ARTIFICIAL INTELLIGENCE STUDIES

|  |
| --- |
| Optimum Design of Compression Spring According to Minimum Volume Using Grey Wolf Optimization Method(Minion pro 16 pt., satır aralığı: tek) |
| **İsmail Şahin\*a** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/06/ORCID_iD.svg/32px-ORCID_iD.svg.png**, Murat Dörterler b** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/06/ORCID_iD.svg/32px-ORCID_iD.svg.png**, Harun Gökcec** https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/06/ORCID_iD.svg/32px-ORCID_iD.svg.png(Minion pro 10 pt., kalın, satır aralığı: tek) |
| **ABSTRACT** (Minion pro 16 pt., kalın, satır aralığı: tek)Optimization of machine elements is both an important issue and an intensive study topic in engineering. Design of compression springs according to minimum weight or volume is a sample problem in this area. Various optimization methods such as particle swarm optimization, genetic algorithm are applied to the problem. Grey Wolf optimization (GWO) method, one of the least nature-inspired algorithms, mimics the hunting and leadership hierarchy of grey wolves. The method has attracted attention for a short time due to its successful performance in engineering applications. In this study, GWO was applied to the design of compression springs with minimum volume. The performance of the GWO was compared with the optimization methods used for solving the same problem in previous studies. The results of the study show that the GWO provides very successful results for the design of compression springs with minimum volume. The performance of the GWO was compared with the optimization methods used for solving the same problem in previous studies. The results of the study show that the GWO provides very successful results for the design of compression springs with minimum volume. (Minion pro, 9 Pt., satır aralığı: tek, min 150- max. 200 kelime)Bozkurt Optimizasyon Yöntemi Kullanarak Basınç Yaylarının Minimum Hacme Göre Optimum Tasarımı**ÖZ** (Minion pro 16 pt., kalın, satır aralığı: tek)Makine elemanlarının optimizasyonu mühendislikte hem önemli bir problem hemde yoğun bir çalışma alanıdır. Basınç yaylarının minimum hacme veya ağırlığa göre tasarımı bu alandaki örnek problemlerden birisidir. Parçacık sürü optimizasyonu, genetik algoritma gibi çeşitli optimizasyon yöntemleri bu probleme uygulanmıştır. Doğadan esinlenen algoritmaların sonuncularından Bozkurt Optimizasyonu (BO) yöntemi, bozkurtların avlanmaları ve liderlik hiyerarşisinden esinlenmiştir. Bu yöntem, mühendislik uygulamalarındaki başarılı performansıyla kısa sürede dikkatleri çekmiştir. Bu çalışmada BO, basınç yaylarının asgari hacme göre tasarımına uygulanmıştır. BO’nun performansı önceki çalışmalarda aynı problemin çözümü için kullanılan optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları BO’nun basınç yaylarının asgari hacme göre tasarımında başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Makine elemanlarının optimizasyonu mühendislikte hem önemli bir problem hem de yoğun bir çalışma alanıdır. Basınç yaylarının minimum hacme veya ağırlığa göre tasarımı bu alandaki örnek problemlerden birisidir. Parçacık sürü optimizasyonu, genetik algoritma gibi çeşitli optimizasyon yöntemleri bu probleme uygulanmıştır. Doğadan esinlenen algoritmaların sonuncularından Bozkurt Optimizasyonu (BO) yöntemi, bozkurtların avlanmaları ve liderlik hiyerarşisinden esinlenmiştir. Bu yöntem, mühendislik uygulamalarındaki başarılı performansıyla kısa sürede dikkatleri çekmiştir. Bu çalışmada BO, basınç yaylarının asgari hacme göre tasarımına uygulanmıştır. BO’nun performansı önceki çalışmalarda aynı problemin çözümü için kullanılan optimizasyon yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonuçları BO’nun basınç yaylarının asgari hacme göre tasarımında başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.  | a,\* Gazi University,Technology Faculty, Dept. of Industrial Design Engineering 06560 - Ankara, Türkiye ORCID: 0000-0001-8566-3433b Gazi University,Technology Faculty, Dept. of Computer Engineering 06560 - Ankara, Türkiye ORCID: 0000-0002-5979-4197c TÜBİTAK Defense Industries Research and Development Inst.06261 – ANKARA, Türkiye ORCID: 0000-0002-5979-4197 (Minion pro 7 pt., satır aralığı: tek)\* Corresponding author.e-mail: isahin@gazi.edu.tr**Keywords:** Compression spring, grey wolf optimizer, optimimum design of machine elements **Anahtar Kelimeler:** Elektro erozyon işleme, AISI H13 çeliği, Ölçü tamlığı,Taguchi, Anova (Minion pro 8 pt., satır aralığı: tek, en az 3, en çok 5 kelime)Submitted: 15.04.2017 Revised: 22.06.2017 Accepted: 09.04.2022 doi:10.30855/gmbd.2022.xx.xx |

1. **Giriş** (Introduction)(1. Derece Başlıklar: Tüm harfler kalın, minion pro 12 pt. (İngilizce başlık minion pro 8 pt, harf kalınlığı normal), satır aralığı: tek

(Yazı: minion pro, 10 pt., satır aralığı: tek) Mühendislik Tasarımı, fiziksel çözüm uzayında iyi tanımlanmış ihtiyaçları karşılayan ürünü oluşturmak için yürütülen faaliyetler olarak ifade edilebilir. Bu faaliyetler yürütülürken sürekli yenilenen bir süreç söz konusudur. Tasarımcı, tasarım sırasında deneyimlere, algılara veya bazı temel matematiksel analizlere dayalı olarak sistemin bir ön tasarımını geliştirir. Ön tasarımın kabul edilebilir olup olmadığını belirlemek için analizler yapılır.

Tasarım optimizasyonu belirli amaçlardan (hedef fonksiyonlar), bir arama alanından (uygulanabilir çözümler), bir arama sürecinden (optimizasyon yöntemleri) oluşur. Uygun çözümler, tasarım parametrelerinin (tasarım değişkenleri) tüm olası değerleri ile karakterize edilen tüm tasarımların bir kümesidir [1]. Optimizasyon yöntemi, tüm uygulanabilir tasarımlardan optimum tasarımı arar. Sistem tasarımında optimum tasarım yöntemlerinin faydalı olduğu birçok uygulama vardır [2].

Mekanik tasarım, tasarımcıların her zaman belirli hedeflerine (dayanıklılık, eğilme, ağırlık, aşınma, korozyon vb.) ulaşmasını sağlayan bir optimizasyon sürecini içerir [1]. Çoğu mekanik optimal tasarım probleminin geleneksel optimizasyon algoritmaları ile çözülmesi zordur çünkü spesifik problem sınırlamaları içerirler [9]. Son yıllarda mekanik tasarım optimizasyon problemlerini çözmek için geleneksel yöntemlere ek olarak birçok yeni nesil optimizasyon algoritması uygulanmaktadır. Evrimsel algoritmalar, genel popülasyon tabanlı meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarıdır. Genetik Algoritma (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Yapay Arı Kolonisi (ABC) ve Karınca Kolonisi Optimizasyonu (ACO) popüler evrimsel algoritmalar arasındadır [1-5]. Evrimsel algoritmalar, geleneksel optimizasyon algoritmalarına göre daha iyi global arama yeteneklerine sahip oldukları için optimizasyon problemlerinde tercih edilmektedir [3].

**2. Bozkurt Optimizasyon Yöntemi** (Grey Wolf Optimization Method)

Bozkurt optimizasyon algoritması (GWO), Mirjalili ve diğerleri tarafından vahşi gri kurtların hiyerarşisi ve avlanma yönteminden esinlenilerek geliştirilmiştir [7]. Bozkurtların sürü hiyerarşisinde bireyler alfa, beta, delta ve omega rollerinden birini oynar. Alfa liderdir; grup talimatlarını takip eder. Alpha, grubun en güçlü üyesi değildir, ancak grubu yönetme açısından en iyisi olmalıdır. Beta, sürüdeki en baskın ikinci bireydir. Alfa'yı takip ederken diğerlerine hükmeder.

2.1. GWO algoritması (GWO algorithm) (2. Derece Başlıklar: harf kalınlığı normal, minion pro 10 pt. (İngilizce başlık minion pro 8 pt, harf kalınlığı normal), satır aralığı: Tek)

GWO'nun ana bölümleri kuşatma, avlanma ve avlara saldırmaktan oluşur. Mirjalili, geliştirdiği algoritma ile bu avlanma tekniğini ve bozkurtların sosyal hiyerarşisini matematiksel olarak modellemiştir. Matematiksel model, sosyal hiyerarşi, avı kovalama, kuşatma ve saldırıdan oluşur.

2.2. Sosyal hiyerarşi (social hierarchy)

Bozkurtların sosyal hiyerarşisini matematiksel olarak modellemek için alfa (α) sürüde en uygun çözüm olarak kabul edilmiştir [8]. Alfa'dan sonra ikinci en iyi çözüm Beta (β) ve üçüncü en iyi çözüm Delta (δ) olarak adlandırılır. Kalan çözümlerin Omega (ω) olduğu varsayılır. GWO algoritmasında avlanma (optimizasyon) α, β ve δ tarafından yönlendirilir.

$A = 2a . r⃗1 - a$ (3)

$C = 2. r⃗2$ (4)

$x=\frac{-b\pm \sqrt{b^{2}-4ac}}{2a}$ (5)

(Eşitlikler: Eşitlik numarası sütun sonuna denk gelmeli, office denklem aracı veya mathtype türü benzeri formül düzenleyicilerle hazırlanmalıdır.)

2.2.1. Av arama (Hunting for prey) (3. Derece başlıklar: Bütün harfler normal, renk: siyah, minion pro 10 pt., satır aralığı: tek (İngilizce başlık minion pro 8 pt, harf kalınlığı normal))

Gri Kurtlar genellikle Alfa, Beta ve Delta konumlarına göre arama yapar. Avı aramak ve ava yaklaşmak için ayrılırlar. Ayırma durumunu matematiksel olarak modellemek için, arama ajanını avdan ayırt etmek için A olarak tanımlanan 1'den küçük veya büyük rastgele değerler kullanılır. Bu, keşif |A|>1 durumunu vurgular ve GWO algoritmasının küresel olarak aranmasına izin verir.



Şekil 1. 2B ve sonraki olası konumlara sahip konum vektörleri [7]
(Position vectors with possible positions in 2D and beyond)

*(Şekiller 300 dpi çözünürlükte olmalıdır; metin: minion pro 8 pt.; metin hizalama:ortalanmış olmalı; Şekiller metin kutusuna yerleştirilmemelidir.* (İngilizce başlık minion pro 7 pt))

**3. Sonuçlar ve Tartışma** (Results and Discussion)

Problem Sandgren tarafından araştırıldı. Deb ve Goyal, problemi genetik algoritmaya dayalı akıllı bir yöntem olan genetik uyarlamalı aramaya (GeneAS) uyguladı. Lampinen ve Zelinka, problemi diferansiyel evrim (DE) yöntemiyle çözmeye çalışmışlardır. Lampinen ve arkadaşları, problemi parçacık sürüsü algoritmasıyla araştırdı.

Elde edilen en iyi sonuç önceki çalışmalarla karşılaştırmalı olarak Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'de görüldüğü gibi GWO ile elde edilen optimum değer önceki çalışmalarla hemen hemen aynıdır. Ancak Şekil 4'teki performans eğrisinde görüldüğü gibi, GWO ile aritmetik ortalamada 238 iterasyon sonunda en iyi değer elde edilebilir. Bu, uygunluk fonksiyonunun ortalama 7140 defa çağrıldığı anlamına gelir. He ve ark.nın çalışmasında bu değer 15000'dir. (2004) ve 26000, Lampinen ve Zelinka'nın (1999) çalışmalarında. 100 çalıştırma için en iyi değerin aritmetik ortalaması 2,6902 ve standart sapma 0,0572'dir. Çalışma zamanı açısından, algoritmanın ortalama CPU zamanı 1281 ms olarak ölçülmüştür.

Tablo 2. Basınç yayı için optimum çözümler (Optimal solutions for compression spring)

(Tablo metni: Tablonun üstünde, minion pro 8 Punto, metin hizalama: ortalanmış olmalı, tablo aşağıdaki formatta olmalıdır. (İngilizce başlık minion pro 7 pt))

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Design Variables** | **Sandgren (1990)** | **Deb and Goyal (1997)** | **Lampinen and Zelinka (1999)** | **He et al. (2004)** | **GWO** |  |
| *X1(d)* | 0.283 | 0.283 | 0.283 | 0.283 | 0.283 |  |
| *X2(D)* | 1.180701 | 1.226 | 1.223041 | 1.223041 | 1.2230413690 |  |
| *X3(d)* | 10 | 9 | 9 | 9 | 9 |  |
| *g1(x)* | -54309 | -713.510 | -1008.811 | -1008.811 | -1008.773 |  |
| *g2(x)* | -8.8187 | -8.933 | -8.9456 | -8.9456 | -8.9456 |  |
| *g3(x)* | -0.08298 | -0.083 | -0.083 | -0.083 | -0.083 |  |
| *g4(x)* | -1.8193 | -1.491 | -1.777 | -1.777 | -1.776 |  |
| *g5(x)* | -1.1723 | -1.337 | -1.3217 | -1.3217 | -1.3217 |  |
| *g6(x)* | -5.4643 | -5.461 | -5.4643 | -5.4643 | -5.4642 |  |
| *g7(x)* | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | -0.0000 |  |
| *f(x)* | 2.7995 | 2.665 | 2.65856 | 2.65856 | 2.65855 |  |

Çalışmada, yayların minimum hacme göre tasarım problemini çözmek için ilk kez GWO uygulanmıştır. Önceki çalışmalara göre, yöntem daha iyi sonuçlar vermiştir. Yayları minimum hacme göre optimize etmede, GWO'nun önceki çalışmalara göre üstünlüğü çözüm hızında kendisini östermiştir. GWO, önceki çalışmalara göre yaklaşık dört kat daha hızlı çözümler üretmiştir. Çok düşük iterasyonlarda optimal çözüme yakınsar. GWO'nun hızı, tutarlılığı ve istatistiksel performansı, makine elemanlarının optimizasyonunda kullanılabilecek bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Teşekkür (Acknowledgment)

Çalışma ….. hibe numarası ile …. tarafından desteklenmiştir. Destekleri için …. kurumuna teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması Beyanı (Conflict of Interest Statement)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması bildirilmemiştir.

Kaynaklar (References)

***Referanslar IEEE formatında olmalıdır***

Kaynaklar: Yazı standardı, yazar kılavuzunda belirtilen ilk sunum formatı ile aynıdır, Minion pro, 8 Pt.)

**Conference Paper in proceedings;**

[#] A. Author of  Paper and B. Author of Paper, "Title of paper," in Title of Published Proceedings: Proceedings of the Title of Conf.: Subtitle of conference, Month Date, Year, Location, A. Editor and B. Editor, Eds. Place of publication: Publisher, Year. pp. inclusive page numbers.

[1] L. Liu and H. Miao, "A specification based approach to testing polymorphic attributes," in Formal Methods and Software Engineering: Proc.of the 6th Int. Conf. on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004, Seattle, WA, USA, November 8-12, 2004, J. Davies, W. Schulte, M. Barnett, Eds. Berlin: Springer, 2004. pp. 306-19.

**Conference Paper from internet;**

[#] A. Author of  Paper and B. Author of Paper,  "Title of paper," in Proceedings of the Title of Conf.: Subtitle of conference, Month Date, Year, Location [Format]. Place of publication: Publisher, Year. Available: Database Name (if appropriate), internet address. [Accessed: date of access].

[3] J. Lach, "SBFS: Steganography based file system," in Proc. of the 2008 1st Int. Conf. on Information Technology, IT 2008, 19-21 May 2008, Gdansk, Poland [Online]. Available: IEEE Xplore, http://www.ieee.org. [Accessed: 10 Sept. 2010].

**Journal;**

[#] A. A. Author of article. "Title of article," *Title of Journal*, vol. #, no. #, pp. page number/s, Month year. doi:xxx.xxxx (doi unutulmamalıdır)

[3] J. R. Beveridge and E. M. Riseman, "How easy is matching 2D line models using local search?" *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 19, pp. 564-579, June 1997. doi:10.1109/TPWRS.2013.2251373

**Theses;**

[#] A. A. Author, "Title of thesis: Subtitle," Unpublished thesis type, Abbrev, Dept., Abbrev. Univ., Location of University, Abbrev. State, Country, Year.

[4] M. W. Dixon, "Application of neural networks to solve the routing problem in communication networks," Ph.D. dissertation, Murdoch Univ., Murdoch, WA, Australia, 1999.

**Book;**

**Authored**; [#] A. Author, Title: Subtitle (in italics), Edition(if not the first), Vol.(if a multivolume work). Place of publication: Publisher, Year, page number(s) (if appropriate).

[5] R. Hayes, G. Pisano, D. Upton, and S. Wheelwright, Operations, Strategy, and Technology: Pursuing the competitive edge. Hoboken, NJ: Wiley, 2005.

**Edited**; [#] A. A. Editor, *Title: Subtitle* (in *italics*), Edition(if not the first), Vol.(if a multivolume work). Place of publication: Publisher, Year, page number(s) (if appropriate).

[6] D. Sarunyagate, Ed., Lasers. New York: McGraw-Hill, 1996. (Editör)

**Internet documents;**

[#] A. Author, "Document title," *Webpage name*, Source/production information, Date of internet publication. [Format]. Available: internet address. [Accessed: Date of access].

[7] J. Geralds, "Sega Ends Production of Dreamcast," *vnunet.com*, para. 2, Jan. 31, 2001. [Online]. Available: http://nl1.vnunet.com/news/1116995. [Accessed: Sept. 12, 2004].

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

This is an open access article under the CC-BY license