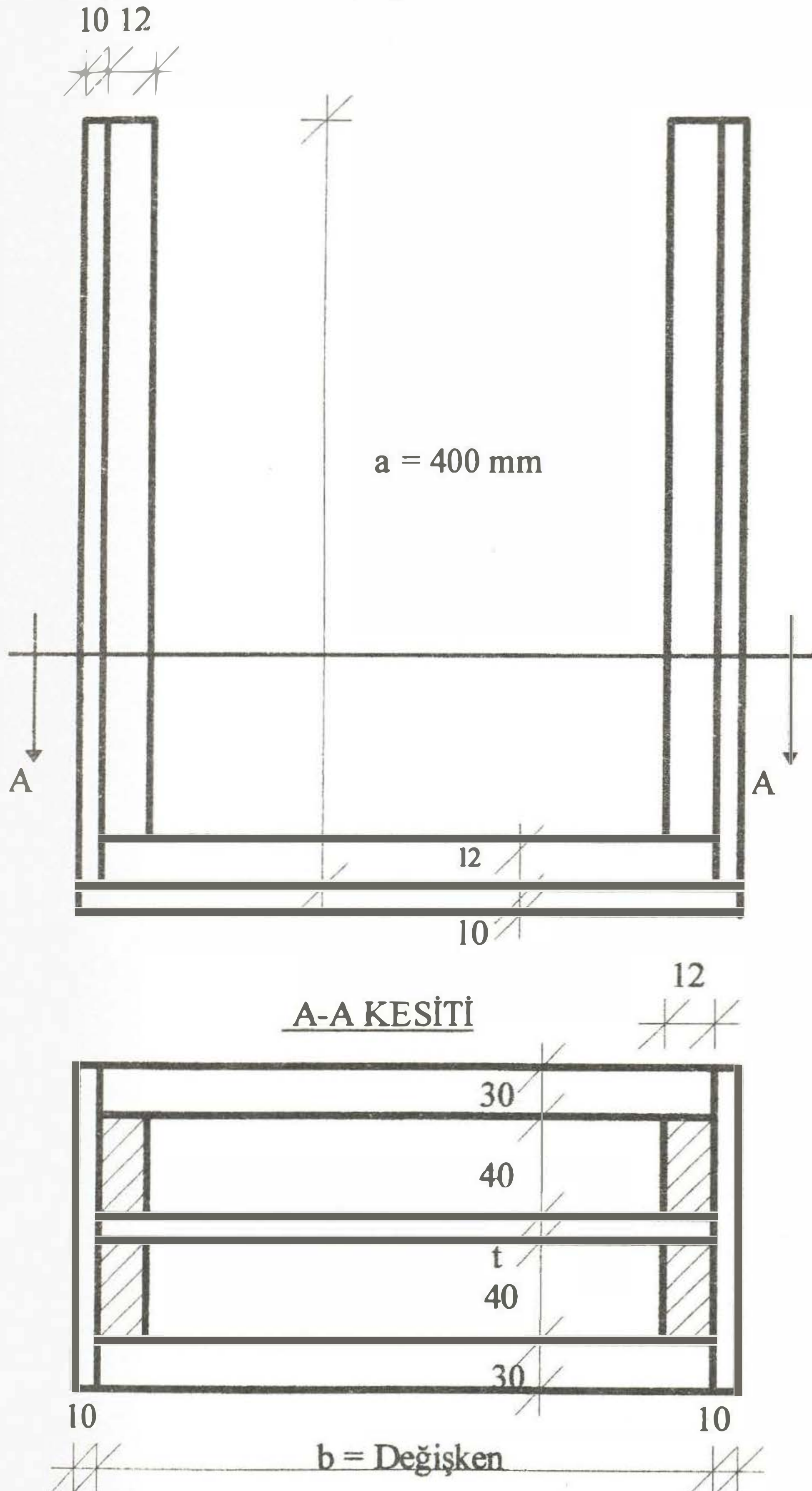
Şekil 2.2 : Üniform Bir Eksenli Basınç Yüküne Maruz Levhaların $k - \alpha$ Diyagramları

- Levha kenarının yüklenmesi, levhaların hesaplanmasında levha kenarlarının yüklenme şeklinin önemi büyüktür. Daha doğrusu levhaya ne tür bir yük etki ediyorsa, hesaplar ona göre yapılmalıdır. Genelde üç tür yüklemeye bahsetmek mümkündür. Düzgün yayılı yük, trapez yayılı yük ve üçgen yayılı yük.
- Ön şekil değiştirme (ön deformasyon) lineerleştirilmiş buruşma teorisi matematiksel anlamda düzlem olan levhaları incelemektedir. Rijitleştirilen veya kaynaklanan dolu gövde konstrüksiyonların imali esnasında, levhalarda rijitleştiricilerde istenmeyen çarpılmalar veya deformasyonlar oluşabilir. Bu ön deformasyonları yönetmeliklerin verdiği sınırlar içinde kalır ise konstrüksiyonlar düzlem olarak kabul edilirler ve hesapları şekil değiştirmemiş gibi yapılır. Şayet bu ölçülen ön deformasyon değerleri yönetmeliklerde belirtilen sınırları aşıyor ise bu ön deformasyonlar dikkate alınarak hesap gerçekleştirilir. Aksi takdirde gerçeğe yakın olmayan sonuçlar elde edilmiş olur.

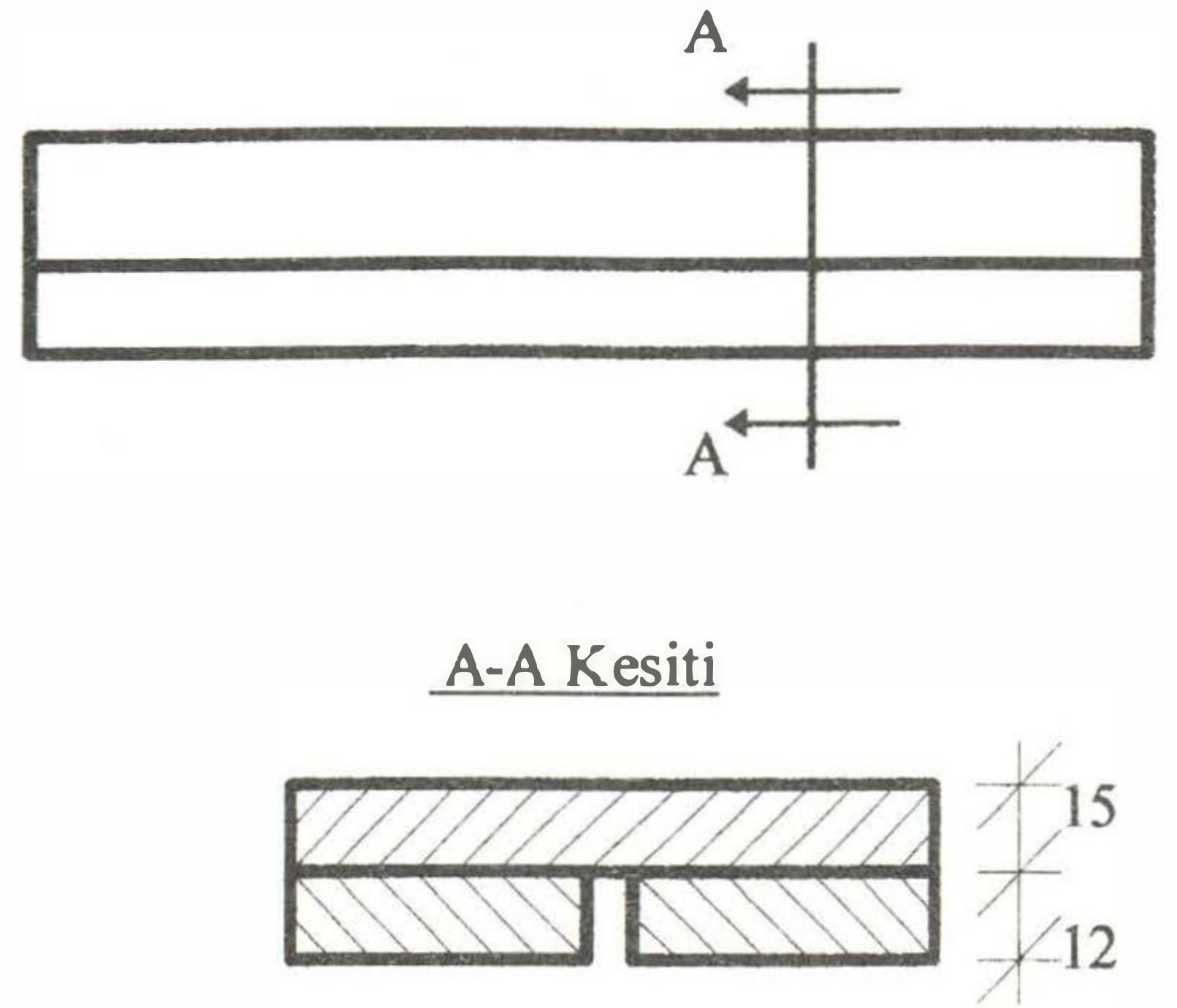
III. DENEY DÜZENİ VE DENEYİN YAPILIŞI

Bu deney epruvetleri 600 kN kapasiteli basınç yükü veren makinada deneye tabi tutulmuştur. Deney epruvetleri, Şekil 3.1' de görülen deney düzeneği içinde iki kenarından düzgün yayılı basınç yükü verilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir tür deney numunesi için 1 adet olmak üzere 5 ve herbir tür levha kalınlığı için 1 adet olmak üzere toplam 10 adet sabit deney düzeneği hazırlanmıştır. Bu deney çerçevesi levhanın üç kenarının ankastre mesnetlenmesini sağlamaktadır.

Enine yük doğrultusunda giden kenar ise boşta bırakılmıştır. Boşta bırakılan kenar yük verilen dördüncü kenar olmaktadır. Bu kenarın ankastre mesnetlenmesini sağlamak için, Şekil 3.1' de görülen ilave bir parça hazırlanarak düzgün yayılı basınç yükü bu parça üzerinden deney epruvetine verilmektedir.



Şekil 3.1 : Deney Epruvetlerinin İçine Konulduğu Deney Çerçevesi



Şekil 3.2 : Levhaya Yükün Verildiği ilave üst Parça

Yapılan deneylerde iki farklı levha kalınlığı ele alınmaktadır. $t = 3$ mm ve $t = 4$ mm levha kalınlıklı St 37 çeliğinden epruvetler hazırlanmıştır. Levhaların mesnetlenme şekli, dört tarafı ankastre mesnetli olmaktadır. Bu levhaya yük enine kenarlardan ve boyuna kenar doğrultusunda verilmektedir. Deney epruvetlerinin boyutları ve enkesit değerleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2' de toplu olarak verilmektedir.

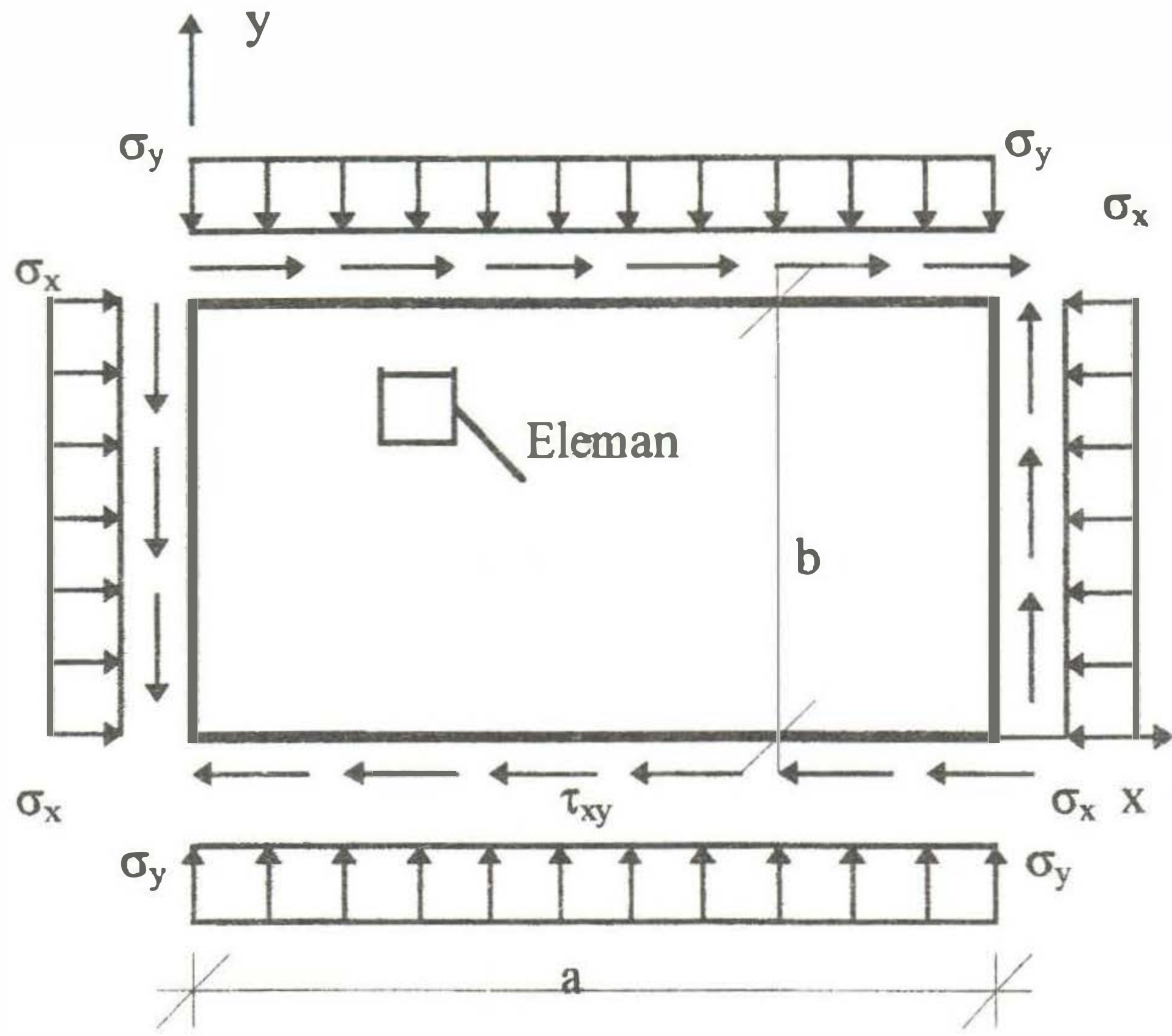
Tablo 3.1 : $t = 3$ mm kalınlıklı Levhanın enkesit değerleri

Epr. No	a (mm)	b (mm)	t (mm)	A (cm ²)	b/t	$\alpha = a/b$
E1	375	375	3	11.25	125	1.00
E2	375	375	3	11.25	125	1.00
E3	375	325	3	9.75	108	1.15
E4	375	325	3	9.75	108	1.15
E5	375	275	3	8.25	92	1.36
E6	375	275	3	8.25	92	1.36
E7	375	225	3	6.75	75	1.67
E8	375	225	3	6.75	75	1.67
E9	375	175	3	5.25	58	2.14
E10	375	175	3	5.25	58	2.14

Tablo 3.2 : $t = 4$ mm kalınlıklı levhanın enkesit değerleri

Epr. No	a (mm)	b (mm)	t (mm)	A (cm ²)	b/t	$\alpha = a/b$
E11	375	375	4	15	93.75	1.00
E12	375	375	4	15	93.75	1.00
E13	375	325	4	13	81.25	1.15
E14	375	325	4	13	81.25	1.15
E15	375	275	4	11	68.75	1.36
E16	375	275	4	11	68.75	1.36
E17	375	225	4	9	56.25	1.67
E18	375	225	4	9	56.25	1.67
E19	375	175	4	7	43.75	2.14
E20	375	175	4	7	43.75	2.14

IV. TEORİK HESAPLAMALAR VE DENEY SONUÇLARI



Şekil 4.1 : Levhanın Genel Yüklenme Şekli

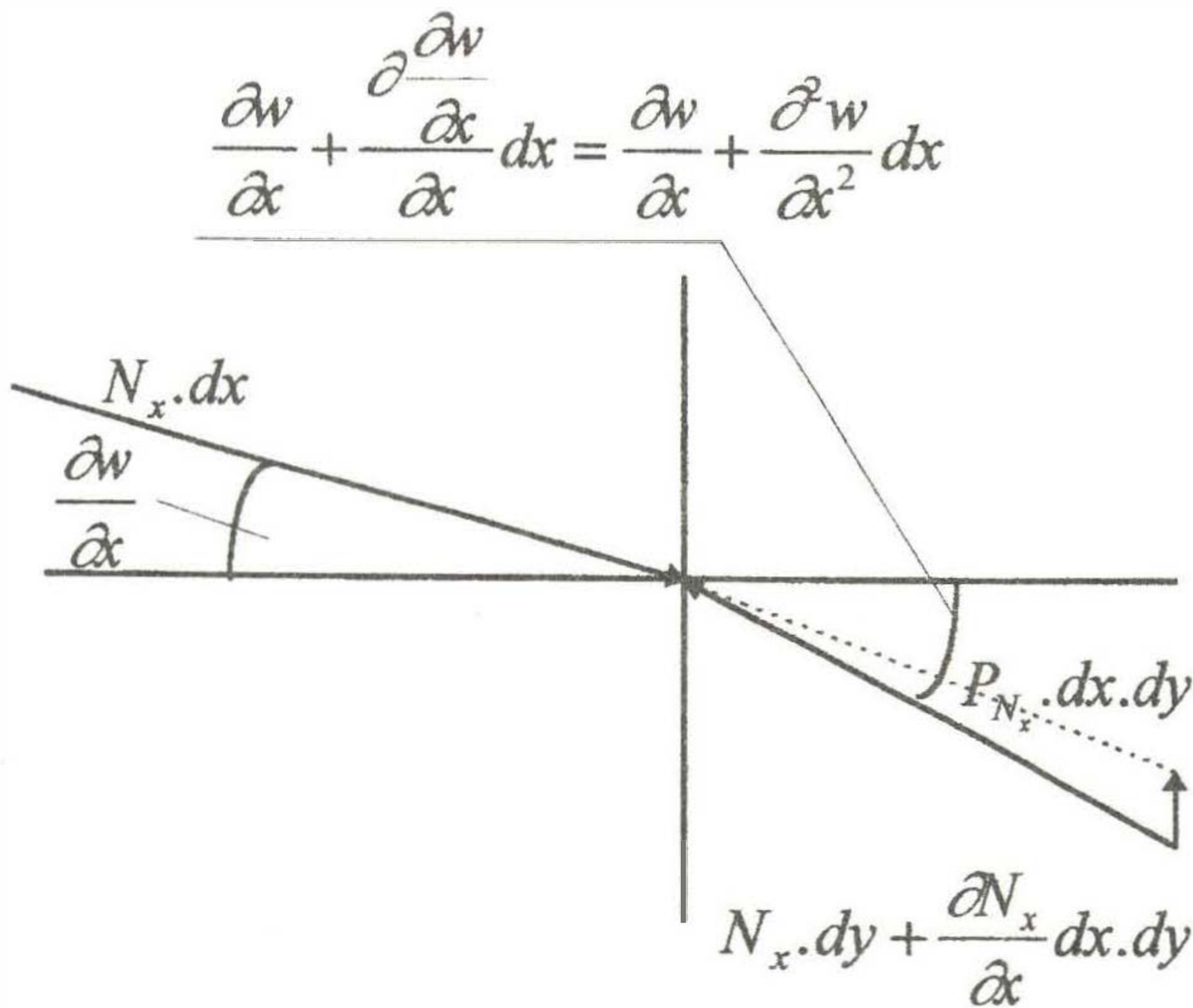
Enine yüklenmiş levhalar için aşağıdaki Kirschhoff plak denklemi geçerlidir.

$$\frac{E \cdot t^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = P \quad (4.1)$$

Denge şartından, plak üzerindeki bütün düşey kuvvetlerin toplamı sıfırdır.

Burada, $\sigma_x \cdot t = N_x$, $\sigma_y \cdot t = N_y$, $\tau_{xy} \cdot t = N_{xy}$ olarak alınmaktadır (Şekil 4.1).

x doğrultusundaki kesitte meydana gelen iç kuvvetler,



Şekil 4.2 : x Doğrultusunda Kesitte Oluşan İç Kuvvetler

Küçük açılar kabulü yapılarak,

$$P_{N_x} \cdot dx \cdot dy = N_x \frac{\partial w}{\partial x} dy -$$

$$\left(N_x \cdot dy + \frac{\partial N_x}{\partial x} dx \cdot dy \right) \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx \right) \quad (4.2)$$

$$P_{N_x} \cong -N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial N_x}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} \quad (4.3)$$

elde edilir.

Benzer olarak,

$$P_{N_y} \cong -N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\partial N_y}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} \quad (4.4)$$

$$P_{N_{xy}} \cong -N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \quad (4.5)$$

$$P_{N_{yx}} \cong -N_{yx} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - \frac{\partial N_{yx}}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial x} \quad (4.6)$$

$$P = P_{N_x} + P_{N_y} + P_{N_{xy}} + P_{N_{yx}} \quad (4.7)$$

elde edilir.

$\sum x = 0$ denge şartından ve $\cos \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right) \cong 1$ alınarak,

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} = 0 \quad (4.8)$$

$\sum y = 0$ denge şartından,

$$\frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} = 0 \quad (4.9)$$

$$P = - \left(N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2 N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (4.10)$$

$$P = -t \cdot \left(\sigma_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2 \tau_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \sigma_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (4.11)$$

(4.11) denklemi (4.1) denkleminde yerine konur ise,

$$\frac{E.t^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = -t \left(\sigma_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2 \tau_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \sigma_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (4.12)$$

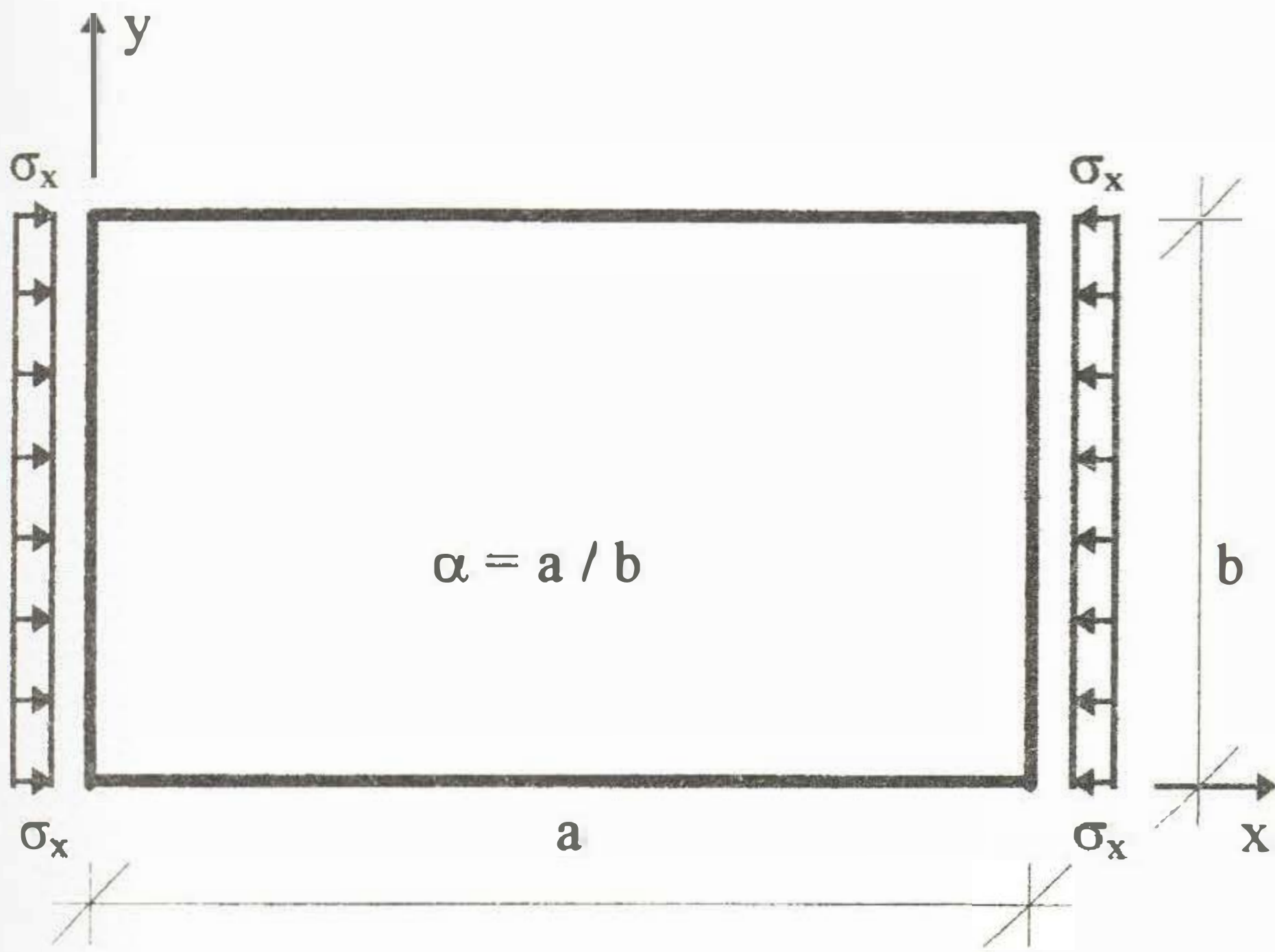
elde edilir.

Plak rijitliği D ile gösterilirse,

$$D = \frac{E.t^3}{12(1-\mu^2)} \quad (4.13)$$

yazılabilir.

İki tarafından düzgün yayılı basınç yükü ile yüklenmiş dört kenarı ankastre dikdörtgen levha için çözüm yapılırsa:



Şekil 4.3 : Düzgün Yayılı Yükle Yüklenmiş Levha

Levha çözümünde kullanılacak dalga (buruşma) denklemi,

$$w = \frac{A_{mn}}{4} \left(1 - \cos \frac{2m\pi x}{a} \right) \left(1 - \cos \frac{2n\pi y}{b} \right) \quad (4.14)$$

olarak tahmin edilir.

Bu denklemde,

m , x doğrultusundaki dalga sayısını
n , y doğrultusundaki dalga sayısını

göstermektedir.

Tahmini yapılan dalga denklemi, dört kenarından ankastre dikdörtgen levhanın diferansiyel denklemini

(4.1) ve bu levhanın sınır şartlarını sağlaması gerekmektedir.

Sınır şartları,

$$w = 0 \quad \text{için} \quad x = 0, \quad x = a, \quad y = 0, \quad y = b$$

$$w' = 0 \quad \text{için} \quad x = 0, \quad x = a, \quad y = 0, \quad y = b$$

olarak yazılabilir.

Dalga denklemi, levha diferansiyel denkleminde türevleri alınarak yerine konursa (m = n = 1),

$$\left(\sigma_x + \frac{a^2}{b^2} \sigma_y \right) = \frac{4\pi^2 \cdot D \cdot a^2}{3t} \left(\frac{3}{a^4} + \frac{3}{b^4} + \frac{2}{a^2 b^2} \right) \dots \quad (4.15)$$

elde edilir.

Levhanın kare olduğu ve iki dik doğrultuda eşit basınç yüküne maruz kalması özel halinde bu denklem şu şekli alır (a = b ve $\sigma_x = \sigma_y$ ise),

$$(\sigma_x)_{kr} = 5,33 \frac{\pi^2 \cdot D}{t \cdot a^2} \quad (4.16)$$

olur.

Çalışmada incelenen kesit ve yükleme durumu gözönüne alınırsa (yani, $a \neq b$ ve $\sigma_y = 0$ durumu), minimum kritik gerilmeyi veren formül,

$$(\sigma_x)_{kr} = \sigma_{ki} = k \frac{D}{t \cdot b^2} \quad (4.17)$$

elde edilir. Burada k buruşma katsayısıdır ve a / b levha kenar oranına bağlı olarak Tablo 4.1'de verilmektedir.

Tablo 4.1 : Dört kenarından Ankastre Dikdörtgen Bir Levha için a / b Oranına Bağlı Olarak Bulunan k Değerleri

a / b	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
k	195.5	103.5	83.4	79.6	78.9	75.2	72.8

Deneylerde sehim ölçmeleri kuvvetin belirli bir değerine kadar yapılabilmektedir. Çünkü bu değer üzerindeki okumalarda ölçme komparatörü sürekli olarak artmaktadır. Okuma yapılması mümkün olmamaktadır. Levhanın düzlemine dik doğrultudaki orta sehim okumaları, 5 cm okuma kapasiteli 1/100 hassasiyetli komparatörler aracılığı ile yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucu görülmüştür ki, çıkan sehim değerleri yaklaşık olarak cosinüs eğrisi formundadır.

Kuvvetin belirli bir değerine kadar bu şekilde giden sehim değerleri, bir noktadan sonra kuvvet artmasada hızla artmaktadır.

Deney epruvetlerine kuvvet verilmesi, epruvetlerin taşıma kapasitelerinin sonuna kadar devam ettirilmektedir. Bu sayede levhaların göçme yükleride tesbit edilebilmektedir.

Deney epruvetlerinin plastik sınır yükü,

$$P_{Pl} = \sigma_F \cdot A \quad (4.18)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Levhanın kritik buruşma yükü,

$$P_{ki} = \sigma_{ki} \cdot A \quad (4.19)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Burada,

$$\sigma_{ki} = k \cdot \sigma_e = k \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (4.20)$$

olarak hesaplanmaktadır. Bu formüldeki k buruşma karsayısı, σ_e Euler burkulma gerilmesidir.

Levha narinliği değeri,

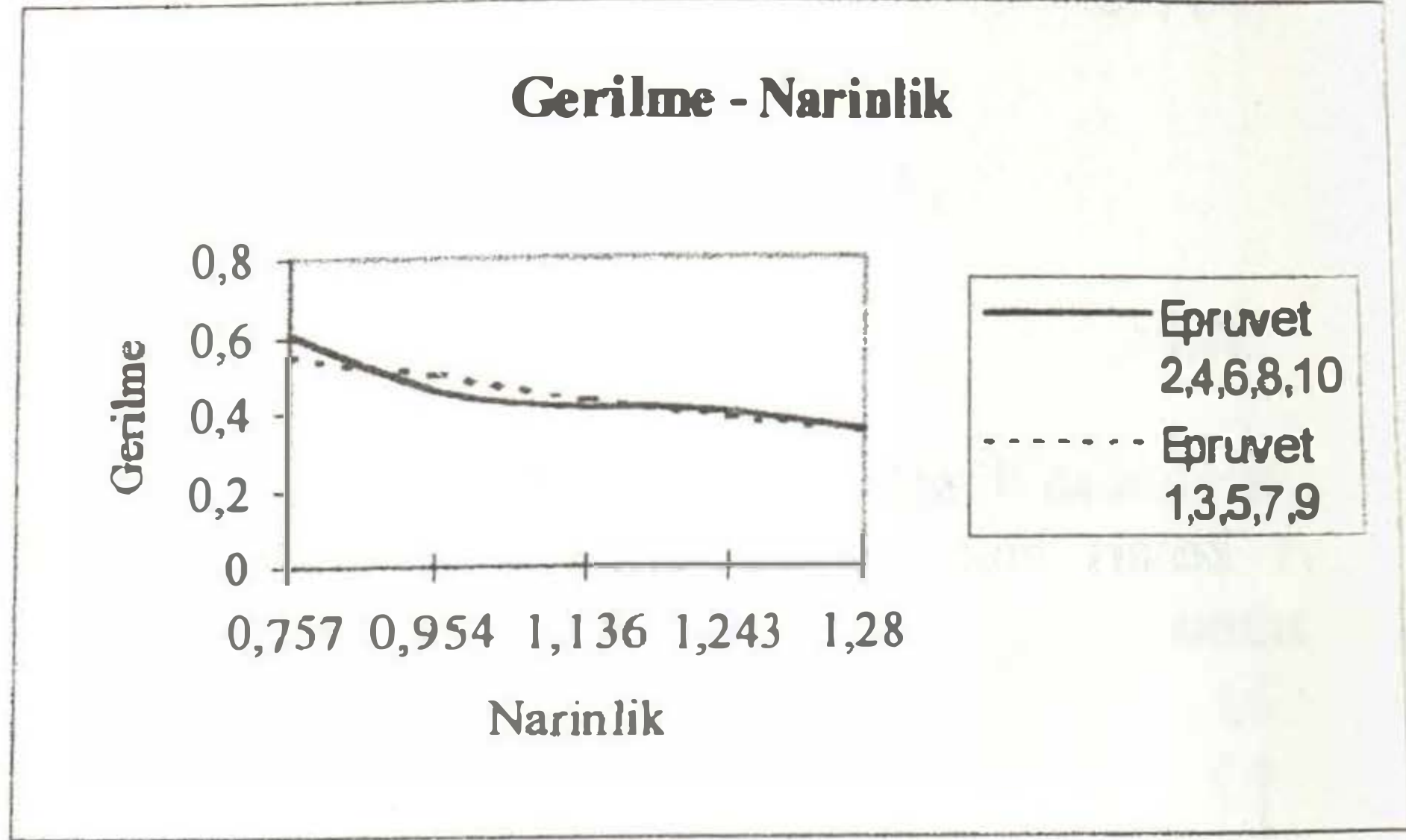
$$\lambda_v = \sqrt{\frac{\sigma_F}{\sigma_{ki}}} \quad (4.21)$$

olarak hesaplanır.

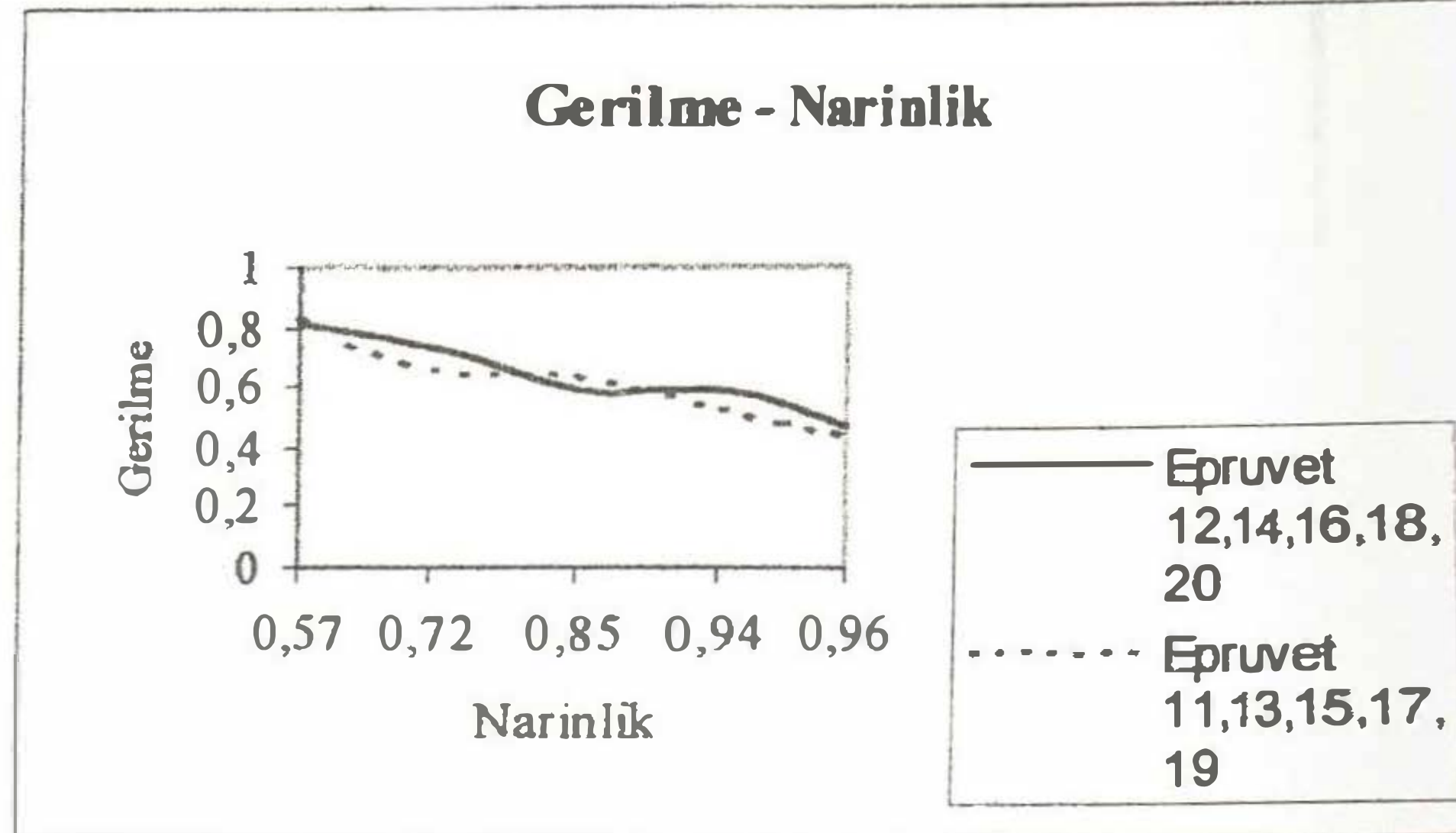
Teorik hesaplamalar sonucu bulunan değerler ile deney sonuçları, her iki tür levha kalınlığı için ayrı ayrı Tablo 4.2 ve Tablo 4.3' de toplu olarak verilmektedir.

Tablo 4.3 : t = 4 mm kalınlıklı Levhada Sonuçlar

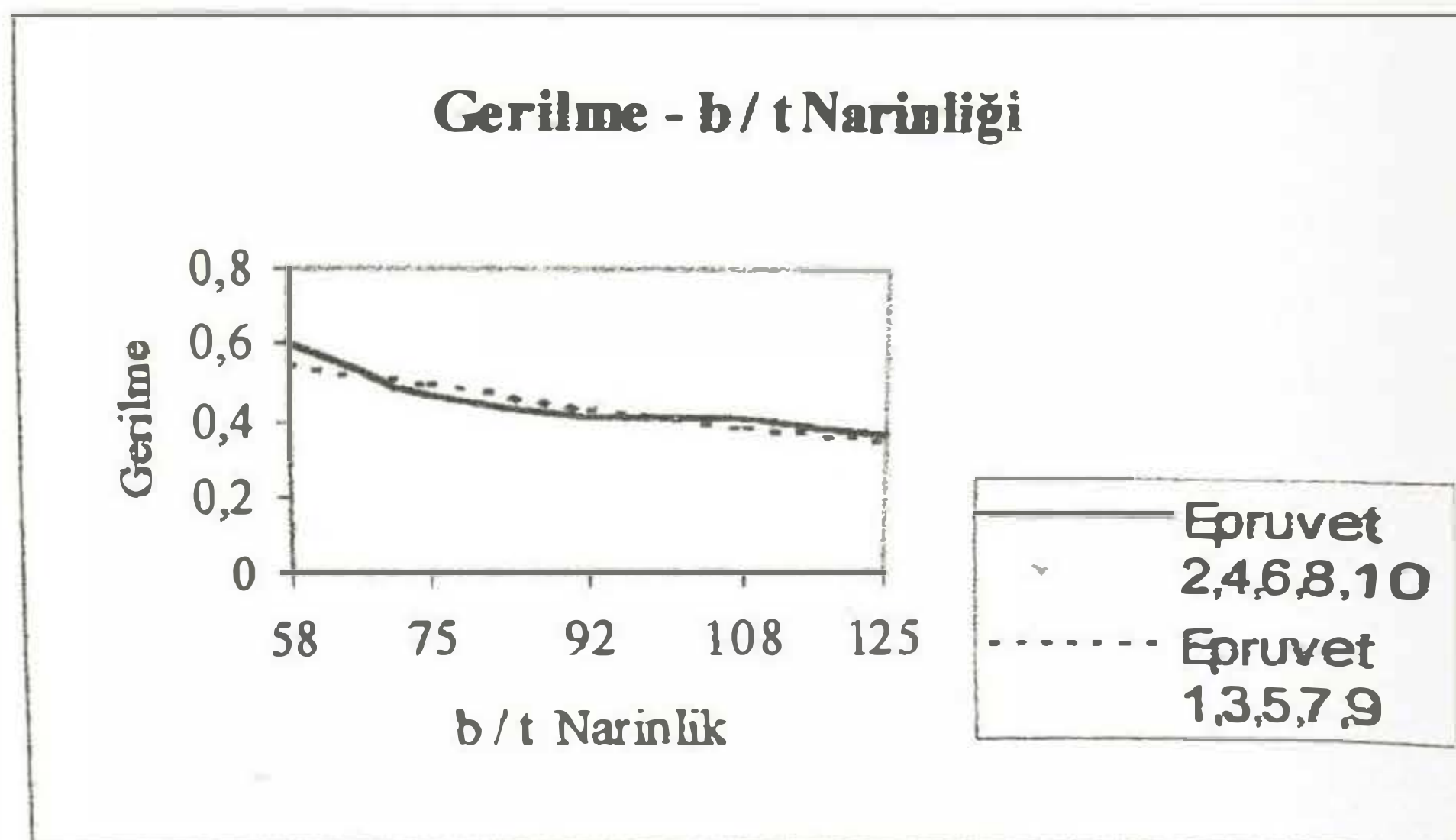
Epr No	b / t	P _{pl} (kN)	P _D (kN)	σ _D	σ _D /σ _F	λ _v
E11	93.75	360.0	163.5	10.9	0.438	0.960
E12	93.75	360.0	175.5	11.7	0.470	0.960
E13	81.25	313.0	173.0	13.2	0.532	0.935
E14	81.25	313.0	190.0	14.6	0.587	0.935
E15	68.75	264.0	179.0	16.3	0.654	0.849
E16	68.75	264.0	159.0	14.4	0.581	0.849
E17	56.25	216.0	149.0	16.5	0.666	0.716
E18	56.25	216.0	163.0	18.1	0.728	0.716
E19	43.75	168.0	147.0	21.0	0.844	0.571
E20	43.75	168.0	140.5	20.1	0.807	0.571



Şekil 4.4 : Gerilme - Narinlik (λ_v) (Levha Kalınlığı t = 3 mm)



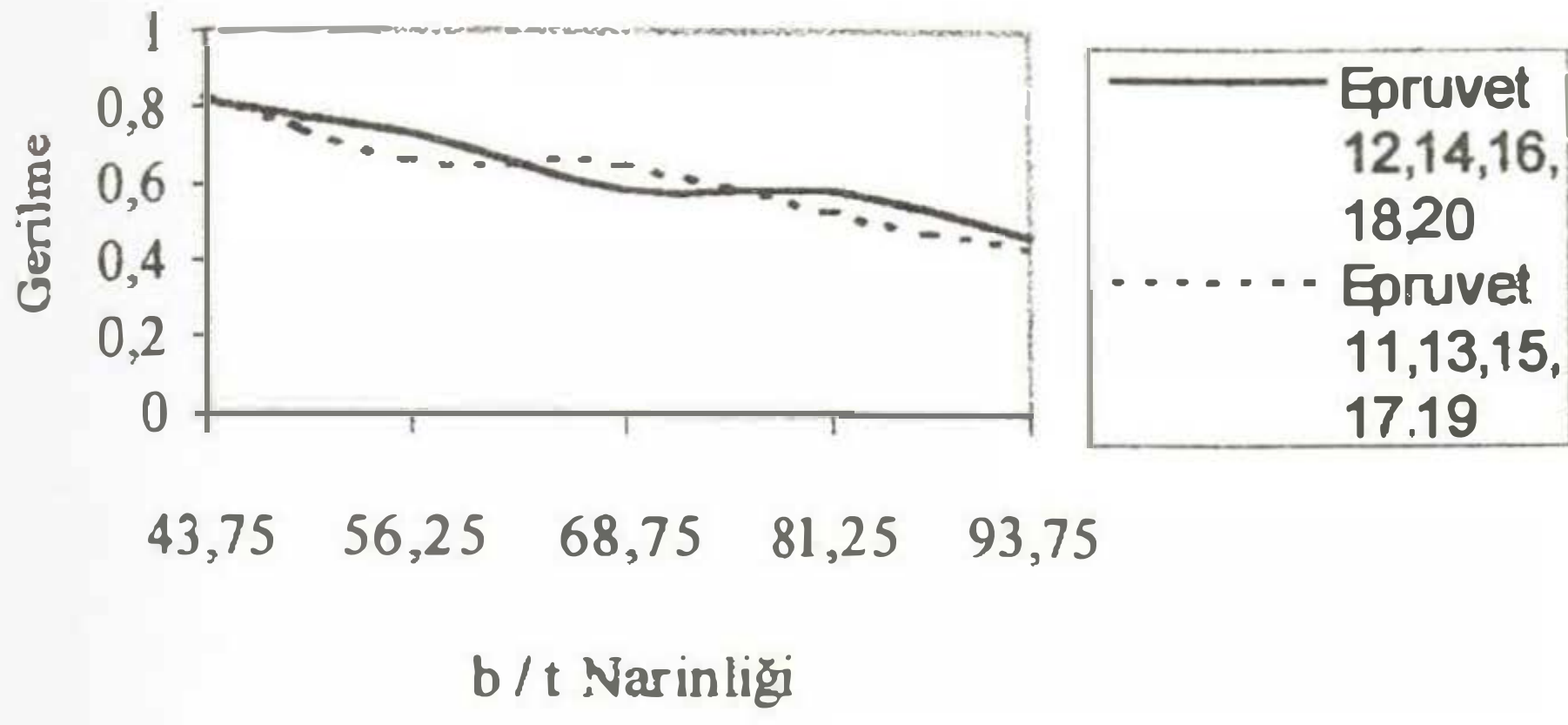
Şekil 4.5 : Gerilme - Narinlik (λ_v) (Levha Kalınlığı t = 4 mm)



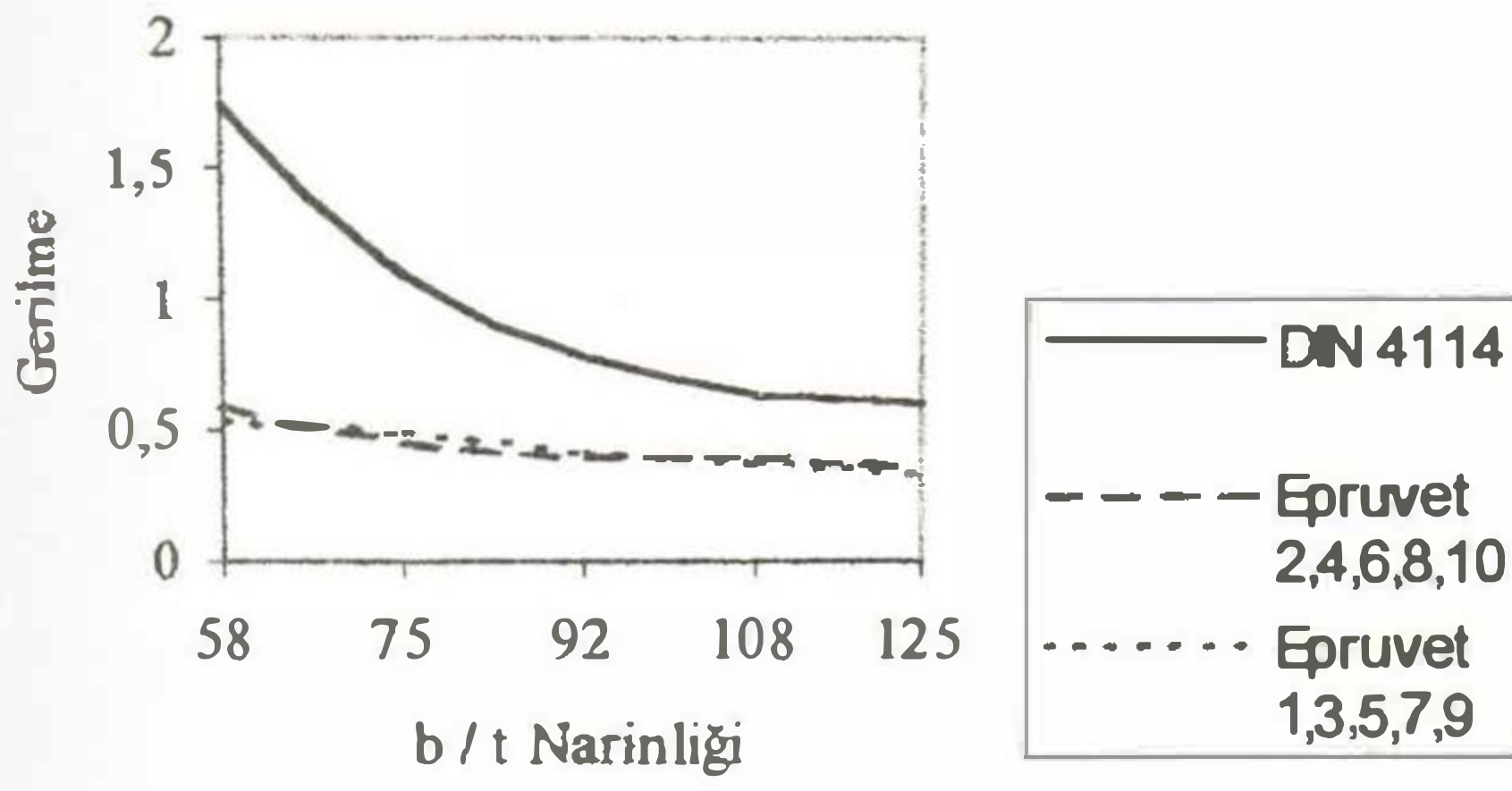
Şekil 4.6 : Gerilme - b / t Narinliği (Levha Kalınlığı t = 3 mm)

Tablo 4.2 : t = 3 mm Kalınlıklı Levhada Sonuçlar

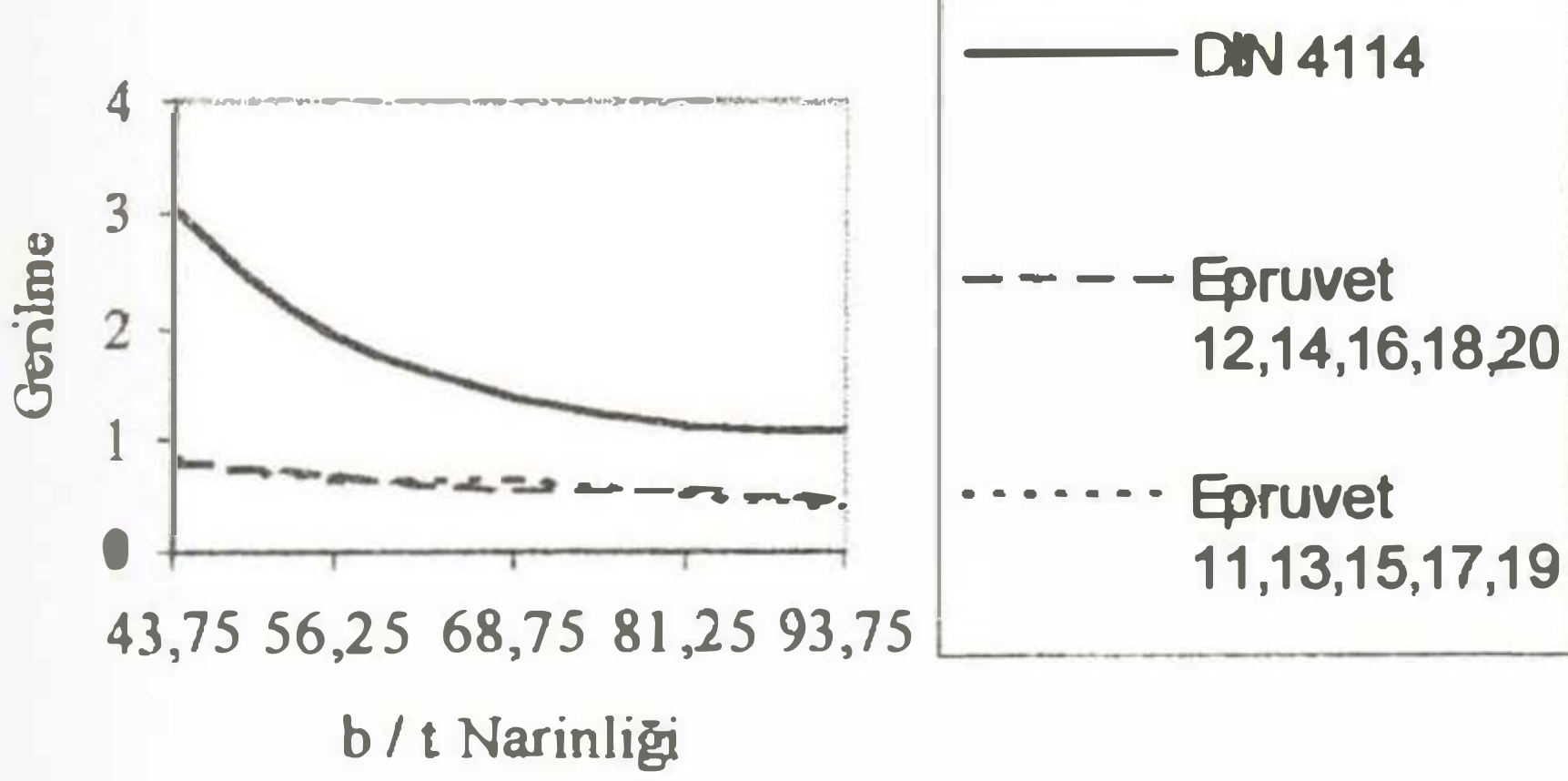
Epr No	b / t	P _{pl} (kN)	P _D (kN)	σ _D	σ _D /σ _F	λ _v
E1	125	270.0	97.50	8.67	0.349	1.280
E2	125	270.0	99.50	8.84	0.356	1.280
E3	108	234.0	93.50	9.59	0.386	1.243
E4	108	234.0	97.50	10.0	0.403	1.243
E5	92	198.0	88.00	10.7	0.430	1.136
E6	92	198.0	84.00	10.2	0.410	1.136
E7	75	162.0	83.50	12.4	0.499	0.954
E8	75	162.0	77.00	14.1	0.460	0.954
E9	58	126.0	71.50	13.6	0.549	0.757
E10	58	126.0	78.50	14.9	0.603	0.757

Gerilme - b / t Narinliği

Şekil 4.7 : Gerilme - b / t Narinliği (Levha Kalınlığı t = 4 mm)

V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**DIN 4114 İLE KARŞILAŞTIRMA**

Şekil 5.1 : DIN 4114 Standardı İle Karşılaştırma (t = 3 mm)

DIN 4114 İLE KARŞILAŞTIRMA

Şekil 5.2 : DIN 4114 Standardı İle Karşılaştırma (t = 4 mm)

Şekil 5.1 ve 5.2 'nin incelenmesi sonucu, b / t levha narinlik oranının değişimine bağlı olarak çizilen diyagramlarda elde edilen sonuçların her iki tür levha kalınlığı için, DIN 4114 standardının verdiği değerlerin altında çıkmaktadır. Bu da bize çıkan

sonuçların emniyetli bölgede kaldığı anlamını vermektedir.

Şekil 5.1'de DIN 4114 standardının verdiği değerler t = 3 mm kalınlıklı levhalarda b / t levha narinliğinin yaklaşık 75 değerinden sonra plastik bölgedeki taşıma yüklerinin elastik bölgeye geçtiğini göstermektedir.

Şekil 5.2'de DIN 4114 standardının verdiği değerler t = 4 mm kalınlıklı levhalarda taşıma yükleri plastik bölgede bulunduğunu göstermektedir. Halbuki deneyler sonucu bulunan değerler ise taşıma yüklerinin elastik bölgede olduğunu göstermektedir.

Bu iki durum sözkonusu levhaların taşıma yüklerinin teorik hesaplamalara göre daha emniyetli olduğu sonucuna bizi götürmektedir. Yapılan deneyler sonucunda çıkan bu sonuç yapılan çalışmanın önemini daha da vurgulamaktadır.

Yapılan deneyler sonunda elde edilen sonuçlara en uygun matematiksel bağıntılar " En küçük kareler yöntemi " ile aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Dört tarafından ankastre mesnetli levhalarda b / t levha narinliği göre ,

t = 3 mm olması halinde :

$$\frac{\sigma}{\sigma_F} = -2,434 \cdot 10^{-4} \left(\frac{b}{t}\right)^2 + 0,007 \left(\frac{b}{t}\right) + 43,396 \frac{1}{\left(\frac{b}{t}\right)} - 0,5$$

t = 4 mm olması halinde :

$$\frac{\sigma}{\sigma_F} = 2,386 \cdot 10^{-4} \left(\frac{b}{t}\right)^2 + 0,044 \left(\frac{b}{t}\right) + 75,566 \frac{1}{\left(\frac{b}{t}\right)} - 2,39$$

Dört tarafından ankastre mesnetli levhalarda λ_v levha narinliği göre ,

t = 3 mm olması halinde :

$$\frac{\sigma}{\sigma_F} = 0,319 \cdot \lambda_v^2 + 1,173 \cdot \lambda_v - 0,913 \frac{1}{\lambda_v} - 1,311$$

t = 4 mm olması halinde :

$$\frac{\sigma}{\sigma_F} = -2,215 \cdot \lambda_v^2 + 4,802 \cdot \lambda_v - 1,172 \frac{1}{\lambda_v} - 3,242$$

olarak elde edilir. Söz konusu bu formüller dört kenarı ankastre mesnetli dikdörtgen çelik levhalar için önerilmektedir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] Deren, H., " Çelik Yapılar ", Teknik Kitaplar Yayınevi, Ocak 1984, İstanbul.
- [2] Yelgin, A.N., " Üç Kenarlı Mafsallı Diğer Kenarlı Boşta Dikdörtgen Levhalarda Narinlik-Taşıma Yükü İlişkisi ", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 1990, İstanbul
- [3] DIN 1079, " Stählerne Strassenbrücken " Grundsätze für die Bauliche Durchbiegung.
- [4] BS 5950 Part 5, " Code of practice for The Design of Cold Formed Section ", Draft British Standard, 1987
- [5] DIN 4114, Blatt I., " Stabilitätsfalle (Knicken, Kippung, Beulen) Berechnungsgrundlagen " Juli 1952.
- [6] TS 138, " Çekme Deneyleri (Metelik Malzeme İçin) ", Türk Standardları Enstitüsü, 1978, Ankara.
- [7] DASt Ri.012, " Beulsicherheitsnachweise für Platten ", Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Oktober 1978.
- [8] Timoshenko, S., "Plak ve Kabuklar Teorisi ", Çevirenler: İnan,M., Sönmez, F.,İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 1964, İstanbul.
- [9] Stefen, C.C., Raymond, P.C., " Numerical Methods for Engineers ", McGraww - Hill, 1989.