

**ARI ALGORİTMASI KULLANILARAK ÖNDEN DÜMENLEMELİ BİR ARACIN
DÜMENLEME MEKANİZMASININ OPTİMİZASYONU**
OPTIMIZATION OF THE STEERING LINKAGE OF A FRONT-WHEEL-STEERING
VEHICLE BY USING THE BEES ALGORITHM

Abdullah ERDEMİR

MPG Makine Prodüksiyon Grubu Makine İml. San. ve Tic. A.Ş., Konya/TURKIYE
MPG Machinery Production Group Inc. Co., Konya/TURKIYE
ORCID NO: 0000-0002-7267-3111

Veysel ALVER

MPG Makine Prodüksiyon Grubu Makine İml. San. ve Tic. A.Ş., Konya/TURKIYE
MPG Machinery Production Group Inc. Co., Konya/TURKIYE
ORCID NO: 0000-0002-7917-8295

Mete KALYONCU

Prof. Dr., Konya Teknik Ü., Müh. ve Doğa Bil. Fakültesi, Makina Müh. Bölümü, Konya/TURKIYE
Prof. Dr. Konya Technical U., Faculty of Eng. and Natural Sci., Dep. of Mech. Eng., Konya/TURKIYE
ORCID NO: 0000-0002-2214-7631

ÖZET

Bu çalışmada, önden dümenlemeli bir aracın dümenleme mekanizmasının Arı Algoritması kullanılarak optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Burada dümenleme mekanizması olarak dört çubuk mekanizması kullanılmıştır. Dümenleme açıları dört çubuk mekanizmasının kinematik analizinden hesaplanmıştır. Genellikle araçların dümenleme mekanizmaları Ackerman geometrisi kullanılarak tasarlanmaktadır. Ackerman geometrisi, farklı yarıçapların çevrelerini takip etmeye ihtiyaç duyan bir dönüşün içindeki ve dışındaki tekerleklerin problemini çözmek için tasarlanmış dümenleme mekanizmasının geometrik düzenlemesidir. Ackerman geometrisinin amacı, dönüş sırasında bir eğri etrafındaki yolu takip ederken, lastiklerin yanlara kaymasını ve ilave yan yüklerin gelmesini önlemektir. Bunun geometrik çözümü, tüm tekerleklerin akslarının ortak bir merkez noktaya sahip daire yarıçapları olarak düzenlenmesidir. Ancak, aracın dönmesi sırasında Ackerman kuralı olarak bilinen ideal kuralın sağlanacağı her zaman garanti edilemez. Bu nedenle, boyutsal sentez, her iki dümenleme tekerinin araç dönerken Ackerman kuralına mümkün olduğunca uyması için sahip olması gereken dümenleme mekanizması boyutlarını belirlemeyi amaçlayan optimizasyon yoluyla yapılmıştır. Bu çalışmada, Ackerman kuralı ve dört çubuk mekanizması kinematik analizi ile elde edilen dümenleme açıları arasındaki hatayı en aza indirmek için Arı Algoritması kullanılmıştır. Optimizasyon sonucu elde edilen sonuçlar, Ackerman hatasını

azaltmış ve dümenleme mekanizması boyutlarında iyileştirme yapılabileceğini göstermiş ve grafikler halinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Arı Algoritması, dümenleme mekanizması, Ackerman kuralı, boyutsal sentez, optimizasyon

ABSTRACT

In this study, the steering linkage of a front-wheel-steering vehicle was optimized using the Bee Algorithm. Here, a four-bar linkage is used as the steering linkage. Steering angles were calculated from the kinematic analysis of the four-bar linkage. Generally, steering linkages of vehicles are designed using Ackerman geometry. Ackerman geometry is the geometric arrangement of the steering linkage designed to solve the problem of wheels inside and outside of a turn that need to follow the circumferences of different radii. The purpose of Ackerman geometry is to prevent the tires from slipping sideways and causing additional lateral loads when following the path around a curve during a turn. The geometric solution to this is that the axles of all wheels are arranged as radii of circles with a common center point. However, it is not always guaranteed that the ideal rule, known as the Ackerman rule, will be met during vehicle rotation. Therefore, the dimensional synthesis has been done through optimization aiming to determine the steering linkage dimensions that both steering wheels must obey the Ackerman rule as much as possible while the vehicle is turning. In this study, the Bee Algorithm was used to minimize the error between the steering angles obtained by the Ackerman rule and the four-bar linkage kinematic analysis. The results obtained as a result of the optimization reduced the Ackerman error and showed that the dimensions of the steering linkage could be improved and presented in graphics.

Keywords: The Bees Algorithm, Steering linkage, Ackerman's rule, dimensional synthesis, optimization

1. GİRİŞ

Uzun yıllardan beri bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle çok uzuvlu karmaşık mekanizmaların boyut sentezi problemleri çok gözde bir konu olmuştur [1]. Araçların yönlendirilmesi için kullanılan sistemler ise genellikle çok uzuvlu mekanizmalardır. Mekanizmaların karmaşıklaşması ile beraber doğrudan analitik çözüm elde edilmesi zor olduğundan çeşitli sayısal ve optimizasyon yöntemleri kullanılarak analiz ve tasarımlar gerçekleştirilir. Boyutlandırması uygun olmayan çok uzuvlu mekanizmaların kullanımı sonucunda araçlarda, Ackerman hatası oluşur ve bu da lastiklerin aşınmasına ve araca ilave yanal zorlamaların gelmesine sebep olur [2]. Bu durum, aynı zamanda aracın istenen yörüngede manevra yapamamasına ve manevra esnasında titreşimlerin oluşmasına yol

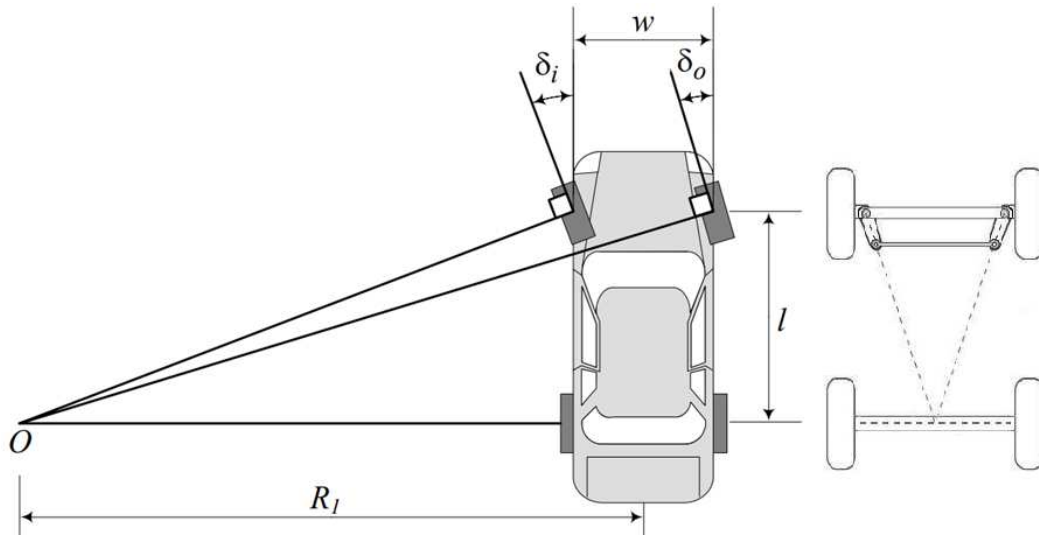
açmaktadır. Çok uzuvlu mekanizmalarda, istenilen yörüngeyi takip edilebilmesi için, Ackerman hatasını minimize eden uzuv boyutlarının belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada konuda bilim insanlarını yapmış olduğu çok sayıda çalışma vardır [3-16]. Bu çalışmada, Ackerman hatasının minimum yapacak şekilde dört çubuk mekanizması olarak tasarlanan dümenleme mekanizmasının sentezi gerçekleştirilmiştir. Mekanizma boyutlarının optimizasyonunda birçok optimizasyon probleminde kullanılan Arı Algoritması [17-30] kullanılmıştır.

2. ACKERMAN GEOMETRİSİ

Bu çalışmada kullanılan sola dönen önden dümenlemeli bir araç Şekil 1’de görülmektedir. Araç çok yavaş hareket ettiğinde, iç ve dış tekerlekleri ilişkilendiren ve bunların kaymadan dönmesini sağlayan bir kinematik durum söz konusudur. Her lastik düzleminin merkezine giden normal doğru ortak bir noktada kesişmeli ve sıfır hızda kaymadan dönüş sağlamak için biri hariç tüm akslar yönlendirilebilir olmalıdır [2]. Bu geometrik ilişki Ackerman kuralı olarak adlandırılır ve Şekil 1’de ifade edilmiştir.

$$\cot \delta_o - \cot \delta_i = (w/l) \quad (1)$$

Denklem 1’de, w ; yönlendirilebilir tekerleklerin yönlendirme eksenleri arasındaki iz mesafesi, l ; ön ve arka dingil arasındaki dingil mesafesi, δ_i ; iç tekerleğin dümenleme açısı ve δ_o dış tekerleğin dümenleme açısıdır.

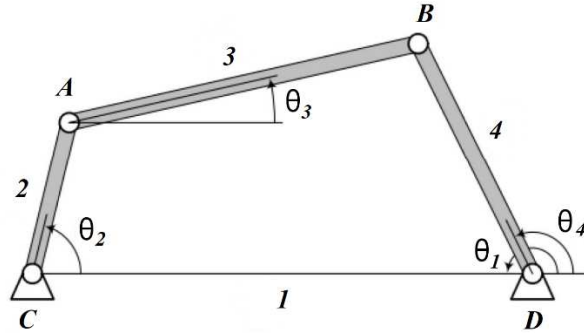


Şekil 1. Önden dümenlemeli bir araç [2] ve Ackerman geometrisi

3. DÖRT ÇUBUK MEKANİZMASI KONUM ANALİZİ

Araçların mekanik aksamalarında özellikle dümenleme mekanizmalarında kullanılan mekanizmaların çoğu dört çubuk mekanizmalarıdır. Bu mekanizma, Şekil 2’de görülmektedir. Bu mekanizmada, 1 nolu uzuv (\overline{CD}), tüm açıların ve değişkenlerin ölçüleceği referans uzuv

olarak kullanılır. 2 nolu uzuv (\overline{AC}), giriş uzvu olarak adlandırılır ve θ_2 giriş açısı tarafından kontrol edilir. 4 nolu uzuv (\overline{BD}), çıkış uzvu olarak adlandırılır ve konumu, θ_4 çıkış açısının bir fonksiyonu olarak tanımlanır. 3 nolu uzuv (\overline{AB}), 2 ve 4 nolu uzuvları bağlayan uzuv olup θ_3 açısal konumu ile tanımlanır. Çıkış uzvunun açısal konumu θ_4 , uzuvların uzunluklarının ve θ_2 giriş konumunun bir fonksiyonudur. θ_4 açısı aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanabilir.



Şekil 2. Dört çubuk mekanizması

$$\theta_4 = 2 \arctan \left[\frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \right] \quad (2)$$

Denklem 2'deki A, B ve C Denklem 3'te gösterilmiştir.

$$A = Z_3 - Z_1 + (1 - Z_2) \cos \theta_2, \quad B = -2 \sin \theta_2, \quad C = Z_1 + Z_3 - (1 + Z_2) \cos \theta_2 \quad (3)$$

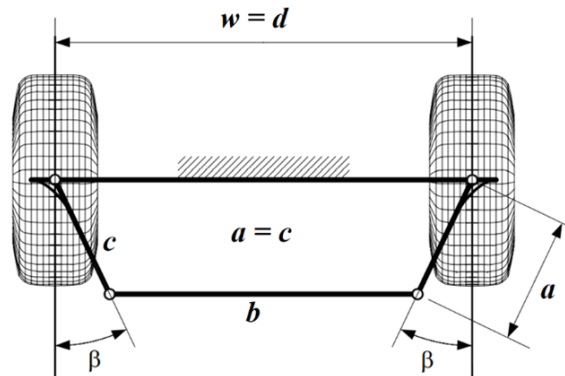
Dört çubuk mekanizmasının vektör poligonundan aşağıdaki denklemleri tanımlamak mümkündür.

$$Z_1 = d/a, \quad Z_2 = d/c, \quad Z_3 = (a^2 - b^2 + c^2 + d^2)/2ac \quad (4)$$

Denklem 4'te a; 2 nolu uzvun uzunluğu, b; 3 nolu uzvun uzunluğu, c; 4 nolu uzvun uzunluğu ve d; 1 nolu uzvun uzunluğudur. Bu denklemlerden dört çubuk mekanizmasının uzuv uzunlukları bilindiği sürece, giriş açısına bağlı olarak diğer uzuv açılarını ve çıkış açısını hesaplamak mümkündür.

$$Z_1 \cos \theta_4 - Z_2 \cos \theta_2 + Z_1 = \cos(\theta_4 - \theta_2) \quad (5)$$

Dört çubuk mekanizmasına ait bu denklemlerin dümenleme mekanizması olarak kullanılabilmesi için mekanizmaların birbirlerine göre uyarlanması gerekir. Şekil 3'te dört çubuk mekanizmasının dümenleme mekanizması olarak uyarlanması görülmektedir.



Şekil 3. Dört çubuk mekanizmasının dümenleme mekanizması olarak uyarlanması
Bu değerlendirmelerden sonra tekerleklerin dümenleme açıları β , θ_2 ve θ_4 'ün bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir.

$$\delta_i = 90^\circ - \theta_2 - \beta \quad (6)$$

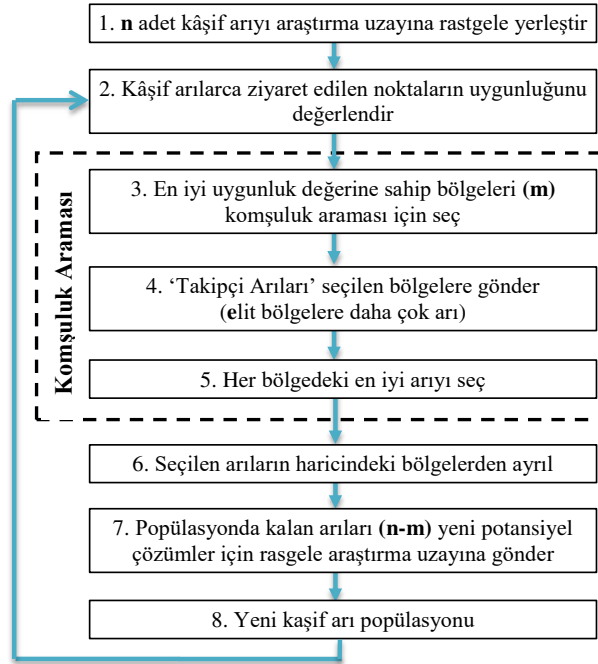
$$\delta_o = 90^\circ - \theta_4 + \beta \quad (7)$$

Denklem 6 ve 7'de, δ_i ; iç tekerleğin dümenleme açısı ve δ_o ; dış tekerleğin dümenleme açısıdır. Şekil 3'teki b boyutu ise d, β ve a'nın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibidir:

$$b = d - 2a \sin \beta \quad (8)$$

4. ARI ALGORİTMASI

Bu bölümde, temel Arı Algoritması açıklanmıştır. Arıların kaynak (nektar, su vb.) arama davranışları, öğrenme, hatırlama ve bilgi paylaşma özellikleri sürü zekâsının en ilgi çekici araştırma alanlarından birisidir. Arı Algoritması [17-30], ilk olarak 2006 yılında D.T. Pham ve arkadaşları tarafından önerilmiş olup, bal arılarının kaynak arama davranışını taklit eden popülasyon tabanlı, sezgisel bir arama algoritmasıdır. Arı Algoritmasına ait akış şeması Şekil 4 'de verilmiştir.



Şekil 4. Arı Algoritması akış şeması

D.T. Pham ve ark. tarafından geliştirilen temel Arı Algoritması birçok parametre içermektedir. Bu parametreler: kâşif arı sayısı (n), ziyaret edilen n nokta içinden seçilen en uygun bölge sayısı (m), seçilen m bölge içindeki elit bölge sayısı (e), en iyi e bölgeye gönderilen arı sayısı (nep), kalan (m-e) bölgeye gönderilen arı sayısı (nsp), bölge boyutu (ngh) ve durdurma kriteri/iterasyon sayısı (itr)'dir.

Arı Algoritması n adet kâşif arının araştırma uzayına rastgele yerleştirilmesi ile başlar. 2. adımda, kâşif arılarca ziyaret edilen noktaların birbirlerine göre uygunlukları değerlendirilir. 3. adımda, n adet bölge içerisinde diğerlerine göre daha uygunluk değerine sahip m adet bölge seçilir. 4. ve 5. adımda, m adet bölge içerisinde en iyi uygunluk değerine sahip elit bölgeler (e) ve geriye kalan bölgeler (m-e) seçilir. Bu bölgelerin komşuluk arama boyutu (ngh) belirlenir. Seçilen bölgelerde komşuluk araması (bölge içinde en uygun noktaların araştırılması) için, daha umut verici çözümleri temsil eden en iyi e bölgeye seçilen diğer bölgelere göre daha fazla takipçi arı (nep), diğer bölgelere ise daha az takipçi arı (nsp) gönderilerek, detaylı arama yapılır. Her bölge içerisinde en uygun değere sahip arı seçilir. 6., 7. ve 8. adımda ise, her bölgede en uygun değere sahip arı haricindeki diğer arılar araştırma uzayından ayrılır. Popülasyondaki diğer arılar (n-m) yeni potansiyel çözümler elde etmek için tekrar, rastgele olarak, araştırma uzayına yerleştirilirler. Optimizasyon durdurma kriteri (itr) sağlanana kadar devam ettirilir. Her bir iterasyonun sonunda yeni popülasyon; seçilen her bir bölgenin temsilcileri ve rastgele arama yapan kâşif arılar olmak üzere iki parçadan oluşur.

5. DÜMENLEME MEKANİZMASININ OPTİMİZASYONU

Mekanizma sentezi, dış tekerleğin teorik olması gereken ve gerçekte gerçekleşen dümenleme açıları farkını ($\delta_{oT} - \delta_{oR}$) sifira olabildiğince yakın yapan, yani dört çubuk mekanizması konum analizinden elde edilen dümenleme açısı ile Ackerman kuralı tarafından tanımlanan açıları mümkün olduğunca yakın yapan dümenleme mekanizmasının boyutlarını belirlemeyi amaçlar. Bu doğrultuda optimizasyon çalışmalarında amaç fonksiyonu olarak hataların RMS değerini veren aşağıdaki fonksiyon kullanılmıştır:

$$Hata_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\delta_{oTj} - \delta_{oRj})^2} \quad (9)$$

Denklem 9'da n; dikkate alınan nokta sayısıdır. n değeri 100 olarak kabul edilmiştir. Bunun anlamı, amaç fonksiyonunda 100 farklı iç tekerlek dümenleme açısına karşılık gelen dış tekerlek dümenleme açısı hatasının RMS değerinin bulunduğuudur. Yapılan optimizasyon çalışmalarında giriş olarak, $R_1 \leq 5.8$ m dönüş yarıçapına denk gelen iç tekerlek dümenleme açısı kullanılmıştır. Dönüş yarıçapı 0'dan 5.8 metreye ulaşınca kadar artırılarak hata değerleri bulunmuştur. Ackerman kuralı için iç açıların ve dört çubuk mekanizması konum analizinden elde edilen θ_2 açısının aynı olduğu varsayılmış ve böylece δ_i 'nin tanımlanması sağlanmıştır. İç tekerlek dümenleme açısının bilinmesi ile gerçekleşen dış tekerlek dümenleme açısı (δ_{oR}) denklem 7 ve Ackerman kuralı için olması gereken teorik dış tekerlek dümenleme açısı (δ_{oT}) denklem 1 yardımıyla ile hesaplanmıştır. Daha sonra ($\delta_{oTj} - \delta_{oRj}$) bulunmuştur.

6. SAYISAL UYGULAMA

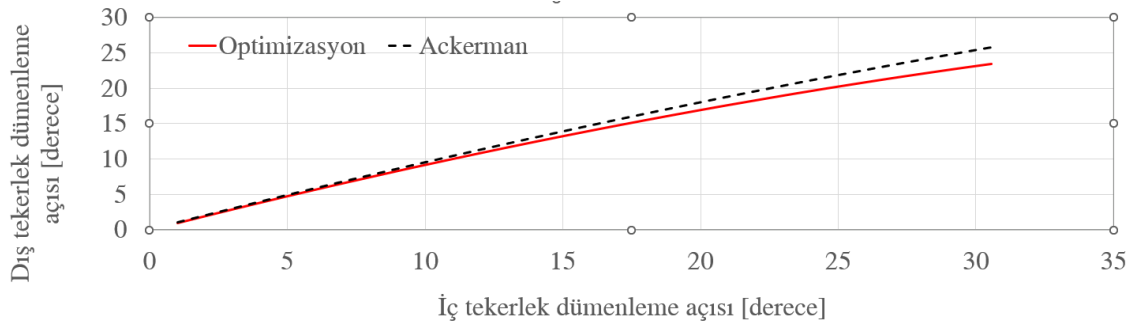
Bu çalışmada sayısal uygulama için kullanılan hali hazırda ticari olarak günlük hayatta kullanılan bir araca ait boyutlar Tablo 1’de verilmiştir. Arı Algoritmasının parametreleri Tablo 2’de gösterildiği gibi ayarlanmıştır. Şekil 5 ve 6’daki kesikli çizgiler Ackerman kuralına kesikli çizgiler ise optimizasyona göre oluşturulan dümenleme mekanizmasını temsil etmektedir. Şekil 5’e iç tekerleğin dümenleme açısına karşılık Ackerman kuralına ve dört çubuk mekanizmasının boyut optimizasyonuna göre elde edilen dümenleme mekanizmasına ait dış tekerlek dümenleme açısının değişimi görülmektedir. Ackerman kuralına göre oluşturulan dümenleme mekanizmasında iç tekerlek dümenleme açısı ile dış tekerlek dümenleme açısı arasında doğrusal bir ilişki söz konusu iken dört çubuk mekanizmasının boyut optimizasyonuna göre elde edilen dümenleme mekanizması sonuçlarına göre iç tekerlek dümenleme açısı ile dış tekerlek dümenleme açısı arasında doğrusal olmayan bir ilişki söz konusudur.

Tablo 1. Sayısal uygulama için kullanılan araca ait boyutlar

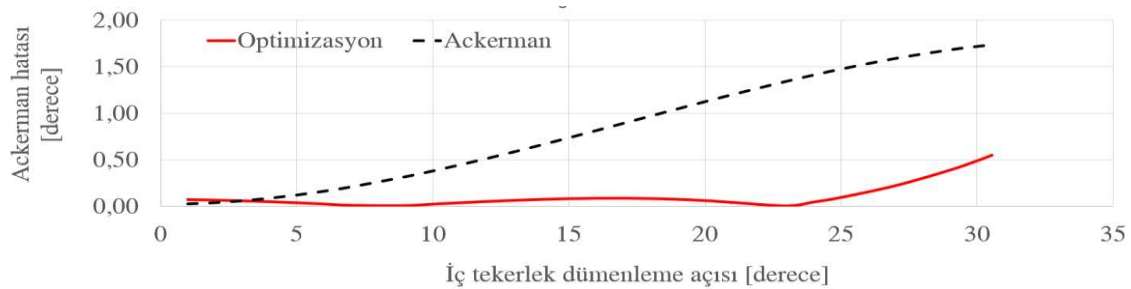
Aracın tekerlekler arası iz genişliği ($w = d$)	1619 mm
Aracın akslar arası mesafesi (l)	2939 mm

Tablo 2. Arı Algoritması parametreleri

n	m	e	nep	nsp	ngh	itr
20	10	5	10	7	0.01	1000



Şekil 5. Dış tekerlek dümenleme açısının değişimi



Şekil 6. Dış tekerlek dümenleme açısının Ackerman hatası

Şekil 6’da ise Ackerman kuralına ve dört çubuk mekanizmasının boyut optimizasyonuna göre elde edilen dümenleme mekanizmasına ait Ackerman hatasının iç tekerlek dümenleme açısına göre değişimi görülmektedir. Dört çubuk mekanizmasının boyut optimizasyonuna göre elde edilen dümenleme mekanizmasında dış tekerlek dümenleme açısı hatası Ackerman kuralına göre oluşturulan dış tekerlek dümenleme açısı hatasından oldukça küçüktür. Optimizasyon sonucunda hatanın RMS değerinde 0.9742’den 0.1771’e kadar bir azalma meydana gelmiştir. Tablo 3’te optimizasyon sonucu elde edilen dümenleme mekanizması boyutları verilmiştir.

Tablo 3. Optimizasyon sonucu bulunan boyutlar

	a=c [mm]	β [°]	b [mm]	d [mm]
Ackerman	350	15	1437	1619
Optimizasyon	500	20	1275	1619

7. SONUÇ

Bu çalışmada, önden dümenlemeli bir aracın dümenleme mekanizmasının Arı Algoritması kullanılarak optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Burada dümenleme mekanizması olarak dört çubuk mekanizması kullanılmıştır. Dört çubuk mekanizması konum analizinden elde edilen dümenleme açısı ile Ackerman kuralı tarafından tanımlanan açılar mümkün olduğunca yakın yapan dümenleme mekanizmasının boyutları optimize edilmiştir. Optimizasyon için amaç fonksiyonu olarak Ackerman hatasının RMS değeri dikkate alınmıştır. Optimizasyon sonucu hatanın RMS değerinde 0.9742’den 0.1771’e kadar bir azalma meydana gelmiştir. Bu, araç dönerken dümenleme mekanizması davranışının ideale daha yakın olduğu anlamına gelmektedir. Arı Algoritması, verilen kısıtlara göre en uygun olan değerlere yakınsamıştır. Gerçek hayata uygun boyutsal kısıtlamalar dikkate alınarak istenen davranışa yakın davranış gösteren optimum geometri bulunmuştur. Bununla birlikte, kısıtlamalarda farklı değişiklikler yapmak suretiyle teorik olarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir fakat bu durumda daha küçük bir hata bulunsu bile, ortaya çıkan mekanizma gerçekleşemeyebilir. Sonuç olarak; Ackerman kuralı ve dört çubuk mekanizması kinematik analizi ile elde edilen dümenleme açıları arasındaki hata Arı Algoritması kullanılarak en aza indirilmiştir. Optimizasyon sonucu elde edilen sonuçlar, Ackerman hatasını azaltmış ve dümenleme mekanizması boyutlarında iyileştirme yapılabileceğini göstermiştir.

8. KAYNAKLAR

- [1]. Ouezdou, F. B., and S. Regnier, 1997 General method for kinematic synthesis of manipulators with task specifications, *Robotica* 15.06: 653-661.
- [2]. Jazar, R.N., 2017, *Vehicle Dynamics: Theory and Application*. Springer, Melbourne, 3rd edition.
- [3]. Slesongsom, S., Bureerat, S., 2016, Multiobjective optimization of a steering linkage. *J Mech Sci Technol* 30, 3681–3691. <https://doi.org/10.1007/s12206-016-0730-4>

- [4]. Stoicescu, A. P., 2013, On the optimization of an Ackermann steering linkage. *UPB Scientific Bulletin, Series D: Mech Engi*, 75(4), 5-9.
- [5]. Sheu, Jinn-Biau, Sheng-Lun Hu, and Jyh-Jone Lee, 2008, Kinematic synthesis of a four-link mechanism with rolling contacts for motion and function generation. *Mathematical and Computer Modelling* 48.5: 805-817.
- [6]. Zhou, B., Li, D., & Yang, F, 2009, Optimization design of steering linkage in independent suspension based on genetic algorithm. In *2009 IEEE 10th International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design* (pp. 45-48). IEEE.
- [7]. Peñuñuri, F., et al, 2011, Synthesis of mechanisms for single and hybrid tasks using differential evolution. *Mechanism and Machine Theory* 46.10: 1335-1349.
- [8]. Quick, J., King, J., King, R. N., Hamlington, P. E., & Dykes, K., 2020, Wake steering optimization under uncertainty. *Wind Energy Science*, 5(1), 413-426.
- [9]. Bulatović, Radovan R., and Stevan R. Đorđević, 2004, Optimal synthesis of a four-bar linkage by method of controlled deviation. *Theoretical and applied mechanics* 31.3-4: 265-280.
- [10]. Pradhan, D., Ganguly, K., Swain, B., & Roy, H., 2021, Optimal kinematic synthesis of 6 bar rack and pinion Ackerman steering linkage. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 235(6), 1660-1669.
- [11]. Bulatović, Radovan R., and Stevan R. Đorđević, 2012, Optimal synthesis of a path generator six-bar linkage. *Journal of mechanical science and technology* 26.12: 4027-4040.
- [12]. Babu, T. N., Rajkumar, E., Joshi, T., Patil, V., & Mukaddam, W, 2021, Design and topology optimization of a rack and pinion steering system using structural and vibrational analysis. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1123, No. 1, p. 012060). IOP Publishing.
- [13]. Chang, Kuang-Hua, and Sung-Hwan Joo, 2006, Design parameterization and tool integration for CAD-based mechanism optimization. *Advances in Engineering Software* 37.12: 779-796.
- [14]. Qin, Gang, et al, 2012, Analysis and Optimization of the Double-Axle Steering Mechanism with Dynamic Loads. *The Open Mechanical Engineering Journal* 5: 26-39.
- [15]. Zhou, Bing, Dongsheng Li, and Fan Yang, 2009, Optimization design of steering linkage in independent suspension based on genetic algorithm. *Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design. CAID & CD 2009. IEEE 10th International Conference on*. IEEE.
- [16]. Felzien, Mark L., and D. L. Cronin, 1985, Steering error optimization of the MacPherson strut automotive front suspension. *Mechanism and machine theory* 20.1: 17-26.
- [17]. Pham, D.T., Koç, E., Ghanbarzadeh, A., Otri, S., Rahim, S., Zaidi, M., 2006, The Bees Algorithm - A Novel Tool for Complex Optimisation Problems, *2nd International Virtual Conference on Intelligent Production Machines and Systems*, 454-461.
- [18]. A Onder, O Incebay, MA Sen, R Yapici, M Kalyoncu, 2021, Heuristic optimization of impeller sidewall gaps-based on the bees algorithm for a centrifugal blood pump by CFD, *The International Journal of Artificial Organs*, 03913988211023773
- [19]. Bilgic HH, Sen MA, Yapici A, Yavuz H, Kalyoncu M, 2021, Meta-heuristic tuning of the LQR weighting matrices using various objective functions on an experimental flexible arm under the effects of disturbance, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-14
- [20]. Fahmy, A. A., Kalyoncu, M. and Castellani, M., 2012, Automatic design of control systems for robot manipulators using The Bees Algorithm, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I, Journal of Systems and Control Engineering*, 226(4), 497-508.
- [21]. Pham, D.T., Koç, E., Kalyoncu, M., Tinkır, M., 2008, Hierarchical PID Controller Design for a Flexible Link Robot Manipulator Using the Bees Algorithm, *Proceedings of 6th International Symposium on Intelligent Manufacturing Systems*, Sakarya, Turkey, October 14-16, 757-765.

INTERNATIONAL AEGEAN CONFERENCES
ON INNOVATION TECHNOLOGIES & ENGINEERING-VI
December 20-22, 2022

- [22]. Erdemir, A., Kalyoncu, M., 2019, Optimization of a Multi-Axle Steered Heavy Vehicle Steering Mechanism by using the Bees Algorithm and the Hooke-Jeeves Algorithms Simultaneously, The 1st International Symposium On Automotive Science And Technology (ISASTECH 2019), Ankara/Turkey, September 5-6, 613-622.
- [23]. Bilgic HH, Sen MA, Kalyoncu M, 2016, Tuning of LQR controller for an experimental inverted pendulum system based on The Bees Algorithm, Journal of Vibroengineering 18 (6), 3684-3694
- [24]. Sen MA, Kalyoncu M, 2016, Optimal tuning of a LQR controller for an inverted pendulum using the bees algorithm, J Autom Control Eng 4 (5)
- [25]. Sen MA, Tinkir M, Kalyoncu M, 2018, Optimisation of a PID controller for a two-floor structure under earthquake excitation based on the bees algorithm, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 37 (1), 107-127
- [26]. Acar O, Kalyoncu M, Hassan A, 2019, Proposal of a Harmonic Bees Algorithm for Design Optimization of a Gripper Mechanism, IFToMM World Congress on Mechanism and Machine Science, 2829-2839
- [27]. Pham, D.T., Kalyoncu, M., 2009, Optimisation of a Fuzzy Logic Controller for a Flexible Single-Link Robot Arm Using the Bees Algorithm, 7th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN 2009), Cardiff, UK, June 24-26, 475-480.
- [28]. Bakırcıoğlu V, Şen MA, Kalyoncu M., 2022, Numerical investigation and experimental verification of the proposed robot leg virtual model, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, doi:10.1177/09544062221076769.
- [29]. Incebay O, Onder A, Sen MA, Yapici R, Kalyoncu M, 2022, Fuzzy-Based Modeling and Speed Optimization of a Centrifugal Blood Pump using a Modified and Constrained Bees Algorithm, Computer Methods and Programs in Biomedicine, 106867, ISSN 0169-2607, <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2022.106867>.
- [30]. Unal, R.E., Guzel, M.H., Sen, M.A., Kose, F., Kalyoncu M., 2022, Investigation on the cost-effective optimal dimensions of a solar chimney with the Bees Algorithm, Int J Energy Environ Eng, <https://doi.org/10.1007/s40095-022-00528-y>.