



XVII. ULUSAL MEKANİK KONGRESİ
5-9 Eylül 2011, Fırat Üniversitesi, Elazığ

TAKVİYELİ PANELLERİN SERBEST TİTREŞİMİNDE YASTIK VE ALT TAKVİYE ELEMANLARINI ETKİSİ

Erman ÇANLIOĞLU*, Mehmet Tolga GÖĞÜŞ† ve Mustafa ÖZAKÇA‡
Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep

ÖZET

Bu bildiride takviyeli panellerin serbest titreşim analizi ile ilgili bir çalışma sunulmuştur. Bu amaç için güvenli ve verimli bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Analizler yapılırken Mindlin-Reissner kabuk teorisine bağlı sonlu şeritler metodu, kübik eğrilerle geometri tanımlama ve ağ üretimi, uygulanarak panellerin serbest doğal frekansları ve mod şekilleri hesaplanmıştır. Bu çalışmadaki amaç, doğal frekansları optimize edilmiş takviyeli panellerde takviyeler altındaki yastık elemanları ile takviyeler arasındaki alt takviye elemanlarının panelin doğal frekansına etkilerinin incelenmesi ve karşılaştırılmasıdır. Ayrıca değişik sayıda takviye elemanının kullanılmasının da panellerin doğal frekansı üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

GİRİŞ

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. Yapıyı oluşturan panellerin doğal frekansının incelenmesi güçlü bir takviyeli panel tasarımı için önemlidir.

Analitik metotlar titreşim problemlerinde yapı geometrisinin, sınır koşullarının ve yükleme şartlarının basit olduğu durumlarda kolayca uygulanabilir. Fakat bu koşullar karmaşık bir hal aldığı anda analitik metotlar ile probleminin çözümü çok uzun hatta bazı durumlarda imkânsız hale gelmektedir.

Bilgisayar teknolojisinin gelişmesi ve 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 olabilmeleridir ve gelişen günümüz bilgisayarları ile sonuca çok kısa sürede ulaşabilmeleridir. Titreşim problemi için birçok nümerik metot olmakla birlikte en etkili olanları sonlu elemanlar ve sonlu şeritler metotlarıdır. Titreşim probleminin sonlu elemanlar metodu ile çözümü birçok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Ahmad [9], Aksu [7], Patel ve diğerleri [1], Mukhopadhyay ve çalışma arkadaşlarının [2,4-6] panellerin titreşim analizinde birçok çalışmaları olmuştur.

Sonlu şeritler metodu gibi yarı analitik yarı nümerik metotların bu tip yapıların statik ve dinamik analizleri için kullanılması çok verimli olmuştur [8]. Sonlu şeritler metodu Fourier serileri ile sonlu elemanlar metodunu birleştiren bir metottur. Yapı, şerit doğrultusunda Fourier serileri ile ve diğer

* İnş. Yük. Müh., Fen Bil. Enst., E-posta: ermancanlioglu@hotmail.com

† Arş. Gör. Dr., İnşaat Müh. Böl., E-posta: mtgogus@gantep.edu.tr

‡ Prof. Dr., E-posta: ozakca@gantep.edu.tr

yönde yapısal davranışların tanımlanmasında ise sonlu elemanlarla modellenir. Yapının şerit doğrultusunda yani Fourier serileri ile tanımlanan boyutunda, yapı kesitinde veya malzeme özelliklerinde sunulan bu metotla değişiklik yapmak mümkün değildir. Sonlu elemanlar metoduna göre uygulama alanları kısıtlı olmasına rağmen birçok problemi çözmek için daha az eşitliğe ihtiyaç duyar ve problem geometrisinin tanımı kolaydır. Kısaca, sonlu şeritler metodunu uygulayabilmek için incelenen yapının prizmatik bir yapı olma koşulu vardır. Bu çalışmada Özakça ve çalışma arkadaşları [3] tarafından geliştirilen prizmatik yapıların titreşim analizini düşünerek, lineer, ikinci ve üçüncü derece $C(0)$ sürekliliğine sahip değişken kesitli Mindlin-Reissener sonlu şeritler metodu kullanılarak analizler yapılmıştır.

TAKVİYELİ PANELLERİN BOYUT OPTİMİZASYONU

Düz plakların dinamik karakteristikleri plak yüzeyine takviye elemanları ekleyerek büyük ölçüde iyileştirilmektedir. Ancak tasarım aşamasında sadece takviye elemanı eklemek kendi başına yeterli olmamaktadır. Düşünülen yapının optimizasyonu yapılmalıdır. Bu çalışmada, panel hacmi sabit tutulmak şartı ile boyut ve kalınlıklar veya her ikisinde değiştirilerek, her optimizasyon işlemi üç, dört ve beş takviye elemanlı paneller için tekrarlanacaktır. Bu eleman sayılarındaki değişimin doğal frekans üzerindeki etkileri tablolar halinde verilecek ve sonuçlar karşılaştırılacaktır. Panellerin optimizasyonunda Özakça [3] tarafından oluşturulan bir Fortran yazılımı ile ardışık karesel programlama algoritması kullanılarak yapılmıştır.

Optimizasyon problemi; nonlinear matematiksel programlama dilinde şöyle özetlenebilir: Amaç fonksiyonu $F(s)$ 'i bazı kısıtlayıcılar altında minimize (veya maksimize) eden dizayn vektörü s bulunur.

Yapı şekil optimizasyon tekniği, elemanların kalınlık değişkenlerinin optimizasyonuna dayalıdır. Tipik bir yapı optimizasyonu işlemini gözden geçirirsek;

1. *Optimizasyon probleminin tanımlanması:* Optimizasyon verisi olarak amaç fonksiyon, kısıtlayıcılar ve tasarım değişkenleri, geometri verisi olarak anahtar noktalar, koordinatlar ve kalınlıklar ve analiz verisi olarak da elastisite modülü, poisson oranı vs tanımlanır.
2. *Tasarım modelinin oluşturulması:* Panel sistemi elemanlara bölünerek kiriş gibi modellenir ve her bir elemanın kalınlığı tanımlanır.
3. *Sonlu Şeritler modelinin oluşturulması:* Uygun sonlu şeritler ağı oluşturulur. Bu otomatik bir ağ üreticisi tarafından belirlenen yoğunlukta yapılır.
4. *Sonlu şeritler analizinin gerçekleştirilmesi:* Amaç fonksiyon ile kısıtlayıcıların hesaplanması için sonlu şeritler analizi yapılır.
5. *Hassasiyet analizi:* Tasarım değişkeninde küçük değişiklikler yapılarak amaç fonksiyonların ve kısıtlayıcıların hassasiyet analizleri yapılır. Bu çalışmada sonlu farklar nümerik metodu kullanılmıştır.
6. *Optimizasyon:* Sonlu şeritler ve hassasiyet analizi sonuçları kullanılarak uygun bir optimizasyon algoritması ile seçilen amaç fonksiyon iyileştirilir.
7. *Optimizasyon modelinin yenilenmesi:* Tasarım değişikliği kontrol edilir, eğer hedef sağlanmamışsa, tasarım vektör tekrar hesaplanır ve optimizasyon işlemi 3. aşamadan başlanarak tekrarlanır. Diğer durumda ise işlem durdurulur.

Optimizasyon işleminde incelenen tüm panel tiplerinin ortak boy, genişlik ve hacim kısıtları vardır. Panellerin ortak kısıtları Tablo 1 de görülmektedir. Bu çalışmada öncelikle Şekil 1 de gösterilen güçlendirme elemanlarının yalın hali için optimizasyon işlemi yapılacaktır. Daha sonra Şekil 2 de görülen yastık elemanlarının ve Şekil 3 de görülen alt takviye elemanlarının doğal frekans

üzerindeki etkilerini incelemek için ayrı ayrı optimizasyon işlemleri tekrarlanacaktır ve sonuçlar birbiri ile karşılaştırılarak takviyeli panellerin iyileştirilmesi için önerilerde bulunulacaktır. Doğal frekans iyileştirilmelerinde referans olarak ana takviyeli paneller alınacak yastıklı ve alt takviyeli panellerdeki iyileştirmeler referans panellere göre irdelenecektir.

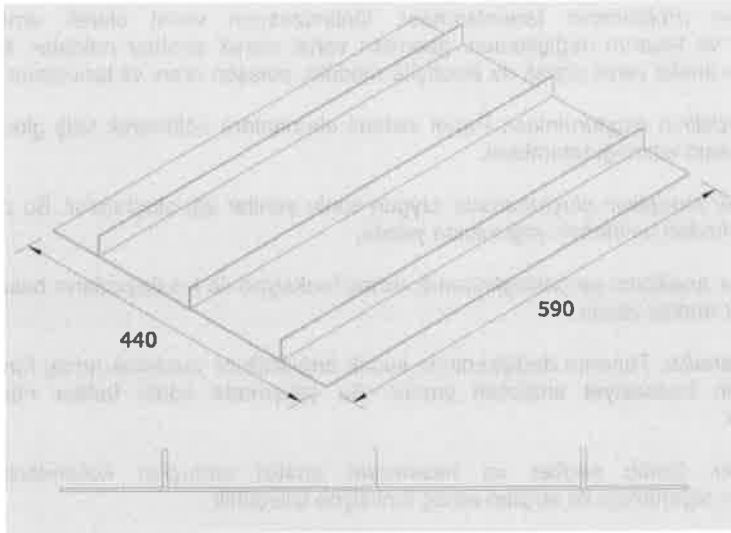
Tablo 1 Panellerin ortak kısıtları

Özellik	Ölçü
Boy	590 mm
Genişlik	440 mm
Kesit alanı	1172 mm ²
Hacim	691480 mm ³

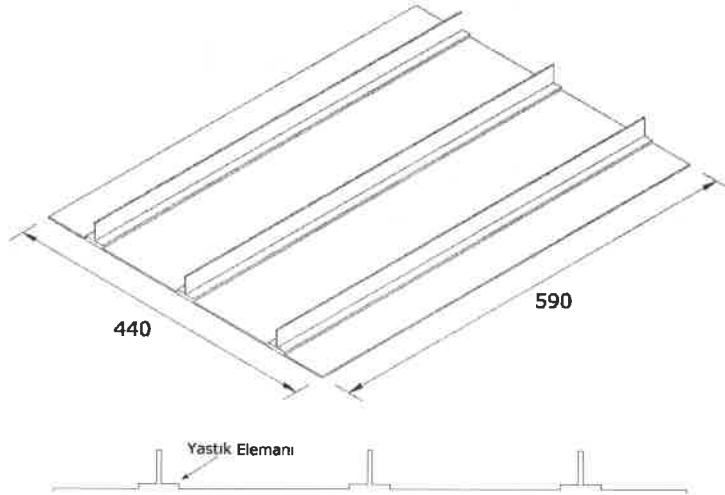
Optimizasyon algoritmasını başlatmak için tasarım değişkenlerinin ilk değerleri Tablo 2’de verilen kurallara göre panel kesit alanının sabit ve 1172 mm² olduğu dikkate alınarak hesaplanmıştır ve bu kurallar dahilinde oluşturulan kesit referans kesit diye adlandırılmıştır. Optimizasyon işlemine tabii tutulacak değişkenler plak kalınlığı (t_{plak}), takviye kalınlığı (t_{tak}), yastık kalınlığı (t_{yas}), takviye yüksekliği (h_{tak}) ve alt takviye yüksekliği (h_{alt}). Tasarım değişkenleri Şekil 4 te örnek panel kesiti üzerinde gösterilmiştir. Optimizasyon işleminde panel ortak kısıtları dışında takviye uzunlukları 28.0 mm, yastık genişlikleri $d/6$ olarak sabit tutulmuştur. d ana takviyeler arası mesafeyi göstermektedir.

Tablo 2 Referans kesit tasarım kuralları

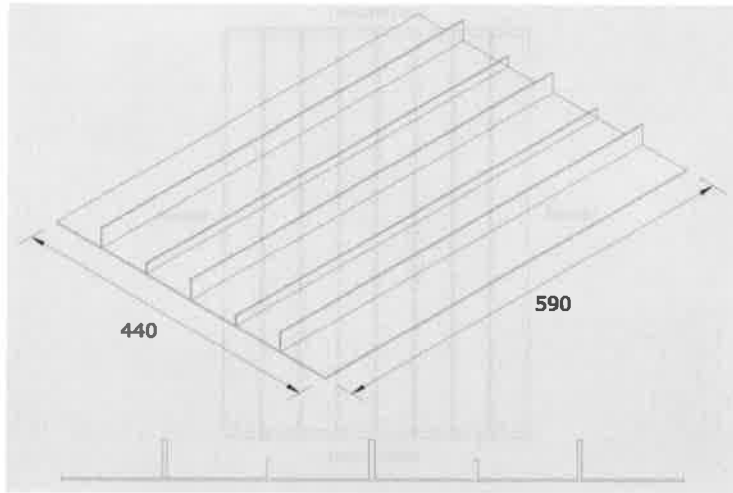
Panel tipi	Tasarım kuralı
Düz takviyeli panel	$t_{plak} = t_{tak}$
Yastıklı takviyeli panel	$t_{plak} = t_{tak}$, $t_{yas} = t_{tak} \times 2$
Alt takviyeli panel	$t_{plak} = t_{tak}$, $h_{ana} = h_{alt}/2$



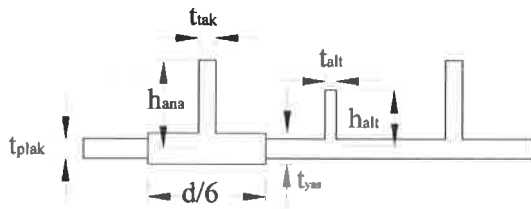
Şekil 1 Üç takviyeli panelin geometrisi



Şekil 2 Üç takviyeli yastıklı panelin geometrisi



Şekil 3 Üç takviyeli alt takviyeli panelin geometrisi



Şekil 4 Tasarım değişkenleri

Tasarım değişkenleri Şekil 4 te örnek panel kesiti üzerinde gösterilmiştir. Tablo 3 de tasarım değişkenlerinin minimum ve maksimum limitlerini göstermektedir.

Tablo 3 Tasarım değişkenleri limitleri

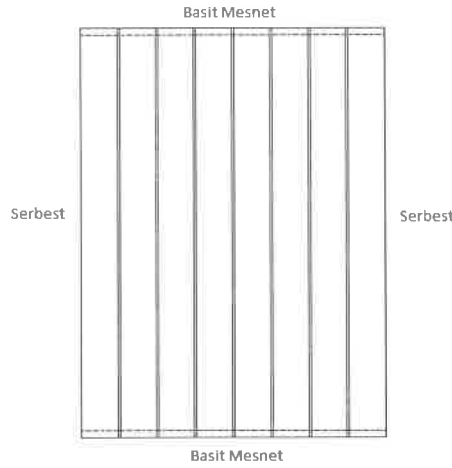
Tasarım değişkenleri		Min.(mm)	Max. (mm)
Plak kalınlığı	t_{plak}	1.1	3.0
Takviye kalınlığı	t_{tak}	0.5	6.0
Alt takviye kalınlığı	t_{alt}	1.0	3.0
Yastık kalınlığı	t_{yas}	2.0	6.0

Malzeme Özellikleri, Yükleme ve Sınır Koşulları

Serbest titreşim 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
- Yoğunluk $\rho = 7800.0 \text{ kg/m}^3$

Panellerin serbest titreşim analizi hiçbir yükleme olmadan yapılmıştır. Karşılıklı kısa kenarlar basit mesnet, diğer kenarlar serbest olarak düşünülmüştür. Şekil 5 panellerin sınır koşullarını göstermektedir.



Şekil 5 Panellerin sınır koşulları

Optimizasyon Sonuçları

Önceki bölümlerde açıklanan sınırlar dahilinde optimizasyon işlemleri yapılmıştır. Tablo 4-5-6. Sırasıyla düz takviyeli, yastıklı ve alt takviyeli panellerin Referans Tasarım (RT), Boyut Optimizasyonu (BO) sonunda elde edilen değerler ve bu değerlere karşılık gelen özdeğerleri verilmektedir.

Tablo 4. Düz takviyeli panellerin referans ve optimum tasarımları

	3 Takviyeli		4 Takviyeli		5 Takviyeli	
	RT	BO	RT	BO	RT	BO
t_{plak}	2.236	1.518	2.123	1.270	2.02	1.356
t_{tak}	2.236	6.000	2.123	5.472	2.02	4.107
Özdeğer	30.299	34.721	37.642	44.011	41.860	47.972

Tablo 5. Yastık takviyeli panellerin referans ve optimum tasarımları

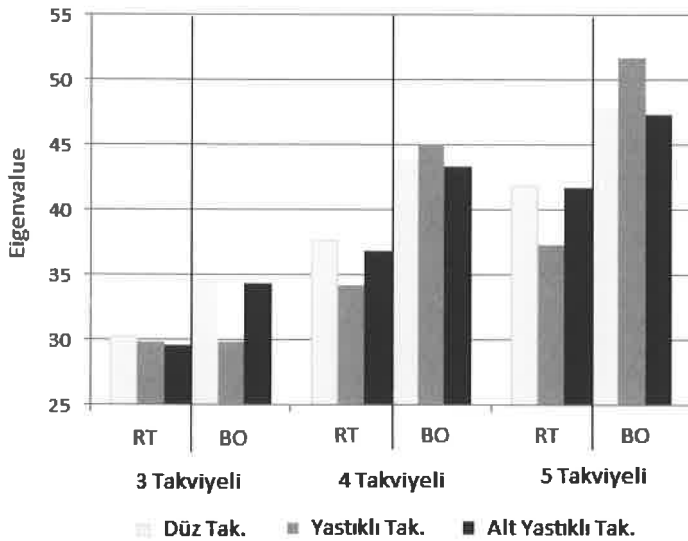
	3 Takviyeli		4 Takviyeli		5 Takviyeli	
	RT	BO	RT	BO	RT	BO
t_{plak}	1.575	1.100	1.518	1.148	1.465	1.100
t_{tak}	1.575	2.135	1.518	3.000	1.465	3.000
t_{yas}	3.151	3.412	3.036	2.651	2.930	2.318
Özdeğer	29.813	29.813	34.256	45.052	37.362	51.755

Tablo 6. Alt takviyeli panellerin referans ve optimum tasarımları

	3 Takviyeli		4 Takviyeli		5 Takviyeli	
	RT	BO	RT	BO	RT	BO
t_{plak}	2.123	1.454	1.973	1.198	1.842	1.220
t_{tak}	2.123	6.000	1.973	5.381	1.842	4.134
t_{alt}	2.123	1.000	1.973	1.000	1.842	1.000
Özdeğer	29.618	34.273	36.826	43.321	41.712	47.389

SONUÇ

Referans tasarım ve optimum tasarım sonuçlarının görsel olarak irdelenebilmesi için Tablo 4-6 teki sonuçlar Şekil 6 de grafik üzerinde görülmektedir. Şekil 6 dan da görüleceği gibi sabit malzeme hacmi kısıtı altında farklı panel tiplerinden elde edilen özdeğerler 29.618 ile 51.755 arasında değişmektedir. Aynı malzeme hacmi ile en düşük sonuç ile en yüksek sonuç arasında yaklaşık iki kat fark bulunmaktadır. Bu sonuç tercih edilen panel tipi ve optimizasyon işleminin önemini açıkça göstermektedir.

**Şekil 6** Referans ve optimum tasarım değerleri karşılaştırması

Tablo 4-5-6 ve Şekil 6 den elde edilen verilere göre sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Takviye sayısının artışı özdeğer artışını hızlandırmış daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

- Yastıklı takviyeli ve düz takviyeli panellerin optimizasyon sonucunda alt takviyeli panellere göre daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.
- Yastıklı takviyeli paneller hem referans tasarım aşamasında hem optimizasyon sonucunda düz takviyeli panellerle karşılaştırıldığında dikkate değer şekilde iyi sonuçlar vermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Patel, S., Datta, P. ve Sheikh, A., *Buckling and dynamic instability analysis of stiffened shell panels*, *Thin-Walled Structures*, 44, 321–333, 2006.
- [2] Samanta, A. ve Mukhopadhyay, M., *Free vibration of stiffened shells by the finite element technique*, *Eur J Mech A Solids*, 23, 159–179, 2004.
- [3] Hinton, E., Sienz, J. ,ve Özakça, M., *Analysis and optimization of prismatic and axisymmetric shell structures: theory, practice, and software*, Springer Verlag, London, 2003.
- [4] Rao, P.S., Sinha, G. ve Mukhopadhyay, M., *Vibration of submerged stiffened plates by finite element method*, *Int. Shipbuilding Progr.* 40 (423), 261–292, 1993.
- [5] Mukhopadhyay, M. ve Sinha, G., *A review of dynamic behavior of stiffened shells*, *Shock and Vibration Digest* 24, 3–13, 1992.
- [6] Mukhopadhyay, M. ve Satsangi, S.K., *Isoparametric stiffened plate bending element for the analysis of ships' structures*, *Trans. Roy. Inst. Naval Architects* 126 (8), 141–151, 1984.
- [7] Aksu, G., *Free vibration of stiffened plates including the effect of in plane inertia*, *J Appl Mech* 49, 206–212, 1982.
- [8] Cheung, Y.K. ve Cheung, M.S., *Free vibration of curved and straight beam-slab or box girder bridges*, *IABSE Publication*, 32(2), 41-52, 1972.
- [9] Ahmad, S., *Analysis of thick and thin shell structures by curved finite elements*, *Int J Numer Methods Eng.*, 2, 419–451, 1970.