

SİLİNDİRİK İNCE CİDARLI BASINÇLI KOLONLARIN ARTAN DEPREM YÜKLERİNE KARŞI TAKVİYELENDİRİLMESİ

Fuat TİNİŞ¹, Fatih BAZMAN²

¹GAMA Endüstri Tesisleri İmalat ve Montaj A.Ş.,
Ayaş Yolu Şeker Fab. Karşısı Etimesgut, Ankara/TÜRKİYE

Tel: 312.280 23 05 e-posta : tinis@gama.com.tr

²GAMA Endüstri Tesisleri İmalat ve Montaj A.Ş.,
Ayaş Yolu Şeker Fab. Karşısı Etimesgut, Ankara/TÜRKİYE

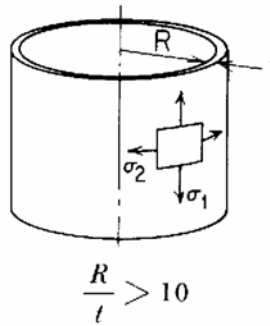
Tel: 312.280 23 05 e-posta : fbazman@gama.com.tr

Özet: Bu çalışmada “ASME Section VIII Division 1, 2001 Edition”a göre, belirli deprem yükleri altında tasarlanmış ince cidarlı silindirik kolon türü basınçlı kapların, yeni çalışma şartları ve artan deprem yüklerine göre doğrusal olmayan statik gerilme analizi, özdeğer (eigenvalue) yöntemi ile burkulma analizi, cevap spektrum yüklemesi kullanılarak mod birleştirme yöntemi ile dinamik analiz uygulanması sonucunda en uygun takviyelendirme yönteminin seçilmesi amaçlanmış ve bu yöntem kullanılarak gerçek bir basınçlı kolonun takviyelendirilmesi anlatılmıştır.

Anahtar sözcükler: Basınçlı kaplar, basınçlı kolonlar, ince cidarlı silindirik yapılar, doğrusal olmayan statik gerilme analizi, eigenvalue, özdeğer, burkulma analizi, cevap spektrum, mod birleştirme yöntemi, dinamik analiz.

1. GİRİŞ

Silindirik yapılar, cidar kalınlıklarının çaplarının onda birinden küçük olması durumunda ince cidarlı silindirik yapı sınıfına girerler [1]. Kalınlıklarda, eğim ya da büküm çapında ani değişikliğin olmadığı, cidar üzerindeki yüklemelerin eşit dağıldığı ya da orantılı değiştiği ve eksenel simetri olan silindirik cidarlarda dikkate alınması gereken gerilmeler, eksenel ve meridyenel (σ_1 ve σ_2) gerilmelerdir (Şekil 1.). Bu gerilmeler pratik olarak silindirik cidar üzerinde düzgün dağılır.



Şekil 1. Silindirik İnce Cidar Kriteri ve Cidar Üzerinde Oluşan Eksenel ve Meridyenel Gerilmeler

Silindirik, ince cidarlı, dikey pozisyonda kendi başına duran ve yere ankastre basınçlı kaplar için “basınçlı kolon” terimi kullanılır.

Silindirik narin yapıların cidarları iç ve dış basınç nedeni ile çevresel ve meridyenel gerilmeler, yapının kendi ağırlığı ile üzerinde taşıdığı ek ağırlıklar (izolasyon, üzerine monte edilmiş ekipmanlar, platformlar vb.) nedeni ile basma gerilmesi, rüzgâr, deprem ve dış merkezli yüklere maruz kalması durumunda eğilme gerilmeleri ve

düzenli olmayan dış yükler nedeni ile oluşan gerilmeler (nozul yükleri, yapıya taşınan boru yükleri, yapı içindeki sıvı vb.) etkisi altındadır. Bunlara ek olarak uygulanan imalat yöntemleri nedeni (soğuk şekil verme, kaynak vb.) ile oluşan ek gerilmeler de yapıya etki edebilir [2]. Basınçlı kolonlarda nozullar, adam delikleri, kesit değişiklikleri, basınçlı kabın alt ve üst başlık tiplerine bağlı olarak gerilim yığılması, eğilme, çekme gerilmeleri gibi karmaşık gerilmeler de bulunur.

Basınçlı kolonların tasarımı sırasında silindirik narin yapı üzerinde oluşan tüm gerilmelerin kontrolü, değişik çalışma şartlarına göre hazırlanmış durumlar için alınan gerilme değerlerinin izin verilen ölçüler aralığında kalmasının doğrulanması ile yapılır. İzin verilen gerilme değerlerinin belirlenmesi, yapının çalışma şartlarının yanı sıra kullanılan imalat malzemesinin kalitesi ile de ilgilidir [3].

Gerilme değerlerinin kontrolü dışında, yapının maruz kaldığı rüzgâr ve deprem yükleri neticesinde yaptığı salınım hareketi sonucunda oluşan periyot ve sehim miktarları da hesaplanarak izin verilen değerlerin altında kaldığı izlenir [4].

Basınçlı kolonların tasarımı sırasında kontrolü gereken bir diğer durum da burkulma analizidir. Yapı üzerinde dış merkezli yükler (eksenden kaçık nozullar, yapıya taşınan diğer ekipmanlar, borular, platformlar vb.) ya da eksenel düşey kuvvet yönünde etki eden yüklemeler ile cidar üzerinde açılmış geniş açıklıklar (nozul delikleri vb.) neticesinde yapının burkulmaya karşı olan direnci azalır. Bu nedenle yapının çalışma şartları içinde burkulmaya karşı emniyet kontrolü de yapılır.

Bu çalışmada daha önce “ASME Section VIII Division I”e göre tasarımı yapılmış ve imal edilmiş basınçlı kolonunun, çalışma şartlarının değiştirilmesi sonucunda oluşan yeni duruma göre artan deprem yükleri açısından değerlendirilmesi ve yapılması gerekli mukavemetlendirme yöntemleri anlatılmıştır. Bu çalışma yapılırken yapının hem analitik, hem de sonlu eleman yöntemleri ile mevcut duruma uygunluğunun araştırılması yapılmış, gerekli iyileştirmelere karar verilmiş ve uygulanmıştır .

2. BASINÇLI KOLON TASARIMI

Basınçlı kapları oluşturan silindirik yapıların cidar kalınlıklarının belirlenmesi, çalışma şartlarına göre etkiyen kuvvetlerin tanımlanmasının ardından, uluslararası kodlar ve regülasyonların kısıtlamaları gözönüne alınarak analitik yöntemler ile yapılır. Bu çalışmada, iç ve dış basınç ile tasarım sıcaklığına göre kalınlıkların belirlenmesi için “Rules For Construction of Pressure Vessels, ASME Section VIII Division 1, 2001 Edition”, izin verilen gerilmelerin belirlenmesi için “Materials, ASME Section II-Part D”, rüzgâr ve deprem yüklerinin belirlenmesi için “Uniform Building Code 1997”, nozul yükleri nedeniyle silindirik yapı üzerinde oluşan gerilmelerin belirlenmesi için “WRC Bulletin 107 / August 1965” ve “WRC Bulletin 297 / September 1987” kodları ve regülasyonları kullanılmıştır.

2.1 Tasarımda Kullanılan Analiz Yöntemleri

2.1.1 Analitik Yöntemleri

2.1.1.1 İç Basınç, Dış Basınç ve Tasarım Sıcaklığı Altında Kontrol Yöntemleri

Basınçlı kapların tasarım kuralları konusunda geliştirilen farklı yaklaşımlar nedeni ile değişik ülkeler tarafından farklı kodlar hazırlanmış ve sadece bu kodlara göre tasarlanan basınçlı kapların kullanılmasına izin verilmiştir. En çok kabul gören kodlar arasında “ASME Section VIII Div.1”, “AD-2000 Merkblatt”, “EN 13445” ve “CODAP 90” kodları sayılabilir.

Basınçlı kolona ait gövde ve başlık cidar kalınlıklarının belirlenmesi için, bu çalışmada şartname gereği olarak belirtilmiş “ASME Section VIII Division I, 2001 Edition” kodunda tanımlı kurallar ve onaylı malzemelerin çalışma sıcaklıklarına ait, izin verilen çekme gerilme değerlerinden yararlanılmıştır.

Analitik yol izlenirken öncelikle basınçlı kabın maruz kalacağı çalışma koşulları belirlenir (Tablo 1.).

Silindirik gövde cidar kalınlığının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılır [3]:

$$t = PR/(SE - 0,60P) + ca \quad (1)$$

P:İç tasarım basıncı (kPa) ; R: Cidar yarıçapı (mm); S: İzin verilen maksimum gerilme değeri (kPa); E: Birleşim verimi; ca : Pas payı (mm)

Elipsoidal başlık kalınlığının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılır [3]:

$$t = PD/(2SE - 0,20P) + ca \quad (2)$$

D: Başlık eteği çapı (mm)

TABLO 1. Basıncılı Kolona ait Çalışma Koşulları

Çalışma Durumu No	Çalışma Durumu Tanımı
1	İşletme sırasındaki tasarım sıcaklığı ve basıncı
2	Tasarım sıcaklığında işletmenin ani duruş hali
3	Ortam sıcaklığında boş durum hali
4	Vakum (dış basınç) olma hali
5	Hidrostatik test durumu

2.1.1.2 Rüzgâr, Deprem ve Diğer Yükler Altında Kontrol Yöntemleri

“ASME Section VIII Division I” kodu, onaylanmış malzemeler ve onlara ait kullanılabilir sıcaklık değerlerinde izin verilen maksimum çekme gerilmelerinin değerleri ile silindirik ve küresel gövdelerin iç ve dış basınç altındaki durumu, başlık ve nozul gibi eklentilerin boyutlarının tasarım kurallarını tanımlar. Daha farklı yapılar ve yükler (rüzgâr, deprem, yapıya etkileyen dış merkezli yükler vb.) altında çalışan basınçlı kapların tasarım kriterleri bu kuralların dışında kalır. Bu tür yapılar için genel kabul görmüş mühendislik prensipleri uygulanır.

Rüzgâr, deprem ve diğer dış merkezli yükler nedeni ile basınçlı kolonlar salınım yaparlar. Gövde cidar kalınlığının ve gövde çapının yapı boyunca değişmediği durumlarda, basınçlı kolonun ankastre giriş olarak kabul edilmesinin ardından, statik çözümler uygulanabilir ancak; değişken çap ve değişken cidar kalınlıklı yapılar için dinamik modeller kullanmak daha doğru sonuçlar verir. Bu tür yapılarda salınım nedeniyle oluşan frekansın hesaplanmasında, uygulanmasındaki kolaylık ve hata payının düşük olması (< %5) nedeni ile güvenli bir yöntem olan Rayleigh yöntemi (3) kullanılabilir [4], [5]. Bu yöntemde dikkate alınması gereken önemli noktalar, sehim yapacak tüm yüklerin hesaba katılması ile hesaplanan donamların 6000 mm uzunluğunu aşmaması gerektirir [4].

$$T = 2\pi(\sum W_i y_i^2 / (g \sum f_i y_i))^{1/2} \quad (3)$$

T : Titreşim periyodu (sn); W_i : Gövdedeki i'ninci donamın toplam ağırlığı (N); y_i : Gövdedeki i'ninci donamın elastik sehimi (m); f_i : Gövdedeki i'ninci donama etkileyen yatay kuvvet (N); g : yerçekimi ivmesi (m/sn^2)

Rüzgâr yükleri dikey yapılar üzerinde etkidikleri yükseklik boyunca, yapı üzerinde eğilme momenti yaratmaları sebebi ile eğilme gerilmelerine neden olurlar. Rüzgâr yükleri, basınçlı kolonun bulunduğu yere ait özelliklerin belirlenmesinin ardından, uygun hesap yöntemleri ile hesaplanır. Gövde üzerinde her bir donama gelen rüzgâr basıncı, eğilme momentine çevrilerek yapı üzerindeki eğilme gerilmelerinin hesaplanması sağlanır.

Basınçlı kolonun deprem yükleri altında davranışı, çeşitli durumlar altında ivmelenmenin oluşturduğu bir titreşim problemidir ve dinamik analiz yöntemleri ile çözümlenebilir. Basitleştirilmiş yaklaşım için ise basınçlı kolon, yer ivmelenmesi nedeniyle eşdeğer yanal yüklere maruz kalan yere sabitlenmiş rijit yapı olarak ele alınır. Deprem sırasında oluşan kuvvetlerin eşdeğerleri, basınçlı kolonun bulunduğu yere ait özelliklerin ve yapının periyodunun belirlenmesinin ardından, uygun hesap yöntemleri ile yapıya olan etkileri eğilme momentine çevrilerek, yapı üzerindeki eğilme gerilmelerinin hesaplanması sağlanır.

Düşey yükler basınçlı kolonlar üzerinde basma gerilmesi (4) yaratırken, dış merkezli düşey yükler eğilme gerilmesi (5) yaratırlar [6]:

$$S_c = W/(\pi Dt) \quad (4)$$

S_c : Basma gerilmesi (MPa); W : İlgili gövde donamına kadar olan ağırlık (N); D :Gövde çapı (mm); t : Gövde cidar kalınlığı (mm)

$$S_b = 4We/(\pi D^2 t) \quad (5)$$

S_b : Eğilme gerilmesi (MPa); e : Etkiyen yükün kolon ekseninden olan kaçıklığı (mm)

Yatay yükler, basınçlı kolonlar üzerinde oluşturdukları eğilme momenti nedeni ile eğilme gerilmesine neden olurlar [6]:

$$S_b = 4M/(\pi D^2 t) \quad (6)$$

M : Yatay yükler nedeni ile oluşan eğilme momenti (Nmm)

İç basınç altındaki silindirik yapılarda çekme gerilmesi oluşur [6] :

$$S_t = PD/(4t) \quad (7)$$

S_t : Çekme gerilmesi (MPa)

Dış yüklerden oluşan gerilmeler ile basınç nedeniyle oluşan gerilmelerin kombinasyonu birlikte ele alınır. Bu kombinasyon, iç basınç durumunda oluşan çekme ve basma gerilmeleri için basit toplama işlemidir [6]:

$$S_t = PD/(4t) - W/(\pi Dt) + 4We/(\pi D^2 t) + 4M/(\pi D^2 t) \quad (8)$$

$$S_c = - W/(\pi Dt) - 4We/(\pi D^2 t) - 4M/(\pi D^2 t) + PD/(4t) \quad (9)$$

Deprem ve rüzgâr yükleri altındaki yapılarda izin verilen gerilme değerlerinin %20 oranında (K) artırılmasına izin verilir [3]. Ancak cidar kalınlıkları seçilirken, kaynak verimi de gözönüne alınarak hesaplanan gerilme değerlerinin izin verilen limitlerin altında kalmasına dikkat edilir (10), (11).

$$t_t = PD/(4SKE) - W/(\pi DSKE) + 4We/(\pi D^2 SKE) + 4M/(\pi D^2 SKE) + ca \quad (10)$$

$$t_c = | - W/(\pi DSKE) - 4We/(\pi D^2 SKE) - 4M/(\pi D^2 SKE) + PD/(4SKE) | + ca \quad (11)$$

Eşitlik (1), (2), (10) ve (11)'e göre her gövde donamı için hesaplanan kalınlıklar arasından seçilen en büyük değer, minimum cidar kalınlığı olarak kullanılır. Gerçek kalınlıklar, temin edilebilir sac kalınlıkları arasından seçim yapılarak belirlenir.

Analitik yöntemler ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen cidar kalınlıkları, daha sonra kullanılacak analiz yöntemleri için model hazırlanmasına temel oluşturur.

2.1.1.3 Burkulmaya Göre Kontrol Yöntemi

Silindirik ince cidarlı kolonlarda burkulma, bir elastik kararsızlık durumudur. Eğilme momenti, düşey yükler, kesme kuvvetleri, dış basınç, burulma momentleri ile bu kuvvetlerin kombinasyonları silindirik ince cidarlı kolonlar üzerinde burkulmaya sebep olabilirler. Burkulmanın varlığı yüklerin türleri kadar yapının karakteristiğine de (yanal takviyeli, dikey takviyeli, gövde üzeri delikli vb.) oldukça bağlıdır.

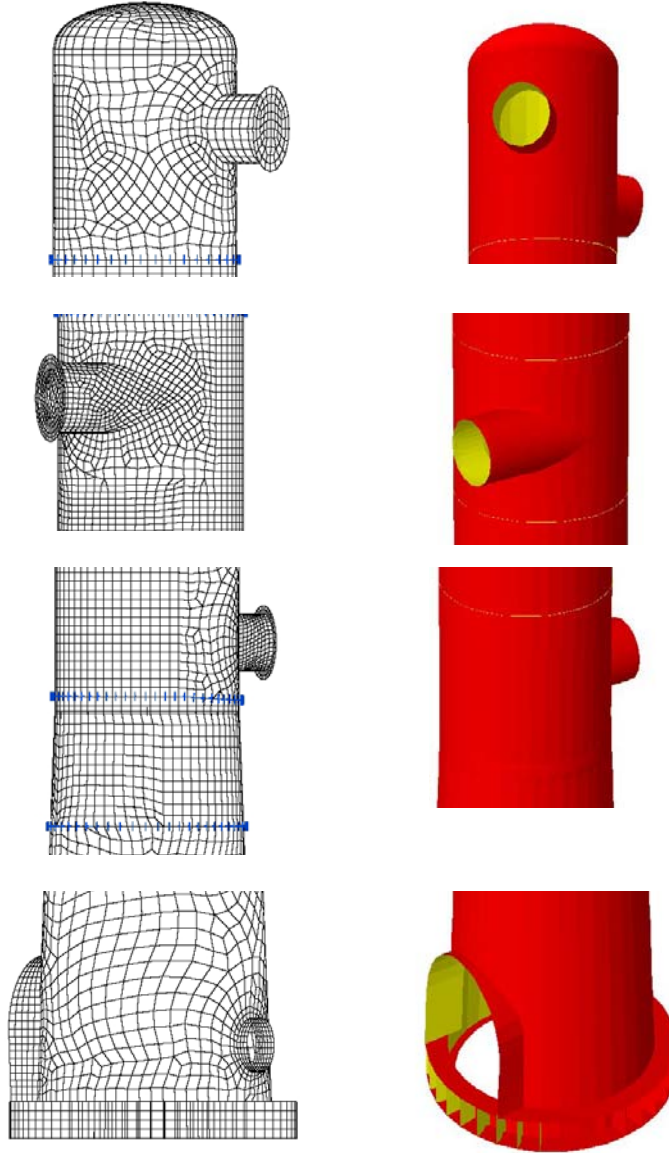
Silindirik ince cidarlı kolonlarda analitik yöntemle burkulma probleminin çözümü için öncelikle yapının burkulma modlarının incelenmesi ve uygun modların belirlenmesi gereklidir [7]. Genellikle problemin basitleştirilmesi amacı ile bölgesel ve genel burkulma modlarının analitik yöntemlerle incelenmesi ile varılan sonuç, daha detaylı inceleme gerekliliğinin belirlenmesi için yeterli olabilir. Ancak analitik yöntemin uygulamadaki zorluğu, yapılan kabullerin sayısının çokluğu ve hesap sırasında gözardı edilen değişkenlerin burkulma hesabındaki önem derecelerinin değerlendirilememesi olasılığı nedeniyle, analitik yöntemin sonuçları beklenmeden de özdeğer (eigenvalue) yöntemi ile burkulma analizi çözümü yapılabilir.

Silindirik ince cidarlı kolonun burkulmaya karşı kararlı bir yapı olduğunun belirlenmesi için, basınçlı kolon üzerinde taşıtılan ve kolon ağırlığı yönünde etkiyen kuvvetlerin tek başlarına ya da yanal kuvvetler (deprem, rüzgâr kuvvetleri gibi) ile birlikte etkisi, eğilme kuvvetlerinin etkisi ve düzgün dağılılı dış basınç yüklerinin etkisi gözönüne alınarak “Buckling Strength of Shells – Recommended Practice, DNV” dokümanında tanımlı hesap yöntemleri kullanılabilir [8].

2.1.2 Sonlu Eleman Analizleri

2.1.2.1 Sonlu Eleman Analiz Modelleri

Sonlu eleman analizleri (SEA) için kullanılacak modelin hazırlanmasında Madde 2.1.1’de tanımlı analitik yöntemler yardımı ile elde edilen cidar kalınlıkları kullanılır. SEA modeli oluşturulurken model üzerinde analiz sırasında hesaba etkiyecek tüm detaylar (nozullar, kolon içerisinde ilave ağırlıklar, kolon içindeki sıvı vb.) model üzerinde tanımlanmalıdır. Model için yaratılan eleman ağında en fazla 4 düğüm noktalı cidar elemanlarının olması, düğüm noktalarının tüm model üzerinde 6 serbestlik derecesine sahip olması, düğüm noktalarının eğilme ve membran özelliklerinin olması, analiz sonuçlarının minimum hata ile elde edilmesine yetecek sayıda düğüm noktası olması gereklidir (Şekil 2.).



Şekil 2. Basınçlı Kolonun Sonlu Eleman Ağı İle 3 Boyutlu Görüntüsünden Kesitler

2.1.2.2 Burkulma Analiz Yöntemi

SEA modelinin hazırlanmasından sonra, kritik çalışma şartlarına göre yapılan ve burkulma meydana getirmesi olasılığı olan yüklerin (eşdeğer deprem yükleri [5], tüm düşey kuvvetler, dış merkezli nozul ve ekipman yükleri vb.) model üzerinde tanımlanması gereklidir.

Burkulma analizinde sonlu özdeğer problemi çözülür ve yapının kararsız olma durumu incelenir [9].

$$[K] \{w\} \approx \gamma [A] \{w\} \quad (12)$$

[K] : Rijitlik (stiffness) matrisi; $\{w\}$: Nodal yerdeğiştirmeler vektörü (mod şekilleri); [A] : P yüklerinden kaynaklanan geometrik (P-delta) rijitlik matrisi; γ : Özdeğer katsayısı

SEA modeli oluşturulduktan sonra burkulmaya karşı dayanımın ölçülebilmesi amacı ile modele, lokal elasto-plastik gerilmeler ve büyük yer değiştirmelerin de hesaba katılması için ön yükleme yapılır. Ön yüklemenin ardından modele doğrusal olmayan statik gerilme analizi uygulanır. Yapı üzerine gelen yük sıfırdan başlayarak adım adım artırılır. Kolona etkiyen yük değerine ulaşılan kadar, yapıda bir burkulma meydana gelirse analiz, o yük değerinde duracaktır (yakınsama gerçekleşmeyecektir). Burkulma kuvveti analizin durduğu anda uygulanan kuvvet değeridir.

Analiz sonucunda, kolona etkiyecek yükün tamamı uygulanmış ise, o yük miktarına kadar burkulma meydana gelmeyecektir. Bu noktadan sonra burkulma kuvveti, özdeğer burkulma analizi ile hesaplanabilir. Doğrusal olmayan statik gerilme analizi ile oluşturulan rijitlik matrisi kullanılarak, burkulma yaratılacağı düşünülen yüklerin etkisi altında doğrusal olmayan burkulma analizi yapılır. Analiz sonucunda bulunan özdeğerler, değişik modlarda yapının taşıdığı yüklere karşı gösterdiği burkulma direncini verir.

2.1.2.3 Statik Analiz Yöntemi

SEA modeline aynı yükler statik olarak uygulanır. Böylece, yapı üzerinde oluşacak gerilme ve sehim değerleri bulunur. Statik gerilme analizi, Madde 2.1.1'de analitik yol ile hesaplanan kalınlıkların, aynı yükler altında tüm yapı boyunca izin verilen gerilme ve sehim değerlerini sağladığının görülmesi ve lokal bölgelerde oluşması muhtemel gerilme yığılmalarının belirlenmesi ile bunlara karşı önlem alınmasını sağlamak amacı ile uygulanır.

Statik gerilme analizi sonucunda elde edilen gerilmeler yorumlanırken, izin verilen gerilmelerin [3], akma gerilmesinin güvenlik katsayısına oranı olması nedeni ile asal gerilmelerden elde edilen von Mises gerilmesi gözönüne alınır [10]:

$$(\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2)^{1/2} < \sigma_y / n \quad (13)$$

σ_y : Akma Gerilmesi (MPa); n : Güvenlik katsayısı

2.1.2.4 Mod Birleştirme Yöntemi ve Deprem İvmesi Yükleme ile Dinamik Analiz

Bu yöntem, deprem hareketi ile oluşan cevap spektrum yüklemesinin doğrusal modal analizidir ve modelin deprem hareketi altında verdiği maksimum cevap miktarlarını (sehim, gerilme, kuvvet, ivme vb.) hesaplamak amacı ile kullanılır. Çoklu serbestlik derecesi olan model üzerinde, yer hareketine modelin verdiği cevabı gösteren dinamik denklemden görüleceği üzere (14) modeldeki yer değiştirmeler, frekansa, sönümlenme oranına ve yerin hareket ivmesine bağlıdır [11].

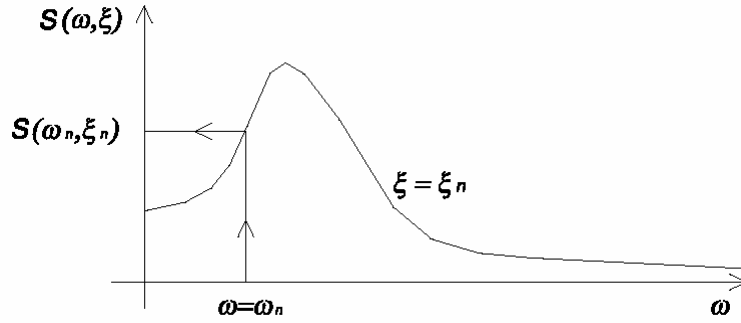
$$\ddot{Y}_n + 2 \cdot \omega_n \cdot \xi_n \cdot \dot{Y}_n + \omega_n^2 \cdot Y_n = -P_{nJ} \cdot \ddot{q}_{sJ}(t) \quad (14)$$

Y_n : n'inci modun yer değiştirmesi (mm); ω_n : Yapının doğal frekansı (Hz); ξ_n : n'inci modun sönümlenme oranı; P_{nJ} : n'inci modun J yönündeki modal katılım faktörü; q_{sJ} : J yönündeki yer hareketi nedeniyle oluşan yer değiştirmeler (mm)

Eşitlik (14)' ün çözümü için modelin frekansı (3) ile hesaplanırken, sönümlenme oranı kullanılan tasarım kodlarından alınır [5]. Yer hareketinin ivme değerlerinin belirlenmesi için Cevap Spektrum Grafiği (Şekil 3), kodlarda belirtildiği gibi modelinin türü ile bulunduğu yerin coğrafik özelliklerinden yola çıkarak hazırlanır [5].

Cevap Spektrum Grafiği, spektral ivme değerini tanımlaması durumunda belirlenen sönümlenme oranı ve model frekansında yer hareketinin yaptığı ivmelenmeyi göstermektedir. Grafik, modelin frekansını kapsamalı ve kodlarda tanımlı sönümlenme oranına uygun olmalıdır.

Bu analiz yönteminin en önemli dezavantajı, sadece maksimum değerlere ulaşılabilmesi ve modelin denge durumuna ait bilgi vermemesidir. Dezavantajları minimize edebilmek için modal kombinasyon yöntemleri arasından Karelerin Toplamının Karekökü (SRSS) Kuralı ile Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı'ndan tasarım kodunda belirtilen şartlara uyan kural uygulanır.



Şekil 3. Cevap Spektrumu Grafiği, İvme Verisi Gösterimi

Mod Birleştirme Yöntemi analizi sonuçları, statik analiz sonuçları ile birlikte kullanılabilir. Bu analiz ile hesaplanan sehim miktarları, eşdeğer statik deprem yükleri ile elde edilen sehim miktarları ile karşılaştırılarak uygun analiz yöntemine karar verilir.

3. ÖRNEK UYGULAMA

3.1 Basınçlı Kolona Ait Bilgiler

Bu bölümde düşük deprem şartları altında tasarımı yapılmış mevcut basınçlı kolonun, üzerinde yapılan tadilatların (yeni nozul, platform eklenmesi vb.) ve şartname gereği artan deprem yüklerindeki değişikliğin ardından oluşan yeni durumda, yapı üzerinde takviyelendirme gerekliliğini sorgulayan analiz yapılmış [12] ve uygun takviyelendirme yöntemi seçilerek uygulanmıştır.

Basınçlı kolonun geometrik bilgileri Tablo 2'de verilmiştir. Kolonun 49 kPag dış basınç, 147 kPag iç basınç ve 120°C sıcaklığa maruz kalacağı şartnamede bildirilmiştir.

TABLO 2. Basınçlı Kolona Ait Geometrik Bilgiler

Tanımlı	Değeri
Başlık Tipi ve İç Çapı	Eliptik Başlık 2/1, Ø1600 mm
Gövde Tipi ve İç Çapı	Silindirik, Ø1600 mm
Etek Tipi ve İç Çapı	Konik, Ø1600 mm – Ø2158 mm
Gövde Boyu	23450 mm
Etek Boyu	7000 mm
Tam Boy	31910 mm

Basınçlı kolonun tadilat yapılmadan önceki durumunda kullanılan ölçüler, nozul yerleşimleri ve cidar kalınlıkları ile Tablo 2'de verilen geometrik bilgileri Şekil 9.a'da gösterilmiştir. Buna göre, kolon gövdesinde alt başlık üzerindeki 1980 mm boyundaki donama ait cidar 10 mm, geri kalan tüm gövdenin cidarı 8 mm ve başlıkların büküm sonrası cidarı 8 mm kalınlığında imal edilmiştir (Tablo 3.).

Basınçlı kolonun imal edildiği malzemelere ait bilgiler Tablo 4'te listelenmiştir. Basınçlı kısımda kullanılan tüm malzemeler ASTM/ANSI standartındadır. Malzemeler paslanmaz çelik kalitede olduğu için tasarım kontrolünde pas payı değeri dikkate alınmamıştır.

TABLO 3. Basıncılı Kolonun Tadilatından Önceki Cidar Kalınlıkları

Tanımlı	Cidar Kalınlığı (mm)
Alt Başlık	8
Donam 1	10
Donam 2 ~ Donam 13	8
Üst Başlık	8

TABLO 4. Basıncılı Kolon İmalinde Kullanılan Malzeme Bilgileri

Tanımlı	Değeri
Gövde ile Alt-Üst Başlık	ASTM SA 240 316 L
Dövme Malzemeler	ASTM SA 182 Gr F 316
Borular ve Nozul Boğazları	ASTM SA 312 TP 316
Destek Plakalar	ASTM SA 240 316 L
Nozul Kuvvetlendirme Plakaları	ASTM SA 240 316 L
Kaynaklı İç Aksam	ASTM SA 240 316 L
Etek Plakası	S235JRG2 (DIN EN 10025)

Basıncılı kısmın ve taşıyıcı kısmın imalinde kullanılan malzemelerin özellikleri ve sonlu eleman analizinde kullanılan parametreler Tablo 5’te listelenmiştir. Malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde tasarım sıcaklığındaki değerleri alınmıştır.

TABLO 5. Basıncılı Kolon İmalinde Kullanılan Malzeme Özellikleri

Tanımlı	ASTM SA 240 316 L [13]	S235 JR G2 [14]
Elastisite Modülü (E)	188 GPa @ 120°C	190 GPa @ 120°C
Poission’s Oranı (ν)	0,29	0,29
Akma Gerilmesi (σ_v)	120 MPa @ 120°C	225 MPa @ 120°C
Plastik Akma Fonksiyonu	von Mises	Von Mises
Sertleşme Kuralı (Hardening Rule)	Isotropic	Isotropic
Sertleşme Eğimi (Hardening Slope)	200 GPa	200 GPa

Tasarımın yapıldığı koda uygun olarak malzemelerin izin verilen gerilme değerleri, cidar kalınlığı ve tasarım sıcaklığına göre hesaplanmış [3] ve Tablo 6’da listelenmiştir. Tablo 6’da (*) işaretli kalınlık, taşıyıcı yapı üzerinde olduğundan deprem ve rüzgâr yükleri altında izin verilen gerilmeler normal değerin 1,3 katıdır [5].

TABLO 6. Basıncılı Kolon İmalinde Kullanılan Malzemelerin Tasarım Sıcaklığında, Deprem ve Rüzgâr Koşulları için Artırılmış İzin Verilen Gerilme Değeri [3], [5]

Cidar Kalınlığı (mm)	Malzeme Tanımı	Çekme Gerilmesi (MPa)	Basma Gerilmesi (MPa)
8	ASTM SA 240 316 L	138	66
10	ASTM SA 240 316 L	138	68
12	ASTM SA 240 316 L	138	72
12	S235 JR G2	140	120
12*	ASTM SA 240 316 L	149	78
14	ASTM SA 240 316 L	138	73
20	S235 JR G2	176	137

Eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi sırasında basıncılı kolonun monte edileceği yere ve kolonun yere sabitlenme türüne göre “UBC 1997” kodunda tanımlı, Tablo 7’de verilen değerler kullanılmıştır. Bu değerler kullanılarak eşdeğer statik yük yöntemi için hesaplanan yatay deprem ivmesinin değeri 0,3g’dir.

Basıncılı kolon deprem yükü dışında ayrıca rüzgâr yükü etkisi altında da kalmaktadır. Kolonun bulunduğu yere ait özellikler ile şartnamede istenen bilgiler girilerek “UBC 1997” kodundan alınan rüzgâr yükü değerleri Tablo 8’de listelenmiştir.

TABLO 7. Basınçlı Kolonun UBC 1997’de Tanımlı Deprem Durumu Değerleri

Tanımlı	Değeri
Deprem Bölgesi	4
Deprem Bölge Katsayısı (Z) (Tablo 16-I)	0,4
R Katsayısı (Tablo 16-P)	2,9
Toprak Profil Tipi (Tablo 16-Q)	SD
Yapı Önem Katsayısı (I)	1,25
Kaynağa Yakınlık Katsayısı (Na) (Tablo 16-S)	1,2
Kaynağa Yakınlık Katsayısı (Nv) (Tablo 16-T)	1,47

TABLO 8. Basınçlı Kolonun UBC 1997’de Tanımlı Rüzgâr Durumu Değerleri

Tanımlı	Değeri
Yapının Zeminden Yüksekliği	0 m
Rüzgâr Kuvveti Katsayısı (Cq)	0,7
Rüzgâr Hızı	150 km/h
Yapı Önem Katsayısı (I)	1,15
Korunmasızlık Kategorisi	B
Üst Schim Miktarı (m başına)	5 mm

3.2. Analitik Yöntem Kontrol Sonuçları

Analiz sonucunda kolon üzerindeki gövde donamlarından Donam 1, Donam 2, Donam 3 ve Donam 4’te cidar kalınlığının yetersiz kaldığının görülmesi nedeni ile bu maddede anlatılan analize ait bilgiler, sadece söz konusu donamları kapsayacak şekildedir (Şekil 9.).

3.2.1 İç Basınç, Dış Basınç ve Tasarım Sıcaklığı Altında Kontrol

İç basınç, dış basınç ve tasarım sıcaklığına göre yapılmış kalınlık hesapları (1) ve (2)’ye göre yapılmış ve Tablo 9’da listelenmiştir.

TABLO 9. Basınçlı Kolonun Çalışma Şartlarına Göre Minimum Kalınlık Değerleri

Tanımlı	İç Basınç (147 kPa @ 120 °C) Kalınlık (mm)	Dış Basınç (-49,5 kPa @ 120 °C) Kalınlık (mm)
Donam 4	1,2	4,3
Donam 3	1,2	4,3
Donam 2	1,2	4,3
Donam 1	1,4	4,3

3.2.2 Deprem, Rüzgâr ve Diğer Yükler Altında Kontrol

Basınçlı kolonun üzerine etkiyen deprem ve rüzgâr yükleri altında analitik yöntemlere göre periyot hesapları Madde 2.1.1.1’de tanımlı çalışma şartlarının herbiri için, Madde 2.1.1.2’de anlatıldığı şekilde yapılmıştır (Tablo 10.). Bu periyot değerleri kullanılarak hesaplanan eşdeğer deprem ve rüzgâr yükleri nedeni ile oluşan kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri Tablo 11 ve Tablo 12’de verilmiştir.

TABLO 10. Basınçlı Kolonun Çalışma Şartlarına Göre Periyot Değerleri

Tanımlı	Periyodu (sn)
İşletme Durumu	0,79
Boş Durum	0,77
Vakum Durumu	0,79
Hidrostatik Test Durumu	1,37

Çalışma şartlarına göre hesaplanan kuvvetler ve momentlerin ardından, yapının cidar kalınlıkları Tablo 13’te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır. Her donam için minimum cidar kalınlığının seçilmesinde etkin rol oynayan yükleme durumu, Tablo 13’te hücre rengi değiştirilerek belli edilmiştir.

TABLO 11. Basıncı Kolon Üzerinde Deprem Nedeni ile Oluşan Kuvvetler

Çalışma Durumu	Tanımı	Yerden Yükseklik (mm)	Elastisite Modülü (GPa)	Donam Altındaki Toplam Kesme (N)	Donam Altındaki Toplam Moment (N-m)
İşletme Durumu	Donam 4	13990	188	99029	1103676
	Donam 3	12010	188	104583	1305655
	Donam 2	10030	188	109915	1517894
	Donam 1	8050	188	121774	1746549
Boş Durum	Donam 4	13990	196	93823	1043578
	Donam 3	12010	196	99122	1234961
	Donam 2	10030	196	103509	1436152
	Donam 1	8050	196	107001	1643587
Vakum Durumu	Donam 4	13990	188	99058	1103972
	Donam 3	12010	188	104613	1306010
	Donam 2	10030	188	109947	1518310
	Donam 1	8050	188	121810	1747031

TABLO 12. Basıncı Kolon Üzerinde Rüzgâr Nedeni ile Oluşan Kuvvetler

Çalışma Durumu	Tanımı	Yerden Yükseklik (mm)	Elastisite Modülü (GPa)	Donam Altındaki Toplam Kesme (N)	Donam Altındaki Toplam Moment (N-m)
İşletme Durumu	Donam 4	13990	188	54221	557198
	Donam 3	12010	188	58421	668758
	Donam 2	10030	188	62179	788513
	Donam 1	8050	188	64926	913737
Boş Durum	Donam 4	13990	196	54221	557198
	Donam 3	12010	196	58421	668758
	Donam 2	10030	196	62179	788513
	Donam 1	8050	196	64926	913737
Vakum Durumu	Donam 4	13990	188	54221	557198
	Donam 3	12010	188	58421	668758
	Donam 2	10030	188	62179	788513
	Donam 1	8050	188	64926	913737
Hidrostatik Test Durumu	Donam 4	13990	196	27110	287001
	Donam 3	12010	196	29210	342781
	Donam 2	10030	196	31089	402775
	Donam 1	8050	196	32463	465101

3.2.3 Burkulma Kontrolü

Basıncı kolonun burkulma modları incelendiğinde yapı üzerinde çevresel takviyeler arası gövde burkulması, çevresel takviyeli panel burkulması ve kolon burkulması modlarının meydana gelebileceği belirlenmiştir.

Ancak, yapı üzerindeki düzensizliklerin çok fazla oluşu nedeni ile ilgili referansta [8] düzgün ince cidarlı silindirik yapılar için tanımlı analitik yollar yerine, yapının burkulma analizinin özdeğer yöntemi ile yapılmasına karar verilmiştir.

TABLO 13. Basınçlı Kolon Gövde Cidar Kalınlığı

NO	Çalışma Durumu	Basınç (kPa)	İzin Verilen, Arttırılmamış Gerilme Değeri (MPa)		Sıcaklık (°C)	Baskın Yük Tipi	Çekmeye Göre Gerekli Kalınlık (mm)	Basmaya Göre Gerekli Kalınlık (mm)
			S _t	S _c				
Donam 4	İşletme Durumu	147	115	60	120	Rüzgâr	2,5	3,4
						Deprem	4,8	7,2
	Ani Duruş	0	115	60	120	Rüzgâr	2,0	4,2
						Deprem	4,3	8,0
	Boş Durum	0	115	71	-17	Rüzgâr	2,0	3,5
						Deprem	4,0	6,3
Vakum Durumu	-49	115	60	120	Rüzgâr	1,8	4,4	
					Deprem	4,1	8,3	
Ani Duruş (Deprem ve Rüzgâr Yok)	0	115	60	120	Ağırlık	0,3	0,6	
Donam 3	İşletme Durumu	147	115	60	120	Rüzgâr	2,9	4,2
						Deprem	5,6	8,6
	Ani Duruş	0	115	60	120	Rüzgâr	2,4	5,0
						Deprem	5,1	9,5
	Boş Durum	0	115	71	-17	Rüzgâr	2,4	4,2
						Deprem	4,8	7,5
Vakum Durumu	-49	115	60	120	Rüzgâr	2,3	5,3	
					Deprem	4,9	9,7	
Ani Duruş (Deprem ve Rüzgâr Yok)	0	115	60	120	Ağırlık	0,4	0,7	
Donam 2	İşletme Durumu	147	115	60	120	Rüzgâr	3,4	5,1
						Deprem	6,4	10,1
	Ani Duruş	0	115	60	120	Rüzgâr	2,9	5,9
						Deprem	5,9	11,0
	Boş Durum	0	115	71	-17	Rüzgâr	2,9	4,9
						Deprem	5,6	8,7
Vakum Durumu	-49	115	60	120	Rüzgâr	2,7	6,2	
					Deprem	5,8	11,2	
Ani Duruş (Deprem ve Rüzgâr Yok)	0	115	60	120	Ağırlık	0,5	0,8	
Donam 1	İşletme Durumu	147	115	61	120	Rüzgâr	3,9	5,8
						Deprem	7,3	11,4
	Ani Duruş	0	115	61	120	Rüzgâr	3,4	6,6
						Deprem	6,8	12,2
	Boş Durum	0	115	73	-17	Rüzgâr	3,4	5,5
						Deprem	6,4	9,6
Vakum Durumu	-49	115	61	120	Rüzgâr	3,2	6,8	
					Deprem	6,7	12,4	
Ani Duruş (Deprem ve Rüzgâr Yok)	0	115	61	120	Ağırlık	0,5	0,8	

3.2.4 Analitik Yöntemler Yapılan Çalışmaların Sonuçları

Madde 3.2’de analitik yöntemle yapılan kontroller sonucunda (Madde 3.2.3’te anlatılan burkulma kontrolü hariç) mevcut basınçlı kolon yapısının alt başlık üzerindeki dört donamının gövde cidar kalınlığının, yeni yükler ve çalışma şartları altında güvenli çalışmasının mümkün olmadığı belirlenmiştir. Değiştirilmesi gereken donamlar için “ASTM SA 240 316 L” kalite plaka malzemesi olarak temin edilebilen cidar kalınlıkları Tablo 14’te listelendiği gibi seçilmiştir.

Analitik yöntemler, ampirik formüllerden oluşması ve bu yöntemlerin modele farklı kabuller üzerinden yaklaşması (ankastre kiriş, kolon kabulleri gibi) ve kolon üzerindeki düzensizliklerin yeterince değerlendirilememesi nedeniyle, basınçlı kolonun gerçek geometrisi ve yük koşulları ile modellenerek SEA yöntemi ile detaylı gerilme ve sehim değerlerinin incelenmesi yoluna gidilmiştir.

Bunun için, analitik yöntemlere göre belirlenen cidar kalınlıklarına sahip SEA modelinin hazırlanarak Madde 2.1.2.2, 2.1.2.3 ve 2.1.2.4’te tariflenen analizlerin yapılması yolu seçilmiştir. Böylece mevcut duruma uygun gerilmelerin, sehimlerin izlenmesi ve analitik yöntemlerle bulunan sonuçların yorumlanması ve doğrulanması sağlanmıştır.

TABLO 14. Basınçlı Kolon için Seçilen “ASTM SA 240 316 L” Kalite Malzemenin Cidar Kalınlıkları

Tanımı	Cidar Kalınlığı (mm)
Alt Başlık	8
Donam 1	14
Donam 2	12
Donam 3	12
Donam 4	12
Donam 5 ~ Donam 13	8
Üst Başlık	8

3.3 Sonlu Eleman Analizi Kontrol Sonuçları

3.3.1 SEA Modeli

Sonlu eleman modeli MSC.Patran programında hazırlanmıştır [12]. Model dört düğüm noktalı, dörtgen kabul elemanlarından oluşmaktadır. Eleman ağı 21764 düğüm noktasından ve 22476 elemandan meydana gelmiştir (Şekil 2.). Kabuk elemanlarının her bir düğüm noktasında altı serbestlik derecesi olup, eğilme ve membran özellikleri vardır. Yapılan ilk analizler sonucunda, gerilmelerin yüksek olduğu bölgelerde eleman sayıları artırılmış ve eleman sayısı genel gerilme dağılımına etkisinin ihmal edilebilecek seviyede olduğu gözlenmiştir.

Modelde yapının mukavemetine etki edecek büyüklükte olan (> DN500) nozul ve adam giriş delikleri hesaba katılmış, diğer nozullar ise sadece noktasal kütle olarak konulmuştur. SEA modelinde yer alan kolon içindeki ilave elemanlar ve sıvının ağırlıkları, buldukları bölgedeki sonlu eleman ağını oluşturan elemanlara kütle olarak (“structural mass”) dağıtılmıştır (sıvının çalkalanma etkisi ihmal edilmiştir).

Basınçlı kolon SEA modeli, taban plakasından tüm serbestlik derecelerinde yere sabitlenmiştir.

3.3.2 Özdeğer Yöntemi ile Burkulma Analizi

Deprem dalgaları yapı düzlemine herhangi bir açıda etkiyebilir. Deprem yüklerinin yapı üzerinde yaratacağı en büyük gerilme ve sehim değerlerinin bulunması amacı ile eşdeğer deprem yükleri 8 farklı açısız yönde yapıya etki ettirilerek analiz yapılmış ve herbir analizde deprem yükleri 45° döndürülmüştür (0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° ve 315°). Bu analizler sonucunda yapının en kritik açısız deprem yükü yönü değerinin 270°’de olduğu belirlenmiştir.

SEA modeli üzerinde yapılan doğrusal olmayan statik analizlerde yük değeri, sıfırdan başlayacak şekilde 0,3g’ye karşılık gelen eşdeğer deprem yüklerine kadar adım adım artırılmış ve bu analiz sonucunda burkulma meydana gelmeyeceği elde edilen özdeğerler ile doğrulanmıştır. Analize devam ettirilmesinin ardından yapıda değişik burkulma modları arasında en düşük 1,24 özdeğeri elde edilmiştir. Bu değer, takviyelendirilmemiş basınçlı

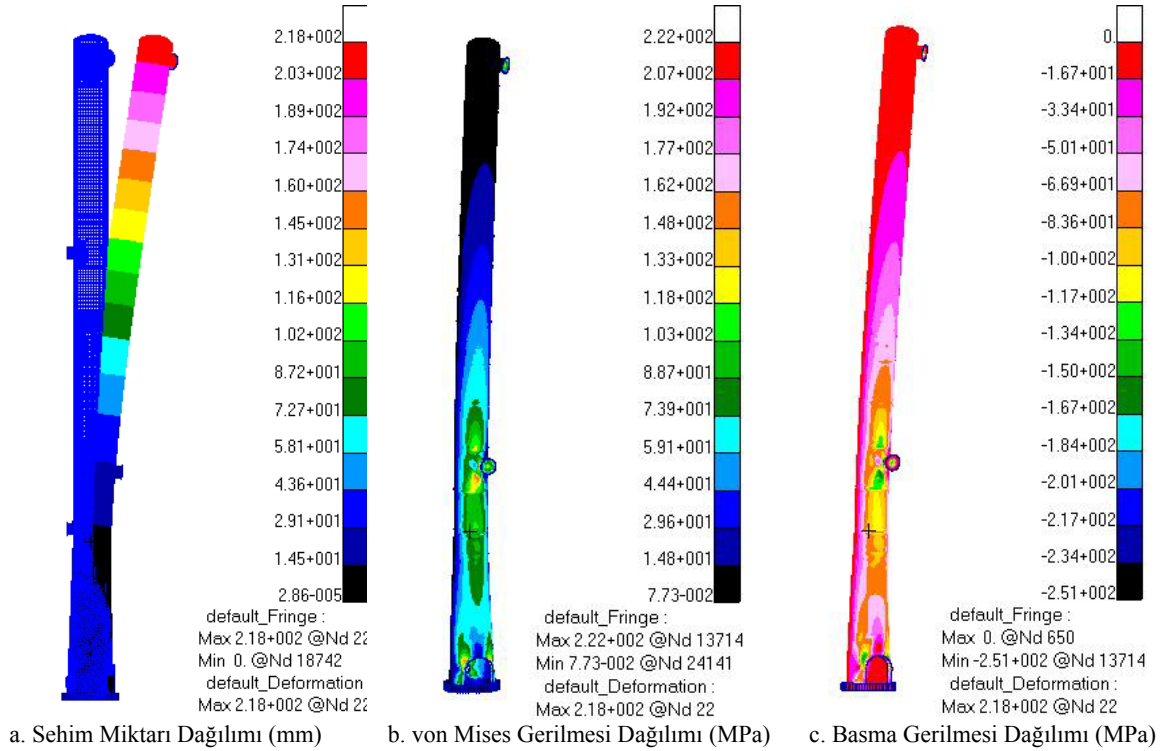
kolon modelinin burkulmaya neden olabilecek tüm yüklemeler altında 0,37g deprem kuvvetine kadar burkulmadan kalabileceğini göstermiştir.

3.3.3 Statik Gerilme Analizleri

Madde 3.3.1’de anlatıldığı şekilde, mevcut cidar kalınlıkları ile oluşturulan SEA modeli üzerinde, belirtilen sınır koşulları içinde eşdeğer deprem yükleri (model üzerinde en kritik yön olan “V” nozulundan, “U” nozuluna doğru, 270° de) uygulanmış ve doğrusal statik gerilme analizleri yapılmıştır.

Yüklerin statik olarak etkimesinin ardından elde edilen analiz sonuçları Şekil 4’te izlenmektedir. Statik yükler basınçlı kolon üzerinde maksimum 218 mm sehim, 222 MPa von Mises gerilmesi ve 251 MPa basma gerilmesi oluşturmaktadır.

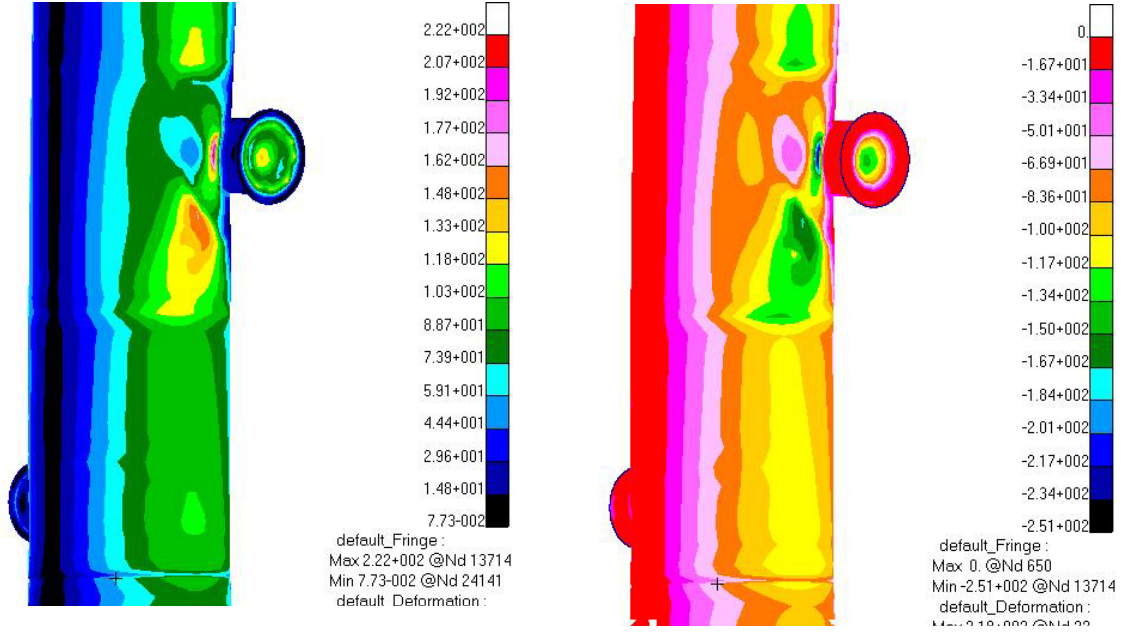
Tasarım ve kontrol sırasında kullanılan “ASME Section VIII Division I” kodunda, oluşan gerilmeler lokal ve süreksiz olmak kaydı ile izin verilen değerlerin üç katına kadar çıkmasına müade edilmektedir [3]. Bu nedenle, analiz sonuçlarına göre gövdeye radyal olarak bağlanan “P5” nozulu takviye sacı ile Donam 1, alt başlık ve etek sacının paslanmaz kısmının birleşme noktasında (Şekil 5) ölçülen gerilme değerlerinin, lokal olmaması, süreksizlik taşımaması ve izin verilen limitlerin üzerinde olması (Tablo 15) nedeni ile takviyelendirilmesi gereği belirlenmiştir. Bu durum Tablo 13’te listelenen analitik yöntem sonuçlarıyla da uyusmaktadır.



Şekil 4. Mevcut Cidar Kalınlıklarına göre Hazırlanan SEA Modeline Uygulanmış Statik Yüklerin, Sehim ve Gerilme Sonuçları

TABLO 15. Doğrusal Statik Analiz Sonucunda İzin Verilen Gerilme Değerlerini Aşan Bölgeler [12]

Bölge	Kalınlık (mm)	vonMises Gerilmesi (MPa)		Basma Gerilmesi (MPa)	
		Analiz	İzin Verilen	Analiz	İzin Verilen
Donam 1	10	103	138	104	68
Paslanmaz Etek	12	89	149	90	72
P5 Takviyesi	8	150	138	150	66



a. von Mises Gerilmesi Dağılımı (MPa)

b. Basma Gerilmesi Dağılımı (MPa)

Şekil 5. Mevcut Cidar Kalınlıklarına göre Hazırlanan SEA Modelinde Statik Yükleme Altında P5 Nozulu Çevresi Gerilme Dağılımları

Mevcut yapı üzerindeki nozullar, takviye çemberleri, platform bağlantıları vb. gibi eklentiler, kolon üzerine sürekli takviyelendirme profilleri eklenerek kolonun mukavim hale getirilmesini engellemiştir (Şekil 6.a.).

Bu nedenle, uygulama esasları “ASME Section VIII, Division 1” kodunun “Part ULW” bölümünde anlatılan, katmanlı basınçlı kap imalatının kuralları, bu basınçlı kolon üzerinde uygulanmıştır [3]. Cidar kalınlığının artırılması gereken bölgelerde, artım miktarı kadar (veya temin edilebilir/uygulanabilir kalınlıkta) aynı malzeme kalitesindeki plakaların gövde üzerine kaplanması sureti ile cidar kalınlığının artırılması yöntemi seçilmiştir.

Katman plakalar uygulanırken mevcut gövde ile birlikte çalışmalarını sağlamak amacı ile katman plakaların üzerlerinde belirli sayıda ve aralıklarda delikler açılarak iki plaka birbirine tupa kaynakları yardımı ile birleştirilmiştir.

“P5” nozulu çevresinde oluşan gerilme yığılmasını azaltmak amacıyla, nozul takviye sacının çevresine katman plakası eklenmesi veya üst ile alt takviye çemberinin arasına dikey takviye profili eklenmesi çözümü denenmiştir (Şekil 7). SEA modeli üzerinde yapılan analizler sonucunda dikey takviye profilinin eklenmesi durumu maliyet ucuzluğu ve uygulamada kolaylık tanınması nedeni ile tercih edilmiştir (Tablo 16 ve Şekil 7.a, Şekil 9.b.).

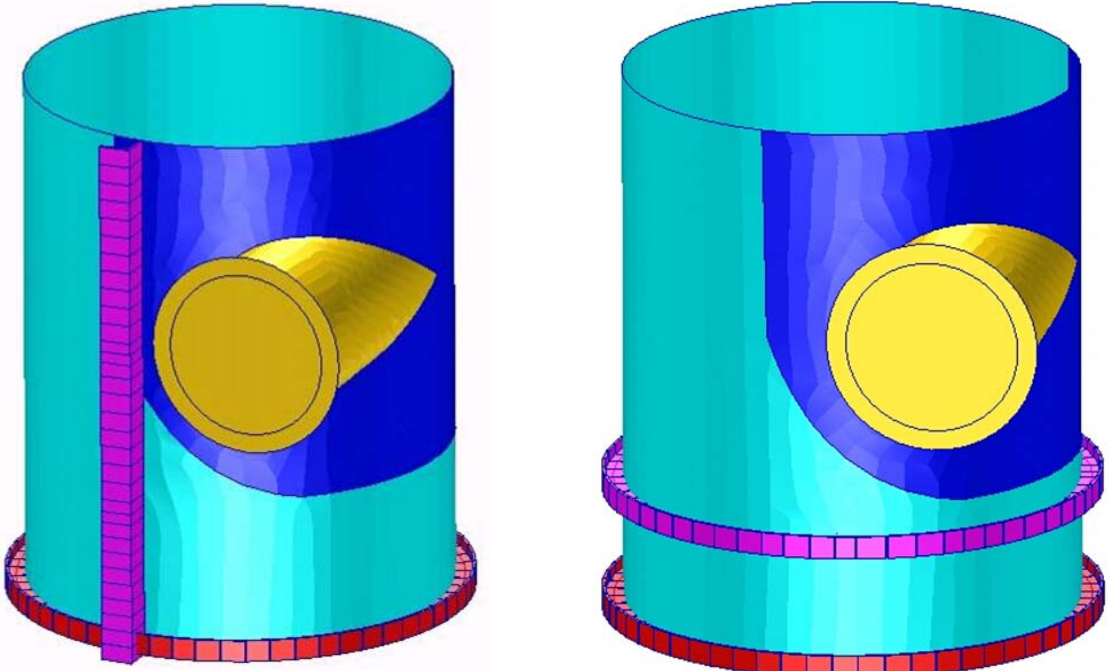


a. Tadilattan Önceki Durumu



b. Tadilattan Sonraki Durumu

Şekil 6. Basınçlı Kolonun Tadilattan Önceki ve Sonraki Görüntüleri



a. P5 Nozulu Takviye Sacı Yanına Ekli Dikey Profil

b. P5 Nozulu Takviye Sacı Altına Ekli Yatay Profil

Şekil 7. P5 Nozulu için Denenmiş Dikey ve Yatay Takviyelere Ait Görüntüler

Takviyelendirilmiş modelden SEA yöntemi ile statik gerilme analizi sonrasında alınan değerler Tablo 17’de listelenmiş, basınçlı kolona ait takviyelendirilmiş duruma ait imalat resmi Şekil 9.b’de gösterilmiştir. Kolonun uygulanan takviyelendirmeden sonraki durumu ise Şekil 6.b’de gösterilmiştir.

TABLO 16. “P5” Nozul Çevresine Uygulanan Değişik Takviyeli Modellerden Alınan Statik Gerilme Analizi Sonuçları [12]

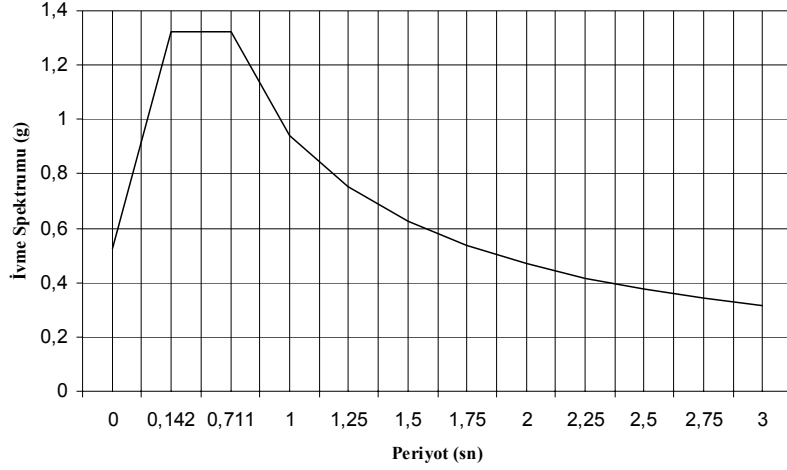
Model İsmi	Kalınlık [mm]	Takviye Tipi	P5-Nozul Bölgesi			
			von Mises Gerilmesi [MPa]		Basma Gerilmesi [MPa]	
			Analiz	İzin Verilen	Analiz	İzin Verilen
Model 1	12	Yok	85	138	82	72
Model 2	20	P5 Nozulu Takviye Sacı Üzerine 8 mm Katman Ekleme	60	138	60	79
Model 3	12	NPL120 Dikey Takviye	65	138	64	72
Model 4	12	NPL120 Yatay Takviye	80	138	80	72

TABLO 17. Yeni Kalınlıklar ve Dikey Takviye Profili ile Güçlendirilmiş Modelden Alınan Statik Gerilme Analizi Sonuçları [12]

Tanım	Kalınlık [mm]	vonMises Gerilmesi [MPa]		Basma Gerilmesi [MPa]	
		Analiz	İzin Verilen	Analiz	İzin Verilen
Donam #4	12	46	138	46	72
Donam #3	12	60	138	60	72
Donam #2	12	65	138	64	72
Donam #1	14	64	138	62	74
Alt Başlık Eteği	14	34	138	40	74
Alt Başlık	8	14	138	21	66

TABLO 18. Yeni Kalınlıklar ve Dikey Takviye Profili ile Güçlendirilmiş Modelden Alınan Kritik Bölgelerdeki Dinamik Gerilme Analizi Sonuçları [12]

Model	Maksimum Sehim [mm]	Von Mises Gerilme [MPa]		
		Donam 2	Etek	P5-Takviye sacı
Model 3	149	57	53	56



Şekil 8. Periyoda Bağlı Deprem İvme Spektrumu

4. SONUÇ

Artan deprem yükleri ve değişen çalışma şartları nedeni ile yeni koşullara uygunluğu incelenen silindirik ince cidarlı kolon üzerinde deprem koşulları, rüzgâr koşulları, iç basınç, dış basınç, nozul ve ekipman yükleri, platform ve izolasyon ağırlıkları hesaba katılarak; analitik ve sonlu eleman analizi yöntemleri ile burkulma, statik ve dinamik analizler yapılmıştır.

Analitik ve sonlu eleman analizi yöntemleri mümkün olduğunca birbirlerinin yerine kullanılmasından çok, her iki yöntemden alınan sonuçların birlikte yorumlanması amacı ile kullanılmasına dikkat edilmiştir. Çözüm için seçilen takviyelendirme yöntemlerinin, her iki yöntemden de alınan sonuçları dikkate alacak şekilde olmasına özen gösterilmiştir. Seçilen takviyelendirmenin uygulandığı yeni modelin doğruluğu, sonlu eleman analizleri ile de doğrulanmıştır.

Analizler sonucunda, yapının alttan dört donamında takviyelendirme gerekliliği saptanmıştır. Takviyelendirme yöntemi seçilirken, imalat açısından kolaylık, uygulanabilirlik, imalat süresi, takviyelendirme için kullanılacak malzemelerin temin edilebilirliği ve takviyelendirme yönteminin kullanılan kod ve regülasyonlara uygunluğu kriterleri esas alınmıştır.

5. REFERANSLAR

- [1] W.C. Young, R.G.Budynas "Roark's Formulas for Stress and Strain" McGraw-Hill, 2002, s.553-554
- [2] L.E.Brownell, E.H. Young, "Process Equipment Design" John Wiley & Sons, A.B.D., 1959, s.155
- [3] ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, "Rules For Construction of Pressure Vessels, ASME Section VIII Division 1, 2001 Edition", ASME, A.B.D. Temmuz 2004, s.20-21, 23, 33, 70-73
- [4] C.E. Freese, "Vibrations of Vertical Pressure Vessels", Journal of Engineering for Industry, Şubat 1959, s. 77-91
- [5] ICBO, "Uniform Building Code 1997 - Volume 2", ICBO, A.B.D., Nisan 1997, s.2-7, 2-8, 2-13~2-22, 2-38
- [6] E.O. Bergman, "The Design of Vertical Pressure Vessels Subjected to Applied Forces", ASME, California, 1954, s.576-580
- [7] J. Odland, "Buckling Resistance of Unstiffened and Stiffened Circular Cylindrical Shell Structures", Norwegian Maritime Research, No: 3/1978, s. 2-22
- [8] Det Norske Veritas, "Buckling Strength of Shells, Recommended Practice RP-C202", Norveç, Mayıs 2000, s.4-19
- [9] A.Ghali, A.M.Neville, "Structural Analysis", Chapman and Hall, ODTU Ankara, 1984, s. 499-502

- [10] J.E.Shigley, "Mechanical Engineering Design", McGraw-Hill, Japonya, 1973, s. 171-172
[11] J.L.D. Costa, "Standart Methods for Seismic Analyses", DTU, Denmark, 2003, s. 25
[12] Bias, "Proses Kolonları Mukavemet İncelemesi", Ankara, Aralık 2002, s. 1-60
[13] ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, "Boiler and Pressure Vessel Code, ASME Section II Part D, 2001 Edition, 2000 Addenda", ASME, A.B.D. Temmuz 2000 , s.263- 287
[14] Deutsche Norm, "DIN EN 10025, Hot Rolled Unalloyed Structural Steel Products", Almanya, Mart 1994, s.1-37

ÖZGEÇMİŞLER

Fuat TİNİŞ: 1957 yılında Ankara'da doğdu. ODTÜ Makine Mühendisliği Bölümü'nden 1980 yılında lisans, 1983 yılında yüksek lisans dereceleri ile mezun oldu. Aynı bölümde 1983 yılına kadar öğrenci asistanlığı ve araştırma görevlisi olarak görev aldı. 1990 yılında Eskişehir Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi İşletme Bölümü'den lisans derecesi ile mezun oldu. 1983- 1986 yılları arasında GÜMÜŞ Makina A.Ş.'de, 1986 – 1988 yılları arasında TAI'de tasarım mühendisi olarak görev yaptı. 1988 – 1995 yılları arasında IŞIK Makina A.Ş.'de Mühendislik Müdürlüğü görevini yürüttü. Halen GAMA Endüstri Tesisleri İmalat ve Montaj A.Ş.'de Tasarım Müdürlüğü görevini yürütmektedir. TMMOB Makine Mühendisleri Odası 20660 sicil numaralı üyesidir.

Fatih BAZMAN: 1974 yılında Ankara'da doğdu. İTÜ Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü'nden 1994 yılında lisans derecesi ile mezun oldu. 1994 – 1997 yılları arasında KAPTANOĞLU Denizcilik LTD.'de gemi inşaatı ve makineleri mühendisliği, 1997 - 2002 yılları arasında ÇİMTEK A.Ş.'de tasarım mühendisliği yaptı. 2002 yılından bugüne, GAMA Endüstri Tesisleri İmalat ve Montaj A.Ş. Tasarım Müdürlüğü'nde mekanik tasarım mühendisi olarak görev yapmaktadır.