

## DEĞİŞKEN KESİTE SAHİP BURULMA KİRİŞLİ SÜSPANSİYON SİSTEMLERİNİN KİNEMATİK PERFORMANSININ İNCELENMESİ

*Emre İsa ALBAK* \*\*

*Erol SOLMAZ* \*\*

*Ferruh ÖZTÜRK* \*\*

Alınma: 16.04.2020; düzeltme: 31.08.2020; kabul: 20.10.2020

**Öz:** Burulma kirişli süspansiyon sistemleri hafiflik, düşük maliyet, paketlenme alanı gibi avantajları nedeniyle orta sınıf araçlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Artan emisyon kısıtlamaları nedeniyle süspansiyon sistemlerinin belli kinematik değerleri sağlamasının yanı sıra hafif olmaları da istenir. Bu nedenle araştırmacılar hem hafif hem de performanslı burulma kirişli süspansiyon sistemi üzerine çalışmalar yapmaktadır. Sistemin en önemli parçası burulma kirişidir ve araştırmalar yüksek oranda bu parça üzerinde yoğunlaşmıştır. Burulma kirişli süspansiyon sistemi ilk olarak genellikle sabit kesite sahip profillerden tasarlanmaktaydı. Son zamanlarda ise bükülmüş boru ve değişken kesitli profiller ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada son zamanlardaki burulma kirişi tasarımlarından esinlenerek değişken kesitli burulma kiriş süspansiyon sistemlerinin kinematik performansları ve ağırlıkları incelenmiştir. Burulma kirişinin yükseklik ve genişlik parametreleri değiştirilerek değişken kesite sahip burulma kirişleri elde edilmiş ve sonuçları incelenmiştir. Tasarımların kinematik performansları zıt tekerlek hareket simülasyonları ile değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Burulma kirişi, süspansiyon sistemi, toe açısı, kamber açısı

### **Kinematic Performance Analysis of Twist Beam Rear Suspension System with Variable Cross Section**

**Abstract:** Twist beam suspension systems are frequently used in middle-class vehicles due to their advantages such as lightness, low cost and packaging area. Due to the increased emission restrictions, suspension systems are desired to be light as well as providing certain kinematic values. For this reason, researchers have worked on both lightweight and high-performance twist beam suspension systems. The most important component of this suspension system is the twist beam, and researchers are highly concentrated on this component. When this suspension system first appeared, it was generally designed from profiles with a constant cross-section. Recently, formed tubes and variable cross-section profiles are widely used in vehicles. In this study, the kinematic performances and weights of the variable cross-section torsion beam suspension systems are investigated inspired by the recently designed twist beam designs. By changing the height and width parameters of the twist beam, twist beams with variable cross-section are obtained, and the results are examined for the opposite wheel travel simulations to investigate the kinematic values of these designs.

**Keywords:** Twist beam, suspension system, toe angle, camber angle

\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa, Türkiye  
İletişim Yazarı: Emre İsa Albak (emrealbak@uludag.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Burulma kirişli süspansiyon sistemleri sahip oldukları hafiflik, düşük maliyet, paketleme alanı gibi önemli avantajları nedeniyle orta segment araçlarda yüksek oranda kullanılmaktadır. Burulma kirişli süspansiyon sistemlerinin temel elemanları burulma kirişi, taşıyıcı kollar, a-burçlarıdır (Şekil 1). Diğer süspansiyon sistemlerinde tekerlerin hareketleri, bağlantı kollarının ve burçların özelliklerine bağlı olarak değişirken, burulma kirişli süspansiyon sistemlerinde tekerin hareketleri büyük oranda burulma kirişinin yapısına bağlıdır. Yalpa merkezi, toe açısı, kamber açısı gibi taşıt kinematiği unsurları burulma kirişinin geometrik yapısına göre değişmektedir.

Seth ve diğ. (2017) çalışmalarında burulma kirişinin süspansiyon sisteminin toplam burulma rijitliğini ve ağırlığın yaklaşık %75'ini oluşturduğunu belirtmiştir. Yukarıda belirtilen etkilerinden dolayı araştırmacılar burulma kirişi üzerine birçok çalışma ortaya koymuşlardır. Chen ve diğ. (2015) hem sonlu elemanlar yöntemi hem de çoklu sistem dinamiği yazılımları ile yaptıkları optimizasyon çalışmalarında 20 mm zıt tekerlek hareketi ve statik yükleme simülasyonları yapmışlardır. Simülasyonlar burulma kirişinin yönelim açısının ve boylamsal konumunun değişikliklerini inceleyerek toe açısı ve tekerlek merkezinin, boylamsal konum değişimine etkilerini araştırmışlardır. Silveira ve diğ. (2012) çalışmalarında 'C' şeklinde kesite sahip bir burulma kirişli süspansiyon sistemini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak burulma kirişini 90° aralıklarla kiriş eksenine etrafında döndürerek kirişinin yönelim açısının ve burulma kirişin boylamsal yöndeki konumunun, toe ve kamber açılarına etkilerini incelemişlerdir.

İlk çalışmalar genellikle sabit kesite sahip burulma kirişleri üzerinde yapılmıştır. Son yıllarda ise bükülmüş borudan tasarlanan ve değişken kesitli burulma kirişleri üzerinde çalışmalar artmıştır. Çallı (2015) tez çalışmasında V formlanmış burulma kirişli süspansiyon sistemini sanal analizler ile incelemiş, prototip imalatı gerçekleştirmiş ve sayısal analizler ile gerçek verileri karşılaştırmıştır. Seth ve diğ. (2017) çalışmalarında değişken kesitli 'J profil' olarak adlandırdıkları bir burulma kirişini farklı burulma kirişleriyle karşılaştırmışlardır. Bu tasarım diğer bükülmüş boru ve dengeleme çubuğu kullanan orta segment araçlar için hem düşük maliyetli hem de hafiflik avantajına sahip bir alternatif olarak öne çıkmaktadır.



**Şekil 1:**

*Burulma kirişli süspansiyon sistemi temel parçaları (<https://motor-car.net/innovation/suspension/item/14679-torsion-beam>)*

Değişken kesitli burulma kirişine sahip süspansiyon sistemleri için farklı tasarımlar mevcuttur. Farklı tasarımlar Şekil 2 de verilmiştir. Tasarımlarda burulma kirişlerinin orta kısımlarında kısmi yükseklik farkları ya da genişlik farkları bulunmaktadır.



**Şekil 2:**

Değişken kesitli burulma kirişi örnekleri **a.** (<https://motor-car.net/innovation/suspension/item/14679-torsion-beam>) **b.** Park ve diğ. (2017) **c.** ([https://www.caricos.com/cars/h/honda/2012\\_honda\\_cr-z/images/163.html](https://www.caricos.com/cars/h/honda/2012_honda_cr-z/images/163.html)) **d.** (<https://www.audi-mediacycenter.com/en/photos/detail/audi-a1-sportback-70006>) **e.** Seth ve diğ. (2017)

Bu çalışmada araştırmacılar tarafından ortaya koyulan modeller geliştirilerek yeni tasarımlar oluşturulmuş ve bu tasarımların performansları sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Yeni oluşturulan tasarımlarda burulma kirişine kademeli olarak yükseklik ve genişlik farkları uygulanmış ve kinematik davranışları karşılaştırılmıştır.

Süspansiyon kinematığı, tekerlek hizalama parametrelerindeki değişiklikleri ve tekerlek hareketi ile yanıl yer değiştirmeleri tanımlar; süspansiyon yanıl uyumu, lastiklerdeki ve yol temas alanındaki yanıl yükler için tekerlek merkezlerinin toe açısı, kamber açısı ve yanıl yer değiştirmelerindeki değişiklikleri tanımlar; süspansiyon uzunlamasına uyum, lastiklerdeki ve yol temas alanındaki boylamsal yükler için tekerlek merkezlerinin toe açısı ve boylamsal yer değiştirmelerindeki değişiklikler anlamına gelir (Reimpell ve diğ., 2001). Bu çalışmada,  $\pm 60$  mm

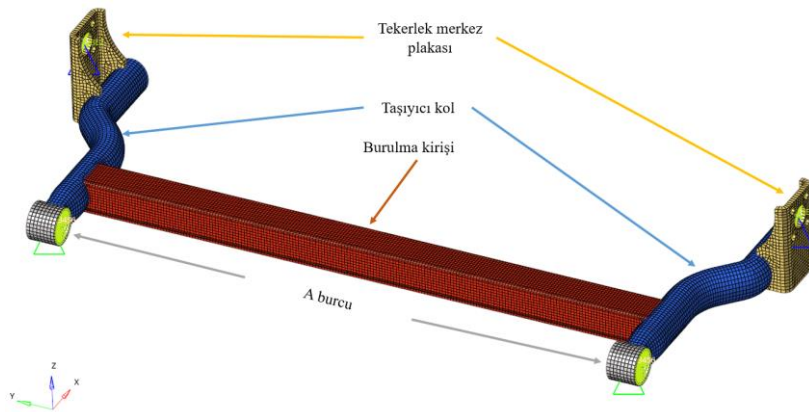
zıt tekerlek simülasyonları yapılarak kinematik parametreler içinden toe açısı, kamber açısı ve ağırlık parametrelerinin değişimleri üzerinden karşılaştırmalar yapılmıştır.

## 2. BURULMA KİRİŞLİ SÜSPANSİYON SİSTEMİ KİNEMATİK ANALİZİ

Burulma kirişli süspansiyon sisteminin kinematik karakteristiğini incelemek için literatürde çoklu sistem dinamiği (Sistla ve Kang, 2010) ve sonlu elemanlar (Jeong ve diğ., 2017) yöntemleri kullanılmaktadır. Çoklu sistem dinamiği modelleri rijit parçalardan oluşmaktadır. Birçok süspansiyon sistemi modeli için rijit parçalar ile inceleme yapılabilirken burulma kirişinin çalışma koşullarında burulma ve eğilme hareketlerine maruz kalması ve bu hareketlerin araç dinamiği etkileyen temel parametreler olması nedeniyle burulma kirişli arka aks süspansiyon sistemi rijit olarak çalışılmamaktadır. Bu nedenle çoklu sistem dinamiği ile burulma kirişli süspansiyon sistemlerini incelerken, burulma kirişinin esnek hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem fazladan iş yükü getireceği ve parametrik tasarımı zorlaştıracığı için çalışmada burulma kirişli süspansiyon sisteminin kinematik performansını incelemek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

### 2.1. Süspansiyon Sistemi Analiz Modeli

Çalışmada kullanılan burulma kirişli süspansiyon sisteminin sonlu elemanlar modeli Şekil 3’de verilmiştir. Sonlu eleman modellenmesi oluşturulmasında HyperMesh ve sonlu eleman çözücüsü olarak ise OptiStruct (Altair, 2020) yazılımları kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modeli tekerlek merkez plakası, taşıyıcı kol, burulma kirişi, A burcu, A burcu merkezinde bushing eleman, A burcu ile A burcu merkezindeki bushing elemanı bağlayan rijit eleman ve tekerlek merkezinde bulunan rijit elemanlardan oluşmaktadır. A burcu merkezinde bushing elemanı bir boyutlu ‘bush’ eleman tipinde, ve rijit elemanlar bir boyutlu ‘RBE2’ tipinde elemanlar ile modellenmiştir. Bush elemanlar bir boyutlu elemanlar olup altı ekseninde rijitlik tanımlanarak oluşturulan elemanlardır. RBE2 elemanlar ise bir boyutlu elemanlar olup kaynaklı bağlantı gibi hareket ederler. Diğer parçalar için iki boyutlu elemanlar kullanılmıştır. Burulma kirişi için ortalama eleman boyutu 5 mm, diğer iki boyutlu parçalar için ise 6 mm olarak belirlenmiştir. Et kalınlıkları ise tekerlek merkez plakası için 10 mm, diğer iki boyutlu parçalar için 5 mm olarak tanımlanmıştır.



**Şekil 3:**  
*Burulma kirişli süspansiyon sistemi sonlu elemanlar modeli*

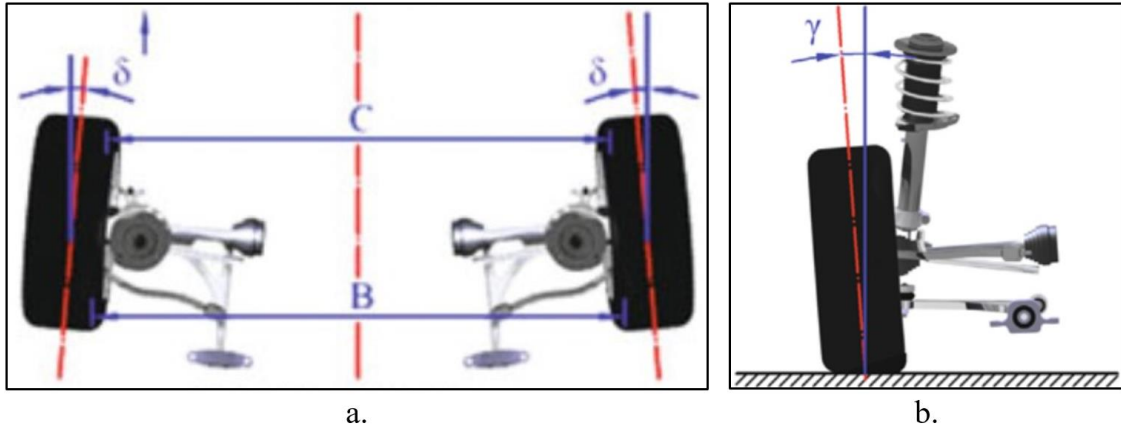
Burulma kirişli süspansiyon sisteminin kinematik performansını incelemek amacıyla literatürde en sık kullanılan yükleme şartları statik yükleme (Fichera ve diğ., 2004) ve zıt tekerlek

hareketi simülasyonlarıdır. Bu çalışmada  $\pm 60$  mm zıt tekerlek hareketi simülasyonları yapılarak süspansiyon sisteminin kinematik performansı incelenmiştir.

Süspansiyon sistemlerinin kinematik performansını incelemek için birçok parametre bulunmaktadır. Kamber açısı ve toe açısı manevra sırasında araç davranışına doğrudan etki eder (Leal ve diğ., 2007). Bu nedenle bu çalışmada burulma kirişinin ağırlığına ek olarak önemli kinematik parametrelerden olan toe açısı ve kamber açısı incelenmiştir.

Toe açısı, tekerleklere üstten bakıldığında tekerleklerin ön kısmının ile arka kısmının araç merkezi eksenine göre farklı mesafede olması durumudur. (Şekil 4.a.). Ön tarafın arkaya göre kapalı olmasına toe-in (pozitif), açık olmasına da toe-out (negatif) denir. Toe açısı, aracın manevra kabiliyetini, yol tutuşunu, lastik ömrünü ve süspansiyon ayarını etkilemektedir. Ayrıca toe açısı, aracın aşırı ya da az dönüşlülük karakteristiğini etkiler.

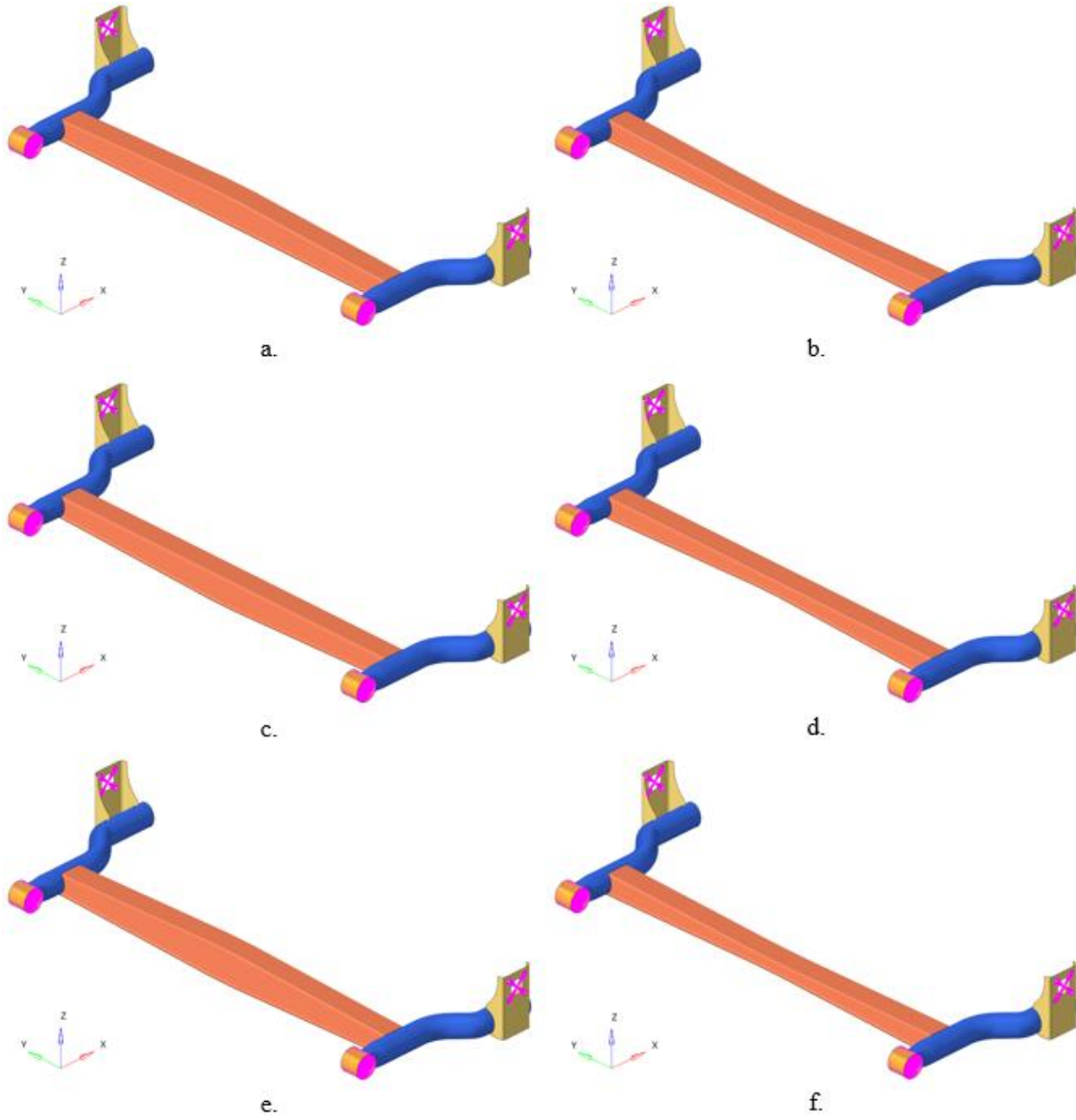
Kamber açısı, bir aracın tekerleklerinin aracın önünden bakıldığında dikey eksenle yaptığı açıdır (Şekil 2.b.). Tekerleğin üst kısmının araç merkez eksenine ile arasındaki mesafe alt kısmına göre daha genişse pozitif kamber, aksi geçerli ise negatif kamber olarak adlandırılır. Kamber açısı aracın hizalama torku, yol tutuşu, yanal dinamikleri ve lastik ömrünü etkiler. Hafifçe negatif bir kamber, tekerleğin devrilmesini önlemeye yardımcı olabilir ve yol yüzeyinde daha iyi bir tutuş elde edilmesine yardımcı olabilir. Kamber açısının artması, lastik aşınmasını ve yuvarlanma direncini artırır.



**Şekil 4:**  
a. toe açısı b. Kamber açısı (Heibing ve Ersoy, 2011)

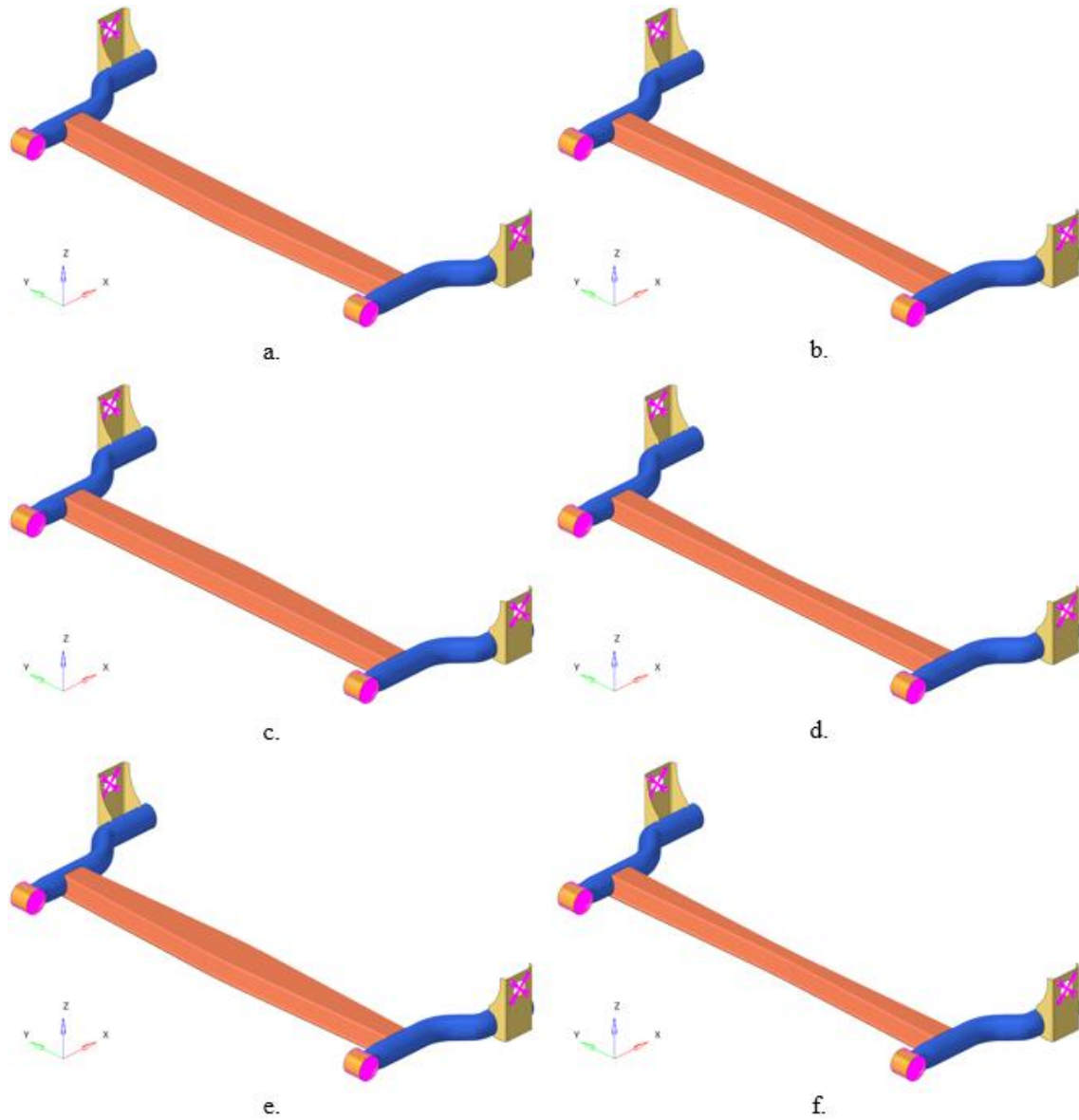
## 2.2. Zıt Tekerlek Hareketi Analizi

Kademeli kesit farkının burulma kirişli süspansiyon sisteminin kinematik performansı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla 12 farklı tasarım oluşturulmuştur. Bu tasarımların 6 tanesi burulma kirişinin Z eksenindeki yüksekliğiyle ilgili, diğer 6 tanesi ise burulma kirişinin X eksenindeki genişliği ile ilgili olarak oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller Şekil 5 ve Şekil 6 da verilmiştir.



**Şekil 5:**

*Burulma kirişi Z ekseni kademeli modeller **a.** Üst tarafı kademeli uzatılmış kiriş (Z1) **b.** Üst tarafı kademeli kısaltılmış kiriş (Z2) **c.** Alt tarafı kademeli uzatılmış kiriş (Z3) **d.** Alt tarafı kademeli kısaltılmış kiriş (Z4) **e.** Hem üst hem de alt tarafı uzatılmış kiriş (Z5) **f.** Hem üst hem de alt tarafı kısaltılmış kiriş (Z6)*

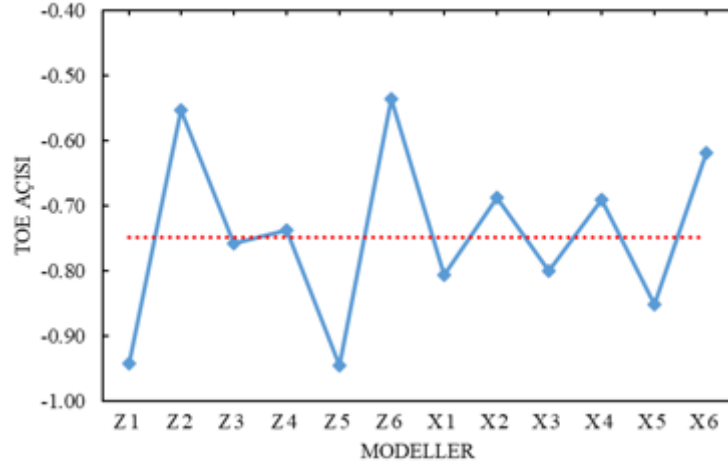


**Şekil 6:**

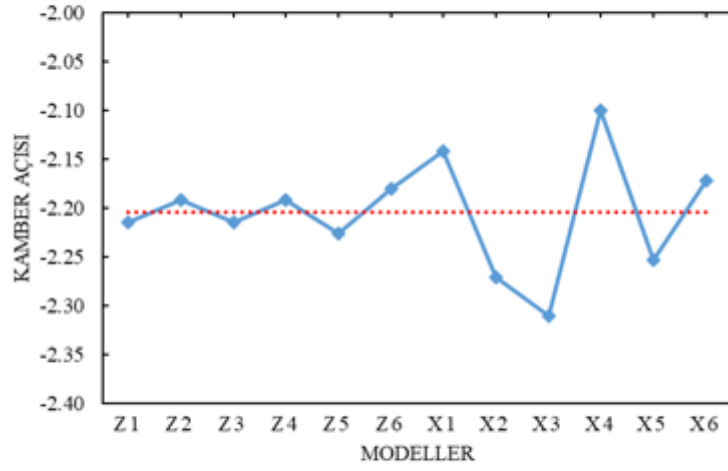
*Burulma kirişi X eksenli kademeli modeller a. Ön tarafı kademeli uzatılmış kiriş (X1) b. Ön tarafı kademeli kısaltılmış kiriş (X2) c. Arka tarafı kademeli uzatılmış kiriş (X3) d. Arka tarafı kademeli kısaltılmış kiriş (X4) e. Hem ön hem de arka tarafı uzatılmış kiriş (X5) f. Hem ön hem de arka tarafı kısaltılmış kiriş (X6)*

### 3. BURULMA KİRİŞLİ SÜSPANSİYON SİSTEMİ KİNEMATİK ANALİZ SONUÇLARI

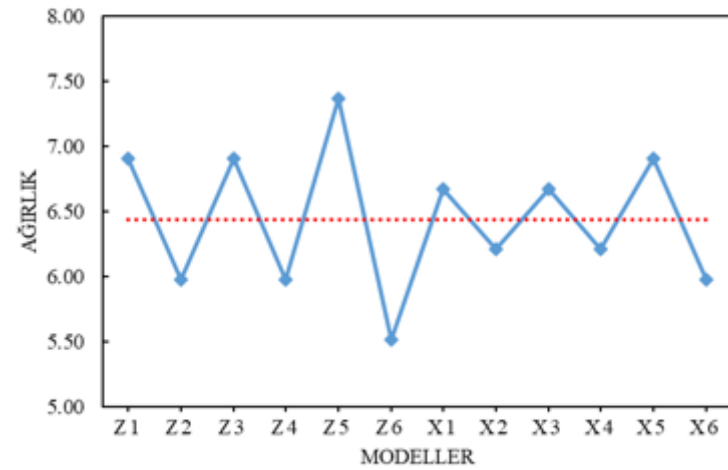
Kademeli kesite sahip burulma kirişi süspansiyon sistemleri ile sonlu elemanlar analizleri ile gerçekleştirilen zıt tekerlek hareketi simülasyonlarının toe açısı ve kamber açısı sonuçları ile burulma kirişinin tekil ağırlık değerleri Şekil 7 de verilmiştir. Grafiklerde burulma kirişinin kademersiz ilk hal değerleri kırmızı kesikli çizgi ile belirtilerek kademe farklarının etkileri öne çıkarılmıştır.



a.



b.



c.

**Şekil 7:**  
Modellerin zıt tekerlek simülasyonu sonuçları **a.** Toe açısı grafiği **b.** Kamber açısı grafiği **c.** Burulma kirişi tekil ağırlık grafiği



Toe açısı grafiği incelendiğinde ilk halde  $-0.74^\circ$  olan toe açısı burulma kirişi modeline bağlı olarak  $-0.54^\circ$  ile  $-0.94^\circ$  arasında değişmektedir. Modeller incelendiğinde Z3 ve Z4 modelinin çok fazla toe açısına etki etmediği yani burulma kirişinin alt tarafının toe açısı üzerinde çok fazla etkisi olmadığı söylenebilir. Diğer taraftan Z1 ve Z2'nin yüksek oranda etki ettiği ve Z5 ile Z6 modellerindeki etkilerinde Z1 ve Z2 modellerinin temeli olan burulma kirişinin üst kısmındaki değişikliklerin etkili olduğu söylenebilir. Burulma kirişinin genişliğinin etkisinin yüksekliğinin etkisine göre daha az olduğu yine grafikten okunabilmektedir.

Kamber açısı verileri incelendiğinde burulma kirişinin yüksekliğinde yapılan değişikliklerin genişliğinde yapılan değişikliklere göre etkisinin çok az olduğu söylenebilir. En önemli unsurların ise burulma kirişinin arka tarafının genişliğinin değiştirilmesi olduğu grafikten elde edilebilmektedir. Başlangıç modelinde  $-2.20^\circ$  olan kamber açısı değeri X3 modelinde  $-2.31^\circ$  ve X4 modelinde ise  $-2.10^\circ$  değerlerine ulaşmaktadır.

Burulma kirişinin tekil ağırlık grafiği incelendiğinde ise beklendiği üzere kısaltmalar ve daralmalarda ağırlık değeri azalırken, uzatma ve genişletmelerde ağırlık değeri artmaktadır. Başlangıç modelinde 6.44 kg olan burulma kirişinin tekil ağırlık değeri, Z5 modelinde 7.37 kg ile en yüksek, Z6 modelinde ise 5.51 kg ile en düşük değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Düşük toe açısı değişimi, daha geniş bir tekerlek temas alanı ile birlikte daha iyi tekerlek çekişi sağlar (Kavitha ve diğ., 2019). Yüksek kamber değişimi ise, lastik aşınmasına ve yüksek yuvarlanma direncine neden olur. Bu nedenle, sonuçta hem düşük toe açısı değişimi ve düşük kamber açısı değişimi ile ağırlık azaltmaya yönelik bir yaklaşım seçilerek en iyi burulma kirişi tasarımı araştırılmıştır. Modeller incelendiğinde başlangıç durumuna göre her üç parametre içinde iyileşme sağlayan modellerin Z2, Z6, X4 ve X6 olduğu görülmektedir. Amacımızı ağırlık azaltırken toe açısı ve kamber açısını korumak ya da iyileştirmek olarak daraltırsak, en iyi modeli en fazla ağırlık azaltma sağlayan model olan Z6 modeli olarak seçebiliriz. Seçilen model ile hem daha düşük ağırlığa sahip burulma kirişi seçilmiştir hem de toe açısı ve kamber açısı kısmen iyileştirilmiştir. Böylece aracın tekerlek temas alanı artırılarak yol tutuşu iyileştirilmiş ve düşük kamber değişimi ile lastik aşınması ve yuvarlanma direnci de düşürülmüş ve yol tutuş performansı arttırılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada değişken kesite sahip burulma kirişi süspansiyon sisteminin toe açısı, kamber açısı ve ağırlık parametreleri incelenmiştir. İncelemeler sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak  $\pm 60$  mm zıt tekerlek hareketi analizleri yapılarak gerçekleştirilmiştir. Burulma kirişi üzerinde yapılan kademeli yükseklik ve genişlik farklarının toe açısı, kamber açısı ve ağırlık üzerinde etkileri olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, tasarımcıların kendi isterlerine bağlı olarak bu tasarımlardan uygun olan tasarıma yönelebilmeleri için ön çalışma olarak burulma kirişli sistemin kinematik performanslarını belirlenen amaç doğrultusunda değerlendiren bir yaklaşımı kullanmaları gerekmektedir. Bu çalışmada önerilen tasarım parametrelerini temel alan bir yaklaşım ile oluşturulacak kinematik performans değerlendirme sistemi burulma kirişli süspansiyon sistemlerinin tasarlanmasında tasarımcıya destek verebilecektir.

Bu çalışmada önerilen yaklaşım, optimizasyon ve yorulma analizleri ile bütünleşik bir yapıda ele alınarak hedeflenen amaçlar doğrultusunda değişken kesite sahip burulma kirişi süspansiyon sistemlerinin tasarımı için geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Altair (2020) <https://www.altair.com/optistruct/>, Erişim Tarihi: 10.04.2020
2. Chen, J., Qin, M., Jiang, Y., Jin, L., Chang, Y. P. (2015) Modeling, analysis and optimization of the twist beam suspension system. *SAE International Journal of Commercial Vehicles*, 8(2015-01-0623), 38-44. doi: 10.4271/2015-01-0623
3. Çallı, M. (2015). V formlanmış ara bağlantı borusuna sahip Bir otomobil arka dingilinin araç ağırlığı azaltmadaki etkileri ve sayısal analizleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
4. Fichera, G., Lacagnina, M., & Petrone, F. (2004). Modelling of torsion beam rear suspension by using multibody method. *Multibody system dynamics*, 12(4), 303-316. doi:10.1007/s11044-004-2516-1
5. Heibing B. ve Ersoy M. (2010). Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components. Springer Science & Business Media
6. <https://www.audi-mediacycenter.com/en/photos/detail/audi-a1-sportback-70006>, Erişim Tarihi: 10.04.2020, Konu: *Burulma kirişli süspansiyon sistemi örneği*
7. [https://www.caricos.com/cars/h/honda/2012\\_honda\\_cr-z/images/163.html](https://www.caricos.com/cars/h/honda/2012_honda_cr-z/images/163.html), Erişim Tarihi: 10.04.2020, Konu: *Burulma kirişli süspansiyon sistemi örneği*
8. <https://motor-car.net/innovation/suspension/item/14679-torsion-beam>, Erişim Tarihi: 10.04.2020, Konu: *Burulma kirişli süspansiyon sistemi örneği*
9. Jeong, T., Lee, S. B., Yim, H. J. (2017). Shape optimization of a torsion beam axle for improving vehicle handling performance. *International Journal of Automotive Technology*, 18(5), 813-822. doi: 10.1007/s12239-017-0080-y
10. Kavitha, C., Shankar, S. A., Karthika, K., Ashok, B., Ashok, S. D. (2019). Active camber and toe control strategy for the double wishbone suspension system. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 31(4), 375-384. doi: 10.1016/j.jksues.2018.01.003
11. Leal, V., Landre, J., Bitencourt, R. M. (2007). Twist Beam Rear Suspension-Influencies of the Cross Section Member Geometry in the Elastokinematics Behavior (No. 2007-01-2860). SAE Technical Paper. doi: 10.4271/2007-01-2860
12. Park, J. K., Kim, Y. S., Suh, C. H., Kim, Y. S. (2017) Hybrid quenching method of hot stamping for automotive tubular beams. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 231(9), 1599-1610. doi:10.1177/0954405415600387
13. Reimpell, J., Helmut S., Jurgen B. (2001). The automotive chassis: engineering principles. Elsevier.
14. Seth, M. K., Glorer, J., Schellhaas, R. (2017) Design of a new weight and cost efficient torsion profile for twistbeam suspension (No. 2017-01-1491). *SAE Technical Paper*. doi:10.4271/2017-01-1491
15. Silveira, M. E., de Vasconcelos, L. S., Christoforo, A. (2012). Numerical simulation of the kinematic behavior of a twist beam suspension using finite element method. *Journal of Mechanical Engineering and Automation*, 2(6), 150-8. doi: 10.5923/j.jmea.20120206.05
16. Sistla, P. K., ve Kang, H. T. (2010). Twist beam suspension design and analysis for vehicle handling and rollover behavior (No. 2010-01-0085). *SAE Technical Paper*. doi:10.4271/2010-01-0085