

Dört Kenarından Ankastre Mesnetlenmiş Berkitmesiz Dikdörtgen Çelik Levhaların Taşıma Davranışları

¹Ahmet Necati YELGİN, ²Uğur KÜLEKÇİ ve Akın ³ÖZMEN

¹ Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, SAKARYA, TÜRKİYE

² Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, SAKARYA, TÜRKİYE

³ 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 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

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.

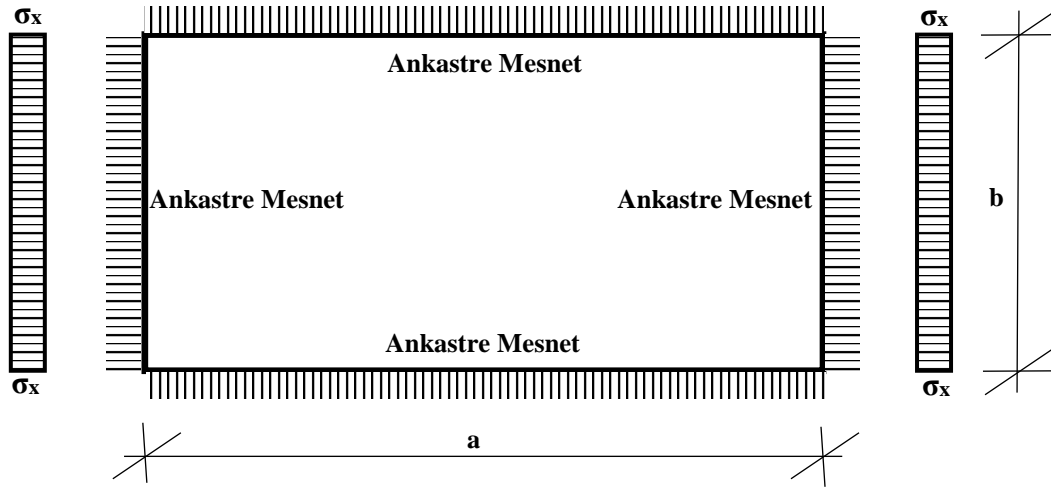
Bu çalışmada, $\alpha \geq 1$ kenar oranlı levhaların (1 mm) taşıma yükleri deneysel olarak araştırılacaktır. Sonuçlar bu tür mesnetlenmiş levhaların taşıma yükleri için öneri olarak verilecektir.

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'** 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 TS 648 ve EC3 Standartlarına göre tespit edilebilmekte, fakat taşıma yüklerinin ve tüm şekildeğiştirme davranışlarının doğru olarak tespiti pek mümkün olmamaktadır.



Şekil 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.

Çalışmada ankastre mesnetli olarak kullanılmak üzere, $t = 1\text{mm}$ kalınlığında levhalardan deney epruvetleri hazırlanmıştır. Bu epruvetler aynı malzeme özelliğine sahip (St37) ve yeckpare levhalardan 350×350 , 350×300 , 350×250 , 350×200 (mm \times mm) ebatlarında kesilerek elde edilmiştir

2. Levhaların Buruşması

Levhaların buruşma davranışı, çeşitli parametrelere bağlıdır. Bu parametreler sayesinde ancak güvenli ve ekonomik bir taşıyıcı sistem oluşturmak mümkün olabilmektedir. Levha narınlığı, 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.

- a) Boşta (Serbest) Kenarlar
- b) Mafsallı Mesnetlenmiş Kenarlar
- c) Ankastre Mesnetlenmiş Kenarlar

Enine kenar mesnetlenmesinin **k** Buruşma Katsayısına etkisi, örneğin (Dört kenan 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.

Levha Kenarının Yüklenmesi: levhaların hesaplanmasında levha kenarlarının yükleme şeklinin önemi büyüktür. Daha doğrusu levhaya ne tür bjr yük etki ediyorsa hesaplar ona göre yapılmalıdır. Genelde üç tür yükmeden bahsetmek mümkündür. Düzgün Yayılı Yük, Trapez Yayılı Yük ve Üçgen Yayılı Yük gibi.

Ön Şekildeğiştirme (Ön Deformasyon): Lineerleştirilmiş buruşma teorisi matematiksel anlamda düzlem olan levhaları incelemektedir. Rijitleştirilen veya kaynaklanan dolu gövdeli konstruksiyonların imali esnasında, levhalarda ve rijitleştiricilerde istenmeyen çarpılmalar veya deformasyonlar oluşabilir. Bu ön deformasyonlar yönetmeliklerin verdiği sınırlar içinde kalır ise konstruksiyonlar düzlem olarak kabul edilebilirler ve hesaplan şekil değiştirilmemiş gibi yapılır. Şayet bu ölçülen ön deformasyon değerleri yönetmeliklerde belirtilen sınırları aşılıyor ise bu ön deformasyonlar dikkate alınarak hesap gerçekleştirilir. Aksi durumda gerçeğe yakın olmayan sonuçlar elde edilmiş olur.

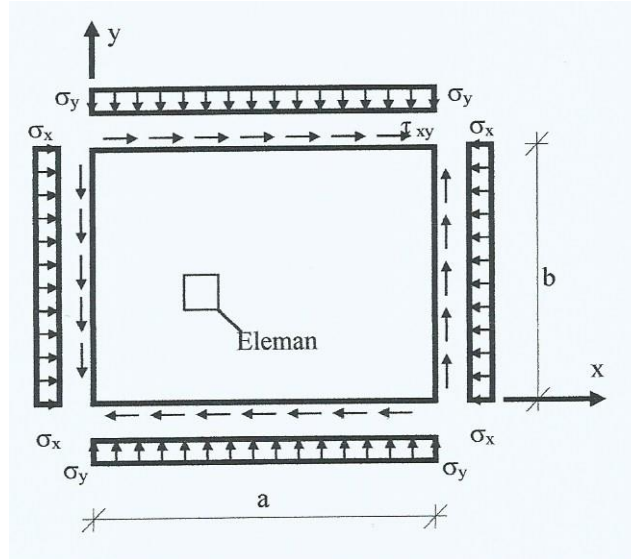
3. Levhaların Taşıma Yüklerinin Hesabı

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.

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

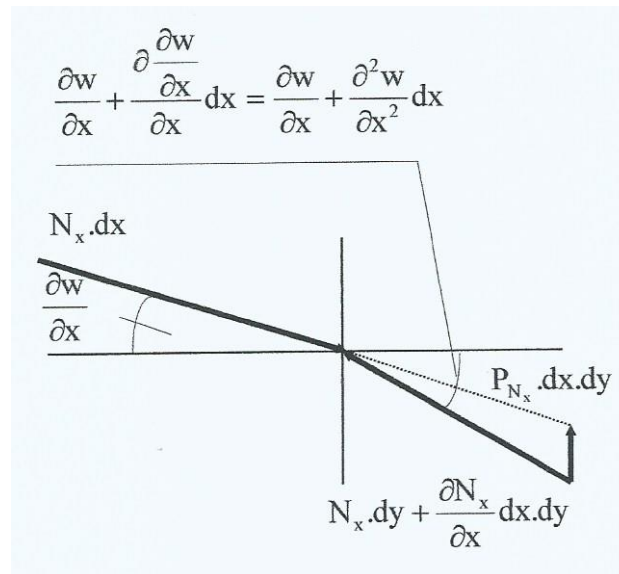
Denge şartından, plak üzerindeki bütün düşey kuvvetlerin toplamı sıfırdır. Enine yükleme durumu **P**, levha durumunda mevcut değildir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Levhanın Genel Yüklenme Şekli

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;



Şekil 3.2. x - Doğrultusunda Kesitte Oluşan İç Kuvvetler

Burada küçük açılar varsayımı yapılarak,

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

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

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,

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

$\Sigma y = 0$ 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,

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

bağıntısı elde edilir. Plak rijitliği D ile gösterilirse,

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

Söz konusu levha denkleminde çubuk denklemine geçilmek istenirse,

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

olarak yazılabilir veya

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

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,

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

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), minimum gerilme,

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

4. Deneysel Düzen ve Deneysel Yapısı

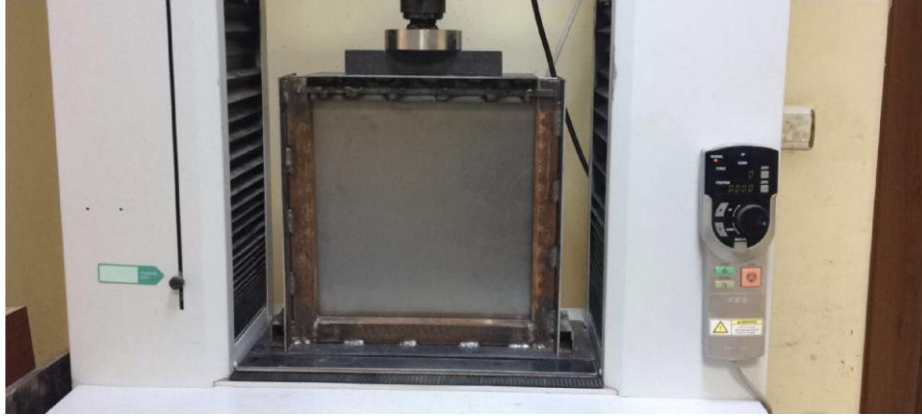
Deneysel Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yapı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneysel gerçekleştirilebilmesi için Shimadzu 50 KN kapasiteli basınç makinesi kullanılmaktadır.

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. Bunun için t=2mm kalınlığındaki 5 adet levha kullanılmıştır.

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 350x350 mm² alanına sahip levhadan başlamak üzere eni sabit tutulup boyu azaltılarak ilerlenen 4 grup ve toplamda 12 adet levha çalışmamızda kullanılmaktadır. Deneysel yapılması esnasında Boydaki değişim neticesinde taşınan kuvvetin arttığı gözlemlenmiştir. Levhaların ankastre mesnetlendirilebilmesi için tasarlanmış olduğumuz çelik çerçeve ise 3 mm levhalar ve

30x20mm² 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.

Dört tarafı ankastre ve mafsallı mesnetlenmiş dikdörtgen çelik levhalar hazırlanmıştır. Bu nedenle deney çerçevemiz Şekil 4.1 deki gibi hazırlanmış ve Deney epruvetleri bu çerçeve içine yerleştirilerek deneye tabi tutulmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.1 de deney çerçevesi görülmektedir.



Şekil 4.1. Dört Kenarı Ankastre Mesnetli Levhalar ve Deney Çerçevesi

Tablo 4.1. Levha Kenar Oranı(α) İle (k) Buruşma Katsayısı İlişkisi

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

Deneylerde kullanılacak olan malzeme ST37 Çeliğidir. Çeliğin deneylerde kullanılacak akma gerilmesi $\sigma_F = 24 \text{ kN/cm}^2$ olarak alınacaktır.

Levhanın dört bir kenarının ankastre mesnetli olarak mesnetlenmesi için, 3cm derinliğinde bir oluk içinde hareketi engellenmiş olup, bu kısımlar levha alanına dâhil edilmiştir.

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,

$$\sigma_e = \frac{\pi^2 E t^2}{12 b^2 (1 - \mu^2)} \text{ bağıntısı ile hesaplanır.}$$

Deneylerde kullanılan malzeme çelik olduğu için formül de $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$ ve μ Poisson oranı olan $\mu = 0.30$ olarak alınır:

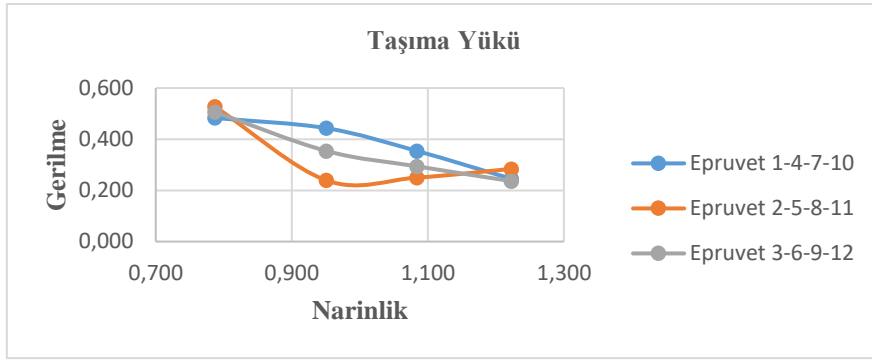
$$\sigma_{ki} = k \cdot \sigma_e = k \frac{\pi^2 E}{12(1 - \mu^2) \left(\frac{b}{t}\right)^2} \text{ olarak kritik buruşma gerilmesi elde edilir.}$$

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

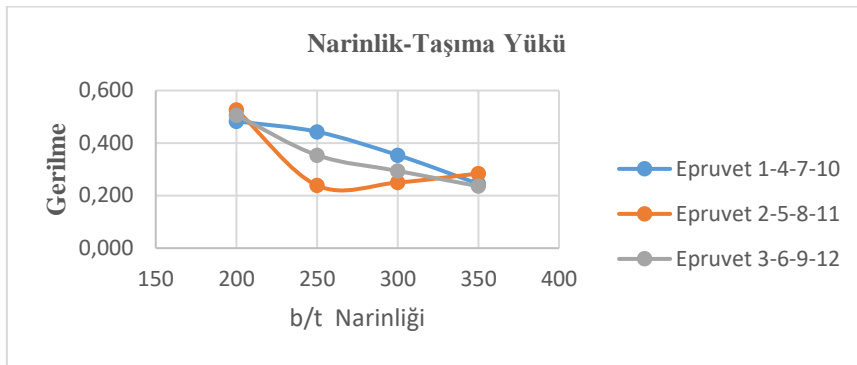
6. Shimadzu Universal Basınç Deney Makinası ile Yükleme Yapılması ve Ankastre Mesnetlenmiş Levhaların Deney sonuçları

Tablo 6.1. Levha Kenar Oranı(α) İle (k) Buruşma Katsayısı İlişkisi

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



Şekil 6.1. Gerilme – Narinlik Diyagramı



Şekil 6.2. Narinlik – Taşıma Yüğü Diyagramı

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 dört kenarından 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.

8. Kaynaklar

- [1] Girkmann, K., “Yüzeysel Taşıyıcı Sistemler”, Çeviren : Doç.Dr.Sacit Tameroğlu, 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, “Stabilitätsfaelle (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, “Stahlerne 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.