

TAKVİYELİ PANELLERİN BURKULMASINDA YASTIK VE FLANŞ ELEMENLARININ ETKİLERİ

Talha EKMEKYAPAR, Nildem TAYŞI, Mustafa ÖZAKÇA

Gaziantep Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, Türkiye

ÖZET

Burkulma ağır eksenel yükler altındaki narin yapılarda kaçınılmaz bir olaydır ve yapı belli bir kritik yüke ulaştığında normal mukavemetin altında bir yük ile bir anda burkulabilir. Bu nedenle, narin yapılar tasarlanırken burkulma kesinlikle dikkate alınıp iyileştirilmesi gereken bir olgudur. Bu çalışmadaki amaç, burkulmaya karşı optimize edilmiş takviyeli panellerde takviyeler altındaki yastık elemanları ile takviyeler üstündeki flanş elemanlarının kritik burkulma yükü üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır. Ayrıca değişik sayıda takviye elemanının kullanılmasının da panellerin kritik burkulma yükü üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

ABSTRACT

Buckling is an inevitable situation for axially heavily compressive loaded slender structures and when amount of load reaches a certain critic value, structure may buckle suddenly under the strength of that structure. For this reason buckling must be considered and improved in designing of such slender structures. The main goal of the present study is the investigation and comparison of the effect of pad elements and flange elements on critical buckling load of optimized stiffened panels against buckling. Also the effect of number of stiffeners on critical buckling load was investigated.

1. Giriş

Yüksek mukavemet ve hafifliklerinden dolayı takviyeli paneller birçok mühendislik yapılarında tercih edilir. Takviyeli paneller özellikle gemi ve uçak gövdeleri gibi kritik ve güvenliğin önemli olduğu yapılarda kullanılırlar. Bu gibi yapılar hassas oldukları için tasarım aşamasında her türlü koşul düşünülüp yapının geometrisi ona göre oluşturulmalıdır. Kritik burkulma yüklerinin incelenmesi güçlü bir takviyeli panel tasarımı için önemlidir.

Analitik metotlar burkulma problemlerinde yapı geometrisinin, sınır koşullarının ve yükleme şartlarının basit olduğu durumlarda kolayca uygulanabilir. Fakat bu koşullar karmaşık bir hal aldığı anda analitik metotlar ile burkulma probleminin çözümü çok uzun hatta bazı durumlarda imkânsız hale gelir. Burkulma problemlerinin analitik çözüm metotları Timoshenko [1] ve Chajes [2] tarafından ayrıntılı olarak çalışılmıştır. Hashemi ve diğerleri [3] Mindlin plak teorisini kullanarak eksenel yüklü isotropik plakların farklı sınır koşulları halinde burkulmalarını incelemişlerdir. Jaberzadeh ve Azhari [4] dikdörtgen plakların düzgün yayılı olmayan eksenel basınç yükleri ve kesme kuvveti altında elastik ve elastik olmayan lokal burkulması için bir çözüm sunup, burkulma probleminde diferansiyel denklemleri çözmek için Galerkin metodunu kullanmışlardır.

Bilgisayar uygulamalarının yapı mühendisliği alanına girmesi ile karmaşık problemlerin çözümleri için birçok nümerik metot geliştirilmiştir. Nümerik metotların en önemli özelliği her türlü geometri, sınır koşulu ve yükleme durumunda etkili olabilmeleri ve gelişen günümüz bilgisayarları ile sonuca çok kısa sürede ulaşabilmeleridir. Burkulma problemi için birçok nümerik metot olmakla birlikte en etkili olanları sonlu elemanlar ve sonlu şeritler metotlarıdır. Burkulma probleminin sonlu elemanlar metodu ile çözümü birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Anderson ve diğerleri [5], Allman [6], Przemieniecki [7] ve Fafard ve diğerleri [8] çalışmaları burkulma probleminin sonlu elemanlar metodu ile çözümünde öncü çalışmalardır. Grondin ve diğerleri [9] takviyeli panellerin burkulmasını sonlu elemanlar metodu ile incelemiş ve sonuçları deneylerle doğrulamışlardır.

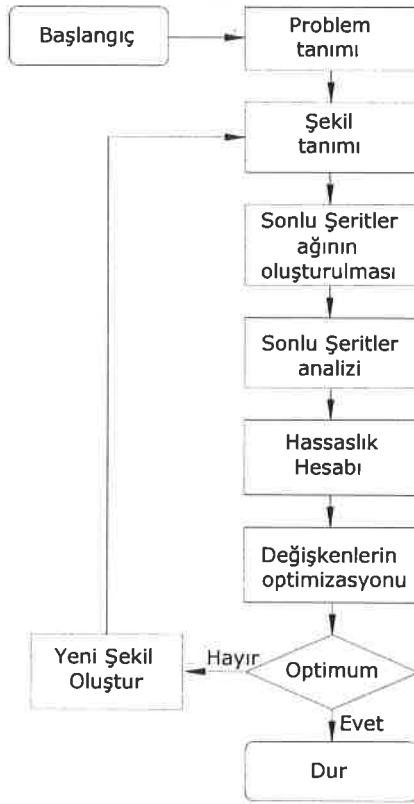
Sonlu şeritler Cheung [10] tarafından geliştirilen bir metottur ve sonlu elemanlar metoduna göre uygulama alanları kısıtlı olmasına rağmen problemi çözmek için daha az eşitliğe ihtiyaç duyar ve problem geometrisinin tanımı kolaydır. Sonlu şeritler metodunu uygulayabilmek için incelenen yapının prizmatik bir yapı olma koşulu vardır. Hinton [11] sonlu şeritler metodunu kullanarak önerilmeli Mindlin plaklarının burkulmasını incelemiştir. Bu çalışmada Özakça ve diğerleri [12] tarafından geliştirilen prizmatik kabukların burkulma yüklerini düşünerek, lineer, ikinci ve üçüncü derece $C(0)$ sürekliliğine sahip değişken kesitli Mindlin-Reissner sonlu şeritler metodu kullanarak analizler yapılmıştır.

2. Boyut Optimizasyonu

Düz plakların burkulma davranışı plak yüzeyine takviye elemanları ekleyerek büyük ölçüde iyileştirilmektedir. Ancak tasarım aşamasında sadece takviye elemanı eklemek kendi başına yeterli olmayıp düşünülen yapının optimizasyonu yapılmalıdır. Panel hacmi sabit tutulmak şartı ile boyut ve kalınlıklar değiştirilerek, her optimizasyon işlemi üç, dört ve beş takviye elemanlı paneller için tekrarlanacaktır. Bu eleman sayılarındaki değişimin kritik burkulma yükü üzerindeki etkileri tablolar halinde verilecek ve sonuçlar karşılaştırılacaktır. Panellerin optimizasyonu Özakça [13] tarafından oluşturulan bir Fortran yazılımı ile sıralı karesel programlama algoritması kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan programın analiz ve optimizasyon ilişkisini gösteren akış çizelgesi Şekil 1 de görülmektedir.

Optimizasyon işleminde incelenen tüm panel tiplerinin ortak boy, genişlik ve hacim kısıtları vardır. Panellerin ortak kısıtları Tablo 1 de görülmektedir. Bu çalışmada öncelikle Şekil 2 de

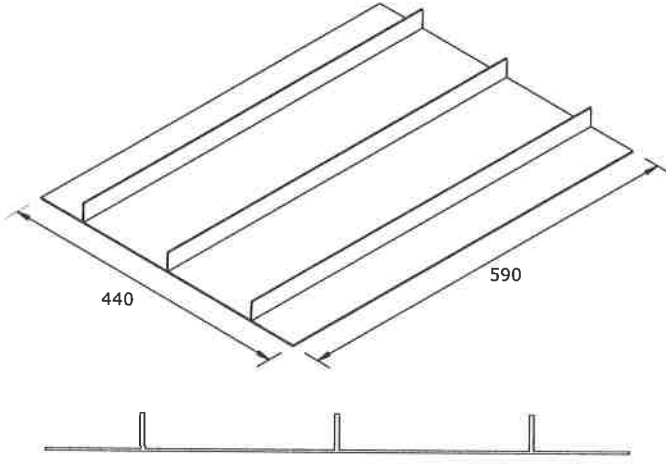
gösterilen güçlendirme elemanlarının yalın hali için optimizasyon işlemi yapılacaktır. Daha sonra Şekil 3 de görülen yastık elemanlarının ve şekil 4 de görülen flanş elemanlarının burkulma yükleri üzerindeki etkilerini incelemek için ayrı ayrı optimizasyon işlemleri tekrarlanacaktır ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılarak takviyeli panellerin iyileştirilmesi için önerilerde bulunulacaktır. Kritik burkulma yükü iyileştirilmelerinde referans olarak ana takviyeli paneller alınacak yastıklı ve flanşlı panellerdeki iyileştirmeler referans panellere göre irdelenecektir.



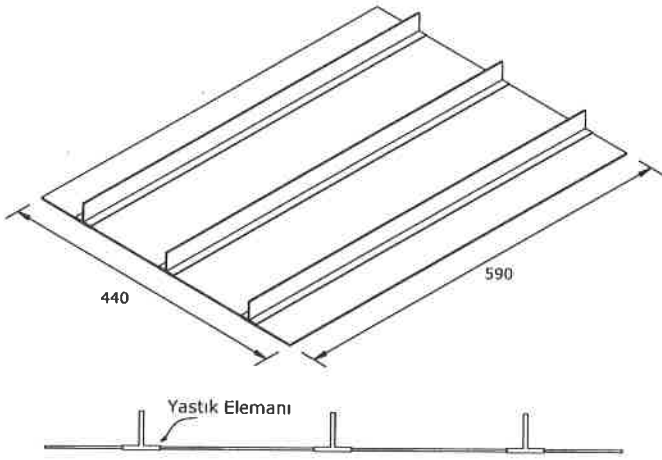
Şekil 1. Program akış çizelgesi

Tablo 1. Panellerin ortak kısıtları

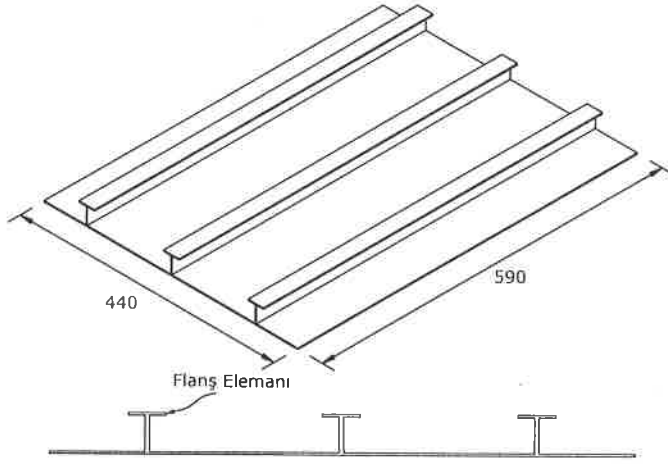
Boy	590 mm
Genişlik	440 mm
Hacim	691480 mm ³



Şekil 2. Düz takviyeli panel geometrisi (3 takviyeli panel)



Şekil 3. Yastıklı takviyeli panel geometrisi (3 takviyeli panel)

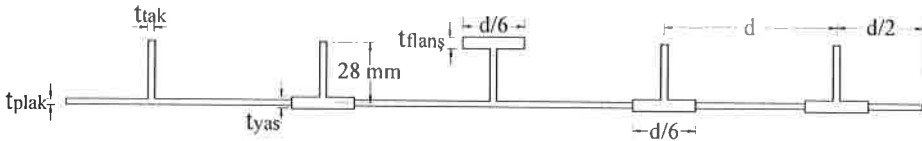


Şekil 4. Flanşlı takviyeli panel geometrisi (3 takviyeli panel)

Optimizasyon algoritmasını başlatmak için tasarım değişkenlerinin ilk değerleri Tablo 2 de verilen kurallara göre panel kesit alanının sabit ve 1172 mm^2 olduğu dikkate alınarak hesaplanmıştır ve bu kurallar dahilinde oluşturulan kesit referans kesit diye adlandırılmıştır. Optimizasyon işlemine tabii tutulacak değişkenler plak kalınlığı (t_{plak}), takviye kalınlığı (t_{tak}), yastık kalınlığı (t_{yas}) ve flanş kalınlığıdır ($t_{\text{flanş}}$). Tasarım değişkenleri Şekil 5 te örnek panel kesiti üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 2. Referans kesit tasarım kuralları.

Panel tipi	Referans Tasarım kuralları
Düz takviyeli panel	$t_{\text{plak}} = t_{\text{tak}}$
Yastıklı takviyeli panel	$t_{\text{plak}} = t_{\text{tak}}, t_{\text{yas}} = t_{\text{plak}} \times 2$
Flanşlı takviyeli panel	$t_{\text{plak}} = t_{\text{tak}}, t_{\text{flanş}} = t_{\text{plak}} \times 2$



Şekil 5. Tasarım değişkenleri ve sabitler

Optimizasyon işleminde panel ortak kısıtları dışında takviye uzunlukları 28.0 mm, yastık ve flanş genişlikleri $d/6$ olarak sabit tutulmuştur.

Tablo 3 de tasarım değişkenlerinin minimum ve maksimum limitlerini göstermektedir.

Tablo 3. Tasarım değişkenleri limitleri.

Tasarım değişkenleri	Kıs.	Min. (mm)	Maks. (mm)
Plak kalınlığı	t_{plak}	1.2	3.0
Takviye kalınlığı	t_{tak}	1.2	2.3
Yastık kalınlığı	t_{yas}	2.0	5.0
Flanş kalınlığı	$t_{flanş}$	2.0	5.0

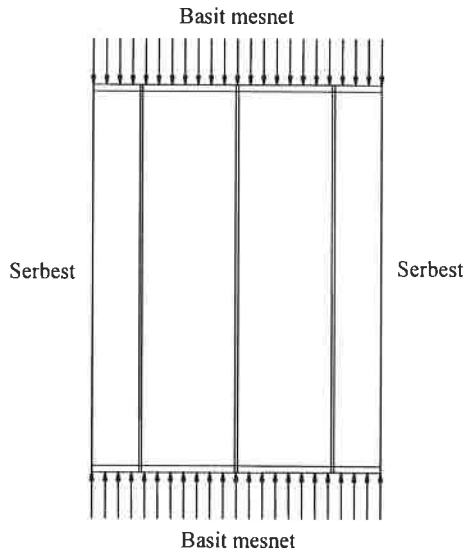
3. Malzeme Özellikleri, Yükleme ve Sınır Koşulları

Kritik burkulma yükü analizi sadece elastik malzeme özelliklerine ihtiyaç duyup kullanılan malzeme özellikleri aşağıdaki gibidir;

Elastisite modülü (E): $73 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

Poisson oranı (ν): 0.33

Panellerin burkulma analizi düzgün yayılı aksel basınç yüklemesi altında yapılmıştır. Yükleme yapılan karşılıklı kenarlar basit mesnet, diğer kenarlar serbest olarak düşünülmüştür. Şekil 6 panellerin yükleme ve sınır koşullarını açık olarak göstermektedir. Düzgün yayılı yük optimizasyon sırasında her iterasyonda değişen kesit değerlerine göre tekrar hesaplanıp toplam değeri değişmeyecek şekilde kesit elemanlarına aktarılmaktadır.



Şekil 6. Panellerin yükleme ve sınır koşulları

4. Optimizasyon Sonuçları

Önceki bölümlerde açıklanan sınırlar dahilinde optimizasyon işlemleri yapılmıştır. Tablo 4-5-6 sırasıyla düz, yastıklı ve flanşlı takviyeli panellerin Referans Tasarım (RT), Boyut Optimizasyonu (BO) sonunda elde edilen değerler ve bu değerlere karşılık gelen kritik burkulma yüklerini vermektedir.

Tablo 4. Düz takviyeli panellerin referans ve optimum tasarımları

	3 Takviyeli		4 Takviyeli		5 Takviyeli	
	RT	BO	RT	BO	RT	BO
t_{plak}	2.237	2.434	2.123	2.324	2.020	2.200
t_{tak}	2.237	1.200	2.123	1.342	2.020	1.456
P_{kri}	59.73	62.78	96.56	105.54	136.54	148.77

Tablo 5. Yastıklı takviyeli panellerin referans ve optimum tasarımları

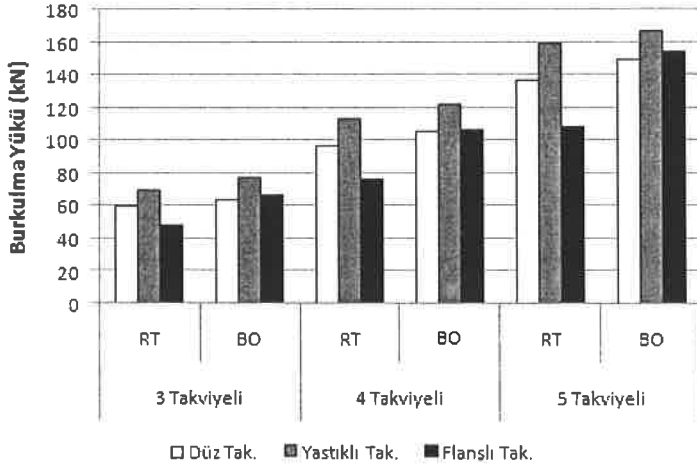
	3 Takviyeli		4 Takviyeli		5 Takviyeli	
	RT	BO	RT	BO	RT	BO
t_{plak}	1.962	1.918	1.874	1.885	1.794	1.831
t_{tak}	1.962	1.214	1.874	1.414	1.794	1.521
t_{yas}	3.924	5.000	3.748	4.396	3.588	3.922
P_{kri}	69.4	76.5	112.7	122.0	158.8	166.4

Tablo 6. Flanşlı takviyeli panellerin referans ve optimum tasarımları

	3 Takviyeli		4 Takviyeli		5 Takviyeli	
	RT	BO	RT	BO	RT	BO
t_{plak}	1.747	2.114	1.677	2.191	1.613	2.115
t_{tak}	1.747	2.007	1.677	1.200	1.613	1.200
$t_{flanş}$	3.495	1.000	3.355	1.000	3.225	1.000
P_{kri}	47.8	65.7	76.2	106.1	107.6	153.4

5. Sonuç

Referans tasarım ve optimum tasarım sonuçlarının görsel olarak irdelenebilmesi için Tablo 4-5-6 teki sonuçlar Şekil 7 de grafik üzerinde görülmektedir. Şekil 7 den de görüleceği gibi sabit malzeme hacmi kısıdı altında farklı panel tiplerinden elde edilen burkulma yükleri 47.8 kN ile 166.4 kN arasında 3 kattan fazla fark bulunmaktadır. Aynı malzeme hacmi ile en düşük sonuç ile en yüksek sonuç arasında 3 kattan fazla fark bulunmaktadır. Bu sonuç tercih edilen panel tipi ve optimizasyon işleminin önemini açıkça göstermektedir.



Şekil 7 Referans ve optimum tasarım kritik burkulma yükleri

Tablo 3-4-5 ve Şekil 7 den elde edilen verilere göre sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Takviye sayısının artışı kritik burkulma yükünü artırmaktadır.
- Flanşlı ve yastıklı takviyeli panellerden optimizasyon sonucunda düz takviyeli panellere göre daha yüksek burkulma yükleri elde edilmektedir.
- Yastıklı takviyeli paneller hem referans tasarım aşamasında hem optimizasyon sonucunda flanşlı takviyeli panellerle karşılaştırıldığında kritik burkulma yükleri dikkate değer şekilde fazladır.

Kaynaklar

- [1] Timoshenko, S. and Gere, J., "Theory of Elastic Stability". McGraw-Hill, New York-1936.
- [2] Chajes, A., "Principles of structural stability theory". Englewood Cliffs N.J. Prentice-Hall-1974.
- [3] Hashemi, S.H., Khorshidi K., Amabili, M., "Exact solution for linear buckling of rectangular Mindlin plates". Journal of Sound and Vibration. **315**, 318-342, 2008.
- [4] Jaberzadeh, E. and Azhari M., "Elastic and inelastic local buckling of stiffened plates subjected to on-uniform compression using Galerkin method" Applied Mathematical Modelling. **33**, 1874-1885, 2009.
- [5] Anderson R.G., Irons B.M. and Zienkiewicz O.C., "Vibration and stability of plates using finite elements" International Journal of Solids and Structures, **4**,1031-1055, 1968.
- [6] Allman, D.J., "Calculation of elastic buckling loads of thin flat plates using triangular finite element" International Journal for Numerical Methods in Engineering, **9**, 415-432, 1975.

- [7] Przemieniecki, J.S., "Finite element structural analysis of local stability" *AIAA Journal*, **11**, 33-39, 1973.
- [8] Fafard, M., Beaulieu, D. and Dhatt, G., "Buckling of thin walled members by finite element method" *Computers and Structures*, **25**, 183-190, 1987.
- [9] Grondin, G.Y., Elwi, A.E. and Cheng, J.J.R., "Buckling of stiffened steel plates-a parametric study" *Journal of Constructional Steel Research*, **50**, 151-175, 1999.
- [10] Cheung, Y.K., "The Finite Strip Method in Structural Analysis" Pergamon International Library of Science-1976.
- [11] Hinton, E., "Buckling of initially Stressed Mindlin plates using Finite strip method" *Computers and Structures*, **8**, 99-105, 1978.
- [12] Özakça, M., Tayşi, N. and Kolcu, F., "Buckling optimization of variable thickness prismatic folded plates" *Thin Walled Structures*, **41**, 711-730, 2003.
- [13] Özakça, M., "Analysis and Optimal Design of Structures with Adaptivity". Ph.D. thesis, Department of Civil Engineering University College of Swansea-1993.

