

ARAÇ ÇAMURLUKLARININ YOL SİNYALLERİ ETKİSİ ALTINDA TİTREŞİM ANALİZİ

Ali Mentеше ^{1*}, Zeynep Sarohan ², Batuhan Evren ³, Cihan Demir ⁴

^{1*}Tırsan Treyler San., Sakarya/Türkiye, ORCID: 0000-0002-2224-5987
^{1*}(ali.mentese@tirsan.com)

²Tırsan Treyler San., Sakarya/Türkiye, ORCID: 0000-0002-1932-4809
²(Zeynep.sarohan@tirsan.com)

³Tırsan Treyler San., Sakarya/Türkiye, ORCID: 0000-0002-7038-4818
³(batuhan.evren@tirsan.com)

⁴Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul/Türkiye.
⁴ORCID: 0000-0001-8412-0787
⁴(c.demir@yildiz.edu.tr)

(Received: 10 March 2025, Accepted: 26 March 2025)

ATIF/REFERENCE: Mentеше, A., Sarohan, Z., Evren, B. & Demir, C. (2025). Araç Çamurluklarının Yol Sinyalleri Etkisi Altında Titreşim Analizi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9(3), 455-463.

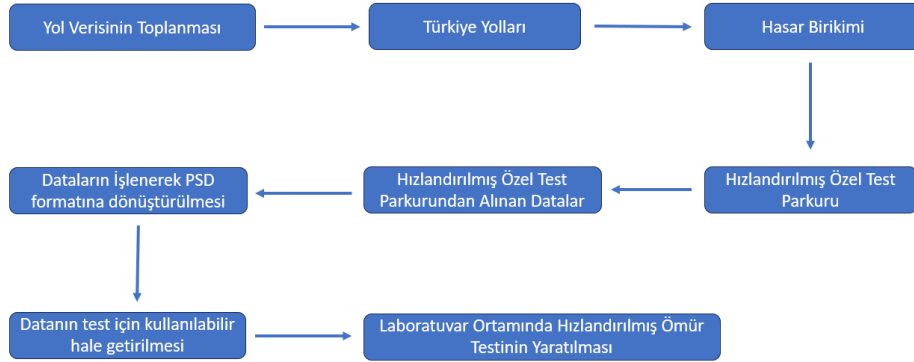
Öz – Bu çalışmada ticari araçlarda kullanılan galvaniz kaplı çelik çamurluk bağlantı aparatının bağlantı yuvalarında, kelepçe kısımlarında ve braket üzerinde oluşan paslanma sorunlarını aşmak ve bunların yanı sıra yol koşulları etkisi ile çamurlukta oluşan titreşimi en aza indirmek adına karbon takviyeli poliamid 66 malzemeli çamurluk bağlantı aparatı tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımda çamurluk bağlantı aparatının tüm parçaları karbon takviyeli poliamid 66 malzemesinden üretilmiştir. Tasarımda kelepçe bağlantısının ve çamurluk bağlantısının yapılması için açılacak deliklerde kullanılacak olan civatanın böğür çapı ölçüsünde tasarlanmıştır. Tasarlanan bu çamurluk bağlantı aparatı ile araç üzerinde belli miktarda hafifletme sağlanacaktır. Çamurluk bağlantı aparatı, ticari araçların taşıt ömür testlerinde baz alınan 1,000,000 km değerini simüle edecek olan çeşitli yol kalitelerinden oluşan parkurdan alınan gerçek yol sinyalleri ile laboratuvar ortamında şoför, çekici, prototip araç üretimi vb. masraflardan kaçınarak ömür değerlendirilmesi yapılması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler – Yol pürüzlülüğü, Vibrasyon Testi, Çamurluk, Data filtreleme, Hızlandırılmış Taşıt Ömür Testi.

1. GİRİŞ

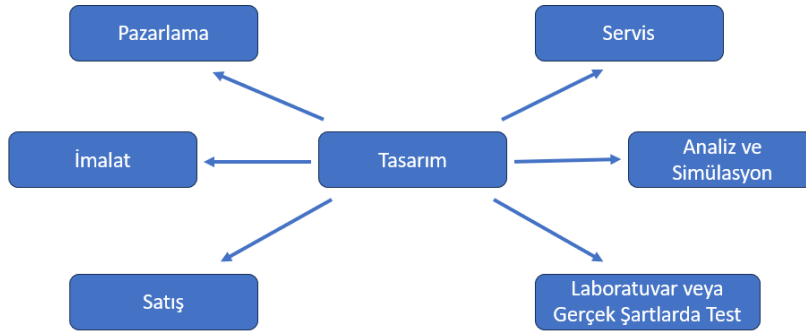
Günümüzde çoğu araçların üretimi esnasında birçok önemli süreç vardır. Bunlar en önemli olanlar tasarım ve doğrulamadır. Bir aracı tasarım kısmının tamamen tamamlanması için ortaya çıkan nihai tasarımın doğrulanması gerekmektedir. Bu doğrulama metotları çeşitlendirilebilir. Tasarımı oluşturan ve bu doğrulama parametrelerinin de içinde bulunduğu şema Şekil 1'deki gibidir. Eski zamanlarda araç üreticileri tasarımı tamamlanan aracın bir prototipini üreterek çeşitli arazi koşullarında testlerini gerçekleştirerek testlerin tamamlanması sonucunda alınan önlemlerle nihai araç tasarımını ortaya koymuşlardır. Bu

süreçlerin tamamlanması için prototip üretilmeli, şoför ayarlanmalı ve araca sürekli olarak yakıt takviyesi yapılmalıdır. Tüm bunlar oldukça maliyetli ve uzun zaman almaktadır bu nedenle günümüz zamanında bu testler karayollarında gerçekleştirmek yerine özel parkurlar ve laboratuvar ortamlarında gerçekleştirilir [1].



Şekil 1. Tasarım bilgi transferi

Bu iki yöntemde yapılan ömür testleri maliyet ve zaman açısından oldukça avantajlıdır. Normal sürede 1,000,000 km'nin tamamlanması 2 yıl alacak iken oluşturulan özel parkurda 2 ayda testler tamamlanmaktadır. Bir diğer yöntem olan laboratuvar ortamlarında yapılan testler ise gece gündüz devam edebilmesi ve insan kontrolüne gerek duymaması sebebi ile çok daha hızlı ve etkin sonuç verebilmektedir. Bu testlere istinaden işlem akış şeması Şekil 2'de belirtilmektedir.



Şekil 2. Yöntem akış şeması

Araç yorulma ömür testlerinde kullanılan özel parkurların hazırlık süreçleri de bir hayli uzundur. Parkurun oluşturulması için 1'den fazla zemin yapısı eklenir. Bu zemin yapıları aracın girdiği farklı yollardan alınan kesitler ile tamamlanır. Örnek olarak asfalt, çukurlu ve engebeli yollar olabilir. Oluşturulan bu parkurda aracın %25 kötü %25 iyi ve %50 orta kalitede yolda ilerlemesi sağlanır ve buna göre oluşturulur [2],[3]. Böylelikle oluşturulan parkurda aracın karayollarında maruz kalacağı tüm koşullar simüle edilmiş olur. Bu simülasyonun amacı aracın 1,000,000 km de maruz kalacağı stres değerlerine daha kısa zamanda ve daha az km de maruz bırakmaktır. Araç yorulma ömrünün belirlenmesi için yapılan tüm bu testler ana yük taşıyan eleman olan şaseye yapılmaktadır. Fakat bu testler şase dışında aracın diğer parçaları içinde yapılabilmektedir.

Üzerinde çalışma yaptığımız çamurluk parçalarının araç şasesinin yoldaki çeşitli çukurlar sebebi ile aralıklı olarak titreşime maruz bırakılmaktadır. Şase de oluşan bu titreşimler çamurluk parçasına bağlantı aparatı ile iletilmektedir. Çamurluğun aralıklı olarak titreşime maruz kalması çamurluk ve bağlantı aparatının deforme olmasına çatlamasına hatta kırılmasına yol açmaktadır. Bu gibi istenmeyen durumların önüne geçmek ve çamurluğun istenilen ömrünü tamamlamasını sağlamak için çeşitli testler yapılmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir;

- Statik Dayanım Testi
- Tuz Korozyon Testi
- Araç Üzerinde Yorulma Ömür Testi

Bir önceki adımda belirtilen testlerden en çok zaman alan ve maliyeti yüksek olan fakat doğruluğu da diğer testlere göre %80 daha fazla olan araç üzerinde yapılan yorulma ömür testidir [3,4]. Araç üzerinde yapılan bu yorulma ömür testini günümüzde uygulanan özel parkurlarda gerçekleştirmek için prototip araca ve şoföre ihtiyaç vardır. Bu süreç oldukça uzun ve maliyetli olması ile bizleri farklı yöntemler arayışına sokmaktadır. Yapılan yorulma testlerini daha etkin ve kısa sürede tamamlamak için çamurluk bağlantı aparatı titreşim cihazına bağlanmıştır.

Titreşim cihazına bağlanan çamurluk bağlantı aparatının araç üzerinde olduğu gibi titreşim sağlaması için özel parkur üzerinde standart bir araç üzerinden yol sinyalleri toplanmıştır. Toplanan bu sinyaller ivme ölçerler yardımı ile çamurluğun şaseye bağlantı yeri tespit edilerek o bölgeden toplanmıştır. Yol sinyallerinin toplanması için özel cihazlar ve programlar kullanılmıştır. Araç şasesi üzerine bağlanan ivme ölçerler yardımı ile anlık olarak çamurluğun bağlandığı bölgeden yol sinyali toplanmıştır. İvme ölçer olarak araca IMU bağlanmıştır. IMU ataletsel bir ölçü birimidir. Üç boyutlu uzayda bir nesnenin açısal konumunu ve yer değiştirmesini entegre jiroskoplardan ve ivmeölçerler kullanılarak ölçen sensör bütünüdür [4,5]. IMU dan alınan ivme zaman sinyalleri yardımı ile çamurluk titreşimini belirlemek için elde edilen sinyallere Filtreleme ve Hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform-FFT) uygulanmıştır. Bu gibi sinyal filtreleme işlemlerini N-code, Matlab yazılımlarını ve RainFlow sayma metodu kullanarak yapılabilmektedir [6].

2. MATERYAL VE METHOD

Bu çalışmada galvaniz kaplı çelik çamurluk bağlantı aparatı yerine daha hafif, üretimi kolay ve maliyeti düşük olan karbon takviyeli poliamid 66 kullanılmıştır.

Standart araçlarda kullanılan galvaniz kaplı çelik çamurluk bağlantı aparatı yerine karbon takviyeli poliamid 66 bağlantı aparatının öncelikle malzeme kompozisyonu belirlenmiştir. Shore değerleri ölçülmüştür. Poliamid parça için karbon takviyesi optimum seviyede tutulmuştur. Bunun sebebi yüksek karbon miktarının malzemenin gevrekliğini arttırmaktadır. Çamurluğun gevrek olması durumunda sürekli olarak titreşime maruz kalması durumunda direk olarak kırılabilir. Poliamidde kullanılan karbon miktarı optimum tutularak belirli yük altında deforme olmayacak ve sürekli titreşim esnasında elastiklik sağlayarak kırılmayacaktır.



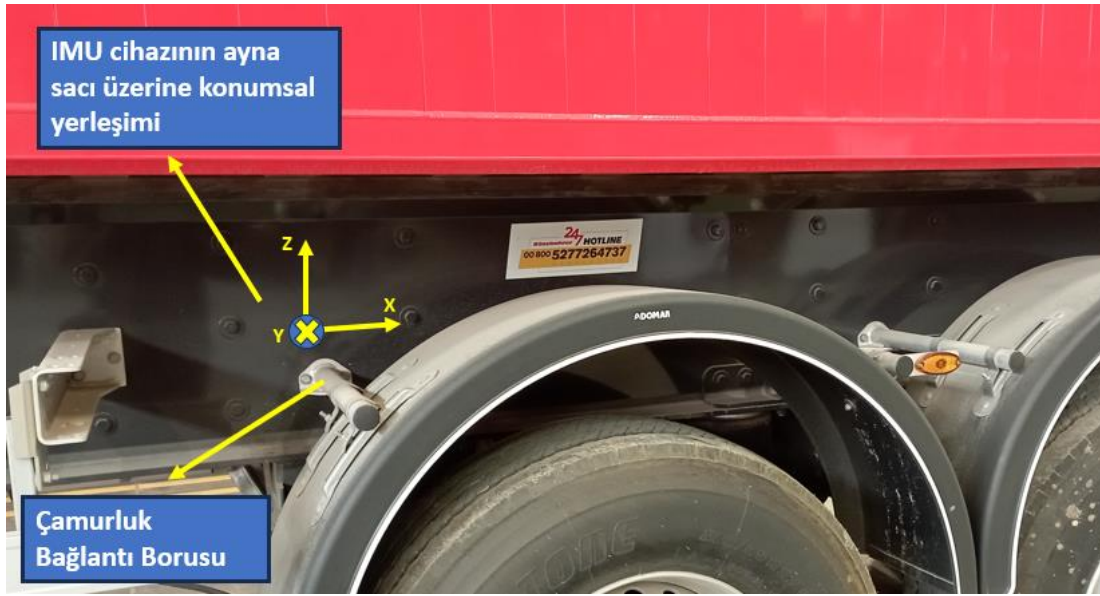
Şekil 3. Paslanan galvaniz kaplı çelik çamurluk bağlantı aparatı.

Çamurluk testlerinde askeri şartlara uygun yapılmaktadır. Bu teste çamurluk bağlantı aparatının gerçek yol sinyali etkisi altında ömrünün belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Galvaniz kaplı çelik çamurlukların kullanılması durumunda Şekil 3'te belirtildiği gibi çamurluk bağlantı aparatı üzerinde su, toz ve hava koşulları nedeni ile korozyon oluşmaktadır. Korozyona bağlı olarak parçanın mukavemeti ve ömründe azalma meydana gelmektedir. Bu durumların önüne geçilmesi sebebi ile karbon takviyeli poliamid 66'dan üretilen çamurluk bağlantı aparatı kullanılması düşünülmüştür. Gerekli testler yapılarak yeni üretilen karbon takviyeli poliamid 66 çamurluk bağlantı aparatı doğrulamasının yapılması amaçlanmaktadır.

3. TİTREŞİM ÖMÜR TESTİ

Çamurlukların araç üzerinde nasıl hareket ettiğini hangi frekansta titreştiğini belirlemek için aracın yol şartları etkisi esnasında maruz kaldığı titreşim hareketi belirlenmelidir. Testlere araç üzerinde sinyal toplayarak başlanılmıştır. Araç üzerinde çamurluğun bağlı olduğu nokta işaretlenerek belirlenmiştir. Bu nokta yol koşullarına bağlı olarak dikey eksende körükler vasıtasıyla zeminden gelen yükü absorbe eden dingillerin hareketi sonucu şasinin titreşime maruz kalması sebebi ile çamurlukların şasi üzerine bağlı olduğu noktalar baz alınarak belirlenmiştir. Belirlenen bu noktalara IMU (Inertial measurement unit) cihazı bağlanarak çamurluğun bağlı olduğu noktanın üç boyutlu uzayda açısal konumunu ve yer değiştirmesi sinyal halinde aracın parkurda bir tur atması sonrasında ortaya çıkarılmıştır. Böylelikle toplanan sinyal özel hazırlanan parkurdaki bir turu simüle etmektedir.



Şekil 4. IMU sensörü araç üzerine yerleşimi.

Aracın hareketi sonrasında çıkarılan bu sinyalleri vibrasyon cihazına entegre edilmesi için deplasman zaman grafiğinin ivme frekans grafiğine dönüştürülmelidir. Böylelikle çamurluk bağlantı aparatının hangi frekansta ne tür davranış sergilediği gözlemlenecektir. Alınan sinyaller ivme zaman grafiği olması sebebi ile dewesoft programı vasıtasıyla PDS sinyaline çevrilmiştir.

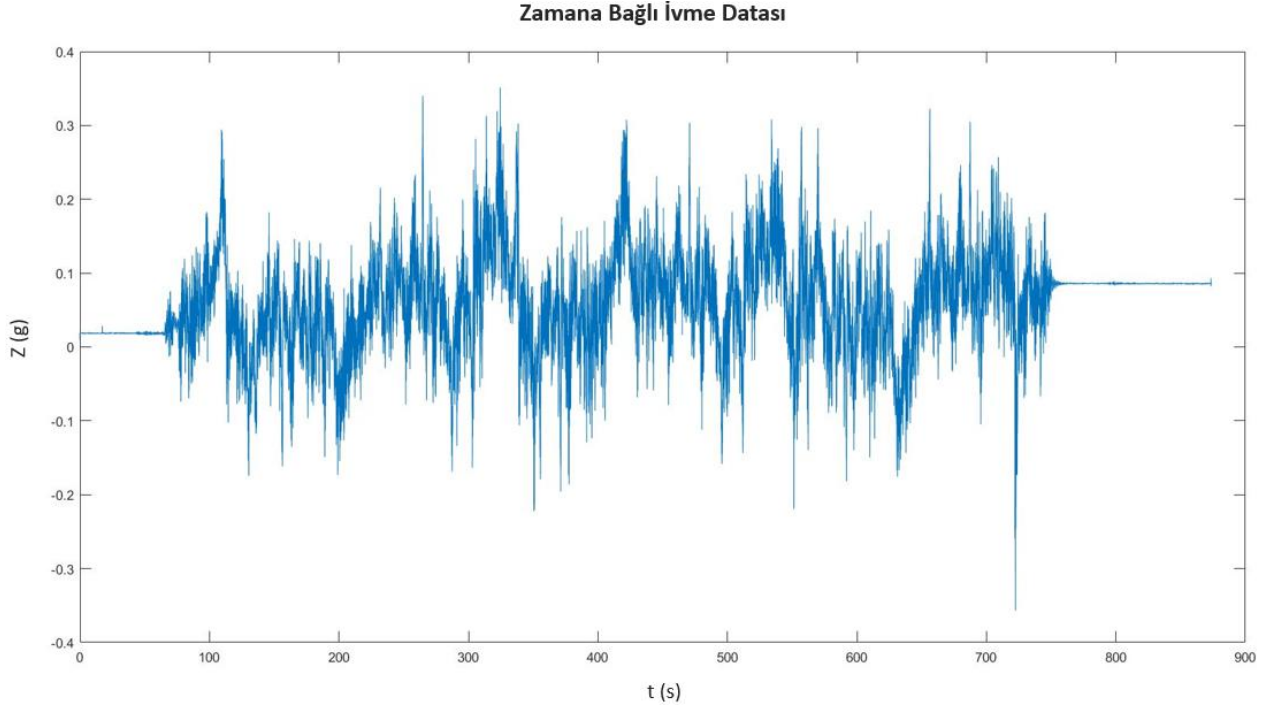
4. YOL SİNYALİ TOPLAMA

Titreşim testlerinde kullanılması için öncelikle çamurlukların araç üzerine bağlantısını sağlayan boruların şasi üzerinde konumu belirlenir. Belirlenen bu konumdaki sinyalleri toplamak için IMU sensörü Şekil 4'teki gibi yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu sensör bize aracın 3 boyutlu uzayda 3 ekseninde hareketi ve dönmeyi açılarını vermektedir.

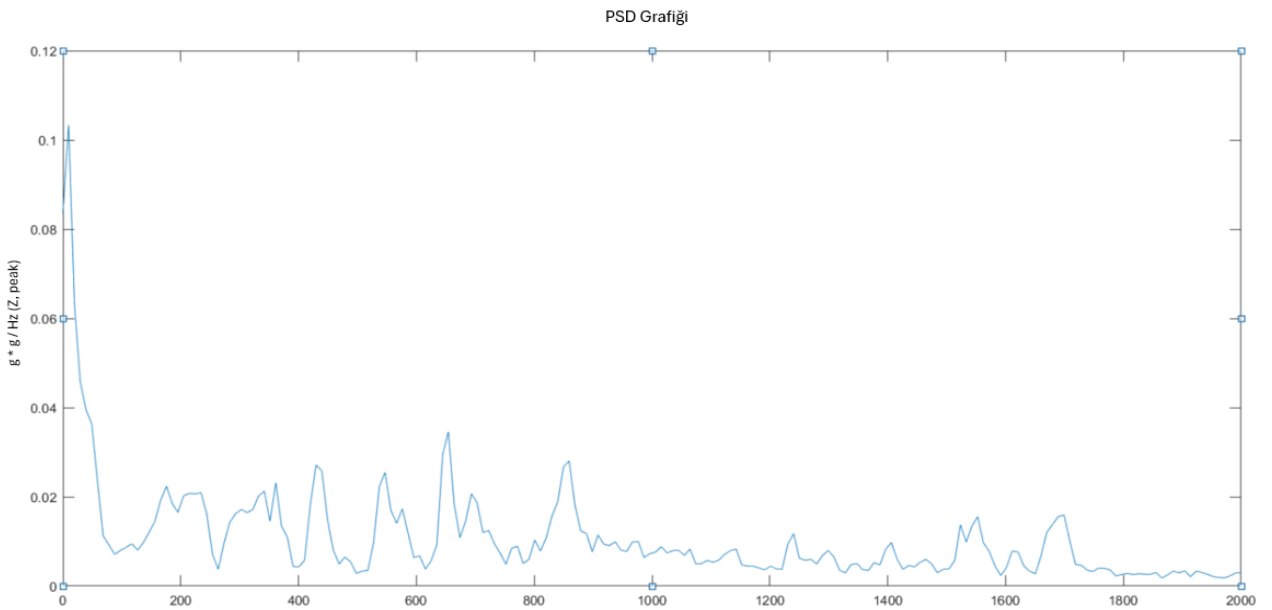
IMU sensörünün yerleştirilmesi sonrasında araç offroad sahasında 2 tur atmaktadır. Aracın offroad sahasında 2 tur atması yolun sağ ve sol kısımlarının simetrik olmaması sebebi ile yapılmaktadır. Böylelikle offroad yolunun her noktasından sinyal toplanmıştır. Araç şasisinin çamurluk bağlantı noktasından toplanan bu sinyal Şekil 5'teki gibidir.

Elde edilen ivme zaman grafiği titreşim test cihazına entegre edilebilmesi için frekans a bağlı ivmedeki değişime bakılmıştır.

İvme zaman grafiğinin Şekil 5'in dönüştürülmesi sonrası güç spektral yoğunluğu Şekil 6'da verilen sinyal elde edilmiştir. Elde edilen bu sinyaller ile titreşim test cihazına aktarılacak olan sinyallerin Şekil 7 ve Şekil 8'de belirtildiği gibi grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 5. Offroad sahasından alınan ivme zaman grafiği.



Şekil 6. İvme zaman grafiğinden elde edilen PSD grafiği.

Titreşim test cihazına aktarılarak oynatılan bu sinyallerin geri yansımalarını inceleyebilmek için titreşim test cihazı üzerine ivme ölçer yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu ivme ölçerden alınan sinyaller Şekil 9'da belirtilmiştir.

Test süresindeki azalmayı hesaplamak için MIL-STD-810G METHOD 514.6 standardı referans alınarak en yaygın kullanılan yöntem olan Miner-Palmgren hipotezi kullanılmıştır.

Miner-Palmgren hipotezi: maruz kalma süresi ve genliği ilişkilendirmek için yorgunluğa dayalı bir güç yasası ilişkisi kullanır [7]. Matematiksel ifade bu tekniğe ilişkin değişken açıklamaları aşağıda gösterilmektedir.

t_1 = eşdeğer test süresi

t_2 = belirtilen durum için hizmet içi süre

S_1 = test koşulundaki şiddet (rms)

S_2 = hizmet koşullarındaki şiddet (rms)

[S_1/S_2 oranı yaygın olarak abartma faktörü olarak bilinir.]

m = uygun malzeme için S-N eğrisinin eğimine dayalı (ancak eşit olmayan) bir değer; burada S stres genliğini temsil etmektedir. Standarda göre bu test için 7.5 alınmıştır.

Yukarıda belirtilen işlemler sonrasında 256 saat olan test süresi 40 saate düşürülmüştür. Test ile ilgili parametreler Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te belirtilmiştir. Testin Şekil 10'da belirtildiği gibi kurulumu yapılarak başlatılmış ve test süresince aralıklı olarak komponent üzerinde incelemeler yapılmıştır.

Tablo 1. Kırılma noktası.

Frequency	G^2/Hz	Db/Octave
10	0.085	-13.16
20	0.004102	3.429
50	0.01165	-13.73
70	0.002511	-0.8584
450	0.001477	10.28
900	0.01575	-12.12
1620	0.001477	143.8
1700	0.01477	-190.5
1770	0.001149	-

Tablo 2. Test düzeyi süresi.

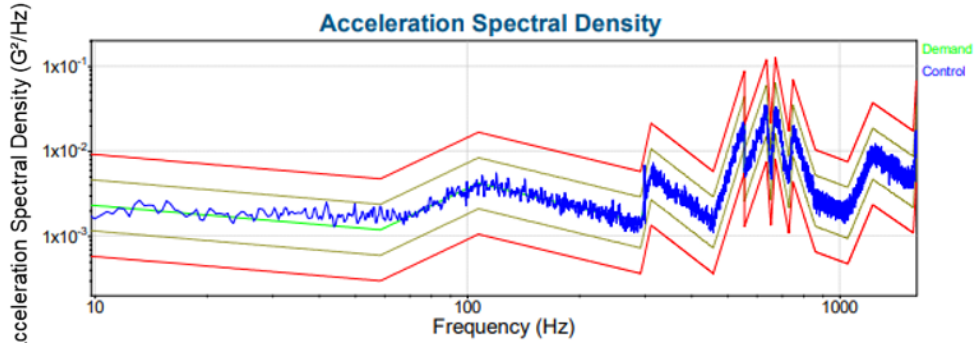
Duration	Level
40:00:00	100%

Tablo 3. Ölçümler.

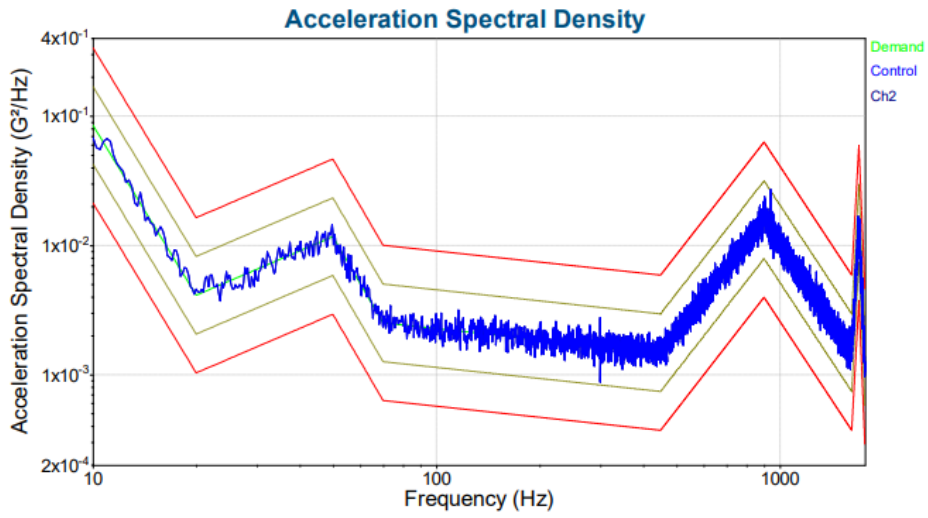
Demand	Control
3.01 G RMS	5.332 mm pk-pk
3.027 G RMS	5.688 mm pk-pk

Tablo 4. Kanal ölçümleri.

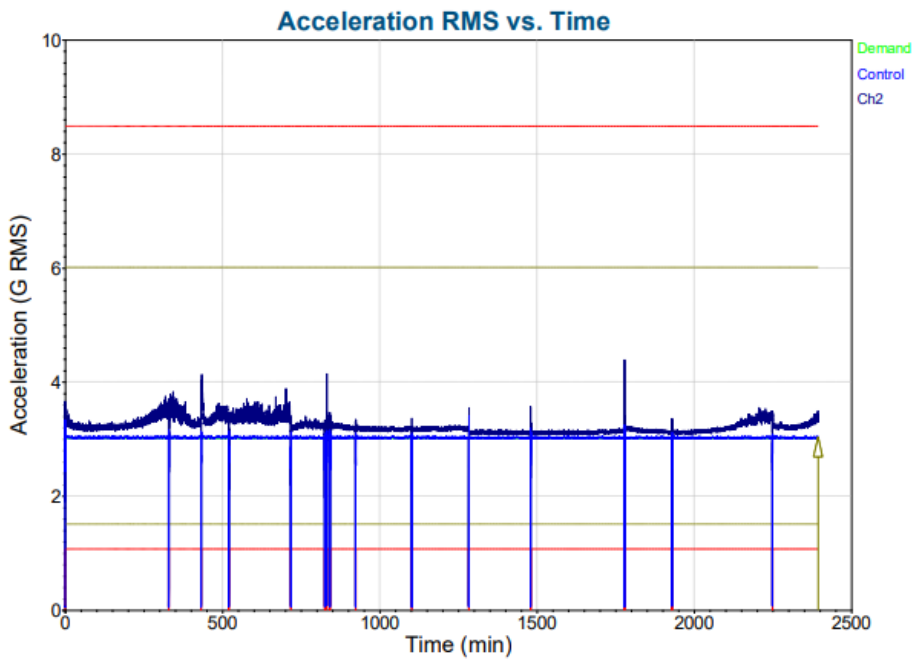
Channel	Overall
Ch1	1.466 G RMS
Ch2	3.348 G RMS
Ch3	1.583 G RMS
Ch4	0.002764 G RMS



Şekil 7. Frekans değerine bağlı g^2/Hz grafiği (Yatay eksende).



Şekil 8. Frekans değerine bağlı g^2/Hz grafiği (Dikey eksende).



Şekil 9. Testte uygulanan ivme zaman grafiği.

5. TEST ÇALIŞMALARI

Testin doğru şekilde yapılabilmesi için titreşim test cihazına öncelikle şasi kesiti montajlanmıştır. Montajlanan bu şasi üzerine araçtaki gibi çamurluk boruları, çamurluk bağlantı aparatları ve çamurluk yerleştirilmiştir. Böylelikle Şekil 4'te görüldüğü gibi çamurluk bağlantı aparatlarına yük gelmesi sağlanmıştır. Plastik çamurluk araçta olduğu gibi titreşim test cihazına bağlanmıştır. Böylelikle testlerde en doğru sonuç alınmıştır.



Şekil 10. Sistemin fiziksel olarak kurulumu.

6. SONUÇLAR

Uygulanan bu yöntemde yol sinyallerinin komponent testleri için en doğru noktadan alınması ve alınan yol sinyallerinin işlenmesi en kritik noktadır.

Yol sinyallerinin en doğru şekilde toplanması için komponentin bağlı olduğu konum belirlenmiştir. Belirlenen bu noktaya iki adet ivme ölçer yerleştirilmiştir. Böylelikle sinyalin doğru olduğundan emin olunmuştur. Şasi üzerine çamurluğun bağlı olduğu noktalar sinyal toplamada en büyük etkidir. Toplanan zamana bağlı ivme sinyalleri PDS sinyaline dönüştürülmüştür. Böylelikle yoldan alınan sinyaller test cihazına entegre edilerek laboratuvar ortamında hızlandırılmış ömür testi yaratılmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan bu testin bir diğer önemli noktası araç üzerinde olduğu gibi komponentin bağlanmasıdır. Aksi takdirde çamurluğa gelen kuvvetler yol koşulları ile aynı olmayacaktır.

Yapılan bu çalışma sonucunda 1,000,000 km de testleri gerçekleştirmek için 1.5 yıl gece gündüz çalışılması gerekirken toplanan yol sinyalleri ve testler ile bu zaman süresi 40 saate indirgenmiştir. Bunların yanı sıra çekici, treyler ve şoföre ihtiyaç duyulmadan testler tamamlanmıştır. Testler sonucunda galvaniz kaplı çelik kullanılan çamurluk bağlantı aparatına alternatif olarak plastik çamurluk bağlantı aparatının kullanılabilir olduğu ortaya koyulmuştur. Plastik çamurluğa geçilmesiyle birlikte araç üzerinden 4.5 kg hafifletme sağlanmış ve birim fiyatı olarak %70 düşürülmüştür. Bunların yanı sıra belli bir kullanım sonra su, toz ve hava koşullarına bağlı olarak galvaniz kaplı çelik çamurluk bağlantı aparatları Şekil 3 ve Şekil 4 de görüldüğü gibi cıvata bağlantı noktalarında, braketin üzerinde ve kelepçesinde paslanmalar meydana gelmektedir. Karbon takviyeli poliamid 66'dan üretilen çamurluk bağlantı aparatı kullanımı sonucunda paslanma durumu ortadan kaldırılmıştır. Testler sonrası çamurluk bağlantı aparatı görseli Şekil 11'de görüldüğü gibi kırılma, plastik şekil değiştirme vb. durum ile karşılaşılma olmamıştır. Yalnızca kelepçe cıvatasında 1 mm'lik çözülme meydana gelmiştir. Bu çözülme 1,000,000 km simüle edildiğinde göz ardı edilebilir ve kullanımı engellememektedir.

REFERANSLAR

- [1] Ereke İM. “Taşıt Ömür Testlerinde Yol Datası Kullanımı, Otomotiv Teknolojileri Kongresi”. Otekon, Bursa, Türkiye, 24-26 Haziran 2002.
- [2] Yay K, Ereke İM. “Hızlandırılmış Taşıt Ömür Testlerinde Yol Verisi Kullanımına Yeni Bir Yaklaşım”. İstanbul Teknik Üniversitesi dergisi, 2(5), 61-73, 2003.
- [3] Kaymaz H. “Otomotiv Ömür Testlerinin Arrhenius Yöntemiyle Hızlandırılması, Elektrikli Güç Aktarma sistemleri üzerine deneysel bir çalışma”. Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 6(1), 87-101, 2022.
- [4] Grubisic V. “Determination of Load Spectra for Design and Testing”. International Journal of Vehicle Design, 15(1), 8-26, 1994.
- [5] Palma ES, Santos ES. Cumulative Fatigue Damage in an Automobile Stabilizer Bar: Correlation Between Laboratory and Road Experiments. 4th ed. Pennsylvania, USA, SAE, 2001.
- [6] Crandall, SH. Random Vibration of One-and Two Dimensional Structures Mechanical Systems. 2nd ed, Amsterdam, Netherland, Elsevier, 1979.
- [7] Lalanne C. Mechanical vibration and shock Analysis. 3rd ed. U.K. and USA, ISTE and Wiley, 2014.