

**TEK KATMANLI YAPRAKSI KUBBE YAPILARIN HARMONİ ARAMA YÖNTEMİ
KULLANILARAK OPTİMUM TOPOLOJİ BOYUTLANDIRMASI**

Serdar ÇARBAŞ

Mehmet Polat SAKA

**Ortadoğu Teknik Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Bölümü
06531 Ankara, TÜRKİYE**

Abstract

Harmony search method based optimum topology design algorithm is presented for single layer lamella domes. The harmony search method is a numerical optimization technique developed recently that imitates the musical performance process which takes place when a musician searches for a better state of harmony. Jazz improvisation seeks to find musically pleasing harmony similar to the optimum design process which seeks to find the optimum solution. The optimum design algorithm developed imposes the behavioral and performance constraints in accordance with LRFD-AISC. The optimum number of rings, the height of the crown and the tubular cross-sectional designations for dome members are treated as design variables. The design algorithm developed has a routine that build the data for the geometry of the dome automatically that covers the numbering of joints, and member incidences, and the computation of the coordinates of joints. Due to the slenderness and the presence of imperfections in dome structures it is necessary to consider the geometric nonlinearity in the prediction of their response under the external loading. A design example is considered to demonstrate the efficiency of the algorithm presented.

Keywords: Optimum Structural Design, Harmony Search Algorithm, Minimum Weight, Stochastic Search Technique, Lamella Domes.

Özet

Tek katmanlı yapraksı kubbeler için harmoni arama yöntemine dayalı optimum topoloji tasarım algoritması sunulmaktadır. Bir müzisyenin daha iyi bir müzikal sunum arayışı içinde uygulamaya çalıştığı müzikal performans sürecine benzetilen harmoni arama yöntemi yakın geçmişte geliştirilen bir sayısal optimizasyon tekniğidir. Caz doğaçlaması, optimum çözüme ulaşmaya çalışan optimum tasarım sürecine benzer şekilde, müzikal açıdan tatmin edici uyumu bulmaya çabalar.

Geliştirilen optimum tasarım algoritması, LRFD-AISC (Yük ve Dayanım Faktörü Tasarımı – Amerikan Çelik Tüzüğü Enstitüsü)'ye uygun olan davranış ve performans sınırlayıcılarını uygular. Optimum halka sayısı, tepe yüksekliği ve boru şeklindeki kesitler kubbe için tasarım değişkenleridir. Geliştirilen tasarım algoritması, bağlantı noktalarının ve eleman numaralandırılmalarının ve bağlantı noktalarının koordinat hesaplarının otomatik olarak yapılmasını kapsayan, kubbenin geometrik verilerini oluşturan bir yordama sahiptir. Kubbe yapılarda, narinlikten ve kusurların var olmasından dolayı bu yapıların dış yükler altında vereceği tepkiyi tahmin ederken geometrik doğrusalsızlığı göz önüne almak gerekmektedir. Dikkate alınan tasarım örneği sunulan algoritmanın etkinliğini göstermeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Optimum Yapısal Tasarım, Harmoni Arama Yöntemi, Minimum Ağırlık, Stokastik Arama Tekniği, Yapraksı Kubbeler.

1 Giriş

Geniş alanları ortalarında destek kolonları kullanmadan kaplamak yapı mühendisleri için her zaman zor bir görev olmuştur. Kubbe yapılar bu mühendislik problemine tarih boyunca en ekonomik çözüm yolu olarak görülmüştür. Kubbelerin küresel yapıları zarif bir görüntü sağlamalarının yanında, iç kısımlarında hava ve enerji engelsiz bir şekilde sirküle edilebildiği için insanoğluna en etkili iç atmosfer ortamını sağlarlar.

Günümüzde kubbe yapıların önemli bir çoğunluğu çelik destekli kubbe yapılar olarak inşa edilirler. Bu etkileyici kafes örgüsü şeklindeki kubbeler boru şeklindeki elemanlardan yapılırlar ve hafiflik ve zerafetleri sebebiyle tercih edilirler. Schwedler kubbe, geodezik kubbe, yapraksı kubbe ve ağ örgüsü kubbe gibi birçok örgülü kubbe tipi vardır [1]. Son zamanlarda inşa edilen örgülü kubbe yapıların büyük bir kısmı yapraksı kubbeler şeklindedir. Bu yapılar yapraksı örgü adı verilen çok sayıda birbirine bağlı çelik elemanlar içerirler. Bu bağlantılar sayesinde yapraksı örgülerde öncelikle eksenel kuvvetler oluşturan tekil veya hareketli yükler yapı sistemi boyunca kolayca dağıtılır ve kubbe yapı bu yükleri rahatça taşır. Ayrıca bu yapılarda gerilmeler yapı elemanlarına eşit şekilde dağıtılırlar. Buda önemli ölçüde malzeme tasarrufuna yol açar.

Örgülü kubbe yapıların davranış tarzları dış yükler altında geometrilerinde değişiklikler oluşmasından dolayı doğrusal değildir. Geometrik yönden doğrusal olmayan davranış göz önüne alındığı zaman kubbe yapıların optimum tasarımlarında karmaşık ve uzun süreli analizlere ihtiyaç duyulur. Bu da çelik kubbe yapıların tasarımında dezavantaj teşkil eder. Bunun ötesinde yapının tasarım analizi boyunca stabilitesizlikten dolayı yük yaşama kapasitesini kaybetmediğinden emin olmak için kapsamlı bir stabilite kontrolü de gereklidir. Kubbe yapılarda geometrik doğrusalsızlık dikkate alınırsa daha hafif tasarım sistemleri oluşturulabilmektedir [2,3]. Son dönemlerde yapılan bazı çalışmalarda geodesik kubbelerin optimum tasarımında, tasarım algoritması kubbenin optimum yüksekliğini ve kubbe elemanlarına atanan optimum kesitleri belirleyebilmektedirler [4,5]. İlk çalışma [4], geometrik yönden doğrusal olmayan davranışı göz önüne almaz ve sadece doğrusal davranışı hesaba katar. İkincisi [5] ise geometrik yönden doğrusal olmayan davranışı dikkate alır ve genetik algoritmaları kullanır.

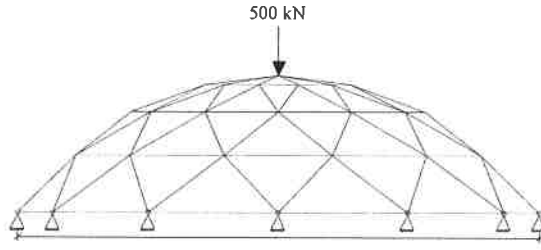
Bu çalışmada ise, tek katmanlı yapraksı kubbelerin optimum topoloji tasarımı geometrik doğrusalsızlık göz önüne alınarak yapılmıştır. Yapraksı kubbe yapıda ki toplam halka sayısı,

tepe noktasının yüksekliği ve yapı eleman grupları için belirlenen kesit atamaları tasarım değişkenleri olarak alınmıştır. Her grupta aynı kesitlerin seçilebilmesi için kubbe yapıda eleman gruplandırmasına izin verilmiştir. LRFD-AISC (Yük ve Dayanım Faktörü Tasarımı – Amerikan Çelik Tüzüğü Enstitüsü) ‘de yer alan çelik boru kesitler kubbe yapı elemanlarına uygulanmışlardır [6]. Ayrıca yine LRFD-AISC kapsamında ki tasarım sınırlayıcıları kubbe yapıya uygulanmıştır. Yapının, etki ettiren dış yükler altında verdiği tepkinin tahmininde geometrik yönden doğrusal olmayan yapı davranışı dikkate alınmıştır. Yine yapının analizi boyunca stabilitesizlikten dolayı yük yaşama kapasitesini kaybetmediğinden emin olmak için kapsamlı bir stabilite kontrolü yapılmıştır. Bu tür tasarım problemlerinin formülizasyonu ayrık değişkenli tasarım programlama problemi olarak tanımlanmaktadır.

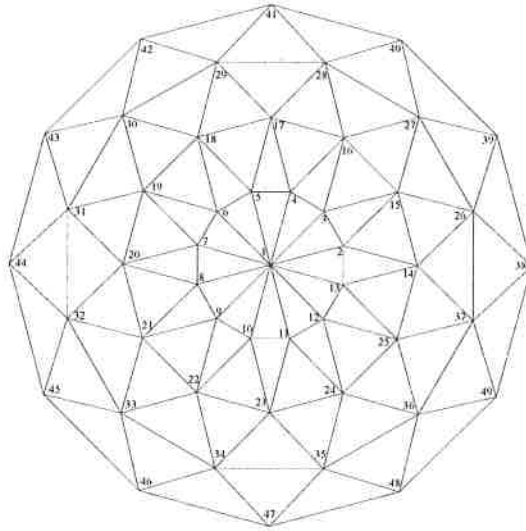
2 Tek Katmanlı Yapı Praksı Kubbelerin Geometrisi İçin Veri Otomasyonu

Çoğunlukla kullanılmakta olan tek katmanlı yapı praksi kubbe yapı Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu yapılarda kubbenin geometrisi için üretilen yapısal verileri üç parametrenin fonksiyonu olarak göstermek mümkündür. Bu parametreler kubbenin çapı (D), toplam halka sayısı (n_r) ve kubbe tepe yüksekliği (h)’dir. Bu parametrelerin değerleri belirlendiği zaman toplam eleman sayısı, elemanların yerleşim yerleri, toplam birleşme noktası sayısı ve bu birleşim noktalarının koordinatları otomatik şekilde elde edilebilir. Şekil 2 (a)’da da kolayca görülebileceği gibi aynı halka üzerindeki birleşim noktaları, her birinin arasındaki uzaklık eşit olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Kubbenin tepe noktasındaki birleşim noktası 1 olarak numaralandırılmıştır. Her bir halka üzerinde 12 birleşim noktası bulunmaktadır. İlk halka üzerindeki ilk birleşim noktası 2 olarak numaralandırılmıştır. Bu birleşim noktası kubbenin yarıçapı üzerindedir ve x eksenine ile $360^\circ/24=15^\circ$ ’lik bir açı yapar. Bütün diğer halkalar üzerindeki ilk birleşim noktaları $[J_{r1} + (r-1)*12]$ formülü ile hesaplanır. Burada, r halkanın numarası ve J_{r1} ilk halkanın ilk birleşim noktasının numarası yani 2’dir. Tüm tek numaralı halkaların (halka 1, halka 3, halka 5,...) ilk birleşim noktaları kubbenin yarıçapı üzerindedir ve x eksenine ile 15° ’lik açı yapacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Benzer şekilde, çift numaralı halkaların (halka 2, halka 4,...) ilk birleşim noktaları o halkanın x eksenine ile kesişim noktasına yerleştirilmiştir. Örneğin, üçüncü halkanın ilk birleşim noktası $2 + (3-1)*12 = 26$ olarak numaralandırılmıştır ve x eksenine ile 15° ’lik bir açı yapmaktadır. Diğer taraftan, dördüncü halkanın ilk birleşim noktası $2 + (4-1)*12 = 38$ olarak numaralandırılmıştır ve bu birleşim noktası dördüncü halkanın x eksenine ile kesiştiği noktada bulunmaktadır. Halkalar üzerindeki diğer her bir birleşim noktası düzenli bir sıralama ile numaralandırılır. Eleman yerleşimleri de benzer şekilde yapılır. İlk eleman x eksenine ile 15° ’lik bir açı yapar ve 1. birleşim noktası ile 2. birleşim noktasını birleştirir. Diğer 11 elemanda 1. birleşim noktası ile 3., 4., 5., 6., 7., 8., 9., 10., 11., 12., 13. birleşim noktalarını birbirine bağlar. Bunu halka üzerindeki diğer elemanların 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13, 13-2 şeklinde birbirlerine bağlanmaları takip eder. Bu işlem kubbedeki her bir halka için ve tüm elemanların yerleştirilmeleri için tekrarlanır ve bir dizi içinde depolanır. Kubbe üzerindeki bir birleşim noktasının x, y ve z koordinatlarının hesaplanması, Şekil 2 (b)’de gösterildiği gibi bu birleşim noktasını 1. birleşim noktasına bağlayan çizgi ile x eksenine arasındaki açının bilinmesini gerektirmektedir. Bu açı herhangi bir birleşim noktası, i, için Şekil 2 (b)’de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$\text{Tek numaralı halkalar için;} \quad \alpha_i = \frac{360}{24} + \frac{360*(i-j_{i,1})}{12} \quad (1a)$$



(a) Yan görünüş



(b) Plan görünüş

Şekil 1. Tek katmanlı yapraksı kubbe yapı.

Çift numaralı halkalar için; $\alpha_i = \frac{360 \cdot (i - j_{r,i})}{12}$ (1b)

Burada, α_i , Şekil 2 (b)'de gösterilmiştir, r , birleşim noktası i 'nin üzerinde bulunduğu halka numarasıdır ve j , x ekseninde bulunan r halkasının ilk düğüm noktasının numarasıdır. Örneğin, çift numaralı bir halka (halka 2) üzerinde bulunan ve 1. birleşim noktasını 16. birleşim noktasına bağlayan yarıçap ile x eksenindeki açı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\alpha_{16} = \frac{360 \cdot (16 - 14)}{12} = 60^\circ \quad (1c)$$

Diğer taraftan, tek numaralı bir halka (halka 3) üzerinde bulunan ve 1. birleşim noktasını 28. birleşim noktasına birleştiren yarıçap ile x eksenindeki açı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\alpha_{28} = \frac{360}{24} + \frac{360*(28-26)}{12} = 75^\circ \quad (1d)$$

Birleşim noktası i 'nin x_i ve z_i koordinatları şu şekilde hesaplanır;

$$\left. \begin{aligned} x_i &= ra \cos(\alpha_i) \\ z_i &= -ra \sin(\alpha_i) \end{aligned} \right\} \quad (1e)$$

burada, r , birleşim noktası i 'nin üzerinde bulunduğu halkanın sayısıdır ve a , r halkasının x-z düzlemindeki yarıçapıdır. Eğer halkalar arasındaki uzaklıklar a için eşit alınırsa, $a=D/(2n_r)$ olur. Birleşim noktası i 'nin y_i koordinatı da aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$y_i = \sqrt{R^2 - x_i^2 - (\sqrt{R - h})} \quad (1f)$$

burada, R Şekil 2 (a)'da gösterilen yarım dairenin yarıçapıdır ve $(D^2+4h^2)/8h$ olarak hesaplanır. Denklem (1e) ve denklem (1f) kullanılarak kubbede bulunan her birleşim noktasının koordinatları otomatik olarak hesaplanır.

3 Yapraksı Kubbelerin LRFD'ye Göre Optimum Tasarımı

Bu çalışmada yapraksı kubbenin elemanlarının standart boru kesitlerden yapıldığı kabul edilmiştir. Tasarım değişkenleri, kubbedeki toplam halka sayısı, tepe noktasının yüksekliği ve kubbedeki eleman grupları için seçilen boru kesitlerdir. Toplam halka sayısı ve tepe noktası için değerler seçilerek kubbe geometrisi oluşturulduğu zaman tasarım problemi hazır kesit tablolarından uygun boru kesitlerin seçilmesine dönüşür. Bu problemin çözümü, kubbenin inşaat uygulama esaslarında belirtilen dayanım ve kullanılabilirlik gereksinimlerini sağlarken bütün ekonomiyi veya malzeme giderindeki ekonomiyi gözetmesiyle yapılmalıdır. LRFD-AISC'deki tasarım sınırlayıcıları uygulandığı zaman optimum tasarım problemi için aşağıdaki matematiksel model elde edilir;

$$\min W = \sum_{i=1}^{ng} m_i \sum_{j=1}^{s_i} l_j \quad (2a)$$

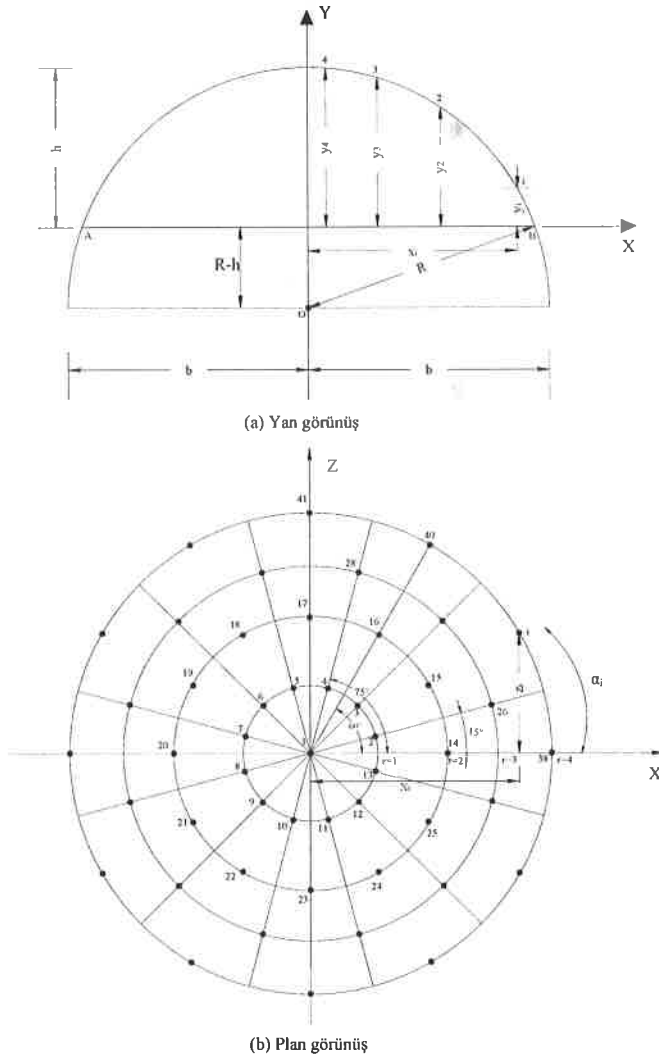
Sınırlayıcılar;

$$\delta_k < \delta_{ku} \quad , \quad k=1,2,\dots,p \quad (2b)$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.2 \text{ için; } \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1 \quad (2c)$$

$$\frac{P_u}{\phi P_n} < 0.2 \text{ için; } \frac{P_u}{2\phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1 \quad (2d)$$

$$\phi_v V_{nr} \geq V_{ur} \quad , \quad r=1,2,\dots,nm \quad (2e)$$



Şekil 2. Yapraksı kubbedeki birleşim noktalarının koordinatlarının otomatik hesaplanması.

Burada, Denklem (2a)'da verilen m_i , i grubuna ait yapraksı kubbe elemanı için LRFD-AISC'deki çelik boru kesit tablosundan seçilen boru kesitin birim ağırlığını verir, s_i , i grubundaki toplam eleman sayısıdır ve ng kubbe yapıdaki toplam grup sayısıdır ve l_j , j elemanının boyunu temsil eder. Denklem (2b)'de δ_k , k birleşim noktasının deplasmanıdır ve δ_{kn} bu deplasmanın üst sınırıdır. p ise sınırlandırılmış deplasmanların toplam sayısıdır.

Denklem (2c) ve Denklem (2d), hem eğilme hem de eksenel kuvvete maruz bırakılmış bir elemanın LRFD'ye göre dayanım gereksinimini gösterir. Bu eşitsizliklerde, ϕ_b esneklik için direnç faktörüdür ve 0.9 olarak alınır, ϕ basınç için direnç faktörüdür ve 0.85 olarak alınır.

M_{ux} güçlü eksenine (x) eğilmesine bağlı olarak gerekli esneklik dayanımıdır, M_{uy} zayıf eksenine (y) eğilmesine bağlı olarak gerekli olan esneklik dayanımıdır, M_{nx} ve M_{ny} , sırasıyla güçlü eksene (x) ve zayıf eksene (y) bağlı olarak gerekli olan nominal esneklik dayanımlarıdır. P_u gerekli basınç dayanımını ve P_n ise nominal basınç dayanımını verir.

Denklem (2e), LRFD'ye göre kesme dayanımını verir. Bu eşitsizlikte ϕ_v kesme için direnç faktörünü verir ve 0.9 olarak alınır, V_{nr} kesmedeki nominal dayanımdır ve V_{ur} ise eleman r için kullanılabilir kesme yükü olarak alınır.

4 Harmoni Arama Yöntemi

Denklem (2a)'dan Denklem (2e)'ye kadar tanımlanmış olan optimum tasarım probleminin çözümü harmoni arama yöntemi kullanılarak elde edilir. Detaylı açıklamaları referans [7]'de verilen bu yöntem aşağıdaki gibi özetlenebilir;

Adım 1. Harmoni arama parametreleri başlatılır.

Optimum tasarım problemindeki her bir tasarım değişkeni için geçerli bir değer aralığı tanımlanır. Bu değerlerden alınarak algoritmanın tasarım değişkenleri için seçeceği değerleri içeren bir havuz oluşturulur. Daha sonra harmoni hafıza matrisinin boyutlarını (HMS) oluşturan harmoni hafızasındaki çözüm vektörlerinin sayısı, harmoni hesaba katma oranı (HMCR) , iki değer arasındaki ayarlama oranı (PAR) ve maksimum arama sayısı da bu adımda seçilir.

Adım2. Harmoni hafıza matrisi (HM) başlatılır.

Harmoni hafıza matrisine ilk değerler atanır. Bu matrisin her satırı belirli bir tasarım değişkeni için olası çözümler içeren ve tasarım havuzundan rastgele seçilen değerleri muhteva eder. Bu yüzden, bu matris toplam tasarım değişkenlerinin sayısını gösteren N sütuna ve ilk adımda seçilen HMS satıra sahiptir. Harmoni hafıza matrisi aşağıdaki yapıdadır;

$$[H] = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{2,1} & \dots & x_{n-1,1} & x_{n,1} \\ x_{1,2} & x_{2,2} & \dots & x_{n-1,2} & x_{n,2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1,hms-1} & x_{2,hms-1} & \dots & x_{n-1,hms-1} & x_{n,hms-1} \\ x_{1,hms} & x_{2,hms} & \dots & x_{n-1,hms} & x_{n,hms} \end{bmatrix} \quad (3)$$

x_{ij} , rastgele seçilen j'inci olası çözümde i'nci tasarım değişkeninin değeridir. Bu aday çözüm, amaç fonksiyonunun değeri ilk çözüm vektöründe minimum olacak şekilde sıralanır. Başka bir deyişle, harmoni hafıza matrisinde çözüm vektörleri, amaç fonksiyonlarının değerleri minimumdan maksimuma doğru giden bir şekilde sıralanırlar. Burada sadece olası çözüm vektörleri değil küçük elverişsizlikler içeren çözüm değerleri de çözüm matrisine dahil edilir.

Adım 3. Yeni harmoni hafıza matrisi geliştirilir.

Harmoni arama yönteminde yeni bir çözüm vektörünün oluşturulması bu yöntemin temel iki parametresi (HMCR ve PAR) ile kontrol edilir. HMCR, algoritmayı bir

tasarım değişkenine değer seçmek için ya harmoni hafızasına ya da tüm değerler kümesine yönlendiren bir olasılık değeridir. Başka bir ifadeyle, bu parametre yeni çözümler oluşturulurken yeni tasarım sahasının araştırılması ile daha önce sıkça bulunan favori çözümlerin ne ölçüde dikkate alınarak kıyaslanması gerektiğini kararlaştırır. Bazen tasarım değişkeni harmoni hafızadan seçildiği zaman bu değişkenin en yakın alt ve üst komşuları ile yer değiştirip değiştirmeyeceği kontrol edilir. Buradaki amaç güncel bir çözüm çevresindeki geçişleri sağlayarak daha detaylı bir aramı yapmaktır. Harmoni arama yöntemindeki bu olgu iki değer arasındaki ayarlama (PAR) olarak bilinir.

Sınırlayıcı Kullanımı: Yukarıda belirtilen adımlar çerçevesinde yeni bir harmoni vektörü elde edildiği zaman bunun problem sınırlarını ihlal edip etmediği kontrol edilir. Eğer yeni harmoni vektörü kati bir şekilde elverişsiz bir çözüm vektörü ise atılır. Eğer hafif bir elverişsizliği varsa yeni oluşturulan harmoni hafıza matrisine dahil edilir. Bu yolla sadece birkaç sınırlayıcıyı hafifçe ihlal eden harmoni vektörü PAR operasyonuna tabi tutularak elverişli yeni bir harmoni vektörü sağlanmaya çalışılır. Bu durum tasarım vektörünün kabulü için başlangıçta 0.08 gibi geniş bir hata değeri kullanılarak uygulanır ve tasarım döngüsü süresince dereceli olarak azaltılır ve sonuçta 0.001 gibi bir hata değeri alınır. Bu uyarlamalı hata stratejisi büyük ölçekli tasarım problemlerinde sınırlayıcı kullanımı için oldukça etkilidir.

Adım 4. Harmoni hafıza matrisi güncellenir.

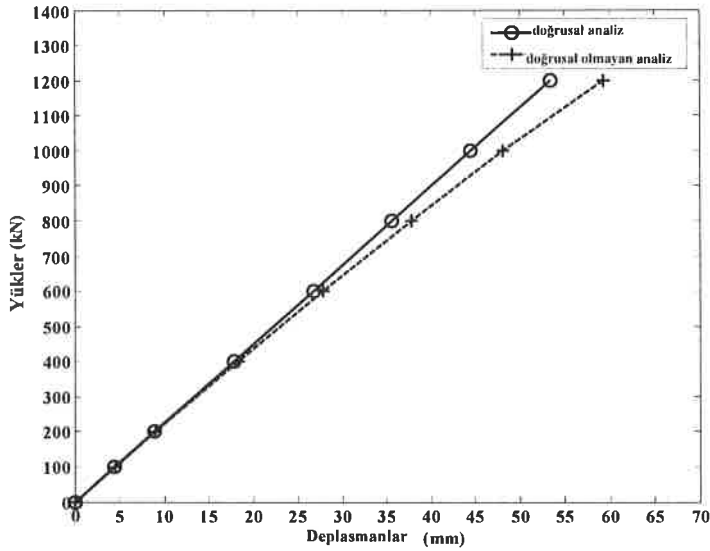
Her bir tasarım değişkeni için yeni değerler elde edildikten sonra yeni harmoni vektörü için amaç fonksiyonu değeri hesaplanır. Eğer bu değer harmoni hafıza matrisindeki en kötü harmoni vektörü değerinden iyi ise matrise dahil edilir ve en kötü değer matristen çıkarılır.

Adım 5. Sonlandırma kriteri olan maksimum döngü sayısına ulaşılan kadar Adım 3 ve Adım 4 tekrar edilir.

5 Uzaysal Yapıların Elastik-Kritik Yük Analizi

Örgütlü kubbe yapıların davranış tarzları dış yükler altında geometrilerinde değişiklikler oluşmasından dolayı doğrusal değildir. Bunun nedeni imalat işlemi esnasında ve/veya yapının inşasından dolayı noksanlıkların artmasıdır. Ayrıca bu yapılar, bazen yerçekimi kuvvetinin haricinde tepe noktalarına uygulanan tekil yüke maruz bırakılırlar. Buda yapının tasarım analizi boyunca stabilitesizlikten dolayı yük yaşama kapasitesini kaybetmediğinden emin olmak için kapsamlı bir stabilite kontrolü gerektirir. Uzak kafeslerin elastik stabilitesizlik analizi, yük faktörünün derece derece artırılmasıyla yapının rijitlik metodu analizinin tekrarlanması içerir. Yük faktörünün her artımında, yapının doğrusal olmayan analizi yapılır. Bunun için, üç boyutlu bir uzak elemanda eksenel rijitlik ve dönme karşı rijitlik etkilerini içeren rijitlik matrisi türetilir. Bu matrisin nasıl oluşturulduğu referans [8,9]'da detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Kararlı bir yapının rijitlik matrisi kesin-artı matristir. Doğrusal olmayan analiz süresince rijitlik matrisinin determinantının herhangi bir yük faktörü artımında negatif olup olmadığı kontrol edilir. Eğer negatif ise, bu durum yapının stabilitesinin kaybolduğu anlamına gelir ve bu duruma yol açan yük faktörü kritik yük faktörü olarak tanımlanır. Uzak yapıların elastik stabilitesizlik analizi detaylı olarak referans [2,8,10]'da verilmiştir. Yapraksı kubbe yapılarda doğrusal olmayan davranışın ne kadar etkili olduğunu göstermek için Şekil 4'de yapraksı bir kubbe yapının tepe noktasının (birleşim noktası 1)

farklı tekil yükler etkisinde doğrusal ve doğrusal olmayan Y-deplasmanının durumu gösterilmiştir. Bu şekilden de açıkça anlaşılabileceği gibi 1200kN yük altında doğrusal olmayan deplasman doğrusal deplasmandan %11.1 fazladır. Bu yüzden yapraksı kubbe yapılarında geometrik yönden doğrusal olmayan davranışı hesaba katmanın ne kadar realistik sonuçlar doğurduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Yapraksı kubbenin tepe noktasının doğrusal ve doğrusal olmayan Y-deplasmanları.

6 Tasarım Örneği

Sunulan tasarım örneği Şekil 1'de verilen tek katmanlı yapraksı kubbenin optimum halka sayısını, tepe yüksekliğini ve boru kesitlerini belirlemek için kullanılmıştır. Kubbenin toplam halka sayısı için oluşturulan tasarım havuzu dört değer içerir; bunlar 3, 4, 5 ve 6'dır. Tepe noktasının yüksekliği için hazırlanan tablo 1'den başlayarak 8.75'e kadar 0.25 artımla ilerleyen 32 değer içerir. LRFD-AISC'de [6] verilen 37 adet çelik boru kesit harmoni arama algoritmasının aralarından seçim yapması için kullanılmıştır. Kesit isimlendirmeleri PIPST13'den PIPDEST203'e kadar yapılmıştır. Burada ST, EST ve DEST kısaltmaları sırasıyla standart ağırlık, ekstra güçlü ve duble-ekstra güçlü olarak tanımlanır. Elastisite modülü 205kN/mm^2 'dir. Kubbenin çapı 20m olarak alınmıştır ve kubbe yapı tepe noktasından 500kN tekil yüke maruz bırakılmıştır. Tablo 1'de birleşim noktalarına göre uygulanan deplasman sınırlandırmaları verilmiştir.

Tablo 1. Tek katmanlı yapraksı kubbenin deplasman sınırlayıcıları

Birleşim Noktası Numarası	Deplasman Sınırlayıcıları (mm)		
	X-yönü	Y-yönü	Z-yönü
1	-	-	28
2	33	33	28
3	33	33	28

Harmoni hafıza matrisinin boyutu başlangıçta 20 olarak alınır. Bununla birlikte, aynı örnek 20'den 50'ye kadar değişik harmoni hafıza matris boyutları denenerek birkaç kez tasarlanmıştır. Aynı zamanda, düşünülen tasarım örneği için en uygun parametre setini belirlemek için HMCR ve PAR değerleri de sırasıyla 0.60'dan 0.90'a ve 0.20'den 0.45'e kadar değiştirilerek denenmiştir. Bu çalışmada verilen sonuçlar minimum ağırlığı elde eden parametre değerleridir. Bu parametreler tamamen problem tipine bağlı olarak farklılık gösterirler. Her bir tasarım için toplam arama sayısı 20000 olarak alınmıştır. Arama sayısı 20000'ni geçtikten sonra optimum tasarımın değişmediği ve aynı kaldığı gözlemlenmiştir. En son aramadaki sonuç optimum çözümü vermektedir.

Tablo 2. Tek katmanlı yapraksı kubbeler için optimum tasarımlar.

Grup Numarası	Optimum Kesit Atamaları		
	3 halkalı	4 halkalı	5 halkalı
1	PIPST 127	PIPST 152	PIPST 203
2	PIPEST 89	PIPEST 89	PIPEST 19
3	PIPST 64	PIPST 64	PIPST 64
4	PIPST 76	PIPST 76	PIPST 102
5	PIPST 64	PIPST 64	PIPST 64
6	PIPST 13	PIPST 76	PIPST 76
7	Yok	PIPST 64	PIPST 64
8	Yok	PIPST 13	PIPST 76
9	Yok	Yok	PIPST 64
10	Yok	Yok	PIPST 13
Optimum Yükseklik (m)	6.25	5.25	3.25
Max. Deplasman (mm)	2.38	4.77	25.16
Max. Dayanım Oranı	0.98	1.00	1.00
Ağırlık (kg)	4034.2	4502.1	4873.1

Eleman gruplandırması her halka arasında kalan elemanlar bir grup ve halkaların üzerinde kalacak elemanlar başka bir grup olacak şekilde yapılmıştır. Tepe noktası ile ilk halka arasında kalan diyagonal elemanlar 1. gruptur, birinci halka üzerindeki elemanlar 2. grup, birinci ve ikinci halkalar arasında kalan elemanlar 3. grup, ikinci halka üzerindeki elemanlar da 4. gruptur ve bu şekilde gruplandırma devam eder. Daha sonra kubbedeki toplam grup sayısı tasarım problemindeki halka sayısının iki katı olur. Örneğin, halka sayısı 3 olarak seçilirse geriye kalan tasarım değişkeni sayısı 7 olur. Bunların 6 tanesi her bir grup için seçilmiş olan çelik kesit atamalarıdır ve sonuncusu da kubbenin yüksekliğidir. Her grup için optimum kesit atamaları ve kubbe yüksekliği değişik halka sayısına sahip olan kubbeler için Tablo 2'de gösterilmiştir. Burada şunu belirtmek gerekir ki tasarım probleminde tüm çözümler de dayanım limitleri baskındır. Optimum tasarıma sahip kubbelerde dayanım oranları 1 veya 1'e çok yakın değerler olarak bulunurken sınırlandırılmış deplasmanlar üst sınırlarının çok altında değerler olarak elde edilmişlerdir. Bunun ötesinde, dört adet optimum geometriye sahip olarak tasarlanmış kubbe yapı arasında en az ağırlığa en az halkalı kubbe sahiptir. Doğal olarak çok halkaya ve dolayısıyla daha çok elemana sahip olan kubbe daha ağırdır. Bu yüzden yapraksı kubbeler için optimum halka sayısı 3'tür.

7. Sonuçlar

Harmoni arama yöntemi tek katmanlı yapraksı kubbe yapılarında optimum tasarım algoritması geliştirmek için kullanılmıştır. Bu yöntem yeni bir stokastik rastgele arama yaklaşımı olup mükemmel bir müzik uyumu arama işlemini taklit eder. Burada harmoni arama yönteminin matematiksel olarak oldua basit fakat bütünleşik optimizasyon problemlerinin czmn bulmada oldua etkili olduğu gösterilmiştir. Bu yöntem tasarım değişkenlerinin değerleri için ne bir başlangıç değerine ihtiyaç duyar, ne de tasarım problemi için aday czm popülasyonuna ihtiyaç vardır. Bu çalışmada sunulan optimum tasarım algoritması tek katmanlı yapraksı kubbe yapılarında toplam halka sayısını, optimum kubbe yüksekliğini ve kubbe elemanları için LRFD’de ki elik boru kesit tablolarından alınan optimum elik kesit atamalarını hesaplar ve tasarım sınırlayıcılarını LRFD-AISC’ye göre uygular. Bunun ötesinde, kubbe yüksekliği bir tasarım döngüsünden diğer bir tasarım döngüsüne geçişte büyük lde değişiklik gösterdiği için kubbenin dış yükler altındaki davranışının elde edilmesinde global stabilitesini kaybedip kaybetmediği kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, harmoni arama yönteminin tek katmanlı yapraksı kubbelerin optimum topoloji boyutlandırmasında ne kadar etkili bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır.

8.Referanslar

- [1] B.S. Benjamin, “*The Analysis of Braced Domes*”, Asia Publishing House, 1963.
- [2] M.P. Saka, and M. Ulker, “*Optimum Design of Geometrically Nonlinear Space Trusses*”, Computers & Structures, 42, 3,289-299, 1992.
- [3] M.P. Saka and E.S. Kameshki, “*Optimum Design of Geometrically Nonlinear Elastic Braced Domes*”, Advances in Engineering Software, 29, 7-9, 519-528, 1999.
- [4] M.P. Saka, “*Optimum Geometry Design of Geodesic Domes Using Harmony Search Algorithm*”, Advances in Structural Engineering, 10, 6, 2007.
- [5] M.P. Saka, “*Optimum topological design of geometrically nonlinear single layer latticed domes using coupled genetic algorithm*”, Computers and Structures, 85, 21-22, 1635-1646, 2007.
- [6] Manual of Steel Construction, “*Load and Resistance factor design, Structural Members, Specifications & Codes*”, American Institute of Steel Construction Inc. 1991.
- [7] Z.W. Geem, and J.H. Kim, “*A New Heuristic Optimization Algorithm; Harmony Search*”, Simulation, 76, 60-68, 2001.
- [8] K.I. Majid, “*Nonlinear Structures*”, Butterworth, 1972.
- [9] K.S. Lee and Z.W. Geem, “*A New Structural Optimization Method Based on Harmony Search Algorithm*”, J. Computers and Structures, 82, 781-798, 2004.
- [10] R.C. Coates, M.G. Coutie, and F.K. Kong, “*Structural Analysis*”, Nelson, 1972.

