

Taşıt Elemanlarının Yapısal Optimizasyon Teknikleri ile Optimum Tasarımı

Ali Rıza YILDIZ*

Bursa Teknik Üniversitesi Doğa Bil. Müh. Mím. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü, BURSA/TÜRKİYE
(Geliş/Received : 03.06.2016 ; Kabul/Accepted : 07.09.2016)

ÖZ

Otomotiv endüstrisinde optimum ürünlerin geliştirmesi süreci ürün maliyeti üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle, ürün tasarımı sürecinde, optimum tasarımın elde edilmesi gerekmektedir. Optimizasyon çalışmalarında seçilecek yöntem optimum tasarıma ulaşmada en önemli unsurlardan birisidir. Bu bağlamda optimum noktaya hızlı ve doğru şekilde yakınsayan yöntemlerin seçimi çok önemlidir. Bu çalışmada otomobillerin ön süspansiyon sisteminde kullanılan salıncak kolunun, sırasıyla topoloji ve şekil optimizasyonu yapılarak optimum boyutları bulunmuştur. Bu çalışmada şekil optimizasyonu için yeni geliştirilen interior arama algoritması literatürde ilk defa optimum ürün tasarımı sürecinde kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Topoloji optimizasyonu, Şekil Optimizasyonu, Taşıt Salıncak Kolu, Interior arama Algoritması.

Optimum Design of Vehicle Components Using Structural Optimization Techniques

ABSTRACT

The development of optimum products in the automotive industry has a significant impact on the process product cost. For this reason, in the product design process, optimum design must be achieved. The method to choose during optimization studies is one of the most important elements in achieving optimum design. In this context, it is very important to choose the methods that are optimum to the point and converge correctly. In this study, the swing arm used in the front suspension system of the automobiles was optimized by topology and shape optimization respectively. The newly introduced internal search algorithm for shape optimization has been used in the literature for the first time in the optimum product design process.

Keywords: Topology Optimization, Shape Optimization, Suspension Arm, Interior Search Algorithm.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Otomotiv sektöründe optimum ürün geliştirme aşaması ürün ömrü üzerinde maliyet açısından en etkili olan adımdır. Üretilen ürünlerin toplam yaşam çevrimi maliyetinin tasarım sürecinde belirlendiği dikkate alınırsa etkin imalat açısından tasarım aşamasında istenen kriterleri sağlayan ürünlerin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

1970'li yıllardan itibaren bilgisayar teknolojisinin gelişmesine bağlı olarak sayısal ve türev temelli optimizasyon yöntemlerinin yetersizliklerine çözüm olarak geliştirilen popülasyon temelli optimizasyon algoritmaları farklı alanlardaki optimizasyon çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılmıştır [1-13].

Bu çalışmanın amacı, ürün tasarım sürelerini minimize eden optimizasyon yöntemlerinin etkinliğini ortaya koymak ve optimum ürün tasarımında kullanılabileceğini göstermektir. Bu kapsamda otomobillerin ön süspansiyon sistemlerinde kullanılan salıncak kolunun optimum tasarımı, topoloji ve şekil optimizasyonu yaklaşımları kullanılarak yapılmıştır. Şekil

optimizasyonu için literatürde ilk defa bu çalışmada uygulanan interior arama algoritması kullanılmıştır.

2. INTERIOR ARAMA ALGORİTMASI (INTERIOR SEARCH ALGORITHM)

Interior arama algoritması Gandomi [14] tarafından 2014 yılında geliştirilen yeni bir optimizasyon metodudur. Bu yöntem koordine ve sistematik bir yaklaşımdır. Interior arama algoritmasında sonuca gitmek için data oluşturmak yerine, data setinin istenen parametreler doğrultusunda işlenip hedefe yönelmesi temel alınır [14]. Bu yöntemde genellikle data setinin uç sınırlarından başlanıp içe doğru gidilerek çözümün diğer parametreleri nasıl etkilediği gözlemlenir (Şekil 1). Bu sayede tasarımcı parametreleri değiştirirken oluşan eğrilerin birbirine yakınlığı yada kesişmesi durumlarında kısa sürede bilgi sahibi olabilir. Bu algoritmadaki elemanlar, bileşim elemanları ve ayna elemanları olmak üzere iki gruba ayrılırlar ve algoritmanın çözümü aşağıdaki adımlardan oluşur:

1. Üst limit (UB) ve alt limit (LB) arasında olmak üzere rasgele elemanlar üretilir.
2. En uygun eleman tespit edilir. Eğer bu işlem bir minimum optimizasyon işlemiyse, en uygun eleman amaç fonksiyonunun minimumu, aksi

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

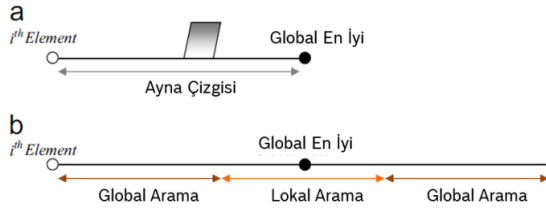
e-posta: draliryildiz@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2017.20.2 319-323

durumda maksimizasyonu olmalıdır. Bu eleman j^{th} iterasyonda, x_{gb}^j , global en iyi olarak tanımlanır.

3. Data seti rasgele bir biçimde bileşim elemanları ve ayna grubu olarak ikiye ayrılır. Bu adımda α parametresi tanımlanır. Eğer $r_1 \leq \alpha$ ise ayna grubuna ayrılır değil ise bileşim grubuna ayrılır (Şekil 1).
4. Bileşim grubundaki her bir eleman rasgele olarak aşağıdaki 1 nolu formüle göre belirlenen araştırma uzayında değiştirilir. r_2 , 0 ile 1 arasında seçilen rasgele bir sayıdır.

$$x_i^j = \text{LB}^j + (\text{UB}^j - \text{LB}^j) \cdot r_2 \quad (1)$$



Şekil 1. Ayna grubu için seçilen parçanın şematik gösterimi (Schematic mirror search part of the interior search algorithm)

5. Ayna grubu için çözüm uygulamasında ayna, ilk olarak rasgele seçilen eleman ile global en iyi arasında konumlanır. j . iterasyonuna sahip i . parça için konumlandırılan ayna'nın pozisyonunu bulmak için aşağıdaki formül kullanılır:

$$x_{m,i}^j = r_3 x_i^{j-1} + (1 - r_3) x_{\text{gb}}^j \quad (2)$$

r_3 , 0 ile 1 arasında rasgele seçilen bir sayıdır. Görüntünün yada elemanın pozisyonu ise ayna'nın konumuna bağlı olarak değişmekle birlikte aşağıdaki şekilde formülize edilir:

$$x_i^j = 2x_{m,i}^j - x_i^{j-1} \quad (3)$$

6. Global en iyiyi bulmak için, rasgele arama çalışması aşağıdaki formüle göre küçük iterasyonlar uygulanarak gerçekleştirilir:

$$x_{\text{gb}}^j = x_{\text{gb}}^{j-1} + r_n \cdot \lambda \quad (4)$$

r_n ; rasgele dağıtılmış elemanlardan x ve λ ile aynı boyutlara sahip olanlarla vektörel aynadır. Burada λ ise $0.01 * (\text{UB} - \text{LB})$ olarak ayarlanmıştır. Bu rasgele yürüyüş çalışması global en iyi etrafında yapıldığı için lokal aramadır.

7. Gerçek ve görüntü elemanlarının lokasyonlarına en uygun değerleri hesaplanır ve lokasyonlar güncellenir. Bu güncelleme minimize problemlerinde aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$x_i^j = \begin{cases} x_i^j, & f(x_i^j) < f(x_i^{j-1}) \\ x_i^{j-1}, & \text{değilse} \end{cases} \quad (5)$$

8. Eğer bu kriterlerden herhangi biri sağlanmıyorsa, işlem adım 2'den tekrarlanır.

Interior arama algoritmasının pseudo kodu[14] aşağıda verilmiştir.

Başlat

Koşul herhangi bir durdurma kriteri sağlanmazsa

Bul x_{gb}^j

$i=1$ 'den n 'e kadar olan değerler için

eğer x_{gb}^j

$$x_{\text{gb}}^j = x_{\text{gb}}^{j-1} + r_n \cdot \lambda$$

veya eğer $r_1 \leq \alpha$

$$x_{m,i}^j = r_3 x_i^{j-1} + (1 - r_3) x_{\text{gb}}^j$$

$$x_i^j = 2x_{m,i}^j - x_i^{j-1}$$

veya

$$x_i^j = \text{LB}^j + (\text{UB}^j - \text{LB}^j) \cdot r_2$$

ayrışım elemanları dışında sınırları kontrol et

$i=1$ 'den n 'e kadar olan değerler için

Değerlendir $f(x_i^j)$

$$x_i^j = \begin{cases} x_i^j, & f(x_i^j) < f(x_i^{j-1}) \\ x_i^{j-1}, & \text{değilse} \end{cases}$$

Son

Son

3. RADYAL TABANLI FONKSİYONLAR (RADIAL BASIS FUNCTIONS)

Radyal tabanlı fonksiyonlar (RRF) meta-modelleme tekniği[1], optimizasyon işleminde gerekli olan amaç ve kısıt fonksiyonlarına ait denklemlerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Radyal tabanlı fonksiyonlar meta-modelleme tekniği ile elde edilen denklemler, salıncak kolu optimizasyon probleminde ait matematiksel modelin oluşturulmasında ve bu matematiksel modelin interior arama algoritması ile optimizasyonu çalışmalarında kullanılmıştır. Literatürde bazı taşıt parçalarının optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar [1] incelendiğinde, radyal tabanlı fonksiyonlar ile elde edilen denklemler kullanılarak yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda elde edilen optimum tasarıma ait sonuçlar ile optimum tasarım için tekrar yapılan doğrulama analizleri ile elde edilen sonuçlar arasındaki farkın başka bir ifade ile hata oranının düşük olması bu çalışmada tercih edilme sebebidir.

4. TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU (TOPOLOGY OPTIMIZATION)

Tasarımın sürecinin başında optimum yapısal modelin bulunmasını sağlayan topoloji optimizasyonu teorisi

optimizasyon işlemi uygulanacak parçanın dış boyutlarında herhangi bir değişiklik olmaksızın, parçanın rijitliğini bozmayacak şekilde belirli bölgelerden malzeme boşaltılması esasına dayanır. Topoloji optimizasyon teorisi, yapısal kompliansı minimum yapan yada rijitliği maksimum yapan bir Ω alanındaki boşluk ve katı bölgelerin konfigürasyonunu araştırır [15].

Topoloji optimizasyon yöntemleri, homojenleştirme metodu ve yoğunluk metodu olmak üzere iki farklı metodu kapsar. Homojenleştirme tasarım metodu, 1988 yılında Kikuchi ve Bendsoe tarafından geliştirilmiştir [15].

Diğer bir topoloji optimizasyonu yaklaşımı olan yoğunluk metodu 1993 yılında Yang ve Chuang tarafından geliştirilmiştir[16].

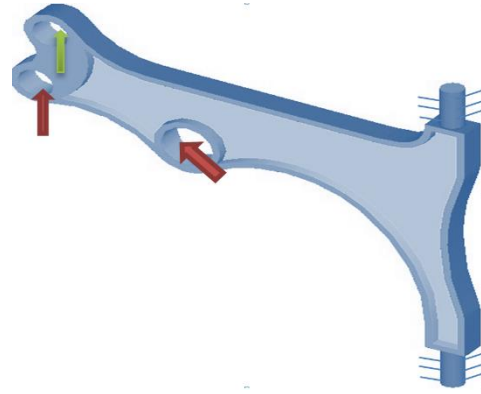
Bu çalışmada otomobillerin süspansiyon sisteminde kullanılan salıncak kolunun optimum tasarımının belirlenmesi çalışması yapılmıştır.

5. TAŞIT SALINCAK KOLUNUN YAPISAL OPTİMİZASYONU (STRUCTURAL OPTIMIZATION OF VEHICLE SUSPENSION ARM)

Taşıtlarda kullanılan salıncak kolunun optimum tasarımının geliştirilmesi çalışmasına, şekil 4 de görülen parçanın başlangıç modelinin oluşturulması ile başlanmıştır. Şekil 1'de mevcut sınır şartları görülmektedir.

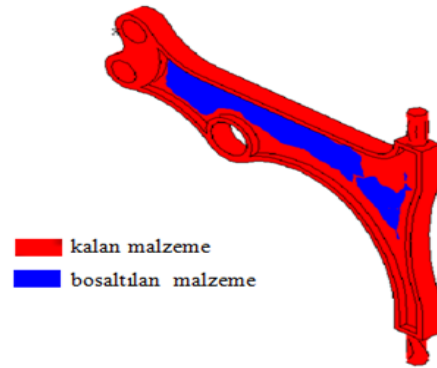


Şekil 1. Salıncak kolu başlangıç modeli (Initial design of the suspension arm)



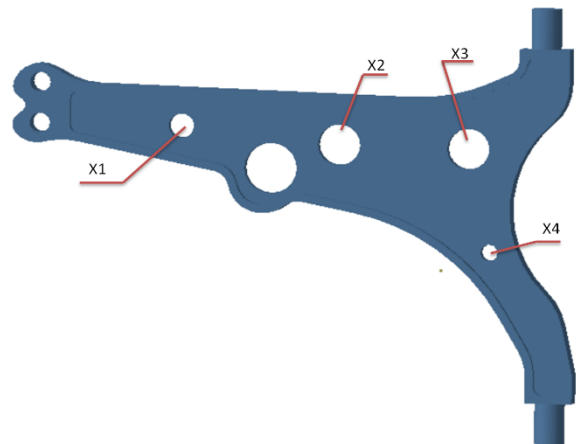
Şekil 2. Sınır şartları (Boundary conditions)

İlk tasarım modeli oluşturulan parça şekil 2 de verilen sınır şartlarında amaç fonksiyonu olarak komplians minimizasyonu, kısıtlayıcı olarak % 50 hacim azalması seçilerek topoloji optimizasyonu yapılmış ve şekil 3 de görülen malzeme dağılımı elde edilmiştir.



Şekil 3. Topoloji optimizasyonu sonrası malzeme dağılımı (Material distribution after topology optimization)

Şekil 3 de elde edilen topoloji optimizasyonu dağılımına göre salıncak kolu şekil 4 de görüldüğü gibi tekrar tasarlanmıştır.



Şekil 4. Tasarım değişkenleri (design variables)

Salıncak kolu tasarımında göz önüne alınan amaç ve kısıt fonksiyonları sırasıyla ağırlık ve parça üzerinde çalışma koşullarında oluşacak maksimum gerilme değeri olarak belirlenmiştir. Bu amaca ulaşmak için şekil 4 de verilen geometri üzerindeki dört adet delik çapı tasarım

parametresi/değişkenleri olarak belirlenmiştir. Başlangıç tasarımı olarak belirlenen bu model üzerindeki dört adet tasarım değişkeninin geometrik olarak maksimum ve minimum değerleri üç boyutlu tasarım programında denenerek Çizelge 1 deki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 1. Tasarım değişkenlerinin alt ve üst değerleri (Upper and lower limits of design variables)

Değişken numarası	Alt değeri	Üst değeri
x ₁	5	15
x ₂	4	16
x ₃	6	24
x ₄	2	6

Optimizasyon sürecinde aşağıda detaylı olarak açıklanan işlem adımları uygulanmıştır:

1- Şekil 4 de gösterilen dört tasarım değişkenine ait Çizelge 2 de verilen değerler latin hiperküp yöntemiyle seçilerek optimizasyon çalışmasında kullanılmak üzere yüz farklı salıncak kolu modeli Catia programında oluşturulmuştur.

2- Yüz farklı salıncak kolu modelinin ağırlığı ve şekil 2 de verilen sınır şartları altında sonlu elemanlar analizi yapılarak yüz farklı sonlu elemanlar analizi sonucunda her bir parça için ortaya çıkan gerilme değerleri bulunmuştur.

3- Daha önceki çalışmalarımızda kullanılan ve kendi geliştirdiğimiz radyal tabanlı fonksiyonlar metamodelleme yöntemine ait Matlab kodları[1] yardımıyla amaç ve kısıt fonksiyonlarına ait denklemler elde edilmiştir. Radyal tabanlı fonksiyonlar metamodelleme yönteminde giriş değerleri yüz farklı tasarıma ait dört değişkenin boyutları, çıkış değerleri ise sonlu elemanlar analizi ile elde edilen gerilme değerleri ve her bir parçanın ağırlığıdır. Bu giriş ve çıkış verilerini temsil eden denklemler, gerilmeyi ve parça ağırlığını ifade eden matematiksel denklemlere dönüştürülmüştür.

4- Bu denklemler optimizasyon probleminde amaç ve kısıt fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

5- Optimizasyon probleminde amaç fonksiyonu olarak ağırlığın minimize edilmesi, kısıt fonksiyonu olarak gerilmenin 350 MPa dan küçük olması tanımlanmıştır ve bu işlem için üçüncü adımda elde edilen denklemler kullanılmıştır.

6- Optimizasyon işleminde Çizelge 1 de verilen tasarım değişkenlerinin alt ve üst limitleri arasında kalacak şekilde tasarım değişkenlerinin seçilmesine izin verilmiştir.

Yukarıda detaylı olarak anlatılan adımlarda elde edilen denklemler ikinci bölümde detayları verilen interior arama algoritması ve genetik algoritmalar optimizasyon yöntemleriyle yapılan optimizasyon çalışmalarında amaç ve kısıt fonksiyonları olarak tanımlanıp yapılan optimizasyon işlemi sonucunda Çizelge 2 de verilen sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5. Optimum tasarım (Optimum design)

Çizelge 2. Salıncak kolu optimizasyonu için karşılaştırılmalı sonuçlar (Comparative results for suspension arm optimization)

	Ağırlık (gr)	Maksimum gerilme (N/mm ²)
Başlangıç	275	248
Topoloji Optimizasyonu Sonrası	236	327
Genetik Algoritmalar	218	345
Interior arama Algoritması	198	349

Çizelge 2 de görüleceği üzere interior arama algoritması ile elde edilen değerler genetik algoritmalar[2] ile elde edilen değerlere göre daha iyidir. Interior arama algoritması ile yapılan optimizasyon çalışması sonucu elde edilen optimum salıncak kolu tasarımında oluşan maksimum gerilme 349 MPa ve optimum salıncak kolu ağırlığı 198 gr olarak şekil 5 de verildiği gibi elde edilmiştir.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada binek araçların süspansiyon sistemlerinde kullanılan salıncak kolunun radyal tabanlı fonksiyonlar meta-modelleme yöntemi ve interior arama algoritması kullanılarak optimum tasarımı yapılmıştır.

Optimizasyon çalışmasında topoloji optimizasyonu sonuçlarına göre dört adet tasarım değişkeni belirlenerek bu değişkenlerin alt ve üst limitleri ihlal edilmeyecek şekilde latin hiperküp yöntemi ile yüz farklı salıncak kolu modeli oluşturulmuştur. Her tasarım için verilen çalışma koşullarında sonlu elemanlar analizi yapılarak salıncak kolu üzerinde oluşan gerilme değerleri ve her bir tasarımın ağırlığı hesaplanmıştır. Oluşan sonuçlara göre radyal tabanlı fonksiyonlar yöntemi ile gerilme ve ağırlık değeri için

matematiksel denklemler elde edilmiştir.

Bu denklemler optimizasyon çalışmasında amaç ve kısıt fonksiyonu olarak kullanılarak optimum boyutlara sahip salıncak kolu geometrisi interior arama optimizasyon algoritması ile elde edilmiştir. Optimum tasarım, 350 Mpa olarak verilen gerilme kısıtını ihlal etmemektedir. Optimum tasarımın ağırlığı 198 gr olarak elde edilmiştir. Optimum tasarımın ağırlığı başlangıç tasarımına göre % 28 daha azdır.

Sonuçlar interior arama algoritmasının taşıt elemanlarının optimum tasarımında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Yıldız, A.R., Solanki, K. "Multi-Objective Optimization Of Vehicle Crashworthiness Using A New Particle Swarm Based Approach", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59(1-4): 367-376, (2012).
- [2] Yıldız, A.R., Saitou, K. "Topology Synthesis Of Multi-Component Structural Assemblies in Continuum Domains", *Transactions Of Asme, Journal Of Mechanical Design*, 133(1): 011008-1– 011008-9, (2011).
- [3] Bureerat, S., Limtragool, J., "Performance Enhancement Of Evolutionary Search for Structural Topology Optimisation", *Finite Elements in Analysis and Design*, 42(6), Pp.547-566, (2006).
- [4] Yıldız, B.S., Lekesiz, H., Yıldız A.R., "Structural design of vehicle components using gravitational search and charged system search algorithms", *Materials Testing*, 58:79-81, (2016).
- [5] Karagöz, S., Yıldız, A.R. "A comparison of recent metaheuristic algorithms for crashworthiness optimisation of vehicle thin-walled tubes considering sheet metal forming effects", *International Journal of Vehicle Design*, 73:179-188, (2017).
- [6] Pholdee, N., Bureerat, S., Yıldız, A.R. "Design of steel frames using ant colony optimization", *International Journal of Vehicle Design*, 73:20-53, (2017).
- [7] Yıldız, B.S., Lekesiz, H. " Fatigue-based structural optimisation of vehicle components", *International Journal of Vehicle Design*, 73:54-62, (2017).
- [8] Yıldız, B.S. "Artificial Immune System for Multi-Objective Design Optimization of Composite Structures", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21:1416–1429, (2008).
- [9] Yıldız, A.R., "A comparative investigation of eight recent population-based optimization algorithms for mechanical and structural design problems", *International Journal of Vehicle Design*, 73: 208-218, (2017).
- [10] Yıldız, A.R., "A New Design Optimization Framework Based On Immune Algorithm And Taguchi Method", *Computers in Industry*, 60(8):613-620, (2009).
- [11] Yıldız, A.R., Hybrid Taguchi-Harmony Search Algorithm For Solving Engineering Optimization Problems, *International Journal Of Industrial Engineering Theory, Applications and Practice*, 15(3): 286-293, (2008).
- [12] Yıldız, A.R., A Novel Particle Swarm Optimization Approach for Product Design and Manufacturing, *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, 40:617-628, (2009).
- [13] Yıldız, A.R., "A Novel Hybrid Immune Algorithm for Global Optimization in Design and Manufacturing", *Robotic And Computer Integrated Manufacturing*, 25:261-270, (2009).
- [14] Gandomi, A.H. 'Interior search algorithm (ISA): a novel approach for global optimization', *ISA Transactions*, 53:1168–1183, (2014).
- [15] Bendsoe M.P. and Kikuchi, N. "Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method", *Computational Methods Application Mechanics Engineering*, 71, 197-24, (1988).
- [16] R.J. Yang ve C.H. Chuang, "Optimal topology design using linear programming", *Structural Optimization*, 68:265-290, (1993).