

Dört Tarafından Ankastre Mesnetli ve Üç Kenarı Mafsallı Diğer Kenarı Boşta Berkitmesiz Dikdörtgen Narin Levhaların Taşıma Davranışlarının Belirlenmesi

¹Ahmet Necati YELGİN, ²Hüseyin YELGİN

¹ Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, SAKARYA, TÜRKİYE

² Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, SAKARYA, TÜRKİYE

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 opposite ends, an unstable buckling problem is faced.

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

In this study, Rectangular steel plates loaded in their plane with hinged supports on three edges and one edge free are employed as important components of steel structures. If these plates are subjected to compressive stresses, they exhibit premature local buckling due to their slenderness. It is therefore necessary to determine the actual load bearing behaviour of plates supported by hinges on one end and free at the other. For this purpose, the local buckling loads, bearing capacity and stress-strain behaviour of such plates has been investigated.

Ten cross-shaped plates were manufactured to study their properties. This shape provided 4.10 = 40 plates with three hinged supports and one free end.

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

Özet

Birçok 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 (1 mm, 3 mm ve 4 mm) taşıma yükleri deneysel olarak araştırılacaktır. Sonuçlar bu tür mesnetlenmiş levhaların taşıma yükleri için öneri olarak verilecektir.

Ayrıca, Çelik yapının birçok mühendislik uygulamalarında, berkitilmemiş bir kenarı boşta ve diğer üç kenarından mafsallı mesnetlenmiş dikdörtgen levhalar, taşıyıcı konstrüksiyonun önemli elemanları olarak çalışmaktadır. Genelde narin olan bu levhalar, basınç kuvveti ile zorlanmaları durumunda beklenenden önce buruşabilmektedirler. Bu nedenle yukarıda tanımları yapılan söz konusu levhaların, gerçek taşıma davranışlarının bilinmesi gerekmektedir.

Bu amaçla, levhaların buruşma yükleri, taşıma yükleri ve yük-şekil değiştirme davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

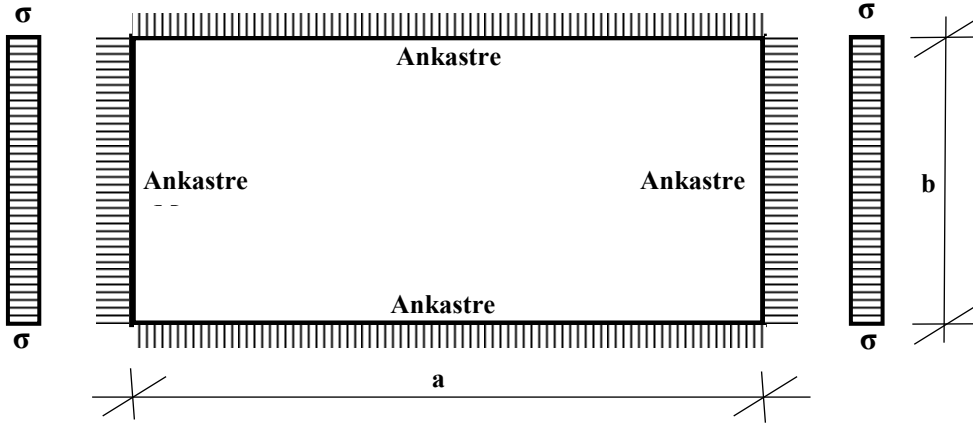
Bu epruvetler, mafsallı mesnetlenmiş karşılıklı iki enine kenarından düzgün yayılı basınç türü yük ile yüklenmektedir. 10 adet narin epruvetin her biri 4 levhayı içerdiğinden 40 adet levha denenmiş olmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Çelik Levha, Buruşma, Levha Kenar Oranı

1. Giriş

Dört tarafından 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.

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 Türk ve EC3 Standartlarına göre tespit edilebilmekte, fakat taşıma yüklerinin ve tüm şekildeğiştirme davranışlarının doğru olarak tespiti pek mümkün olmamaktadır.



Şekil 1.1. Dört Kenarı Ankastre Mesnetli Levhalar

Dört tarafından 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.

Bu çalışmada önce Dört Kenarı Ankastre Levhalar hazırlanmıştır. Bu levhaların b / t levha narinliği ve $\alpha = a / b$ levha kenar oranının değişik durumları incelenecektir.

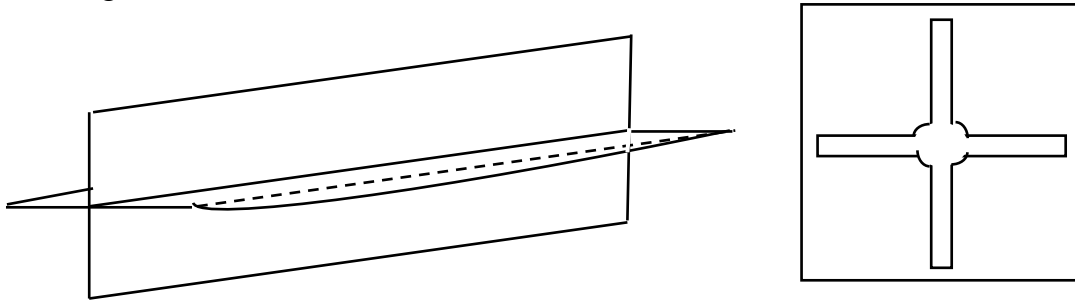
Araştırma için, $t = 3$ mm ve $t = 4$ mm ve 1 mm olmak üzere üç tür levha kullanılmıştır. Söz konusu deney epruvetleri, farklı kalınlıklı, aynı malzeme özellikli (St 37) ve tek parça olarak 375×375 , 375×325 , 375×275 , 375×225 ve 375×175 ebatlarında kesilerek elde edilmiştir. Her bir tür kesitten 2 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.

Ayrıca gene bu çalışmada ankastre mesnetli olarak kullanılmak üzere, $t = 1$ mm kalınlığında levhalardan deney epruvetleri hazırlanmıştır. Bu epruvetler aynı malzeme özelliğine sahip (St37) ve yekpare levhalardan 350×350 , 350×300 , 350×250 , 350×200 (mm \times mm)

ebatlarında kesilerek elde edilmiştir. Her bir tür kesitten 3 adet olmak üzere $t = 1$ mm kalınlıklı levhadan olmak üzere toplam 12 adet deney epruveti hazırlanmıştır.

Ayrıca gene bu çalışmada, düzgün yayılı basınç yükü ile yüklenmiş, üç tarafından mafsallı mesnetli diğer kenarı boşta olan dört köşe levhaların taşıma yüklerinin araştırılmasıdır. Şu ana kadar levha buruşması konusunda gayet az sayıda deneysel araştırma yapılmış bulunduğundan, uygun deneylerin gerçekleştirilerek, bu konuda araştırmaların yapılması büyük bir anlam ifade etmektedir.

Bu konu da, $a = 10$ kenar oranı korunarak on adet deney epruveti hazırlanmıştır. Deney epruvetleri, Şekil 2.'de de görüleceği gibi haç şeklinde teşkil edilmiştir. Dolayısıyla her bir deney epruvetinde dört adet üç tara-ından mafsallı diğer kenarı boşta olan levha bulunmaktadır. Bu da, çalışmam da kırk adet levhanın taşıma dav-ranışının incelendiği anlamına gelmektedir.



Şekil 1.2. Üç tarafından mafsallı mesnetli diğer kenarı boşta olan levha ve taban plakası

Elde edilen deney sonuçları, çeşitli ülkelerin yönetmelik ve normları ile mukayese edilecek ve sonunda bir öneri yapılacaktır.

2. Levhaların Buruşması

Levhaların buruşma davranışı, çeşitli parametrelere bağlıdır. Bu parametreler sayesinde ancak güvenli ve ekonomik bir taşıyıcı sistem oluşturmak mümkün olabilmektedir. Levha narinliği, levha genişliği b ve levha kalınlığı t arasındaki oran olarak tanımlanır. Levha genişliği b , basınç yükü ile yüklenmiş levha kenarının boyutudur.

Levha kenar oram, 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.

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

Enine kenar mesnetlenmesinin **k** Buruşma Katsayısına etkisi, örneğin (Dört kenarı ankastre mesnetlenmiş levhalarda) **k** buruşma katsayısı, (Tablo 2.1) ile hesaplanmaktadır.

Tablo 2.1. Levha Kenar Oranı(α) İle (**k**) Buruşma Katsayısı İlişkisi

| $\alpha = a / b$ | 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 |

Diğer tür mesnetlenmiş levhalarda **k** buruşma katsayısı mesnetlenme şekline bağlı olarak farklı formüllerle hesap edilmektedir. Bu formülde **m** ve **n** her iki doğrultudaki dalga sayısını, α ise levha kenar oranını göstermektedir.

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.

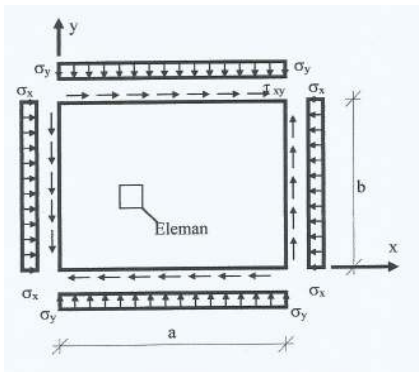
3. Levhaların Taşıma Yüklerinin Hesabı

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.

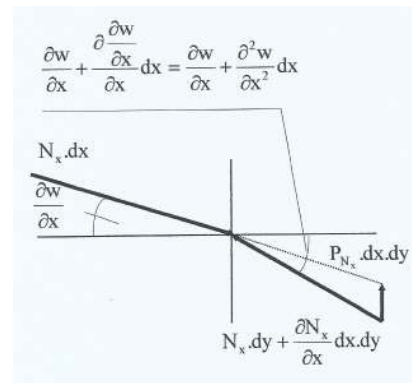
Şekil 3.1’ de örneğin dört tarafından mafsallı mesnetlenmiş bir levhanın genel yüklenme şekli görülmektedir. Enine yüklenmiş levhalar için aşağıdaki Kirschhoff plak denklemi geçerlidir.

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

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



Şekil 3.1. Levhanın Genel Yüklenme Şekli



Şekil 3.2. x - Doğrultusunda Kesitte Oluşan İç Kuvvetler

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;

Burada küçük açılar varsayımı yapılarak,

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

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

Benzer olarak,

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

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

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

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

$\Sigma x = 0$ denge şartından ve $\cos\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right) \cong 1$ alınarak, $\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} = 0$ olur.

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

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

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

Bu denklemler dikkate alınarak,

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

bağıntısı elde edilir. Plak rijitliği D ile gösterilirse, $D = \frac{E \cdot t^3}{12(1-\mu^2)}$ (3.11)

Söz konusu levha denkleminde çubuk denklemine geçilmek istenirse,

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

olarak yazılabilir veya $E \cdot I \cdot w'''' + P \cdot w'' = 0$ (3.13)

Dörtkenarından ankastre mesnetli ve karşılıklı iki kenarından düzgün yayılı yük ile yüklenmiş dikdörtgen levhalar için çözüm yapılırsa [8]; Bu tür levhalarda çözümde kullanılacak buruşma denklemi,

$$w = \frac{A_{mn}}{4} \left(1 - \cos \frac{2m\pi x}{a} \right) \left(1 - \cos \frac{2n\pi y}{b} \right) \quad (3.14)$$

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.

Dört tarafından ankastre mesnetli levhaların sınır şartları;

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

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

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

$$\left(\sigma_x + \frac{a^2}{b^2} \sigma_y \right) = \frac{4\pi^2 D a^2}{3t} \left(\frac{3}{a^4} + \frac{3}{b^4} + \frac{2}{a^2 b^2} \right) \quad (3.15)$$

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

$$\text{minimum gerilme, } \sigma_{ki} = k \frac{D}{tb^2} \quad (3.16)$$

4. Deney Düzeni ve Deneyin Yapılışı

Deneyler Sakarya Üniversitesi ve İtanzbul Teknik Üniversitesi Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, levhaların karşılıklı iki kenarından üniform basınç yükü altında bulunduğu durum için levha narinlik oranına 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.

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.

Ayrıca gene bu çalışmada ankastre mesnetli olarak kullanılmak üzere, $t = 1$ mm kalınlığında levhalardan deney epruvetleri hazırlanmıştır. Bu epruvetler aynı malzeme özelliğine sahip (St37) ve yekpare levhalardan 350×350 , 350×300 , 350×250 , 350×200 (mm×mm) ebatlarında kesilerek elde edilmiştir. Her bir tür kesitten 3 adet olmak üzere $t = 1$ mm kalınlıklı levhadan olmak üzere toplam 12 adet deney epruveti hazırlanmıştır. .

Bu nedenle çalışmamızda, (b / t) levha narinliği ve ($\alpha = a / b$) levha kenar oranının değişik durumları incelenecektir. St37 Çeliğinden imal edilmiş olan 1 mm kalınlığındaki 350×350 mm² alanına sahip levhadan başlamak üzere eni sabit tutulup boyu azaltılarak ilerlenen 4 grup

ve toplamda 12 adet levha çalışmamızda kullanılmaktadır(Şekil 1.1) Deneylerin yapılması esnasında boydaki değişim neticesinde taşınan kuvvetin arttığı gözlemlenmiştir. Levhaların ankastre mesnetlendirilebilmesi için tasarlanmış olduğumuz çelik çerçeve ise 3 mm levhalar ve 30x20 mm² çelik kutu profillerin kaynaklanarak bir araya getirilmesinden üretilmiştir. Her bir epruvetin taşıma yükleri ölçülerek tablo ve diyagramlarla verilecektir. Ayrıca burkulma yüküne etkisi bilgisayar çözümleriyle de irdelenmektedir.

Gene bu çalışma dahilinde $\alpha = 10$ kenar oranı korunarak on adet deney epruveti hazırlanmıştır. Deney epruvetleri, (Şekil 1.2) de görüleceği gibi haç şeklinde teşkil edilmiştir. Dolayısıyla her bir deney epruvetinde dört adet üç tarafından mafsallı diğer kenarı boşta olan levha bulunmaktadır. Bu da, çalışmam da kırk adet levhanın taşıma dav-ranışımının incelendiği anlamına gelmektedir.

Dört tarafı ankastre ve üç tarafı mafsallı mesnetlenmiş diğer kenarı boşta dikdörtgen çelik levhalar hazırlanmıştır.

Tablo 4.1. (α) İle (b/t) Levha Narinliği Değerleri

| Epr. No | a (mm) | b (mm) | t (mm) | A (mm ²) | b/t | $\alpha=(a/b)$ |
|---------|--------|--------|--------|----------------------|-----|----------------|
| E1 | 350 | 200 | 1 | 200 | 200 | 1.75 |
| E2 | 350 | 200 | 1 | 200 | 200 | 1.75 |
| E3 | 350 | 200 | 1 | 200 | 200 | 1.75 |
| E4 | 350 | 250 | 1 | 250 | 250 | 1.40 |
| E5 | 350 | 250 | 1 | 250 | 250 | 1.40 |
| E6 | 350 | 250 | 1 | 250 | 250 | 1.40 |
| E7 | 350 | 300 | 1 | 300 | 300 | 1.167 |
| E8 | 350 | 300 | 1 | 300 | 300 | 1.167 |
| E9 | 350 | 300 | 1 | 300 | 300 | 1.167 |
| E10 | 350 | 350 | 1 | 350 | 350 | 1.000 |
| E11 | 350 | 350 | 1 | 350 | 350 | 1.000 |
| E12 | 350 | 350 | 1 | 350 | 350 | 1.000 |

Tablo 4.2. (α) İle (b/t) Levha Narinliği Değerleri

| Epr. No | a (mm) | b (mm) | t (mm) | A (mm ²) | b/t | $\alpha=(a/b)$ |
|---------|--------|--------|--------|----------------------|-----|----------------|
| E1 | 375 | 375 | 3 | 1125 | 125 | 1.00 |
| E2 | 375 | 375 | 3 | 1125 | 125 | 1.00 |
| E3 | 375 | 325 | 3 | 975 | 108 | 1.15 |
| E4 | 375 | 325 | 3 | 975 | 108 | 1.15 |
| E5 | 375 | 275 | 3 | 825 | 92 | 1.36 |
| E6 | 375 | 275 | 3 | 825 | 92 | 1.36 |
| E7 | 375 | 225 | 3 | 675 | 75 | 1.67 |
| E8 | 375 | 225 | 3 | 675 | 75 | 1.67 |
| E9 | 375 | 175 | 3 | 525 | 58 | 2.14 |
| E10 | 375 | 175 | 3 | 525 | 58 | 2.14 |

Tablo 4.3. (α) İle (b/t) Levha Narinliği Değerleri

| | a (mm) | b (mm) | t (mm) | A (mm ²) | b/t | $\alpha=(a/b)$ |
|-----|--------|--------|--------|----------------------|-------|----------------|
| E1 | 375 | 375 | 4 | 1500 | 93.75 | 100 |
| E2 | 375 | 375 | 4 | 1500 | 93.75 | 1.00 |
| E3 | 375 | 325 | 4 | 1300 | 81.25 | 1.15 |
| E4 | 375 | 325 | 4 | 1300 | 81.25 | 1.15 |
| E5 | 375 | 275 | 4 | 1100 | 68.75 | 1.36 |
| E6 | 375 | 275 | 4 | 1100 | 68.75 | 1.36 |
| E7 | 375 | 225 | 4 | 900 | 56.25 | 1.67 |
| E8 | 375 | 225 | 4 | 900 | 56.25 | 1.67 |
| E9 | 375 | 175 | 4 | 700 | 43.75 | 2.14 |
| E10 | 375 | 175 | 4 | 700 | 43.75 | 2.14 |

Tablo 4.4. (α) İle (b/t) Levha Narinliği Değerleri

| Epr. No | a (mm) | b (mm) | t (mm) | A (mm ²) | b/t | $\alpha=(a/b)$ |
|---------|--------|--------|--------|----------------------|-------|----------------|
| E1 | 600 | 60 | 5.2 | 1221 | 11.54 | 10 |
| E2 | 600 | 60 | 5.2 | 1221 | 11.54 | 10 |
| E3 | 800 | 80 | 5.2 | 1637 | 15.38 | 10 |
| E4 | 800 | 80 | 5.2 | 1637 | 15.38 | 10 |
| E5 | 1000 | 100 | 5.2 | 2053 | 19.23 | 10 |
| E6 | 1000 | 100 | 5.2 | 2053 | 19.23 | 10 |
| E7 | 1200 | 120 | 5.2 | 2469 | 23.08 | 10 |
| E8 | 1200 | 120 | 5.2 | 2469 | 23.08 | 10 |
| E9 | 1400 | 140 | 5.2 | 2885 | 26.92 | 10 |
| E10 | 1400 | 140 | 5.2 | 2885 | 26.92 | 10 |

5. Teorik Hesaplamalar

Dört kenarında ankastre 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. k buruşma katsayısı Tablo 2.1 kullanılarak hesaplanır.

Euler Burkulma Gerilmesi, $\sigma_e = \frac{\pi^2 Et^2}{12b^2(1-\mu^2)}$ bağıntısı ile hesaplanır. Deneylerde kullanılan malzeme çelik olduğu için formül de $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$ ve μ Poisson oranı olan $\mu = 0.30$ olarak alınır:

$$\sigma_{ki} = k \cdot \sigma_e = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \text{ olarak kritik buruşma gerilmesi elde edilir.}$$

Ayrıca, $\lambda_v = \sqrt{\frac{\sigma_F}{\sigma_{ki}}}$ levha narinliğine göre hesap yapılabilir.

6. Universal Basınç Deney Makinası ile Yükleme Yapılması ve Ankastre Mesnetlenmiş ve üç kenarından mafsallı mesnetli diğer kenarı boşta Levhaların Deney sonuçları

Tablo 6.1. Gerilme – Narinlik İlişkisi (t = 1 mm için)

| Epr No | b/t | P _{pi} | P _D | σ _D | σ _D /σ _F | λ _v |
|--------|-----|-----------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| E1 | 200 | 48 | 23.155 | 11.58 | 0.483 | 0.787 |
| E2 | 200 | 48 | 25.287 | 12.65 | 0.527 | 0.787 |
| E3 | 200 | 48 | 24.275 | 12.14 | 0.506 | 0.787 |
| E4 | 250 | 60 | 26.573 | 10.63 | 0.443 | 0.951 |
| E5 | 250 | 60 | 21.822 | 8.73 | 0.239 | 0.951 |
| E6 | 250 | 60 | 21.238 | 8.5 | 0.354 | 0.951 |
| E7 | 300 | 72 | 21.954 | 7.32 | 0.305 | 1.084 |
| E8 | 300 | 72 | 17.987 | 5.99 | 0.250 | 1.084 |
| E9 | 300 | 72 | 21.104 | 7.04 | 0.294 | 1.084 |
| E10 | 350 | 84 | 20.612 | 5.89 | 0.245 | 1.223 |
| E11 | 350 | 84 | 23.820 | 6.81 | 0.284 | 1.223 |
| E12 | 350 | 84 | 19.803 | 5.66 | 0.236 | 1.223 |

Tablo 6.2. Gerilme – Narinlik İlişkisi (t = 3 mm için)

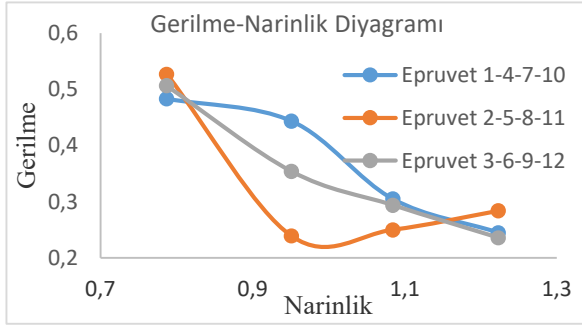
| Epr No | b/t | P _{pi} | P _D | σ _D | σ _D /σ _F | λ _v |
|--------|-----|-----------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| E1 | 125 | 270 | 97.50 | 8.67 | 0.349 | 1.280 |
| E2 | 125 | 270 | 99.50 | 8.84 | 0.356 | 1.280 |
| E3 | 108 | 234 | 93.50 | 9.59 | 0.386 | 1.243 |
| E4 | 108 | 234 | 97.50 | 10.00 | 0.403 | 1.243 |
| E5 | 92 | 198 | 88.00 | 10.70 | 0.430 | 1.136 |
| E6 | 92 | 198 | 84.00 | 10.20 | 0.410 | 1.136 |
| E7 | 75 | 162 | 83.50 | 12.40 | 0.499 | 0.954 |
| E8 | 75 | 162 | 77.00 | 14.10 | 0.460 | 0.954 |
| E9 | 58 | 126 | 71.50 | 13.60 | 0.549 | 0.757 |
| E10 | 58 | 126 | 78.500 | 14.90 | 0.603 | 0.757 |

Tablo 6.3. Gerilme – Narinlik İlişkisi (t = 4 mm için)

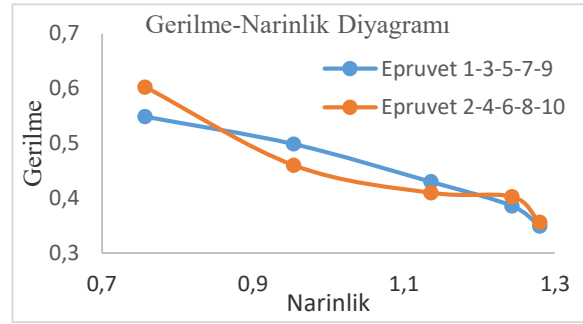
| Epr No | b/t | P _{pi} | P _D | σ _D | σ _D /σ _F | λ _v |
|--------|-------|-----------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| E1 | 93.75 | 360 | 163.5 | 10.9 | 0.438 | 0.960 |
| E2 | 93.75 | 360 | 175.5 | 11.7 | 0.470 | 0.960 |
| E3 | 81.25 | 313 | 173.0 | 13.2 | 0.532 | 0.935 |
| E4 | 81.25 | 313 | 190.0 | 14.6 | 0.587 | 0.935 |
| E5 | 68.75 | 264 | 179.0 | 16.3 | 0.654 | 0.849 |
| E6 | 68.75 | 264 | 159.0 | 14.4 | 0.581 | 0.849 |
| E7 | 56.25 | 216 | 149.0 | 16.5 | 0.666 | 0.716 |
| E8 | 56.25 | 216 | 163.0 | 18.1 | 0.728 | 0.716 |
| E9 | 43.75 | 168 | 147.0 | 21.0 | 0.844 | 0.571 |
| E10 | 43.75 | 168 | 140.5 | 20.1 | 0.807 | 0.571 |

Tablo 6.4. Gerilme – Narinlik İlişkisi (t = 5.2 mm için)

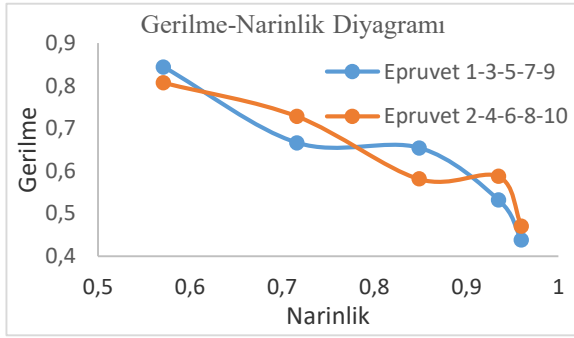
| Epr No | b/t | P _{pi} | P _D | σ _D | σ _D /σ _F | λ _v |
|--------|-------|-----------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| E1 | 11.54 | 379 | 395 | 32.15 | 1.04 | 0.706 |
| E2 | 11.54 | 379 | 397 | 32.51 | 1.05 | 0.706 |
| E3 | 15.38 | 508 | 454 | 27.73 | 0.89 | 0.942 |
| E4 | 15.38 | 508 | 472 | 28.83 | 0.92 | 0.942 |
| E5 | 19.23 | 637 | 435 | 21.19 | 0.68 | 1.177 |
| E6 | 19.23 | 637 | 428 | 20.85 | 0.67 | 1.177 |
| E7 | 23.08 | 766 | 440 | 17.82 | 0.57 | 1.413 |
| E8 | 23.08 | 766 | 450 | 18.22 | 0.59 | 1.413 |
| E9 | 26.92 | 895 | 500 | 17.33 | 0.56 | 1.648 |
| E10 | 26.92 | 895 | 505 | 17.50 | 0.56 | 1.648 |



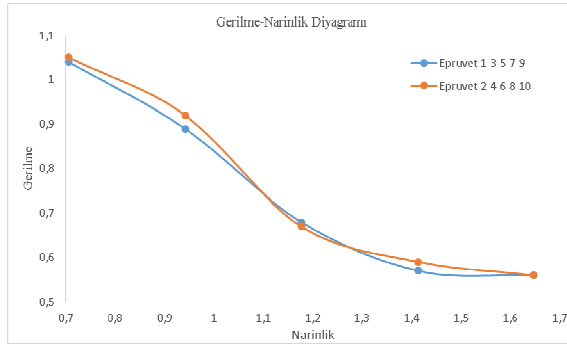
Şekil 6.1. Gerilme – Narinlik Diyagramı (t = 1 mm)



Şekil 6.2. Gerilme- Narinlik Diyagramı (t =3 mm)



Şekil 6.3. Gerilme – Narinlik Diyagramı (t = 4 mm)



Şekil 6.4. Gerilme- Narinlik Diyagramı (t =5,2 mm)

7. Sonuçlar ve Öneriler

Deneyler ve hesaplamalar yapıldığında ortaya çıkan grafikler incelendiğinde levha narinliği ve taşıma gücünün doğrudan birbirine bağlı olduğu görülmektedir. Narinlik arttıkça düşen taşıma gücünden levhaların buruşma davranışları da etkilenmektedir. Çelik levhalarda istenmeyen burkulma, yerel burkulma, buruşma gibi davranışlar düşen taşıma gücü ile daha erken görülmeye başlar. Bu olumsuz davranışların çelik gibi yüksek mukavemet değerlerine sahip bir malzemede bile stabilite problemleri doğurur.

Çeşitli sektörlerde farklı amaçlarla kullanılan çelik malzemelerin stabil olabilmesi; birleşim bölgeleri, ilave ve bağlantı elemanları, doğrultuları, malzeme kesiti, malzeme yapısı ve içeriğinin yanında mesnetlenme durumları bakımından da önem teşkil etmektedir. Bu nedenle ankastre ve sabit mesnetlerin aralıklarına yerleştirilen levhaların artan derinliklerle narinlikleri düşer. Bu çalışmada incelenen ankastre mesnet uygulaması ile levha narinliğinin azalması, taşıma gücünün sabit mesnetlendirilmiş levhalara göre daha yüksek olduğu görüldü. Araştırma sonuçları dörtkenarından ankastre mesnetlendirilmiş çelik levhaların taşıma gücünün tespit edilmesine katkıda bulunarak yük altındaki buruşma davranışlarına ihtiyacı olan özel veya tüzel kişilere referans olabilecek değerler ve grafikler meydana getirir.

Üç kenarı mafsallı mesnetli diğer kenarı boşta levhalar için, bu tür levhaların taşıma yükleri narinlik derecelerine yakından bağlıdır. Deneylerde narinlikleri $b/t = 20,50$ değerine kadar olan levhaların taşıma yükleri normunun verdiği ideal buruşma eğrisinin altında kalmıştır. Yani deneysel taşıma yükü teorik ideal buruşma yükünden az çıkmaktadır. Bu sınır $b/t = 20,50$ değerinden sonra levhaların taşıma yükü, ideal buruşma yükünden fazla çıkmaktadır.

Kıyaslama bakımından, $b/t = 26,92$ için deneysel $\sigma / \sigma_F = 0,56$ olmakta, halbuki ideal buruşma eğrisinde aynı $b/t = 26,92$ için $\sigma/\sigma_F = 0,368$ olmaktadır. Bu da, ideal buruşma yüküne göre yaklaşık olarak taşıma yükünün %34,28'i oranında artış göstermesi demektir. Açıkta ki, narinlik arttıkça ideal buruşma yükü ile deneysel taşıma yükü arasındaki oran büyümektedir. İdeal buruşma yüküne göre, daha fazla yük taşınabilmektedir.

Levhaların alt ve üstüne mesnet (başlık) plakaları konulmaktadır. Bu plakalar arasındaki levhanın, enine kenarlarının yaklaşık olarak mafsallı mesnetlendiği düşünülmektedir. Dolayısıyla nihai şekil değiştirme (sehim) yaklaşık olarak sinüs formunda olmaktadır. Belirli sınırların altındaki ön sehim değerlerinin levhaların nihai sehim değerlerine hiç bir etkisi bulunmamaktadır.

Levhaların Deformasyon (Kısalma) - Taşıma Yükü kısa levhalarda taşıma yüküne eriştikten sonra, deneye devam edilmek istendiğin de deformasyonlar (kısalma) artmakta, kuvvet ise belirli bir düşme göstermektedir. Düşüş yaklaşık olarak %20.mertebesinde gözlenmiştir. %20 düşmeden sonra kuvvet yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. Orta narinlikteki levhalarda ise, kuvvet taşıma yüküne daha erken ulaşmakta ancak bu değere eriştikten sonra kuvvetin azalması daha küçük mertebede kalmaktadır. Narin bölgede ise kuvvet, taşıma yüküne eriştikten sonra çok daha yavaş azalmaktadır.

Öneri olarak, yapılan deneyler sonunda elde edilen sonuçlara en uygun matematik bağıntı olarak, $\sigma / \sigma_F = 1 / (\lambda_v + 0,265)$ bağıntısı verilebilir.

8. Referenslar

- [1] Girkmann, K., “Yüzeysel Taşıyıcı Sistemler”, Çeviren : Doç.Dr.Sacit Tameroğlu, Cilt I, 1984, İstanbul.
- [2] Yelgin, Ahmet Necati, “Üç Kenarı Mafsallı Diğer Kenarı Boşta Olan Dikdörtgen Çelik Levhalarda, λ_v Levha Narinliği ile Taşıma Yükü Arasındaki İlişki”, VII. Ulusal Mekanik Kongresi, 2-6 Eylül 1991, Antalya.
- [3] Yelgin. Ahmet Necati, “Determination of The Bearing Load in Steel Plates With Three Sides inged and The Fourth Free As A Function of The Slenderness Ra tio (b / t)“ . Fourth International Colloquium On Structural Stability Mediterranean Session, 16 - 20 Eylül 1991, İstanbul. Söz konusu çalışma, 1992 yılı - Number 7' de “Index To Scientific & Technical Proceedings“(Uluslararası İndeks) ' e girmiştir. İndeks sıra no: P52313 ' dür.
- [3] Abdollah Moslemi, Bahram Navayi Neya, Javad Vaseghi Amiri, “Benchmark solution for buckling of thick rectangular transversely isotropic plates under biaxial load“, International Journal of Mechanical Scienc, nternational Journal of Mechanical Sciences 131–132, 356–367 (2017).
- [4] Hassan BeikMohammadlou, Hamid EkhteraeiToussi, “Parametric studies on elastoplastic buckling of rectangular FGM thin plates“, Aerospace Science and Technology 69, 513–525 (2017).
- [5] DAST Ri.012, “ Beulsicherheitsnachweise für Platten “, Deutscher Ausschuss für Stahlbau, Oktober 1978.
- [6] A.R. Rahai, M.M. Alinia, S. Kazemi, “Buckling analysis of stepped plates using modified buckling mode shapes“, Thin-Walled Structures 46, 484–493 (2008).
- [7] Onyekachi Ndubuaku a,†, Xiaoben Liu b, Michael Martens c, J.J. Roger Cheng a, Samer Adee, “The effect of material stress-strain characteristics on the ultimate stress and critical

buckling strain of flat plates subjected to uniform axial compression“, Construction and Building Materials 182, 346–359 (2018).

[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., Yelgin, H., *KÜLEKÇİ, Uğur, ÖZMEN, Akın* “Dört Kenarından Ankastre Mesnetlenmiş Berkitmesiz Dikdörtgen Çelik Levhaların Taşıma Davranışları“, Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku - Azerbaijan).

[12] 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.

[13] Yelgin, A. N., Sümer, M., “Boyun Doğrultuda Rijitleştiricili Dört Kenarından Mafsallı Dikdörtgen Çelik Levhaların Karşılıklı İki Kenarından Düzgün Yayılı Yüklerle Yüklenmesi Durumunda Taşıma Yükünün Belirlenmesi“, VII. Ulusal Mekanik Kongresi, 1993, Antalya.

[14] Alireza Jahanpour *, Farhad Roozbahani, “An applicable formula for elastic buckling of rectangular plates under biaxial and shear loads“, Aerospace Science and Technology 56, 100–111 (2016).

[15] Odab aş, Y., “Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları“, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., Ağustos 1997, İstanbul.

[16] Kayan, İ., “Cisimlerin Mukavemeti“, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 1992, İstanbul.

[17] Ying QIN, Jin-Yu LU, Shi CAO, “Theoretical Study on Local Buckling of Steel Plate in Concrete-filled Tube Column under Axial Compression” ISIJ International, Advance Publication by J-STAGE, DOI: 10.2355/International.ISIJINT-2016-755

[18] N. E. Shanmugam and C. M. Wang, “Analysis and design of plated structures Volume 1: Stability”, Woodhead Publishing Limited and Maney Publishing Limited on behalf of Theoretical Study on Local Buckling of Steel Plate in Concrete-filled Tube Column under Axial Compression” ISIJ International, Advance Publication by J-STAGE, DOI: 10.2355/ ISIJINT-2016-755