

BÜTÜN KENARLARI MAFSALLI VE ANKASTRE MESNETLENMİŞ ÇELİK LEVHALARIN TAŞIMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Ahmet Necati YELGİN, Hüseyin YELGİN

I. GİRİŞ

Özet - Bir çok mühendislik yapısında dört tarafından mafsallı ve ankastre mesnetlenmiş dikdörtgen levhalar taşıyıcı sistemlerin önemli elemanları olarak karşımıza çok sıklıkla çıkmaktadır. Bu tür levhalar genellikle kutu kesitli yapma kolonlarda, gemi ve uçak endüstrisinde gemi ve uçağın gövdesini örtmede kullanılmaktadır. Bu levhalar karşılıklı iki kenarından düzgün yayılı basınç yükü ile zorlanırsa, malzeme mukavemetine erişmeden önce narin olmalarından dolayı erken buruşabilmektedirler.

Bu çalışmada, $\alpha \geq 1$ kenar oranlı levhaların (3 mm ile 4 mm kalınlıklı) taşıma yükleri deneysel olarak araştırılacaktır. Sonuçlar bu tür mesnetlenmiş levhaların taşıma yükleri için öneri olarak verilecektir.

Anahtar Kelimeler – Çelik Levha, Buruşma, Levha Kenar Oranı

Abstract - Square sheet with outer edges clamped or simply supported are widely in use in aircraft engineering and ship industry. These types of supporting systems are applied as a body structure in airplanes. In case of loading these elements with distributed compressive load from apposite ends, an unstable buckling problem is faced.

In this study, 3 mm and 4 mm thickness sheets with $\alpha \geq 1$ were experimental tested. The results showed the sensitivity of these systems to buckling problem.

Key Words – Steel Plate, Buckling, Side Ratio of Plates

Dört tarafından mafsallı ve ankastre mesnetli dikdörtgen çelik levhalar, çelik yapıda taşıyıcı sistemlerin önemli elemanları olarak çok sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu tür levhalar basınç yükü altında belirli bir değere ulaştıkları anda birden lokal burkulma (buruşma) yaparlar.

Bu nedenle böyle elemanların taşıma davranışlarının ve taşıma yüklerinin belirlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Bu tür levhaların buruşma yükleri ilk defa 1891 yılında İngiltere' de G.H. BRYAN tarafından teorik olarak hesaplanmıştır [1]. Bu konuda teorik çalışmalar günümüze dek yapılmış ve yapılmaktadır. Ancak bu tür levhalar üzerinde deneysel çalışma pek bulunmamaktadır.

Bu amaçla, α levha kenar oranlı levhaların taşıma yükleri ve ayrıca bu yükler altında yaptığı şekil değiştirme davranışları deneysel olarak incelenecektir.

Çalışmada, $t = 3$ mm ve $t = 4$ mm kalınlıklı levhalardan deney epruvetleri hazırlanmıştır (Mafsallı mesnetli olarak). Söz konusu deney epruvetleri, farklı kalınlıklı, aynı malzeme özellikli (St.37) ve yekpare levhalardan 400x400, 400x350, 400x300, 400x250 ve 400x200 ebatlarında kesilerek elde edilmiştir.

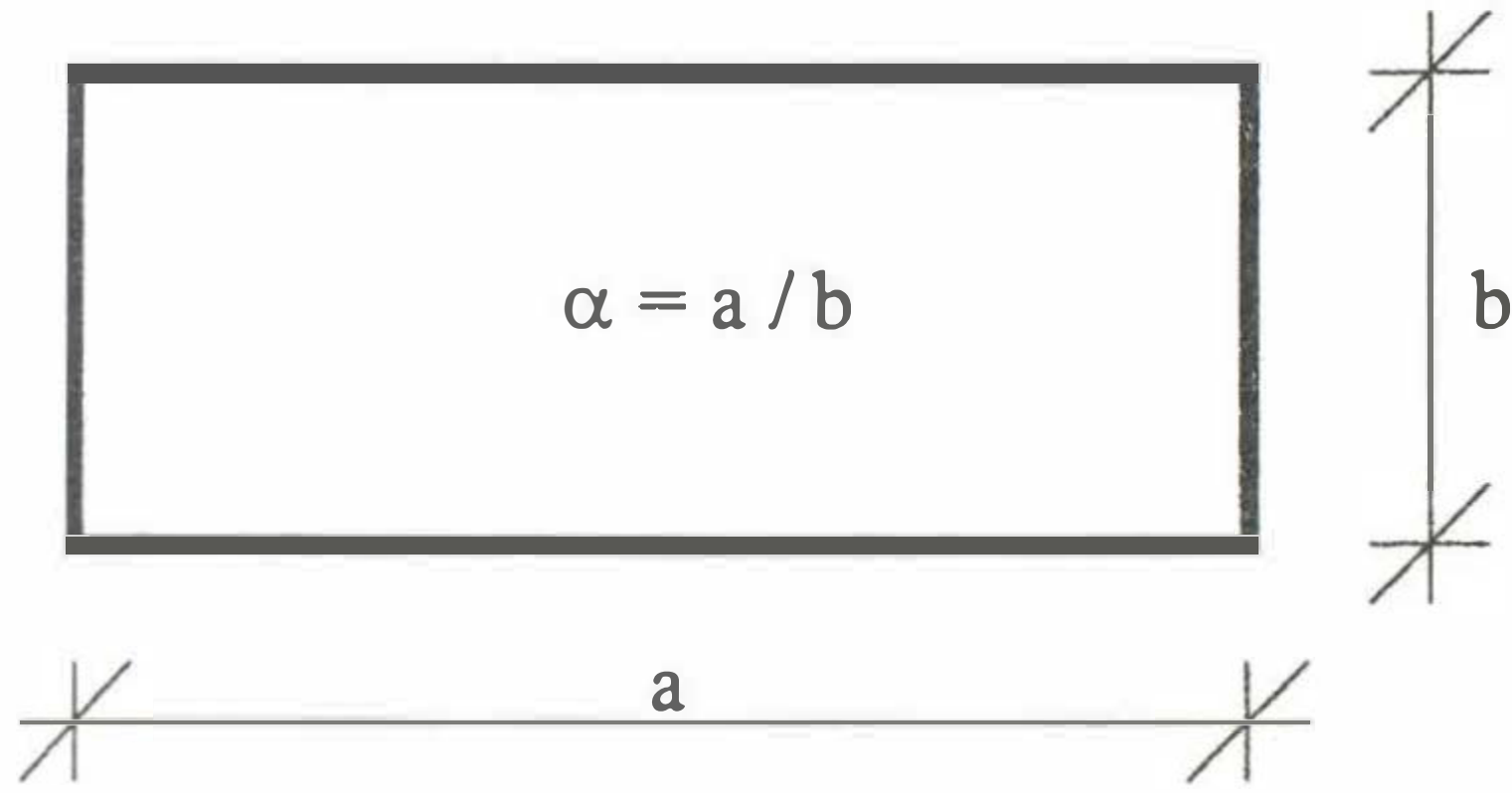
Gene bu çalışmada, $t = 3$ mm ve $t = 4$ mm kalınlıklı levhalardan deney epruvetleri hazırlanmıştır (Ankastre mesnetli olarak). Söz konusu deney epruvetleri, farklı kalınlıklı, aynı malzeme özellikli (St.37) ve yekpare levhalardan 375x375, 375x325, 375x275, 375x225 ve 375x175 ebatlarında kesilerek elde edilmiştir.

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 ancak güvenli ve ekonomik bir taşıyıcı sistem oluşturmak mümkün olabilmektedir. Bu konu başlığı altında lineer ve lineer olmayan buruşma teorilerinden bilinen yedi adet parametre tanıtılacaktır [2].

- 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.



Şekil 2.1. Levha Boyutları

Çalışmada, (Mafsallı mesnetli levhalarda), b / t oranı $t = 3$ mm kalınlıklı levhalarda 66.67 ile 133.33 arasında, $t = 4$ mm kalınlıklı levhalarda ise bu değerler 50 ile 100 arasında değişmektedir. (Ankastre mesnetli levhalarda), b / t oranı $t = 3$ mm kalınlıklı levhalarda 58 ile 125 arasında, $t = 4$ mm kalınlıklı levhalarda ise bu değerler 43.75 ile 93.75 arasında değişmektedir [3].

- Levha kenar oranı, levha uzunluğu a ve levha genişliği b arasındaki oran olarak tanımlanır ve α ile gösterilir. Çalışmada levha kenar oranı α farklı seçilmiş ve bu farklı orana bağlı olarak deney epruvetleri imal edilmiştir.
- 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 [4].

- Boşta (Serbest) Kenarlar
- Mafsallı Mesnetlenmiş Kenarlar
- Ankastre Mesnetlenmiş Kenarlar

- Enine kenar mesnetlenmesinin k buruşma katsayısına etkisi, örneğin (Dört kenarı mafsallı mesnetlenmiş levhalarda) k buruşma katsayısı,

$$k = \left(\frac{m}{\alpha} + \frac{n^2}{m} \alpha \right)^2 \quad (2.1)$$

formülüyle hesaplanmaktadır.

Diğer tür mesnetlenmiş levhalarda k buruşma katsayısı mesnetlenme şekline bağlı olarak farklı formlerle hesap edilmektedir.

Bu formülde m ve n her iki doğrultudaki dalga sayısını, α ise levha kenar oranını göstermektedir. k buruşma katsayısının alacağı minimum değer ise 4 olmaktadır [3].

- 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 [5].
- 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 yüklemeden bahsetmek mümkündür. Düzgün yayılı yük, trapez yayılı yük ve üçgen yayılı yük gibi.
- Ön şekil değiştirme (ön deformasyon), lineerleştirilmiş buruşma teorisi matematiksel anlamda düzlem olan levhaları incelemektedir [6-7]. Rijitleştirilen veya kaynaklanan dolu gövdeli konstrüksiyonların imali esnasında, levhalarda ve rijitleştiricilerde istenmeyen çarpılmalar veya deformasyonlar oluşabilir. Bu ön deformasyonlar 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.

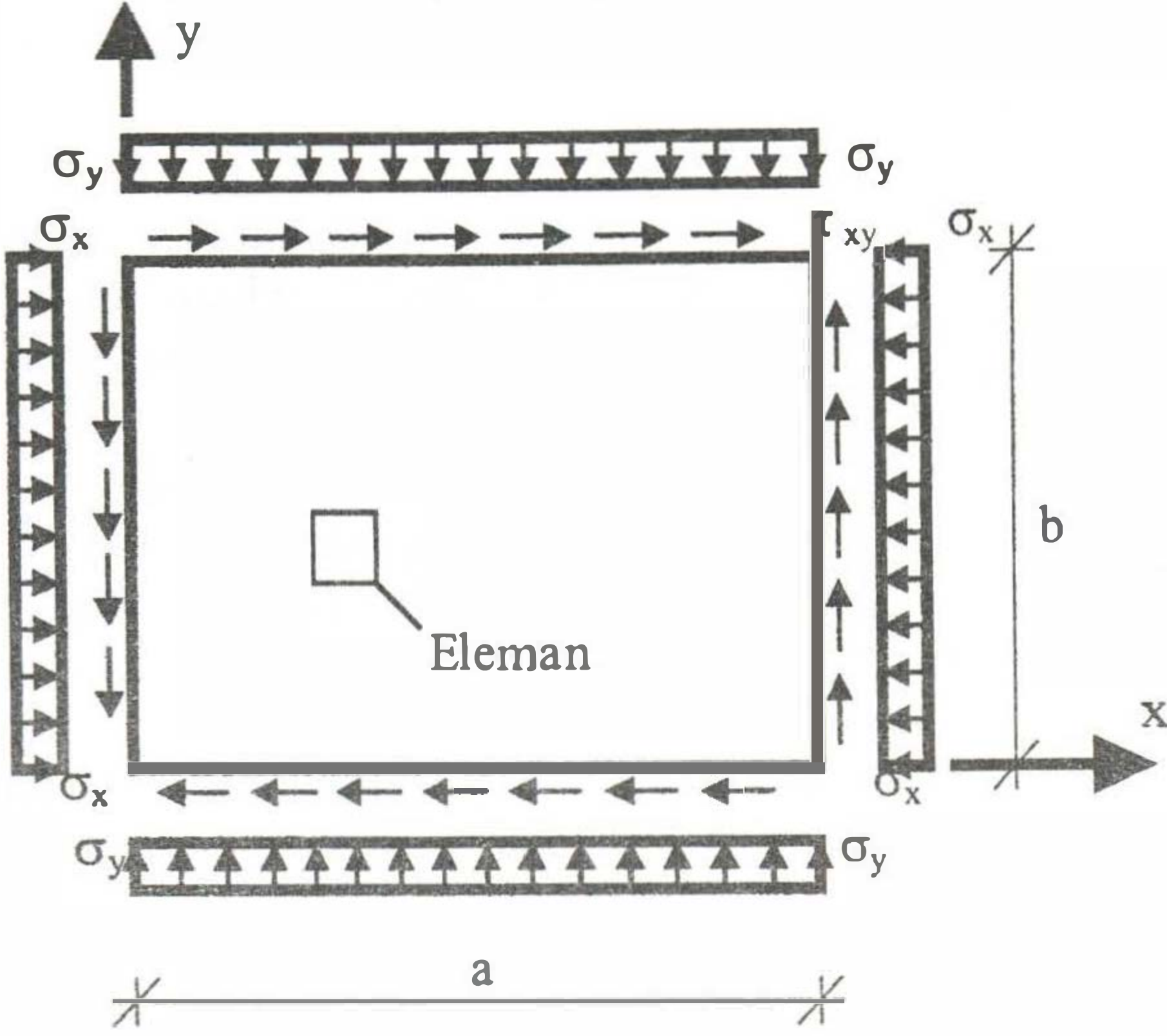
III. LEVHALARDA TAŞIMA YÜKÜ HESABI

Basınç veya kayma kuvvetiyle yüklenmiş ideal düzlem levhalar malzeme mukavemetine erişmeden önce burkulabilirler. Burkulma çubuğunda olduğu gibi levhalarda da levha ince ise (yani narin ise), buruşmanın da erken olacağı konumu geçerlidir.

Şekil 3.1' de örneğin dört tarafından mafsallı mesnetlenmiş bir levhanın genel yüklenme şekli görülmektedir. Enine yüklenmiş levhalar için aşağıdaki Kirschhoff plak denklemi geçerlidir.

$$\frac{E.t^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = P \quad (3.1)$$

Denge şartından, plak üzerindeki bütün düşey kuvvetlerin toplamı sıfırdır. Enine yükleme durumu P, levha durumunda mevcut değildir (Şekil 3.1) [1].

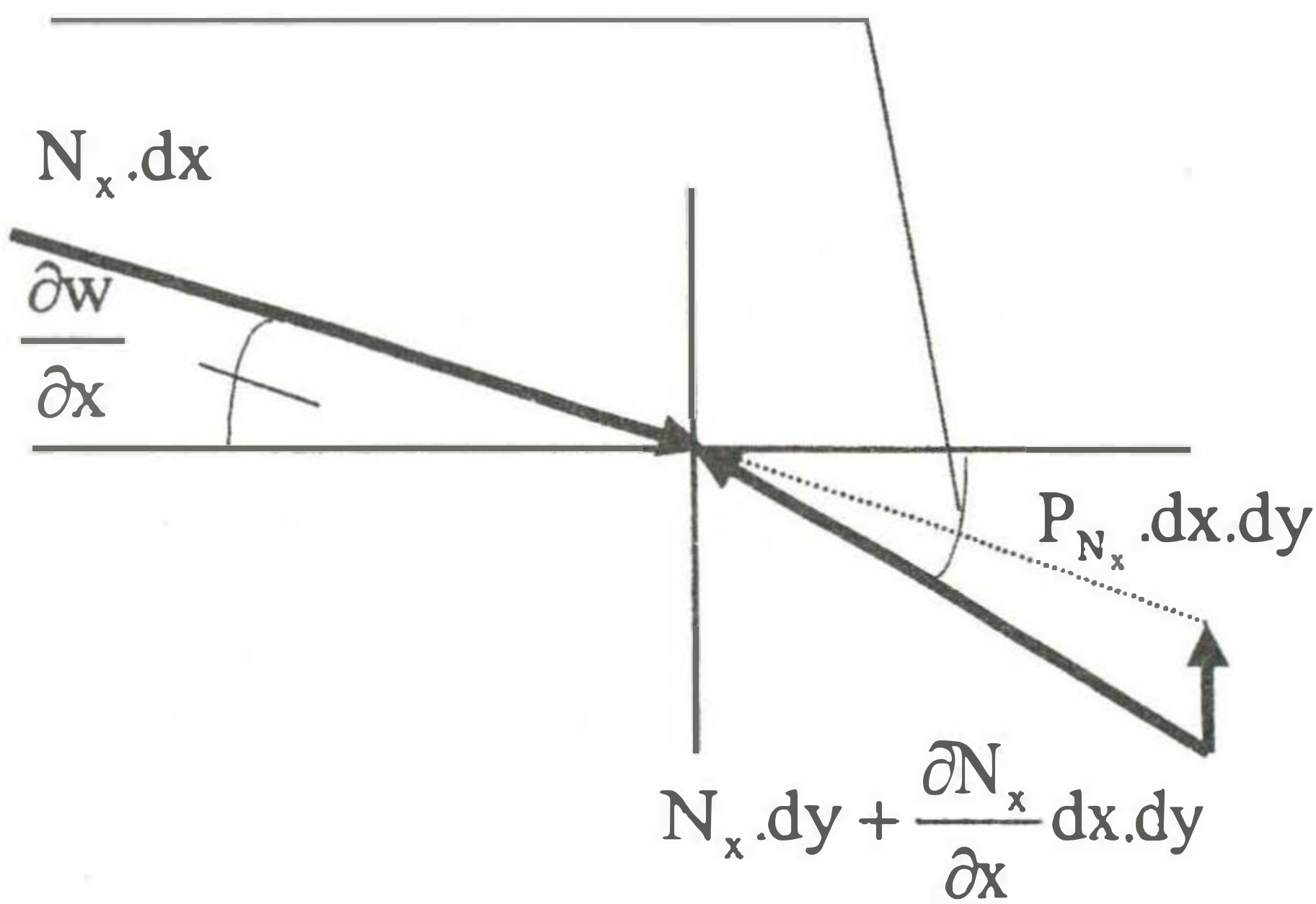


Şekil 3.1. Levhanın Genel Yüklenme Şekli

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

x doğrultusundaki kesitte meydana gelen iç kuvvetler;

$$\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} dx = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx$$



Şekil 3.2. x Doğrultusunda Kesitte Oluşan İç Kuvvetler

Burada küçük açılar varsayımı yapılarak,

$$P_{N_x} \cdot dx \cdot dy = N_x \frac{\partial w}{\partial x} dy - \left(N_x \cdot dy + \frac{\partial N_x}{\partial x} dx \cdot dy \right) \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx \right) \quad (3.2)$$

$$P_{N_x} \cong -N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} - \frac{\partial N_x}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial x} \quad (3.3)$$

elde edilir.

Benzer olarak,

$$P_{N_y} \cong -N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\partial N_y}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial y} \quad (3.4)$$

$$P_{N_{xy}} \cong -N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} \frac{\partial w}{\partial y} \quad (3.5)$$

$$P_{N_{yx}} \cong -N_{yx} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - \frac{\partial N_{yx}}{\partial y} \frac{\partial w}{\partial x} \quad (3.6)$$

$$P = P_{N_x} + P_{N_y} + P_{N_{xy}} + P_{N_{yx}} \quad (3.7)$$

elde edilir.

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

$$\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} = 0 \quad \text{olur.}$$

$\sum y = 0$ denge şartından, $\frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} = 0$ olur.

$$P = - \left(N_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2N_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + N_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (3.8)$$

$$P = -t \cdot \left(\sigma_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2\tau_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \sigma_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (3.9)$$

olarak elde edilir.

Bu denklemler dikkate alınarak,

$$\frac{E.t^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) = -t \cdot \left(\sigma_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2\tau_{xy} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \sigma_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (3.10)$$

bağıntısı elde edilir.

Plak rijitliği D ile gösterilirse,

$$D = \frac{E.t^3}{12(1-\mu^2)} \quad (3.11)$$

yazılabilir.

Söz konusu levha denkleminde çubuk denklemine geçilmek istenirse,

$$\frac{E.t^3}{12} \frac{\partial^4 w}{\partial x^2} = -t.\sigma_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad (3.12)$$

olarak yazılabilir veya

$$E.I.w'''' + P.w'' = 0 \quad (3.13)$$

olarak elde edilir.

İki tarafından düzgün yayılı basınç yükü ile yüklenmiş dört kenarı mafsallı dikdörtgen levha için çözüm yapılır:

Levha çözümünde kullanılacak dalga (buruşma) denklemini,

$$w(x, y) = A_{mn} \cdot \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (3.14)$$

olarak tahmin edilir.

Bu denklemde,

m, x doğrultusundaki dalga sayısını

n, y doğrultusundaki dalga

sayısını göstermektedir.

Tahmini yapılan dalga denklemini, dört tarafından mafsallı dikdörtgen levhanın diferansiyel denklemini ve bu levhanın sınır şartlarını sağlaması gerekmektedir.

Sınır şartları,

w=0 için x=0, x=a, y=0, y=b

w'≠0 için x=0, x=a, y=0, y=b

w''=0 için x=0, x=a, y=0, y=b

olarak yazılabilir.

Dalga denklemini, levha diferansiyel denkleminde türevleri alınarak yerine konursa,

$$A_{mn} \left[\left(\frac{m\pi}{a} \right)^4 + 2 \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^4 \right] x \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} = \sigma_x \frac{t}{D} A_{mn} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \quad (3.15)$$

olarak elde edilir.

Bu denklemde gerekli kısaltmalar yapılırsa,

$$A_{mn} \left\{ \left[\left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b} \right)^2 \right]^2 - \sigma_x \frac{t}{D} \left(\frac{m\pi}{a} \right)^2 \right\} = 0 \dots \dots \dots (3.16)$$

olarak elde edilir.

Bu denklemin çarpanları sıfıra eşitlenirse ; İlk çözüm, A_{mn} = 0 olur. Bu sehim oluşmamış (buruşmamış) levha demektir. Dolayısıyla bu bir çözüm değildir. İkinci çözüm, parantez içindeki ifade sıfıra eşitlenir. Bu ise sonuç verebilecek bir çözümdür.

O halde,

$$\sigma_{ki} = \frac{D}{t} \frac{\pi^2 \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right]^2}{\left(\frac{m}{a} \right)^2} \quad (3.17)$$

olur.

Bu denklemde α = a / b yazılırsa,

$$\sigma_{ki} = \left(\frac{m}{\alpha} + \frac{n^2}{m} \alpha \right)^2 \frac{\pi^2 . E . t^2}{12(1-\mu^2) . b^2} \quad (3.18)$$

olarak bulunur.

Bu denklemde parantez içindeki terim k buruşma katsayısını, diğer terim ise σ_e Euler burkulma gerilmesini ifade etmektedir.

k buruşma katsayısı,

$$k = \left(\frac{m}{\alpha} + \frac{n^2}{m} \alpha \right)^2 \quad (3.19)$$

söz konusu levhanın x ve y doğrultularındaki dalga sayısı olan m ve n' in değişimine bağlıdır.

n = 1 alınır ve k buruşma katsayısını m' e göre türevi

alınır ($\frac{\partial k}{\partial m} = 0$),

$$2 \left(\frac{m}{\alpha} + \frac{\alpha}{m} \right) \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{\alpha}{m^2} \right) = 0 \quad (3.20)$$

ifadesi elde edilir.

Bu denklemde m = α yazılırsa,

$$k_{min} = \left(\frac{m}{\alpha} + \frac{\alpha}{m} \right)^2 = 4 \quad (3.21)$$

olarak minimum buruşma katsayısının değeri elde edilir.

σ_e , 1 cm genişliğinde ve b uzunluğunda bir çubuğun basınç yükü altında burkulma gerilmesini ifade etmektedir. O halde dört kenarından mafsallı mesnetli dikdörtgen bir levhanın kritik buruşma gerilmesi,

$$\sigma_{ki} = 4 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12b^2(1-\mu^2)} = k \cdot \sigma_e \quad (3.22)$$

olarak elde edilir.

Dört kenarından ankastre mesnetli ve karşılıklı iki kenarından düzgün yayılı yük ile yüklenmiş dikdörtgen levhalar için çözüm yapılırsa [8];

Bu tür levhalarda çözümde kullanılacak buruşma denklemi,

$$w = \frac{A_{mn}}{4} \left(1 - \cos \frac{2m\pi x}{a} \right) \left(1 - \cos \frac{2n\pi y}{b} \right) \quad (3.23)$$

olarak tahmin edilir(Sınır şartları göz önüne alınarak).

Bu denklemde mafsallı mesnetli levhalarda olduğu gibi m ve n, x ve y doğrultularındaki dalga sayılarını göstermektedir.

Varsayılan bu dalga denklemi, dört tarafından mesnetli levhaların genel diferansiyel denklemi olan (3.1) bağıntısını ve ankastre mesnetli levhaların sınır şartlarını sağlaması gerekmektedir [1 - 8 - 11].

Dört tarafından ankastre mesnetli levhaların sınır şartları;

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

olarak yazılabilir.

Dalga denklemi, levha diferansiyel denkleminde türevleri alınarak yerlerine konur ise (Burada minimum değeri verecek olan m = n = 1 alınarak),

$$\left(\sigma_x + \frac{a^2}{b^2} \sigma_y \right) = \frac{4\pi^2 D a^2}{3t} \left(\frac{3}{a^4} + \frac{3}{b^4} + \frac{2}{a^2 b^2} \right) \quad (3.24)$$

elde edilir.

Çalışmada incelenen kesitler ve yükleme durumları dikkate alınır (a ≠ b ve $\sigma_y = 0$ durumu), minimum gerilme,

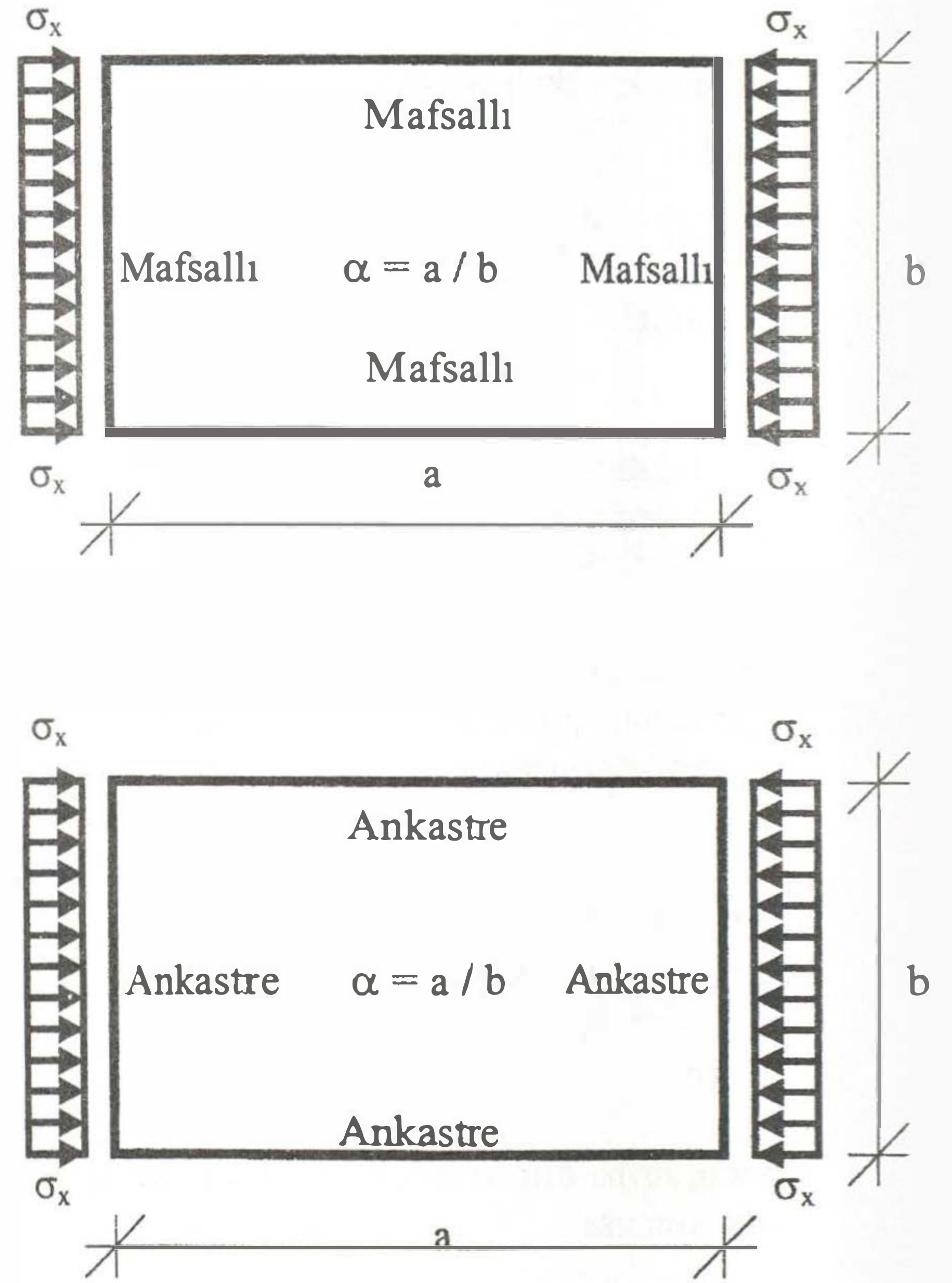
$$\sigma_{ki} = k \frac{D}{tb^2} \quad (3.25)$$

olarak elde edilir [10 - 11].

IV. DENEY DÜZENİ VE DENEYİN YAPILIŞI

Deneyler Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerin gerçekleştirilmesi için düşey olarak duran TREBEL marka universal basınç deneyi makinesi kullanılmaktadır. Bu makina hidrolik presle donatılmış ve 600 kN basınç yükü verebilme kapasitesine sahip bulunmaktadır.

Bu çalışmada, Şekil 4.1' de verilen levhanın karşılıklı iki kenarından üniform basınç yükü altında bulunduğu durum için levha narinlik oranlarına bağlı olarak kullanılacak buruşma yükü diyagramlarının deneysel olarak tespiti amaçlanmaktadır. Karşılıklı iki kenarından üniform yayılı basınç yükü ile yüklenmiş levhalardan elde edilecek deneysel sonuçlarla, teorik olarak elde edilmiş kritik buruşma yükü değerleri arasında bir karşılaştırma yapmak amacıyla çeşitli boy ve kalınlıktaki levhalar yüklemeye tabi tutulmuştur.



Şekil 4.1. Levha Mesnetlenme ve Yükleme Şekli

Bunun için iki tür levha kullanılmış (t = 3 mm kalınlıklı ve t = 4 mm kalınlıklı levha) ve deneyler her bir tür numune için iki defa tekrarlanmıştır.

Tablo 4.1. Epruvet Kesit Değerleri ve Deney Sonuçları (Mafsallı Mesnetlenmiş Levhalar İçin)

Epr No	Levha Yük. (mm)	Levha Gen. (mm)	Levha Kal. (mm)	α Kenar Oranı	b / t Levha Narin.	Taşıma Yükleri σ_D / σ_F
E1	400	400	3	1.00	133.33	0.288
E2	400	400	3	1.00	133.33	0.286
E3	400	350	3	1.14	116.67	0.254
E4	400	350	3	1.14	116.67	0.300
E5	400	300	3	1.33	100.00	0.323
E6	400	300	3	1.33	100.00	0.358
E7	400	250	3	1.60	83.33	0.384
E8	400	250	3	1.60	83.33	0.417
E9	400	200	3	2.00	66.67	0.346
E10	400	200	3	2.00	66.67	0.306
E11	400	400	4	1.00	100.00	0.471
E12	400	400	4	1.00	100.00	0.430
E13	400	350	4	1.14	87.50	0.442
E14	400	350	4	1.14	87.50	0.432
E15	400	300	4	1.33	75.00	0.485
E16	400	300	4	1.33	75.00	0.530
E17	400	250	4	1.60	62.50	0.609
E18	400	250	4	1.60	62.50	0.571
E19	400	200	4	2.00	50.00	0.568
E20	400	200	4	2.00	50.00	0.525

Tablo 4.2. Epruvet Kesit Değerleri ve Deney Sonuçları (Ankastre Mesnetlenmiş Levhalar İçin)

Epr No	Levha Yük. (mm)	Levha Gen. (mm)	Levha Kal. (mm)	α Kenar Oranı	b / t Levha Narin.	Taşıma Yükleri σ_D / σ_F
E1	375	375	3	1.00	125	0.356
E2	375	375	3	1.00	125	0.349
E3	375	325	3	1.15	108	0.403
E4	375	325	3	1.15	108	0.386
E5	375	275	3	1.36	92	0.430
E6	375	275	3	1.36	92	0.410
E7	375	225	3	1.67	75	0.499
E8	375	225	3	1.67	75	0.460
E9	375	175	3	2.14	58	0.549
E10	375	175	3	2.14	58	0.603
E11	375	375	4	1.00	93.75	0.470
E12	375	375	4	1.00	93.75	0.438
E13	375	325	4	1.15	81.25	0.587
E14	375	325	4	1.15	81.25	0.532
E15	375	275	4	1.36	68.75	0.654
E16	375	275	4	1.36	68.75	0.581
E17	375	225	4	1.67	56.25	0.666
E18	375	225	4	1.67	56.25	0.728
E19	375	175	4	2.14	43.75	0.844
E20	375	175	4	2.14	43.75	0.807

Deneylerde kullanılan malzeme St 37 çeliğidir. Çeliğin deneylerde kullanılacak akma gerilmesi $\sigma_F = 24,87 \text{ kN / cm}^2$ olarak alınacaktır.

Levhaların buruşma yükleri, levha alanına bölünerek kritik gerilmeler elde edilmiştir. Levhanın dört bir kenarının mafsallı olarak mesnetlenmesi için, 3 mm ve 4 mm derinliğinde bir oluk içinde serbestçe hareketi sağlanmış olup, bu kısımlar levha alanına dahil edilmiştir.

Diğer deney serisinde levhaların dört bir kenarının ankastre olarak mesnetlenmesi için 12 mm derinliğinde bir oluk içinde hareketi engellenmiş olup, bu kısımlar levha alanına dahil edilmemiştir.

V. TEORİK HESAPLAMALAR

Dört kenarında mafsallı mesnetlenmiş levhaların kritik buruşma gerilmesi, $\sigma_{ki} = k \cdot \sigma_e$ formülü ile hesaplanabilmektedir. Daha evvelde belirtildiği gibi bu formülde k levhanın buruşma katsayısı, σ_e ise 1 cm genişlikli bir levhanın Euler burkulma gerilmesidir [12].

k buruşma katsayısı,

$$k = \left(\frac{m}{\alpha} + \frac{n^2}{m} \right)^2 \quad (5.1)$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

Euler burkulma gerilmesi,

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12b^2(1 - \mu^2)} \quad (5.2)$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

Deneylerde kullanılan malzeme çelik olduğu için formülde $E = 21000 \text{ kN / cm}^2$ ve Poisson oranı olan $\mu = 0.30$ olarak alınırsa[13],

$$\sigma_{ki} = k \cdot \sigma_e = 7,592 \cdot 10^4 \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad (5.3)$$

olarak kritik buruşma gerilmesi elde edilir.

Formül incelendiğinde görülecektir ki, levhanın buruşma gerilmesi b / t narinliğine bağlı olmaktadır [13 – 14].

Ayrıca,

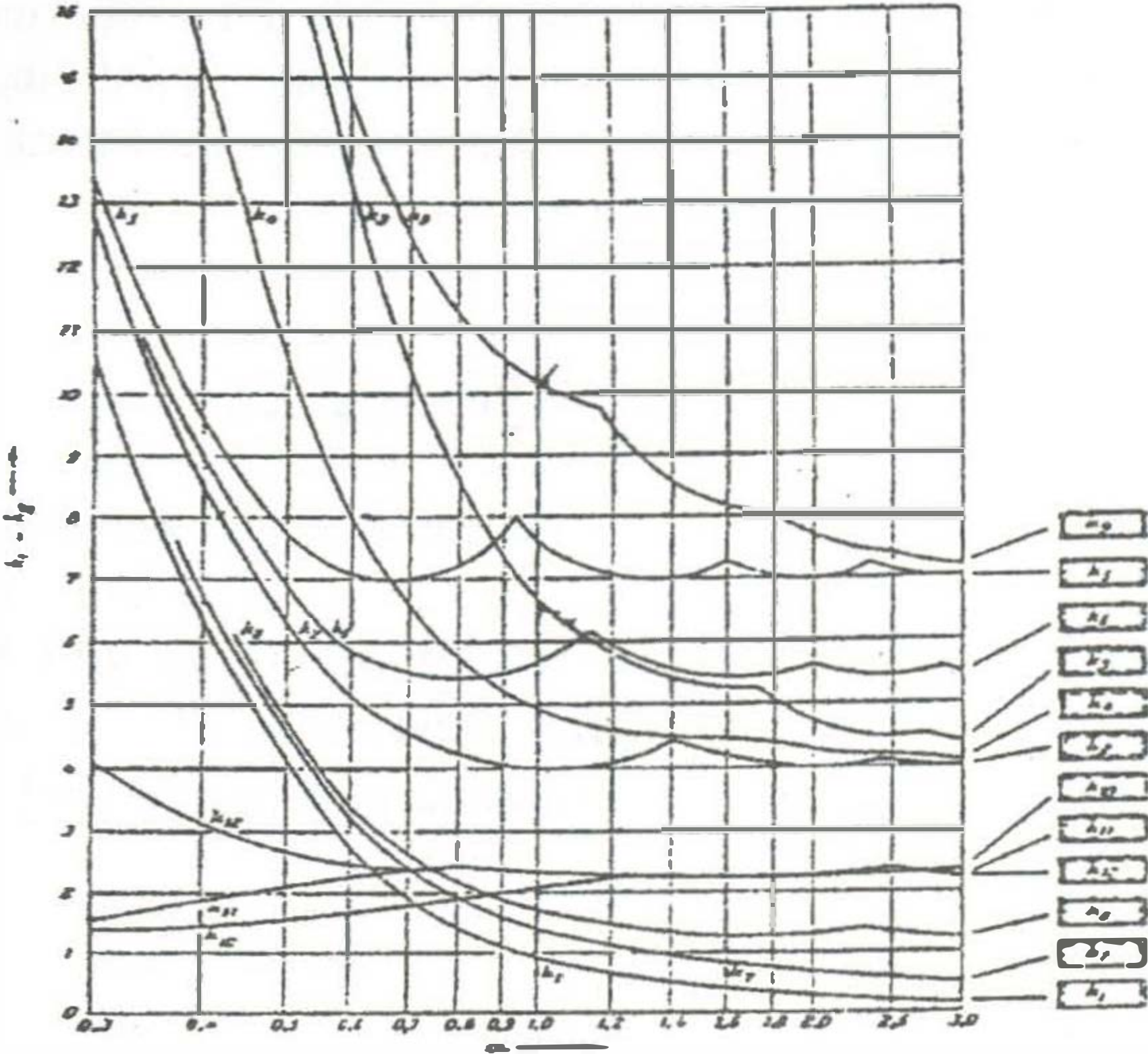
$$\lambda_v = \sqrt{\frac{\sigma_F}{\sigma_{ki}}} \quad (5.4)$$

levha narinliğine göre hesap yapılabilir.

Dört tarafından ankastre mesnetlenmiş dikdörtgen levhalar için a / b levha kenar oranına bağlı olarak k buruşma değerleri aşağıdaki tablodan ve grafikten alınacaktır (Tablo 5.1 ve Şekil 5.1) [1].

Tablo 5.1. Dört Kenarından Ankastre Mesnetlenmiş Levha İçin a / b Oranına Bağlı Olarak k Buruşma Katsayısı 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

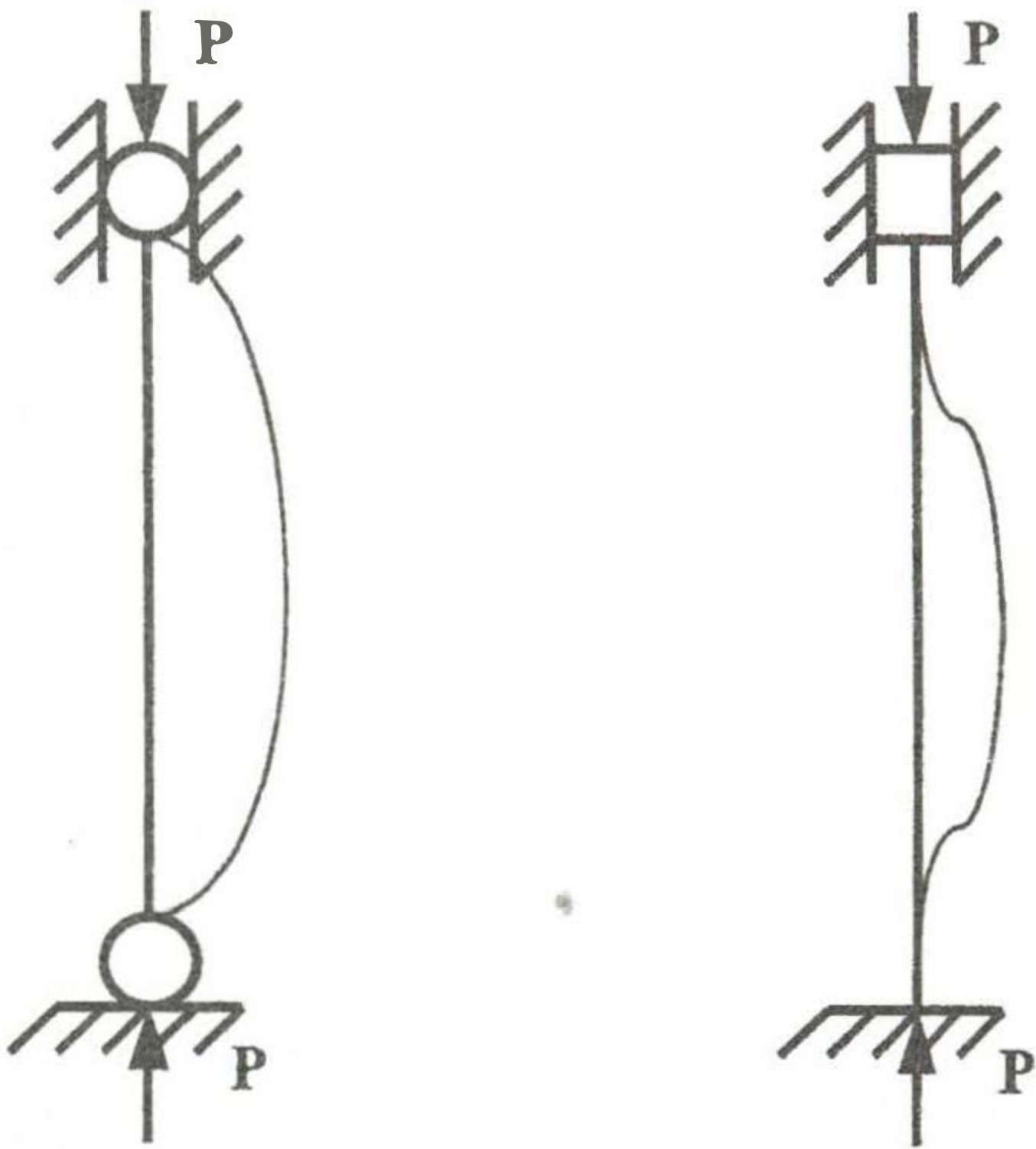


Şekil 5.1. Levha Buruşma Katsayıları ve Yükleme Şekilleri

VI. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmada sonuçlar birer tablo halinde verilmiştir (Tablo 4.1 ve Tablo 4.2). Aynı zamanda çıkan deneysel sonuçlar teorik sonuçlar ile karşılaştırılarak bu tür mesnetlenmiş çelik levhalar için öneriler yapılmıştır. Gerekli matematiksel bağıntılar verilmiştir. Ayrıca bütün kenarları mafsallı mesnetlenmiş dikdörtgen çelik levhalar ile bütün kenarları ankastre mesnetlenmiş çelik levhaların taşıma yüklerindeki farklılıklar incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmada ankastre mesnetli dikdörtgen levhaların taşıma yükleri, mafsallı mesnetli levhaların taşıma yüklerinden fazla çıkmaktadır. Bu fark beklenen sonuçtur. Çünkü bilinmektedir ki, ankastre mesnetli levhalarda mesnet noktalarında dönmeler sıfır, mafsallı mesnetli levhalarda ise sıfırdan farklı olmaktadır. Bu da buruşmanın mafsallı mesnetli levhalara göre daha geç olacağını göstermektedir. Aşağıdaki şekilde bu durum görülmektedir (Şekil 6.1) [15].



Şekil 6.1. Levha Kenar Mesnetlenmesi ve Levha Buruşma Eğri

Taşıma yükleri arasındaki sayısal farklar Tablo 4.1 ve Tablo 4.2 incelendiğinde görülmektedir. Bu tablolardan $t = 3 \text{ mm}$ ve $t = 4 \text{ mm}$ kalınlıklı dört tarafından mafsallı ve ankastre mesnetlenmiş levhaların taşıma yükleri arasındaki farklılıklar oransal olarak incelenmektedir.

Ayrıca yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlara en uygun matematiksel bağıntılar ise "En Küçük Kareler Yöntemi" ne göre aşağıdaki gibi belirlenmektedir. Bu formüllerde α levha kenar oranı mafsallı mesnetli levhalarda 1 ila 2, ankastre mesnetli levhalarda 1 ila 2.14 arasında değişmektedir.

Bütün kenarları mafsallı mesnetli dikdörtgen levhalarda b/t levha narınlığına bağlı olarak,

$t = 3 \text{ mm}$ kalınlıklı levhalarda;

$$\frac{\sigma}{\sigma_F} = -3,3753 \cdot 10^{-5} \left(\frac{b}{t}\right)^2 + 5,5444 \cdot 10^{-3} \left(\frac{b}{t}\right) + 0,1278$$

$t = 4 \text{ mm}$ kalınlıklı levhalarda;

$$\frac{\sigma}{\sigma_F} = -2,3097 \cdot 10^{-5} \left(\frac{b}{t}\right)^2 + 7,0419 \cdot 10^{-4} \left(\frac{b}{t}\right) + 0,5905$$

Bütün kenarları ankastre mesnetli dikdörtgen levhalarda b/t levha narınlığına bağlı olarak,

$t = 3 \text{ mm}$ kalınlıklı levhalarda;

$$\frac{\sigma}{\sigma_F} = 3,4901 \cdot 10^{-5} \left(\frac{b}{t}\right)^2 - 9,5811 \cdot 10^{-3} \left(\frac{b}{t}\right) + 1,0099$$

$t = 4 \text{ mm}$ kalınlıklı levhalarda;

$$\frac{\sigma}{\sigma_F} = 3,0131 \cdot 10^{-5} \left(\frac{b}{t}\right)^2 - 11,1758 \cdot 10^{-3} \left(\frac{b}{t}\right) + 1,2473$$

Yukarıda her bir levha kalınlığı için verilen denklemler dört tarafından mafsallı ve ankastre olarak mesnetlenmiş levhaların taşıma yüklerinin hesabında kullanılabilecek bağıntılar olarak önerilmektedir.

Bu denklemler, bu tür mesnetlenmiş (Dört tarafından mafsallı ve ankastre olarak mesnetlenmiş) levhaların taşıma davranışlarını matematiksel olarak gösteren bağıntılar olarak verilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Girkmann, K., "Yüzeysel Taşıyıcı Sistemler", Çeviren : Doç.Dr.Sacit Tameroglu, Cilt I, 1984, İstanbul.
- [2] Yelgin, A.N., "Üç Kenarı Mafsallı Diğer Kenarı Boşta Dikdörtgen Levhalarda Narinlik Taşıma Yüğü İlişkisi", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 1990, İstanbul.
- [3] DIN 4114, Blatt I, "Stabilitaetsfaelle (Knicken, Kippung, Beulen) Berechnungsgrundlagen " Juli 1952.
- [4] DASt Ri.012, " Beulsicherheitsnachweise für Platten ", Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Oktober 1978.
- [5] TS 138, "Çekme Deneyleri (Metalik Malzeme İçin)", Türk Standardları Enstitüsü, 1978, Ankara.
- [6] DIN 1079, "Staehele Strassenbrücken", Grundsätze für die Bauliche Durchbiegung.
- [7] BS 5950 Part 5, "Code of practice for The Design of Cold Formed Section", Draft British Standard, 1987.
- [8] Yelgin, A.N., Aslan, O., "Üç Kenarı Ankastre Mesnetlenmiş Diğer Kenarı Boşta Dikdörtgen Çelik Levhaların Taşıma Yüklerinin Belirlenmesi", İMG'97 - İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler III. Teknik Kongre, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Eylül 1997, Ankara.
- [9] Yelgin, A.N., Yelgin, H., "Bütün Kenarları Mafsallı Mesnetli Levhaların Taşıma Yüklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 1, Sayı 2, Eylül 1997, Sakarya.
- [10] Yelgin, A.N., Yelgin, H., "Dört Kenarı Ankastre Mesnetli Çelik Levhaların Taşıma Yüklerinin Belirlenmesi", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, Mart 1998, Sakarya.
- [11] Yelgin, A.N., Akbulut, S., " $\alpha=1$ Levha Kenar Oranlı Bütün Kenarları Mafsallı Mesnetlenmiş Levhaların Taşıma Yüklerinin Belirlenmesi", Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, İnşaat Mühendisleri Odası, Ekim 1997, İzmir.
- [12] Yelgin, A. N., Sümer, M., "Boyun Doğrultuda Rijitleştiricili Dört Kenarından Mafsallı Dikdörtgen Çelik Levhaların Karşılıklı İki Kenarından Düzgün Yayılı Yükle Yüklenmesi Durumunda Taşıma Yükünün Belirlenmesi", VII. Ulusal Mekanik Kongresi, 1993, Antalya.
- [13] Deren, H., "Çelik Yapılar", Teknik Kitaplar Yayınevi, Ocak 1984, İstanbul.
- [14] Odabaşı, Y., "Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları", Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., Ağustos 1997, İstanbul.
- [15] Kayan, İ., "Cisimlerin Mukavemeti", İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 1992, İstanbul.