

Binek Araç Salıncaklarının Destek Sacı ile Takviye Edilerek Ticari Araçlara Uygunluğunun Değerlendirilmesi

Furkan Göğçer^{1*}, Deniz Bal² ve Ömer Çiftçi³

¹AYD Otomotiv Endüstri, Türkiye (ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7843-2757>)

²AYD Otomotiv Endüstri, Türkiye (ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6716-0672>)

³AYD Otomotiv Endüstri, Türkiye

furkangoger@hotmail.com

(Received: 28 May 2025, Accepted: 10 June 2025)

(5th International Conference on Contemporary Academic Research ICCAR 2025, May 30-31, 2025)

ATIF/REFERENCE: Göğçer, F., Bal, D. & Çiftçi, Ö. (2025). Binek Araç Salıncaklarının Destek Sacı ile Takviye Edilerek Ticari Araçlara Uygunluğunun Değerlendirilmesi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(6), 153-160.

Özet – Bu çalışmada, binek araçlarda kullanılan sac salıncak yapısına ilave destek sacı entegre edilerek, bu yeni yapı formunun ticari araçlarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Amaç, mevcut salıncak geometrisine yapısal takviye sağlayarak, ticari araçların maruz kaldığı daha yüksek yük ve yol koşullarına karşı dayanımı artırmaktır. Çalışma kapsamında, destek sacı eklenmiş ve eklenmemiş iki farklı tasarım sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve her iki model üzerinde dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Uygulanan test senaryoları, ticari araç koşullarındaki çalışma yüklerini temsil edecek şekilde belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, destek sacı ile güçlendirilmiş yapının gerilme ve deformasyon açısından daha güvenli sınırlar içerisinde kaldığını ve yapısal bütünlüğü koruduğunu göstermiştir. Bu doğrultuda, sac salıncak yapısının optimize edilerek ticari araçlarda kullanıma uygun hale getirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Çalışma hem hafif yapı tasarımı hem de maliyet etkinliği açısından önemli bir mühendislik katkısı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Sac salıncak, yapısal takviye, ticari araç, sonlu elemanlar analizi, dinamik yükleme, mukavemet, destek sacı

I. GİRİŞ

Günümüz otomotiv endüstrisinde süspansiyon sistemleri, araç konforu ve güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu sistemin temel elemanlarından biri olan salıncaklar, tekerlek ile şasi arasındaki bağlantıyı sağlayarak yol yüzeyinden gelen titreşimlerin emilmesini ve sürüş konforunun artırılmasını amaçlar. Salıncaklar, aracın süspansiyon sisteminde alt, üst, ön veya arka konumda yer alabilir ve bu konumlara bağlı olarak U tipi, L tipi veya düz kol gibi farklı geometrilerde tasarlanabilirler.

Salıncak üretiminde çeşitli imalat yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında dövme, döküm ve sac şekillendirme teknolojileri öne çıkmaktadır. Özellikle sac şekillendirme yöntemi, maliyet avantajı ve üretim verimliliği nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Sac salıncaklar, çelik sac malzemelerin preslenerek şekillendirilmesi ve kesilmesi gibi işlemler sonucunda elde edilir. Bu tür salıncaklar, tek parça sac malzemedan üretilebildiği gibi, birden fazla sac parçasının kaynak işlemiyle birleştirilmesiyle de oluşturulabilmektedir.

Sac salıncakların en önemli avantajı düşük üretim maliyeti sunmalarıdır. Bununla birlikte, bükülme ve kırılma gibi mekanik zayıflıklar bu ürünlerin kullanım ömrünü ve güvenliğini etkileyebilmektedir. Özellikle yüksek taşıma kapasitesine sahip ticari araçlarda, bu tür salıncakların dayanımı kritik bir parametre haline gelmektedir. Bu bağlamda, binek araçlarda kullanılan sac salıncakların, ilave destek sacları ile güçlendirilerek ticari araç uygulamaları için uygun hale getirilip getirilemeyeceği önemli bir araştırma konusudur.

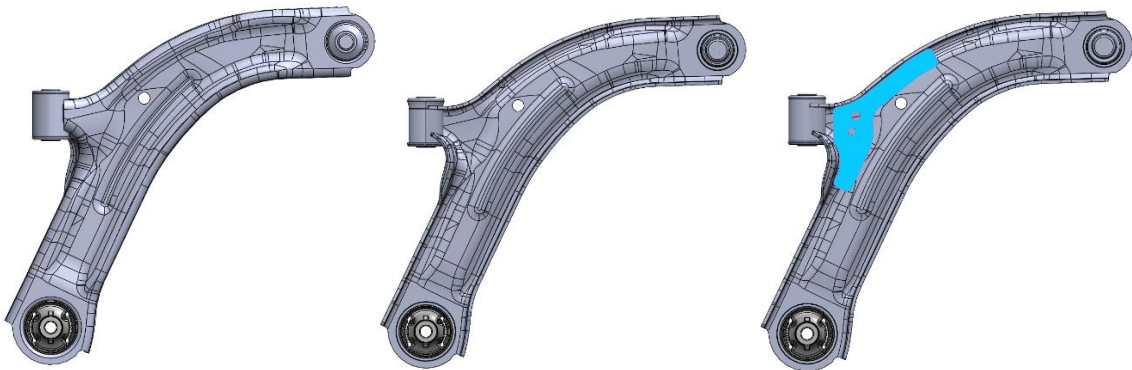
Bu çalışmanın amacı, konvansiyonel olarak binek araç süspansiyon sistemlerinde kullanılan sac salıncakların, ilave destek sacları ile yapısal olarak takviye edilerek ticari araçlarda karşılaşılan yüksek statik ve dinamik yük koşullarına karşı mekanik uygunluğunun değerlendirilmesidir. Çalışma kapsamında, farklı destek geometrilerine sahip tasarımlar üzerinde sonlu elemanlar analizleri (FEA) gerçekleştirilmiş; gerilme dağılımları, deformasyon davranışları ve yorulma ömrü gibi performans parametreleri incelenerek optimum yapısal konfigürasyonlar belirlenmiştir.

Literatürde, sac salıncakların tasarım optimizasyonuna ve malzeme performansına ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Lee ve ark. (2019), sac salıncakların topoloji optimizasyonu ile ağırlık azaltımını hedeflemiş ve mukavemetin korunabildiğini göstermiştir [1]. Kaya ve Demir (2021) ise farklı üretim tekniklerinin salıncak dayanımı üzerindeki etkilerini karşılaştırarak, kaynaklı birleştirme işlemlerinin yorulma ömrünü etkilediğini belirtmiştir [2]. Ayrıca, Zhou et al. (2017) tarafından yapılan bir çalışmada, sac salıncak geometrisinin dinamik yükler altındaki davranışı incelenmiş ve yüksek deformasyon bölgeleri belirlenmiştir [3].

Bu çalışma, mevcut literatürde eksik kalan ticari araçlar için desteklenmiş sac salıncak uygulamalarına yönelik deneysel ve sayısal analiz ihtiyacını karşılamayı hedeflemektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada öncelikle, binek araçlarda kullanılan tipik bir sac salıncak referans model olarak seçilmiştir. Seçilen salıncak geometrisi, hem ticari bir aracın süspansiyon sistemine entegrasyon açısından uyumlu olacak şekilde değerlendirilmiş hem de yapısal olarak karşılaştırmaya elverişli olacak biçimde tercih edilmiştir. Şekil 1’de sol tarafta yer alan görsel, inceleme konusu sac salıncığın üstten görünümünü göstermektedir. Orta kısımda yer alan görsel, destek sacı içermeyen sac salıncığın alt yüzeyini temsil ederken; sağdaki görsel ise destek sacı uygulanmış versiyonun alt yüzey görünümünü sunmaktadır. Görselde mavi renk ile belirtilen bileşen, destek sacını ifade etmektedir. Bu destek sacı, salıncak gövdesine uygun kaynak yöntemi ile sabitlenerek yapısal bütünlük sağlanmıştır.



Şekil 1: Destek sacı ve destek sacsız sac salıncakların üstten ve alttan 3D tasarım model gösterimleri

Salıncak üretiminde kullanılan malzeme yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelik olup, S355MC kalite sac seçilmiştir. Bu malzeme, özellikle soğuk şekillendirme ve yapısal mukavemet gerektiren uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Şekil 2’de, sol tarafta, yapılan 3D tasarımın üretim sonrası fiziksel

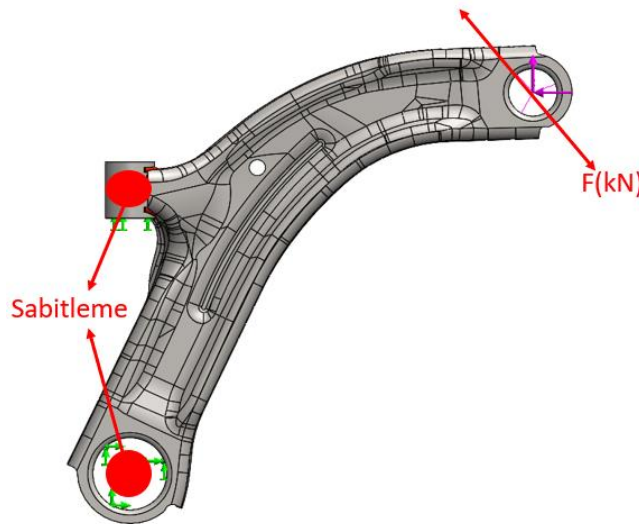
görünümüne ait sac salıncağın üst yüzeyinin görünümü yer almaktadır. Orta kısımdaki görsel, destek sacı bulunmayan salıncağın alt yüzeyini gösterirken; sağdaki görselde ise destek sacı entegre edilmiş salıncağın alt görünümü sunulmaktadır. Bu görseller yapılan 3D tasarıma ait sac salıncağın üretim sonrası fiziksel görünümüdür.



Şekil 2: Destek saclı ve destek sacsız sac salıncakların üstten ve alttan üretim sonrası fiziksel görünümü

Ardından hem binek hem de ticari aracın teknik verilerinden faydalanılarak maksimum taşıma kapasiteleri belirlenmiş; bu veriler temel alınarak mühendislik hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda, testlerde ve sayısal analizlerde uygulanacak nominal yük değeri 6190 N olarak tanımlanmıştır. Bu yük, hem deneysel düzende hem de sonlu elemanlar analizinde, salıncağın aracın alt şasisine bağlandığı geometrik koşullar dikkate alınarak, 25° eğimli bir eksen boyunca uygulanmıştır.

Sonlu elemanlar analizleri (FEA) Solidworks yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz kurulumu sırasında, salıncağın şasiye bağlandığı burç noktaları ankastre (sabit) kabul edilmiş, yük ise rotilin küresel merkezinden tekil kuvvet olarak uygulanmıştır (Şekil 3). Yapılan analizlerde, salıncak gövdesinin mekanik davranışlarını daha doğru değerlendirebilmek amacıyla burç ve rotil gibi bağlantı elemanları modele dâhil edilmemiş; yalnızca salıncak gövdesi analiz kapsamına alınmıştır. Yapısal analizler hem statik gerilme dağılımı hem de şekil değiştirme davranışları açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 3: Sonlu elemanlar programında analiz için girilen yük ve sabitleme yerleri

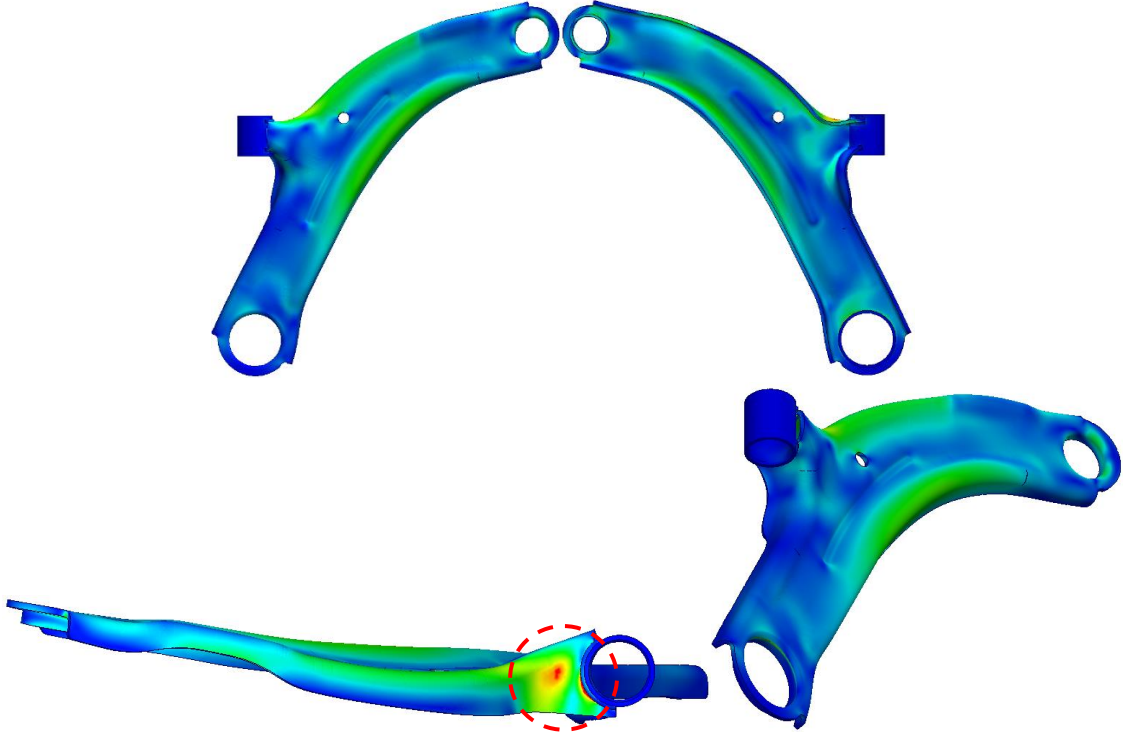
Deneysel alışmalar kapsamında ise, statik analizde hesaplanan yük değerine eşdeğer kuvvetin fiziksel olarak uygulanabilmesi için özel bir test düzeneği kurulmuştur. Bu testlerde Inova kontrolcülü MTS marka hidrolik aktüatör sistemleri kullanılmıştır. Test düzeneği, yükün salıncağa doğru aı ve bağlantı koşullarıyla uygulanabilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmış ve şekil 4'te gösterilmiştir. Dinamik test sırasında uygulanan yükleme frekansı 3 Hz olarak belirlenmiş ve tüm test süresince sabit tutulmuştur. Deneysel veriler ve sayısal sonuçlar daha sonra karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.



şekil 4: Gerçek yol şartlarını simüle eden dinamik test düzeneği

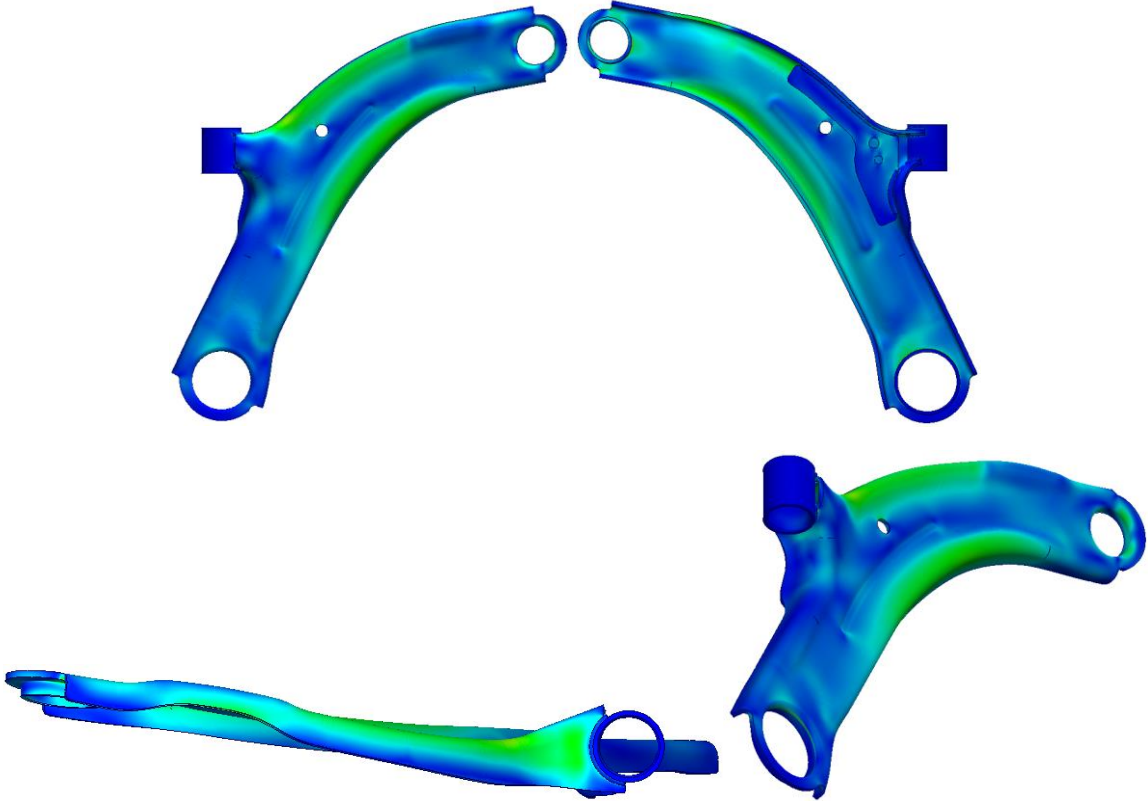
III. BULGULAR

Çalışmanın ilk aşamasında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak statik yapısal analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, destek sacı içermeyen salıncak numunesinde en yüksek gerilim değerleri küçük burç bölgesinde, özellikle kaynak bağlantısına yakın noktalarda yoğunlaşmıştır. Bu durum, ilgili bölgenin yapısal zafiyete en yatkın alan olduğunu ortaya koymaktadır. Destek sacı bulunmayan sac salıncağa ait detaylı gerilim dağılımları ve deformasyon davranışları şekil 5'te sunulmuştur.



Şekil 5: Destek sacsız sac salıncak sonlu elemanlar analizi sonucu

Aynı yükleme ve sınır koşulları altında, destek sacı ilave edilmiş salıncak numunesi için de statik sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, destek sacının uygulandığı bölgede gerilim yoğunluğunun belirgin şekilde azaldığını ortaya koymuştur. Bu durum, destek sacının yapısal dayanımı artırarak kritik bölgelerdeki gerilme birikimini önemli ölçüde düşürdüğünü göstermektedir. Destek sacı ile güçlendirilmiş sac salıncağa ait detaylı gerilim dağılımları ve yapısal tepkiler Şekil 6’da sunulmuştur.



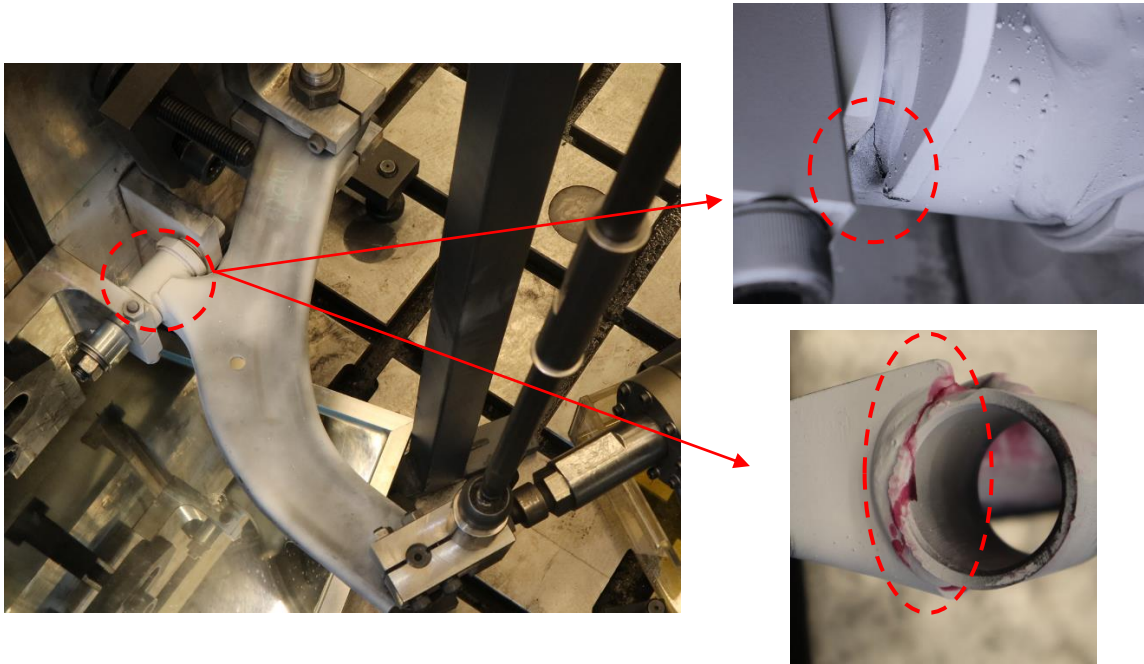
Şekil 6: Destek sacı sac salıncak sonlu elemanlar analizi sonucu

Sonlu elemanlar analiziyle elde edilen sayısal verilerin doğrulanabilmesi amacıyla, fiziksel olarak üretilen salıncak numuneleri üzerinde gerçek çalışma koşullarını temsil eden dinamik testler gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda elde edilen veriler Tablo 1’de sunulmuştur. Yapılan karşılaştırma neticesinde, destek sacı ile takviye edilmiş salıncak numunesinin, destek sacı içermeyen versiyona kıyasla yaklaşık 7,8 kat daha yüksek çevrim ömrüne sahip olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, destek sacı uygulamasının yorulma dayanımı üzerinde önemli ölçüde iyileştirici etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

#	Parça Tanımı	Yapısal Özellik	Yük (N)	Maks. Çevrim Sayısı	Maks. Deformasyon (mm)	Durum / Yorum
1	Destek Sacsız Sac Salıncak	Standart	6190	49,468	4.97	Orta düzeyde performans
2	Destek Saclı Sac Salıncak	Takviyeli (Destek sacı)	6190	363,550	4.68	En başarılı tasarım

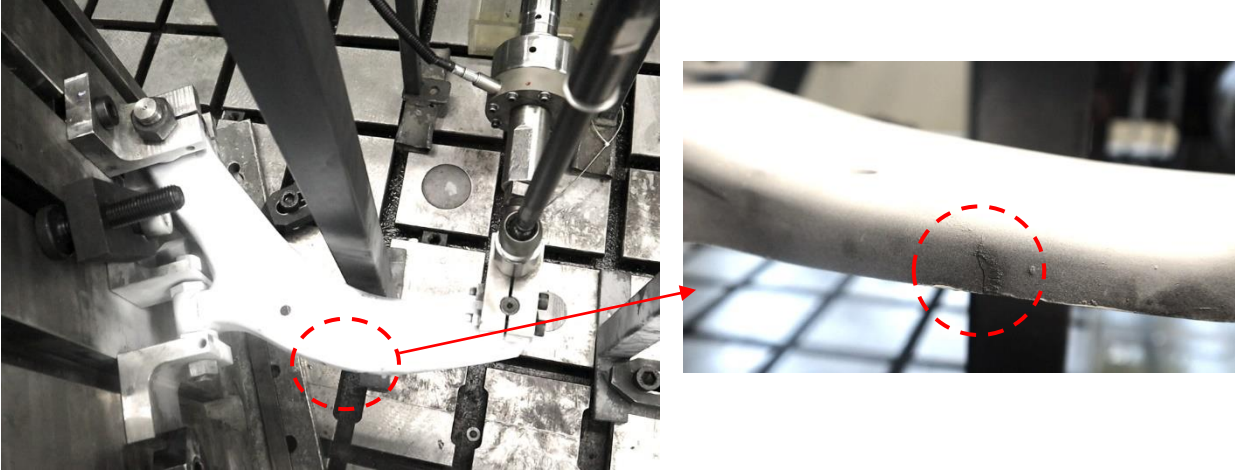
Tablo 1: Dinamik test sonucu verileri

Dinamik testlerin ardından elde edilen bulgular, sayısal analiz sonuçlarıyla tutarlı şekilde, destek sacı içermeyen sac salıncak numunesinde deformasyonun küçük burç bölgesindeki kaynak dikişi çevresinde yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Bu durum, söz konusu bölgenin yapısal zayıflığa en açık alan olduğunu doğrulamaktadır. Destek sacı bulunmayan numunenin dinamik test sonrası deformasyon davranışları Şekil 7’de ayrıntılı olarak sunulmuştur.



Şekil 7: Destek sacsız sac salıncak dinamik test sonrası resimler

Destek sacı ile takviye edilmiş sac salıncak numunesinde ise dinamik testler sonrasında oluşan yapısal deformasyonun, salıncak gövdesinin büküm bölgesinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum, destek sacının küçük burç bölgesindeki gerilim birikimini azaltarak yük transferini gövdenin başka bölgelerine yönlendirdiğini göstermektedir. Destek sacı uygulanan salıncakın dinamik test sonrası deformasyon karakteristikleri Şekil 8’te detaylı biçimde sunulmuştur.



Şekil 8: Destek sacı sac salıncak dinamik test sonrası resimler

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada, binek araçlarda yaygın olarak kullanılan sac salıncakların, ticari araçlarda kullanılabilirliğini artırmak amacıyla destek sacı ile takviye edilmesi ele alınmıştır. Hem sayısal analizler hem de fiziksel testler sonucunda elde edilen bulgular, destek sacı uygulamasının salıncığın yapısal dayanımı üzerinde belirgin bir iyileşme sağladığını göstermektedir.

Sonlu elemanlar analizlerinde, destek sacı bulunmayan salıncaklarda maksimum gerilmenin küçük burç bölgesindeki kaynak çevresinde yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum, salıncığın bu bölgesinin tekrarlayan yükler altında yorulmaya ve deformasyona en açık alan olduğunu ortaya koymaktadır. Öte yandan, destek sacı ilavesi ile bu bölgedeki gerilim değerlerinde anlamlı bir düşüş elde edilmiştir. Bu düşüş, yükün yapıya daha dengeli dağılmasını sağlayarak kritik bölgelere olan gerilim yoğunluğunu azaltmaktadır.

Analitik bulgular, fiziksel testlerle de doğrulanmıştır. Gerçek ortamı temsil eden dinamik testlerde, destek sacı bulunmayan salıncak kısa sürede küçük burç kaynak bölgesinde deformasyona uğramış; destek sacı içeren salıncak ise yaklaşık 7,8 kat daha fazla çevrime dayanarak önemli bir performans artışı sağlamıştır. Bu sonuçlar, destek sacının yorulma ömrü üzerindeki olumlu etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

Ancak dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, destek sacı uygulaması sonrası deformasyonun farklı bir bölgeye, yani salıncak gövdesinin büküm noktasına kaymasıdır. Bu durum, yapının zayıf halkasının yer değiştirdiğini ve destek elemanının yük aktarım yollarını etkilediğini göstermektedir. Bu bağlamda, destek sacının yalnızca yerel dayanımı artırmakla kalmadığı, aynı zamanda genel yükleme davranışını da değiştirdiği anlaşılmaktadır. Bu gözlem, tasarımın bütünsel olarak ele alınması gerektiğini ve takviye uygulamalarının diğer potansiyel zayıf bölgelerde yeni gerilim odakları yaratabileceğini göstermektedir.

Sonuç olarak, destek sacı uygulaması, sac salıncakların özellikle ağır hizmet koşullarında kullanılabilirliğini artırmak adına etkili bir çözüm olarak değerlendirilmiştir. Ancak optimum destek tasarımı için ileri düzey topoloji optimizasyonları, farklı malzeme ve kaynak teknikleriyle birleştirilerek gelecekteki çalışmalarda ele alınmalıdır.

V. SONUÇLAR

- Destek sacı uygulaması, sac salıncakların yorulma dayanımını artırmakta ve özellikle kritik gerilim bölgelerinde oluşabilecek deformasyonları önemli ölçüde azaltmaktadır.

- Yapılan dinamik testler sonucunda, en yüksek çevrim ömrü ve en düşük yapısal deformasyon, destek sacı ile takviye edilmiş salıncak numunesinde elde edilmiştir. Bu durum, destek sacının yük dağılımı üzerindeki olumlu etkisini ve yapısal rijitlik katkısını açıkça ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde verdikleri teknik destek, malzeme temini ve test imkânları dolayısıyla AYD Otomotiv Endüstri San. Tic. A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Ayrıca, çalışma süresince bilgi ve tecrübeleriyle yönlendirmede bulunan Sayın Ahmet Çakal'a; test süreçlerindeki katkılarından dolayı Tekniker Burak İnan ve Selman Aydın'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKLAR

- [1] Lee, J., Kim, S., & Park, Y. (2019). Topology optimization of sheet metal suspension arms for weight reduction. *International Journal of Automotive Technology*, 20(3), 495-502.
- [2] Kaya, B., & Demir, A. (2021). Investigation of different manufacturing methods on the performance of automotive suspension arms. *Engineering Failure Analysis*, 127, 105458.
- [3] Zhou, W., Li, H., & Chen, J. (2017). Structural analysis of control arms under dynamic loading conditions. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(5), 2375–2382.
- [4] Ren, H., & Chen, L. (2016). Fatigue analysis of automobile control arm based on nCode. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 81, p. 08005). EDP Sciences.