

POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Aritmetik optimizasyon algoritması kullanarak taşıt elemanlarının çarpışma performansının eniyilemesi

## *Crash performance optimization of vehicle elements using arithmetic optimization algorithm*

Yazar(lar) (Author(s)): Betül Sultan YILDIZ<sup>1</sup>

ORCID<sup>1</sup>: 0000-0002-7493-2068

**To cite to this article:** Yıldız B.S, “ Aritmetik optimizasyon algoritması kullanarak taşıt elemanlarının çarpışma performansının eniyilemesi”, *Journal of Polytechnic*, 26(3): 1277-1283, (2023).

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz:** Yıldız B.S, “Aritmetik optimizasyon algoritması kullanarak taşıt elemanlarının çarpışma performansının eniyilemesi”, *Politeknik Dergisi*, 26(3): 1277-1283, (2023).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.1286340

# Aritmetik Optimizasyon Algoritması Kullanarak Taşıt Elemanlarının Çarpışma Performansının Eniyilemesi

## Crash Performance Optimization of Vehicle Elements Using Arithmetic Optimization Algorithm

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Aritmetik optimizasyon algoritması kullanılmıştır. / Arithmetic optimization algorithm is studied.
- ❖ Araç bileşenlerinin çarpışma analizi incelenmiştir. / Crash analysis of vehicle components was examined.
- ❖ Denklemlerin elde edilmesinde radyal temelli fonksiyonlar kullanılmıştır. / Artificial neural network was used for obtaining the equations.

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada çarpışma kısıtları altında minimum ağırlık elde etmek için bir araç tasarımı gerçekleştirilmiştir. / In this study, a vehicle design was carried out to obtain minimum weight under crash constraints.



**Şekil.** Araçlarda önden çarpışma analizi sonuçları / **Figure.** Result of the frontal crash analysis in the vehicles

### Amaç(Aim)

Bu çalışmanın amacı çarpışma kısıtları altında hafif bir araç tasarımı gerçekleştirmektir. / The aim of this study is to design a lightweight vehicle under crash constraints.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Aritmetik optimizasyon algoritması ve radyal temelli fonksiyonlar kullanılmıştır. / Arithmetic optimization algorithm and artificial neural networks are used.

### Özgünlük (Originality)

Aritmetik optimizasyon algoritması ve radyal temelli fonksiyonlar bütünlük yapıda ilk defa literatürde taşıt parçalarının optimizasyonunda kullanılmıştır. / Arithmetic optimization algorithm and artificial neural networks were used for the first time in the literature in the optimization of vehicle parts in an integrated structure.

### Bulgular (Findings)

Aritmetik optimizasyon yöntemiyle hafif araç tasarımı olanaklı olmuştur. / Light vehicle design became possible with the arithmetic optimization method.

### Sonuç (Conclusion)

Simülasyon ve optimizasyon sonuçları yeni geliştirilen optimizasyon algoritmalarının araç bileşenlerinin geliştirilmesinde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. / Simulation and optimization results revealed that newly developed optimization algorithms can be used in the development of vehicle components.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission

# Aritmetik Optimizasyon Algoritması Kullanarak Taşıt Elemanlarının Çarpışma Performansının Eniyilemesi

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Betül Sultan YILDIZ\***

Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 20.04.2023 ; Kabul/Accepted : 16.06.2023 ; Erken Görünüm/Early View : 24.08.2023)

## ÖZ

Bu çalışmada çarpışmaya maruz kalan otomobil bileşenlerinin optimum tasarımında yeni geliştirilen aritmetik optimizasyon algoritması literatürde ilk defa kullanılmıştır. Optimizasyon çalışmasında çarpışma ve NVH özelliklerinin güçlendirilmesi ile bağlantılı olarak tasarım amacı araç ağırlığının en aza indirilmesidir. Araç performansı analizi için, aslına uygun, kapsamlı bir otomobil yapısı kullanılmıştır. Doğal frekanslar ile birlikte tam, ofset ve yan etki çarpışma senaryolarını incelemek için sonlu eleman modellerinin hem çoklu çarpma analizi hem de titreşim analizi yapılmıştır. Değerlendirilen yapısal tepkiler, radyal temelli fonksiyonlar tekniğine dayalı olarak tahmin edilir. Çeşitli doğrusal olmayan çarpışma ve titreşim sınırları altında araç kütlelerini optimize etmek için aritmetik optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Sonuçlar aritmetik optimizasyon algoritmasının araç bileşenlerinin optimum tasarımındaki etkinliğini ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Aritmetik optimizasyon algoritması, metasezgiseller, çarpışma, taşıt tasarımı, optimum tasarım.

# Crash Performance Optimization of Vehicle Elements Using Arithmetic Optimization Algorithm

## ABSTRACT

In this study, the newly developed arithmetic optimization algorithm is used for the first time in the literature for the optimum design of automobile components exposed to crash. In conjunction with the enhancement of crash and NVH characteristics in the optimization study, the design objective is to minimize vehicle weight. For vehicle performance analysis, a comprehensive automobile structure, faithful to the original, was used. Both multiple crash analysis and vibration analysis of finite element models were performed to examine full, offset and side impact crash scenarios with natural frequencies. The evaluated structural responses are estimated based on the radial basis functions technique. An arithmetic optimization algorithm is used to optimize the vehicle mass under various nonlinear crash and vibration limits. The results revealed the effectiveness of the arithmetic optimization algorithm in the optimum design of vehicle components.

**Keywords:** Arithmetic optimization algorithm, metaheuristics, crashworthiness, vehicle design, optimum design.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Hızla artan rekabet şartlarında, otomobil tasarımcısının aynı anda hem hafif hem de yüksek performansa sahip bir araç yapısı geliştirmesi zor olması yanında oldukça önemlidir. Bu nedenle, otomobil gövde yapısını farklı yükleme koşullarında incelemek önemlidir. Hafif bir gövdeye sahip otomobilin hem yakıt ekonomisi hemde çarpma dayanıklılığı tasarımlarda önem arz etmektedir [1]. Bu nedenle, bu iki hedef, yorulma, uzun ömür ve gürültü-titreşim-sertlik (NVH) hususları ile birlikte araç yapısal tasarım aşamasına dahil edilir. Bununla birlikte, bu tasarım optimizasyon sorunlarının büyük ölçekli doğası ve karmaşıklığı nedeniyle, deneme yanılma yöntemiyle oluşturulan geleneksel yöntemler genellikle çözmekte başarısız olur ve tipik olarak büyük hesaplama süresi gerektirir [2]. Hafif tasarımın önemi ve yakıt verimliliği ile ilişkisi, araştırmacıları araç yapısal tasarım optimizasyonu için strateji arayışına teşvik eder. Başlangıçta, performans ve çapraz analiz için yüksek doğruluklu hesaplama modelleri araştırılır [3]. Bununla

birlikte, yüksek doğruluklu modeller, güvenlik ve yapısal parametreler arasındaki örtülü ilişki nedeniyle ve optimum tasarım, farklı tasarım noktalarında araç özneteliklerinin değerlendirilmesini gerektirdiğinden, genellikle hesaplama maliyetinin artmasına neden olur. Bu nedenle, araç çarpışma dayanıklılığı verimlilik değerlendirmesi ve NVH optimizasyon prosedürleri için vekil modeller yaygın olarak yararlanılır [4-6]. Bu vekil modeller oldukça verimli olmasına rağmen, önemli hesaplama davranışları NVH'de ve çarpışma testinde temel olarak azaltılmış model uygulamalarına yol açar [7,8]. Bununla birlikte, hesaplama teknolojisindeki son gelişmeler, otomotiv yapılarının tasarımını kolaylaştırmış ve böylece gerçek araç performansı ve rijitlik değerlendirmesi için yüksek kaliteli simülasyon ve vekil modellerde çeşitli tam ölçekli sonlu elemanlar modellerinin geliştirilmesine ve araştırılmasına yardımcı olmuştur [9,10]. Çevre koruma, enerji tasarrufu ve yolcu güvenliğinde otomobilin hafifliği ve çarpışma dayanıklılığının önemi göz önüne alındığında, son birkaç on yılda araç yapısının optimizasyonu için çok çaba sarf edilmiştir [11,12]. Örneğin, ön tampon sisteminin

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : betulyildiz@uludag.edu.tr

optimizasyonu [13], çarpışma kutularının optimizasyonu [14], alt çerçeve optimizasyonu [15], ön raylar optimizasyonu [16], araç kapısının optimizasyonu [17] gibi yüksek çarpışma performansı ve üstün hafiflik düzeyi elde etmek için otomobilin bileşen düzeyinde optimizasyonunu gerçekleştiren çalışmalar yapılmıştır.

Tek hücreli tüpler [18], çok hücreli tüpler[19], köpük dolgulı tüpler[20], kompozit tüpler [21] gibi hafif ve daha iyi performans hedeflerine ulaşmak için ince duvarlı yapılar da birçok araştırmacı tarafından araştırılmaktadır.

NVH sınırları altında topoloji ve boyut optimizasyonu [22], yan darbe için araç gövdesi analizi [23], araca dayalı ve yolcuya dayalı önden darbe analizi [24], önden darbeyi dengeleyici [25] gibi araç gövdesi optimizasyonu ve çarpışma performansı değerlendirme çalışmaları yanında tam ölçekli araç gövdesi optimizasyonu da enerji, ivme ve çarpışma dikkate alınarak araştırılmıştır [26-44].

Hesaplamalı maliyetin azaltılması ve optimizasyon verimliliğinin artırılması için yanıt yüzey modeli [27,28], kriging modeli [29], destek vektör regresyonu [30] ve radyal temel fonksiyonu (RBF) [31] gibi vekil modeller de araştırılmıştır.

Hafiflik ve çarpışma dayanıklılığı, tipik olarak otomobil endüstrilerinin karşılaştığı araç yapısı tasarımı optimizasyon problemlerinin birbiriyle çelişen iki amacıdır. Araç gövdesi tasarım-optimizasyon yaklaşımında, bir optimizasyon algoritması, hesaplama süresini ve maliyetini azalttığı için önemli bir rol oynar. Bu nedenle, araç hafifliğinin gerçekleştirilmesi ve performans iyileştirmesi için birçok optimizasyon metodolojisi araştırılmıştır. Örneğin, otomotiv yapısı [32] ve B sütunu [33] rijitlik incelemesi ve tasarım iyileştirmesi için genetik algoritma (GA), araç yapısının [11] parçacık sürüsü (PSO) tabanlı tasarım optimizasyonu ve büyük hibrit kamyon şasisi [34] araç maliyetlerini azaltmak ve yolcu güvenliğini sağlamak için, yapay arı kolonisi (ABC) algoritmasına dayalı araç önü uzunlaşmasına giriş yapısı optimizasyonu [35], otomobil kapısı optimizasyonu için simüle edilmiş tavlama algoritması [36] ve metasezgisel yöntemlere dayalı birçok karşılaştırmalı çalışma literatürde yayınlanmıştır. Bununla birlikte, karmaşıklık, birden fazla çelişen tasarım değişkeni ve araç tasarım sorunlarıyla ilişkili doğrusal olmama nedeniyle, bu algoritmalar genellikle başarısız oldu ve yerel optimum çözümlere veya yüksek hesaplama süresine neden oldu. Bu nedenle, zorlu araç yapısı tasarım optimizasyon problemlerini verimli bir şekilde çözmeye yardımcı olan küresel ve sağlam optimizasyon tekniğine yönelik bir talep vardır. Global optimuma ulaşmak için bir algoritma için aramanın Global çeşitlendirmesi (keşif) ve kullanımı (yerel yoğunlaştırma) arasında iyi bir değiş tokuş gereklidir. Ancak, eğer bir algoritma yoğunlaştırmaya öncelik veriyorsa, global çeşitlendirmenin yetersiz kaldığı ve bunun tersinin de geçerli olduğu bulunmuştur [39,40].

Bu çalışmada, otomobil yapısı NVH için Aritmetik optimizasyon algoritması yürütülür ve yakın zamanda tanıtılan dört algoritma tarafından gerçekleştirilen çarpışma dayanıklılığı optimizasyonu yapılır. Çok yönlü çarpışma performansı ve titreşim analizi için aslına uygun bir FE modeli kullanıldı. Yapısal tepki, radyal temel fonksiyonlar (RBF) tekniği ile çıkarılmıştır. Doğrusal olmayan bir üst model, kütle minimizasyonu hedefiyle formüle edildi ve yakın zamanda tanıtılan Aritmetik optimizasyon algoritması (AOA) tarafından çözüldü. Ayrıca literatürdeki çekirge sürüsü optimizasyon algoritması (grasshopper optimization algorithm-GOA), karınca aslanı algoritması (ant lion optimizer-ALO) ve parçacık sürüsü optimizasyon algoritması (particle swarm optimizer-PSO) algoritmaları ile de çözüm yapılmıştır. Önerilen otomobil tasarım-optimizasyon problemi için yakın zamanda tanıtılan AOA algoritması incelenmiş ve sonuçlar detaylı olarak tartışılmıştır.

## 2. ARİTMETİK OPTİMİZASYON ALGORİTMASI (ARITHMETIC OPTIMIZATION ALGORITHM)

Abualigah ve diğerleri [51] matematik problemlerinin çözümünde kullanılan aritmetik operatörlerin (Bölme, Toplama, Çarpma ve Çıkarma) dağılım davranışlarından esinlenen AOA adlı yeni bir metasezgisel yöntem önermiştir. Diğer popülasyon temelli optimize ediciler gibi, AOA yöntemi de aramasını rastgele oluşturulmuş aday çözüm seti  $Z$  ile başlatır ve iteratif olarak elde edilen en iyi çözüm, o ana kadar elde edilen optimum çözüm olarak ele alınır.

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{1,1} & \dots & \dots & Z_{1,j} & Z_{1,n-1} & Z_{1,n} \\ Z_{2,1} & \dots & \dots & Z_{2,j} & Z_{2,n-1} & Z_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{m-1,1} & \dots & \dots & Z_{m-1,j} & Z_{m-1,n-1} & Z_{m-1,n} \\ Z_{m,1} & \dots & \dots & Z_{m,j} & Z_{m,n-1} & Z_{m,n} \end{bmatrix}$$

Aramanın başlatılmasından önce, Matematik Optimizasyon Hızlandırıcı (MOA) olarak adlandırılan bir fonksiyon katsayısı denklem 1'deki gibi hesaplanır:

$$MOA(t) = Min + t \left( \frac{Max - Min}{Max_{iter}} \right) \quad (1)$$

MOA(t), t'inci iterasyondaki fonksiyon değeri, Min ve Maks ise sırasıyla hızlandırılmış fonksiyon minimum ve maksimum değeridir.

Algoritmanın keşif aşamasında  $r_2 < 0.5$  ise en uygun çözümü bulmak için Bölme (D) operatörü, aksi takdirde Çarpma (M) operatörü arama stratejisini yürüten keşif operatörleri olarak ele alınır ve denklem 2'ye göre çözüm güncellenir.

If  $r_1 > MOA(t)$

$$Z_{i,j}(t+1) = \begin{cases} best(Z_j) \div (MOP+\epsilon) \times [(UB_j - LB_j) \times \mu + LB_j], & r_2 < 0.5 \\ best(Z_j) \times (MOP) \times [(UB_j - LB_j) \times \mu + LB_j], & otherwise \end{cases} \quad (2)$$

$$MOP(t) = 1 - \left(\frac{t}{MaxIter}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$$

Burada  $r_1$  ve  $r_2$ , 0 ile 1 arasında rastgele sayıları;  $UB_j$  ve  $LB_j$  sırasıyla  $j$ 'inci konumun üst ve alt sınırlarını;  $Z_{i,j}(t+1)$  ve  $Z_j$  sırasıyla bir sonraki iterasyonda ve mevcut iterasyonda  $j$ 'inci konumun  $i$ 'nci çözümünü; MOP, Matematik Optimizasyon Olasılığı adı verilen bir katsayıyı;  $\alpha$  ve  $\mu$ , sırasıyla kullanım ve keşif tutarlılık oranını yöneten hassas parametreleri ifade etmektedir.

Arama aşamasında, çıkarma (S) veya toplama (A) operatörleri, keşif mekanizmasına benzer şekilde ele alınır ve AOA, eğer  $r_3 < 0.5$  ise Çıkarma (S) arama stratejisi aksi durumda Toplama (A) temelinde yoğun bölgede yerel yoğunlaştırmayı gerçekleştirir.

If  $r_1 \leq MOA(t)$

$$Z_{i,j}(t+1) = \begin{cases} best(Z_j) - (MOP+\epsilon) \times [(UB_j - LB_j) \times \mu + LB_j], & r_3 < 0.5 \\ best(Z_j) + (MOP) \times [(UB_j - LB_j) \times \mu + LB_j], & otherwise \end{cases} \quad (3)$$

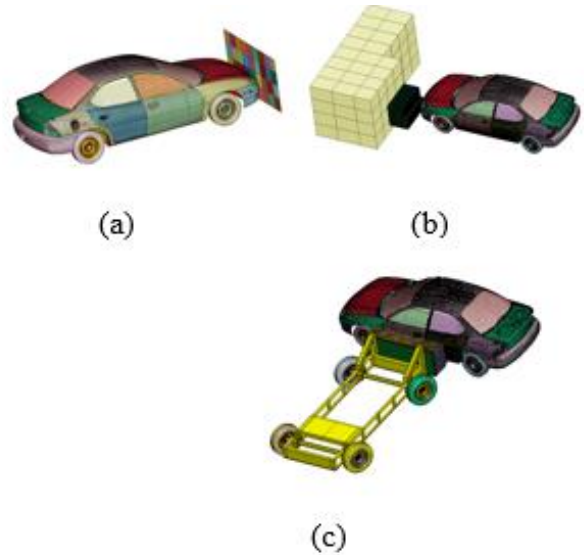
### 3. TAŞIT ÇARPIŞMA OPTİMİZASYONU (VEHICLE COLLISION OPTIMIZATION)

Bu çalışmada, son zamanlarda önerilen metasezgisellerin performansını araştırmak için, toplam ağırlık azaltmanın amaç fonksiyonu olduğu bir Dodge Neon marka binek aracın tasarım optimizasyon problemi dikkate alınmıştır. Simülasyon modeli, titreşim ve çarpışma performansı parametrelerinin kontrolünde önemli bir role sahip olan belirli bir yapısal bileşen kümesiyle sınırlıdır. Çarpışma analizinin yapıldığı gerçek araç modeli Şekil 1.'de gösterilmiştir.



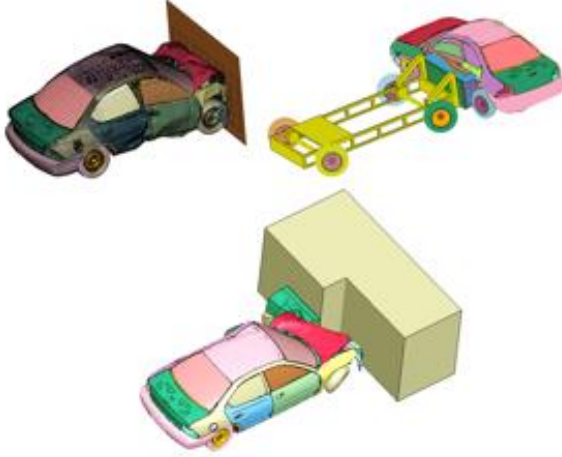
Şekil 1. Dodge Neon prototip modeli/ Prototype model Dodge Neon [2]

Çarpışma performansı analizi için tam ölçekli yüksek kaliteli bir sonlu elemanlar araç modeli kullanılmıştır. Hesaplamalı analiz, üç kaza senaryosu olan; tam önden çarpışma (full frontal impact-FFI), kaydırılmış önden çarpışma (offset frontal impact-OFI) ve yandan çarpışma (side impact-SI) durumları için gerçekleştirilmiş olup Şekil 2.'de gösterilmiştir. Burada toplam ağırlığı 1333 kg olan 337 adet otomotiv bileşeni dikkate alınmıştır. Sonlu elemanlar modeli 271111 eleman içermektedir.



Şekil 2. İncelenen üç araç senaryosu/ Three vehicle scenarios examined: (a) FFI, (b) OFI, ve (c) SI.

FFI çarpışma senaryosu bu modelde, sert bir duvara doğru 56 km/s hızla giden bir aracın önden çarpışmasını simüle ederek kullanılırken, araç modelinin OFI durumunda %40 ofset ile deforme olabilen bariyere 60 km/s ile çarptığı kabul edilmiştir. Sürücü tarafındaki SI çarpışma senaryosunu 27°'lik bir açıyla analiz etmek için hareketli bir deforme olabilen bariyere (MDB), araç FE modeli dururken 52,5 km/s'lik bir bağıl hızla çarptırılır. Dikkate alınan tüm üç çarpışma senaryosu sonucu oluşan deforme araç şekilleri Şekil 3.'te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.Çarpışma sonrası araç durumları/ Post-collision vehicle conditions

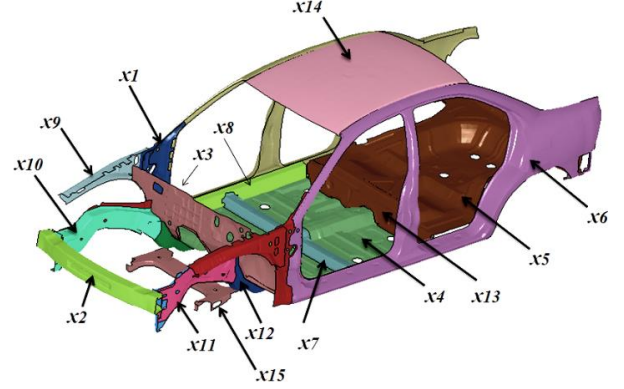
Çarpışma senaryolarına bağlı olarak, gerçek çarpışma testi uygulanırken aracın birçok kısmına çok sayıda ivmeölçer yerleştirilir ve bunlar yardımıyla elde edilen test verileri simülasyondan elde edilen ivme eğrileriyle karşılaştırılır. Yapılan deneylerde, en yüksek ivmeyi kaydetmek için ivmeölçerler FFI senaryosu için sol arka koltuğa, OFI için eşiğe ve SI için çarpma tarafı B Sütunu orta noktasına yerleştirilmiştir [1,2,32].

Otomobilin yapısal enerji emme kapasitesi, neredeyse yolcu güvenliğine eşdeğerdir ve bu nedenle bu araştırmadaki üçüncü yanıt olarak kabul edilir. Aracın yüksek çarpışma enerjisi emilimine sahip olması demek en yüksek ivme düşüşüne ve sonuç olarak bir çarpışma sırasında yüksek yolcu güvenliğine sebep olması demektir. [1,2].

Verimli NVH özelliklerine sahip bir otomobil, yolcunun sürüş kalitesinin artmasına yol açar ve bu nedenle araç yapı tasarımına dahil edilmesi gerekmektedir [1]. Araç NVH özelliklerini etkileyen çeşitli değişkenler arasında yapısal sağlamlık, tipik olarak çeşitli esnek modlara karşılık gelen titreşim frekansları tahminleriyle karşılaştırılan çok önemli bir değişken olarak kabul edilmektedir [2]. Bu nedenle, bu çalışmada eğilme, burulma ve birleşik eğilme-burulma frekansları titreşim tepkisi olarak kabul edilmiştir.

Şekil 4.'de gösterildiği gibi, aracın ağırlığının en aza indirilmesi amacıyla tüm araba gövdesinin çarpışma dayanıklılığı, enerji emilimi ve titreşim özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olan yirmi iki bileşeni incelenmiştir [1,2]. Bu yirmi iki bileşen, araç gövdesi simetrisi de göz önünde bulundurularak duvar kalınlığının 15 tasarım değişkeni ( $x_1, x_2, \dots, x_{15}$ ) şeklinde gösterilmiştir.

Bununla birlikte, çalışmanın kapsamı, araç performansı üzerinde büyük etkisi olan FFI, OFI ve SI senaryoları için seçilen bileşenlerin boyutlandırma optimizasyonuna daraltılmıştır.



Şekil 4.1996 model Dodge Neon aracın tasarım değişkenleri/Design variants of the 1996 Dodge Neon vehicle

Amaç olarak ağırlık minimizasyonu seçilerek önerilen vekil tabanlı tam ölçekli yüksek doğruluk modeli şu şekilde formüle edilebilir:

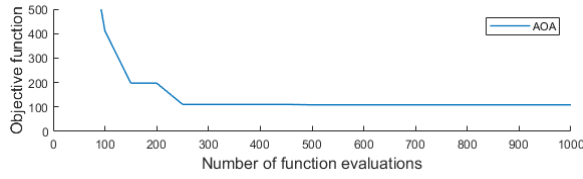
$$\begin{aligned} & \min f(x) \\ \text{s.t. } & \begin{cases} g_i(x) = R_i(x) - R_i^b \leq 0 & i=1 \dots 8 \\ g_i(x) = R_i^b - R_i(x) \geq 0 & i=9 \dots 14 \\ 0.5x_j^b \leq x_j \leq 1.5x_j^b & j=1 \dots 15 \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

Burada  $f(x)$ , seçilen bileşenin toplam kütlesine eşdeğer olan amaç fonksiyonunu;  $g_{1-8}(x)$ , birinci kısıtlama fonksiyonunu (yani FFI, OFI ve SI senaryosu için izinsiz giriş mesafelerini ve ivmeyi);  $g_{9-14}(x)$ , iç enerjinin ve temel frekansların sınırını temsil etmektedir. Önerilen AOA algoritmasının toplam 1000 iterasyon için tasarım optimizasyon problemi araştırılmıştır. Maksimum performansı ve en düşük uygunluk değerini değerlendirmek için, ilgili algoritmaların aralığına karşılık gelen parametre ayarı yürütülmüştür. Mevcut araştırma, dikkate alınan dört optimizasyon metodolojisinin tamamının etkinliğini değerlendirmek için hesaplama döngüsünden sonra tasarım değişkenlerinde bir dönüşümle birlikte bulunan optimal fonksiyonel değerleri dikkate almıştır. Tüm optimize ediciler tarafından elde edilen farklı aralık hedef değerleri nicel olarak Çizelge 1. 'de gösterilmiştir. Şekil5. AOA algoritmasının yakınsamasını göstermektedir.

**Çizelge 1.** Dört farklı algoritmanın 1000 iterasyon için amaç fonksiyonuna (parça ağırlığı-kg) göre karşılaştırmalı sonuçları/ Comparative results of four different algorithms according to objective function (piece weight-kg) for 1000 iterations

Algoritma	Ortalama	Maksimum	Minimum	Standart sapma
AOA	96.2376	97.3198	81.04051	2.236985
GOA	109.3904	116.8785	104.3444	3.298338
ALO	103.6849	108.85606	102.20068	4.197757
PSO	105.1334	109.487	102.2429	2.347593





**Şekil 5.** Aritmetik optimizasyon algoritması yakınsama grafiği /Arithmetic optimization algorithm convergence graph

Ele alınan algoritmaları karşılaştırmak için, amaç fonksiyonu değeri istatistiksel olarak, yani kütlenin Ortalama, Maksimum, Minimum ve Standart Sapma değerleri cinsinden tasvir edilir. Kapsamlı bir analiz için, AOA algoritması tarafından elde edilen toplam kütle, Çizelge 1'de farklı yineleme aralıklarıyla sunulmuştur. AOA algoritmasının, ilk iterasyondan 1000 iterasyon sayısına kadar 81.04051 kg'lık optimum kütle değerine ulaştığı için en iyisi olduğu açıktır. İstatistiksel sonuçlar, AOA algoritmasının çekirge sürüsü algoritması(GOA), karınca aslanı algoritması(ALO) ve parçacık sürüsü algoritmasına (PSO) göre maksimum, minimum ve standart sapma değerleri açısından daha iyi sonuçlar ortaya koymaktadır.

Sonuçlara kapsamlı bir şekilde dayalı olarak, AOA'nın dikkate alınan büyük ölçekli araç yapıları optimizasyon problemleri için verimlilik ve arama tutarlılığı açısından diğerlerinden daha iyi performans gösterdiği söylenebilir.

#### 4. SONUÇLAR(RESULTS)

Bu çalışmada otomobil yapısal tasarım optimizasyonu için vekil tabanlı bir yaklaşım önerilmiş ve dört yeni optimizasyon algoritması ile çözülmüştür. Aracın yapısal ağırlığının minimizasyonu amaç olarak alınırken, çarpışma mesafesi, maksimum hızlanma, titreşim ve dahili enerji depolama kapasiteleri tasarım sınırlarıdır. Önerilen FE modeli, FFI, OFI ve SI senaryosu için simüle edilmiş, ardından titreşim analizi yapılmıştır. Çarpışmaya dayanıklılık ve NVH yanıtı yaklaşımı için RBF tabanlı bir meta modelleme tekniği uygulanmıştır. Tam ölçekli yüksek doğruluklu otomobil modelleri için dikkate alınan algoritmalarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre AOA algoritması diğerlerinden üstün bulunmuştur. Ayrıca, ele alınan metasezgisel yöntemler, gerçek hayattaki büyük ölçekli tasarım optimizasyon problemleri için çok uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

İlgilenen araştırmacılar bu çalışmayı benzer algoritmalara sahip çok amaçlı optimizasyon problemleri için genişletebilirler. Simülasyon ile gerçek dünya arasındaki boşluğu kapatmak için belirsizliklerin dahil edildiği bir araştırma yapılabilir. Ayrıca, önerilen problem için çeşitli yeni optimize edicilerin dikkate alınması ilginç bulunabilir.

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

#### YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Betül Sultan YILDIZ:** Çalışmaları gerçekleştirip, makaleyi yazmıştır.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

#### SİMGELER VE KISALTMALAR (ICONS AND ABBREVIATIONS)

Simgeler	Açıklamalar
Z	Aday çözüm seti
$r_1, r_2$	0 ile 1 arasında rastgele sayı
$UB_j$	j'inci konumun üst sınırı
$LB_j$	j'inci konumun alt sınırı
$Z_{i,j}(t + 1)$	Bir sonraki yinelemede j'inci konumun i'ninci çözümü
$Z_j$	Mevcut yinelemede j'inci konumun i'ninci çözümü
MOP	Math optimizer olasılığı katsayısı
$\alpha$	Kullanım tutarlılık oranı parametresi
$\mu$	Keşif tutarlılık oranı parametresi

Kısaltmalar	Açıklamalar
NVH	Gürültü-titreşim-sertlik
RBF	Radyal temelli fonksiyonlar
GA	Genetik algoritma
PSO	Parçacık sürüsü optimizasyonu
ABC	Yapay arı kolonisi algoritması
FE	Sonlu elemanlar
AOA	Aritmetik optimizasyon algoritması
MOA	Math optimizer accelerated
FFI	Tam önden darbe
OFI	Offset önden darbe
SI	Yan darbe
MDB	Hareketli deforme olabilen bariyer
BIW	(Body-in-White) Araçlarda metal parçaların birleştirilmesiyle oluşturulmuş ilk gövdesi

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kiani M., Gandikota I., Parrish A., Motoyama K., and Rais-Rohani M., "Surrogate-based optimisation of automotive structures under multiple crash and vibration design criteria", *International journal of crashworthiness*, 18(5): 473-482, (2013).
- [2] Kiani M., and Yildiz A. R., "A comparative study of non-traditional methods for vehicle crashworthiness and NVH optimization", *Archives of Computational Methods in Engineering*, 23(4): 723-734, (2016).
- [3] Sobieszczanski-Sobieski J., Kodiyalam S., and Yang R. Y., "Optimization of car body under constraints of noise, vibration, and harshness (NVH), and crash", *Structural and multidisciplinary optimization*, 22(4): 295-306, (2001).
- [4] Simpson T. W., Poplinski J. D., Koch P. N., and Allen J. K. "Metamodels for computer-based engineering design: survey and recommendations", *Engineering with computers*, 17(2): 129-150, (2001).
- [5] Fang H., Rais-Rohani M., Liu Z., and Horstemeyer M. F., "A comparative study of metamodeling methods for multiobjective crashworthiness optimization", *Computers & structures*, 83(25-26) : 2121-2136, (2005).
- [6] Liao X., Li Q., Yang X., Li W., and Zhang W., "A two-stage multi-objective optimisation of vehicle crashworthiness under frontal impact", *International Journal of Crashworthiness*, 13(3) : 279-288, (2008).
- [7] Zhu P., Pan F., Chen W., and Zhang S., "Use of support vector regression in structural optimization: application to vehicle crashworthiness design", *Mathematics and Computers in Simulation*, 86, 21-31, (2012).
- [8] Yu L., Gu X., Qian L., Jiang P., Wang W., and Yu M., "Application of tailor rolled blanks in optimum design of pure electric vehicle crashworthiness and lightweight", *Thin-Walled Structures*, 161, 107410, (2021).
- [9] Kirkpatrick S. W., Simons J. W., and Antoun T. H., "Development and validation of high fidelity vehicle crash simulation models", *International journal of crashworthiness*, 4(4) : 395-406, (1999).
- [10] Bayarri M. J., Berger J. O., Kennedy M. C., Kottas A., Paulo R., Sacks J., and Tu J., "Predicting vehicle crashworthiness: Validation of computer models for functional and hierarchical data", *Journal of the American Statistical Association*, 104(487) : 929-943, (2009).
- [11] Yildiz A. R., and Solanki K. N., "Multi-objective optimization of vehicle crashworthiness using a new particle swarm based approach", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 59(1-4) : 367-376, (2012).
- [12] Xiong F., Wang D., Ma Z., Chen S., Lv T., and Lu F., "Structure-material integrated multi-objective lightweight design of the front end structure of automobile body", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 57, 829-847, (2018).
- [13] Xiong F., Zou X., Zhang Z., and Shi X., "A systematic approach for multi-objective lightweight and stiffness optimization of a car body", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 62, 3229-3248, (2020).
- [14] Zhou G., Ma Z. D., Li G., Cheng A., Duan L., and Zhao W., "Design optimization of a novel NPR crash box based on multi-objective genetic algorithm", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 54(3) : 673-684, (2016).
- [15] Wang D., Jiang R., and Wu, Y., "A hybrid method of modified NSGA-II and TOPSIS for lightweight design of parameterized passenger car sub-frame", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 30(11) : 4909-4917, (2016).
- [16] Kohar C. P., Zhumagulov A., Brahme A., Worswick M. J., Mishra R. K., and Inal, K., "Development of high crush efficient, extrudable aluminium front rails for vehicle lightweighting", *International Journal of Impact Engineering*, 95, 17-34, (2016).
- [17] Fang J., Gao Y., Sun G., Xu C., and Li Q., "Multiobjective sequential optimization for a vehicle door using hybrid materials tailor-welded structure", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 230(17) : 3092-3100, (2016).
- [18] Pang T., Li Y., Kang H., Sun G., Fang J., and Li Q., "On functionally-graded crashworthy shape of conical structures for multiple load cases", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(6) : 2861-2873, (2017).
- [19] Yao R., Pang T., He S., Li Q., Zhang B., and Sun G., "A bio-inspired foam-filled multi-cell structural configuration for energy absorption", *Composites Part B: Engineering*, 238, 109801, (2022).
- [20] Zarei H. R., and Kröger M., "Optimization of the foam-filled aluminum tubes for crush box application", *Thin-Walled Structures*, 46(2) : 214-221, (2008).
- [21] Fan D., Qi-hua M., Xue-hui G., and Tianjun Z., "Crashworthiness analysis of perforated metal/composite thin-walled structures under axial and oblique loading", *Polymer Composites*, 42(4) : 2019-2036, (2021).
- [22] Ren X., Zhang Y., Han C. Z., Han D., Zhang X. Y., Zhang X. G., and Xie Y. M., "Mechanical properties of foam-filled auxetic circular tubes: Experimental and numerical study", *Thin-Walled Structures*, 170, 108584, (2022).
- [23] Marklund P. O., and Nilsson L., "Optimization of a car body component subjected to side impact", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 21(5) : 383-392, (2001).
- [24] Liao X., Li Q., Yang X., Li W., and Zhang W., "A two-stage multi-objective optimisation of vehicle crashworthiness under frontal impact", *International Journal of Crashworthiness*, 13(3) : 279-288, (2008).
- [25] Duddeck F., "Multidisciplinary optimization of car bodies", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 35(4) : 375-389, (2008).
- [26] Fang H., Rais-Rohani M., Liu Z., and Horstemeyer M. F., "A comparative study of metamodeling methods for multiobjective crashworthiness optimization" *Computers & structures*, 83(25-26) : 2121-2136, (2005).
- [27] Kurtaran, H., Eskandarian A., Marzougui D., and Bedewi N. E., "Crashworthiness design optimization using successive response surface approximations", *Computational mechanics*, 29(4-5) : 409-421, (2002).
- [28] Stander N., Roux W., Giger M., Redhe M., Fedorova N., and Haarhoff J., "A comparison of metamodeling techniques for crashworthiness optimization", *In 10th*



- AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference* (p. 4489), (2004).
- [29] Kaps A., Czech C., and Duddeck F., “A hierarchical kriging approach for multi-fidelity optimization of automotive crashworthiness problems”, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 65(4) : 114, (2022).
- [30] Qian L., Yu L., Huang, Y., Jiang P., and Gu X., “Improved whale optimization algorithm and its application in vehicle structural crashworthiness”, *International Journal of Crashworthiness*, 28(2) : 202-216, (2023).
- [31] Yin H., Meng F., Zhu L., and Wen G., “Optimization design of a novel hybrid hierarchical cellular structure for crashworthiness”, *Composite Structures*, 303, 116335, (2023).
- [32] Kiani M., Motoyama K., Rais-Rohani M., and Shiozaki H., “Joint stiffness analysis and optimization as a mechanism for improving the structural design and performance of a vehicle”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 228(6):689-700, (2014).
- [33] Yang Z., Peng Q., and Yang J., “Lightweight design of B-pillar with TRB concept considering crashworthiness”, *In 2012 Third International Conference on Digital Manufacturing & Automation* (pp. 510-513), IEEE, (2012,).
- [34] De S., Singh K., Seo J., Kapania R. K., Ostergaard E., Angelini N., and Aguero R., “Lightweight Chassis Design of Hybrid Trucks Considering Multiple Road Conditions and Constraints”, *World Electric Vehicle Journal*, 12(1) : 3, (2021).
- [35] Duan L., Sun G., Cui J., Chen T., Cheng A., and Li G., “Crashworthiness design of vehicle structure with tailor rolled blank”, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 53(2) : 321-338, (2016).
- [36] Lee K. H., and Kang D. H., “Structural optimization of an automotive door using the kriging interpolation method”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 221(12) : 1525-1534, (2007).
- [37] Yıldız, B. S., Kumar, S., Pholdee, N., Bureerat, S., Sait, S. M., Yıldız, A. R., “A new chaotic Lévy flight distribution optimization algorithm for solving constrained engineering problems”, *Expert Systems*, 39(8) : e12992, (2022).
- [38] Yıldız B. S., and Yıldız A. R., “Comparison of grey wolf, whale, water cycle, ant lion and sine-cosine algorithms for the optimization of a vehicle engine connecting rod”, *Materials Testing*, 60(3) : 311-315, (2018).
- [39] Yıldız, B.S., “Robust design of electric vehicle components using a new hybrid salp swarm algorithm and radial basis function-based approach”, *International Journal of Vehicle Design*, 83(1) : 38-53,(2020)
- [40] Yıldız, B. S., “Slime mould algorithm and kriging surrogate model-based approach for enhanced crashworthiness of electric vehicles”, *International Journal of Vehicle Design*, 83(1) : 54-68, (2020)
- [41] Yildirim, A., Demirci, E., Karagöz, S., Özcan, Ş., Yıldız, A. R., “Experimental and numerical investigation of crashworthiness performance for optimal automobile structures using response surface methodology and oppositional based learning differential evolution algorithm”, *Materials Testing*, 65(3) : 346-363,(2023)
- [42] Güler, T., Demirci, E., Yıldız, A. R., Yavuz, U., “Lightweight design of an automobile hinge component using glass fiber polyamide composites”, *Materials Testing*, 60(3) : 306-310,(2018).
- [43] Demirci, E., Yıldız, A. R., “An experimental and numerical investigation of the effects of geometry and spot welds on the crashworthiness of vehicle thin-walled structures”, *Materials Testing*, 60(6) : 553-561,(2018).
- [44] Demirci, E., Yıldız, A. R., “An investigation of the crash performance of magnesium, aluminum and advanced high strength steels and different cross-sections for vehicle thin-walled energy absorbers”, *Materials Testing*, 60(7-8) : 661-668,(2018).