

## **Ticari yarı römork tanker şasisinin dayanım testlerinde kullanılacak yol profilinin müşteri kullanım şartlarına göre belirlenmesi ve optimize edilmesi**

Mehmet Aksoy<sup>1\*</sup>, İbrahim Kutay Yılmazçoban<sup>2</sup>, Yaşar Kahraman<sup>3</sup>

*03.09.2014 Geliş/Received, 13.10.2014 Kabul/Accepted*

### **ÖZ**

Bu çalışmada, bir ticari yarı römork tanker şasisinin dayanım testlerinin daha hızlı ve daha az maliyetle Türkiye şartlarında nasıl gerçekleştirilebileceği araştırılmıştır. Çalışma konusu yarı römork şasisinin müşteri kullanım profiline bağlı olarak değişen yol şartlarının oranları belirlenmiş ve yol verileri (aracın maruz kaldığı ivme değerleri) toplanmıştır. Toplanan yol verileri işlenerek farklı yol şartlarının araç üzerindeki hasar etkileri hesaplanmıştır. Hasar etkileri optimize edilerek aracın toplam ömrüne eşdeğer olacak bir yol profili elde edilmiştir. Elde edilen yol profili, yarı römork tanker aracının bilgisayar destekli analizleri, saha testleri ve hızlandırılmış test pistlerinde yapacağı dayanım testleri için referans olarak kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yarı römork, yol profili, veri toplama, yorulma hasar spektrumu, hızlandırılmış ömür testi

## **Optimization of the road durability test profile for commercial semi trailer truck chassis according to the specified requirements of the customer usage**

### **ABSTRACT**

In this study, durability tests of a commercial semi-trailer chassis how can be performed faster and less costly in Turkey were investigated. Varying road conditions rates were identified depending on customer usage profiles and road data (vehicle accelerations) were collected. At the end of the data collection process, the collected data were processed for calculate damage effect of different road conditions on semi-trailer chassis. The road profile that would be equivalent to the total life of the vehicle was obtained by optimizing the damage effects. The resulting road profile was used as reference for semi-trailer tanker vehicle's computer-aided analysis, field testing and accelerated durability tests.

**Keywords:** Semi-trailer, road profile, data acquisition, fatigue damage spectrum, accelerated durability test

---

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya – mehmetaksoy@gmail.com

2 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya - kyilmaz@sakarya.edu.tr

3 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Sakarya - kahraman@sakarya.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Otomotiv sektöründe belirli güvenilirlik seviyelerini karşılamak için gerçekçi müşteri kullanımına dayalı yükleme koşullarını kullanarak araç tasarlanması ve test edilmesi gerekmektedir. Aracın dayanımının istenen seviyede olabilmesi için gerekli olan farklı parametreler bulunmaktadır. Şekil 1’de verilen bu parametreler, çevre koşullarının da dâhil olduğu yükleme durumu, ürünün geometrisi, malzemesi ve imalat özelliklerinden oluşmaktadır. Yükleme koşullarının çok değişken ve müşteriye göre farklılık gösterdiği düşünüldüğünde aracın istenilen güvenilirlik hedefine ulaşması ve ürün kapasitesinin değerlendirilmesi için gerçek yol şartlarında yapılan dayanıklılık testlerinin oldukça iyi bir çözüm olduğu görülmektedir. [1].



Şekil 1. Araç Dayanımını Etkileyen Parametreler (The parameters affecting vehicle durability)

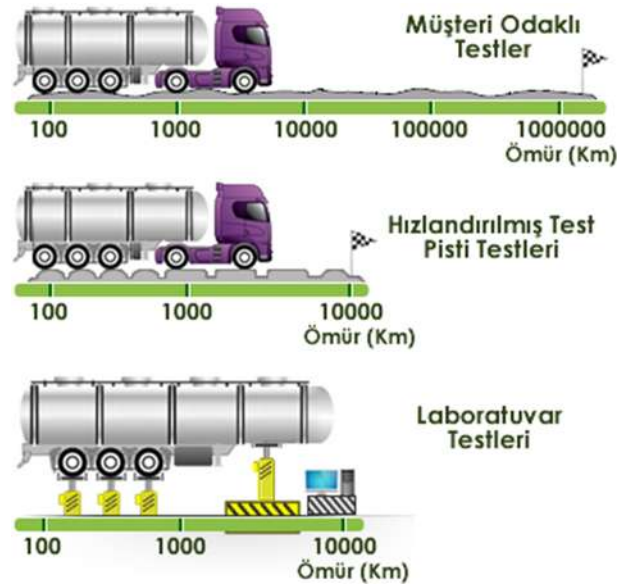
Bu testler müşteri kullanımlarını çok iyi yansıtmakla beraber uzun süreler almaları, maliyetli olmaları ve taşıtların karayollarında normal trafik şartlarında sürülmesi nedeniyle günümüzde demode bir yöntem olarak görülmekle birlikte birçok firma tarafından kullanılmaktadır. Örnek olarak; binek taşıtlar için test süreleri 300.000 km mertebesinde, ağır taşıtlar için ise bu rakam 1 milyon km mertebesinde olabilmektedir. Bu süreler oldukça uzun olması nedeniyle rekabetçi bir sektör olan otomotiv sektöründe istenmemektedir [1-5].

Günümüzde araç dayanıklılık testlerinin daha kısa sürelerde ve farklı yol koşulları için yapılabilmesi amacıyla farklı test hızlandırma yöntemleri geliştirilmiştir. Müşteri çevrimlerini yani gerçek yol şartlarını referans alan bu yöntemler ile bir araç için dayanıklılık testleri 3 farklı şekilde yapılabilir (Şekil 2):

- 1) Müşteri Odaklı Testler
- 2) Hızlandırılmış Test Pisti Testleri
- 3) Laboratuvar Testleri

Yukarıda söz edildiği gibi müşteri odaklı testlerdeki 1 milyon hedef kilometresine ulaşabilmesi için gerekli süre, genelde bir veya iki yıl olabildiğinden, kötü yol test pistlerinde bu süreyi altı aya kadar düşürebilmek mümkündür. Elde edilen en önemli kazanç ise, test süresinin kısaltılmasıdır. Laboratuvar testlerinde ise amaç, en kısa zamanda en doğru şekilde kıyaslanabilir ve tekrarlanabilir veriler veya sonuçlar elde edebilmektir. Laboratuvar testlerinde dayanım test süresi 3-5 hafta arasında değişebilmektedir [4].

Bu sebeplerden dolayı, hızlandırılmış ömür testi süreci otomotiv sektöründe araştırma ve geliştirmeye önem veren firmaların birçoğu tarafından kabul edilmekte, imkânları doğrultusunda kullanılmaktadır.



Şekil 2. Hızlandırılmış Ömür Testi Yöntemleri (Accelerated durability test methods)

Bu yöntemlerden yola çıkarak bu çalışmada, bir yarı-römork akar-yakıt tankerinin dayanıklılık testlerinin Türkiye şartlarındaki müşteri çevrim sürelerinin kısaltılması, bilgisayar analizleri ve hızlandırılmış test pistlerinde yapılacak çalışmalar için referans hasar etkisinin hesaplanması sağlanmıştır.

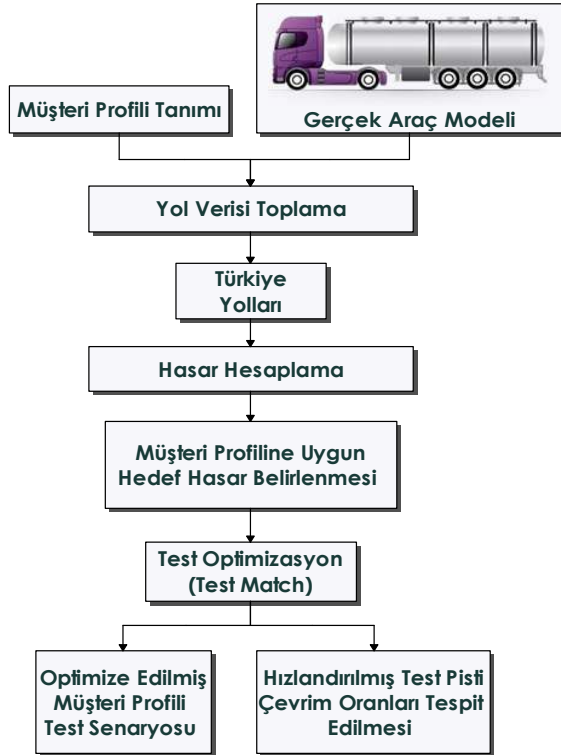


Şekil 3. Hızlandırılmış Test Pisti (Accelerated Test Pist)

## 2. DAYANIM TESTİ OPTİMİZASYON YÖNTEMİ OLUŞTURULMASI (GENERATING OPTIMIZATION METHOD OF DURABILITY TEST)

Hızlandırılmış ömür testlerinde önemli olan husus, gerçek saha hasarlarının oluşturulabilmesi ve test sürelerinin kısaltılmasıdır. Bu amaçla bir aracın ömrü boyunca maruz kalacağı çalışma şartları, müşteri çevrimlerine göre belirlenerek ve yorma etkilerini saptanarak aynı etkiyi oluşturacak şekilde test şartlarının optimize edilerek belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmanın başında müşteri çevriminin dikkatli şekilde seçilmesi ve aracın toplam ömrünün doğru şekilde ifade edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, yol profili optimizasyonu yapılmak istenen yarı römork tanker şasi aracı için uygulanan çalışma şeması Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Müşteri Profili Optimizasyon Şeması (Customer profile optimization scheme)

Hızlandırılmış ömür testlerinde komple araç, komponent ve alt sistemlere uygunluk temel amaçlardır. Test, gerçek sahadaki hasarları oluşturabilmeli ve hızlandırılabilir. Bir aracın ömrü boyunca maruz kalacağı çalışma şartları sonucunda oluşacak yorulma etkisinin saptanarak aynı etkiyi oluşturacak test şartlarının belirlenmesi suretiyle deney süresi istenilen oranda ayarlanabilmektedir.

Gerçek sahadan gelen yorulma etkisi "Dizayn Spektrumu" olarak ele alınır ve aynı yorulma özelliğini verecek hızlandırılmış sinyaller de "Test Spektrumu" olarak tanımlanır. Dizayn spektrumuna ait hasar etkisi, Test Spektrumu hasar etkisine eşit olmalıdır. Hızlandırılmış yol şartlarının (sinyalinin) üretilebilmesi için gerçek saha ve test sahası verilerine ihtiyaç vardır [4].

"Dizayn spektrumu" aracın değişik kullanıcı bölgelerindeki saha kalitelerinde maruz kalacağı düzensiz saha titreşimleri sonucunda oluşan yorulmanın etkisinin saptanmasından meydana gelmektedir. "Test spektrumu" elde ederken, yüksek gerilme değerlerinin yoğunluğunun artırılması veya başka bir deyişle, araca aynı hasar etkisini verecek daha yüksek gerilme genliği titreşimlerine maruz bırakılması gerekmektedir [4].

### 2.1. Müşteri Profiline Belirlenmesi (Customer Profile Definition)

Taşıtların ömürleri boyunca, farklı şartlarda kullanılanlar da olmakla birlikte, istatistikî olarak ortalama %60 iyi, %40 kötü yol şartlarına maruz kaldığı kabul edilebilir [4]. Bu yaklaşım taşıt imalatı açısından genel bir yaklaşım olup, imalatçının veya tasarımcının o araçtan istediği özelliklere göre bu oranları değiştirmesi veya sınıflandırmayı çoğaltması mümkündür.

Yarı römork aracı için yapılan çalışmada müşteri profilleri ve satış istatistiklerinden faydalanılarak Tablo 1'de verilen şekilde bir tasarım spektrumu kabul edilmiştir.

Tablo 1. Müşteri Çevrimindeki Ölçüm Yollarının Dağılı (Distribution of Measurement paths of Customer Cycles)

Yol Tipi	Oran [%]
Otoban (Asfalt)	13%
Şehirlerarası (Asfalt)	65%
Şehir İçi (Bozuk Asfalt)	15%
Köy Yolları (Stabilize)	5%
Offroad (Arazi)	2%

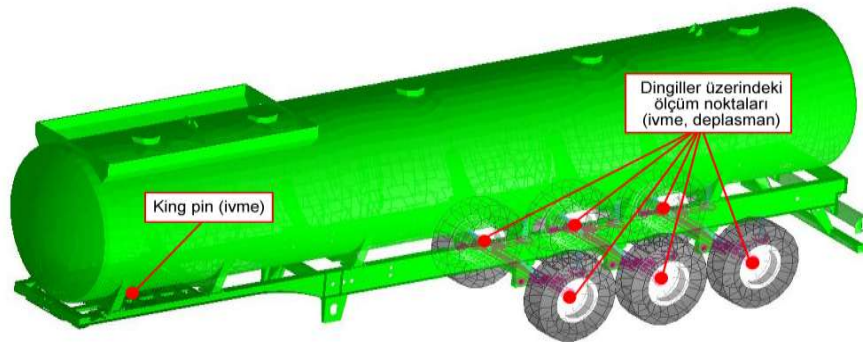
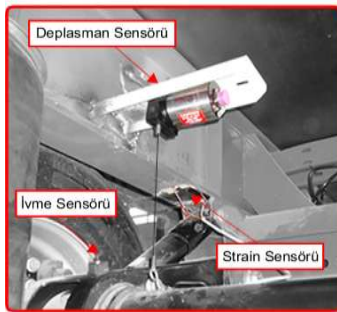
### 2.2. Araç Enstrümantasyonu (Vehicle Instrumentation)

Araç üzerinde yol profilinden kaynaklanan ilk tahrikler tekerlekler ön bölgede çekiciden king pin'e ve arka bölge tekerlek üzerinden aksa oradan da gövdeye iletilmektedir. Araç üzerindeki titreşim etkisini doğru şekilde ölçmek için tahrik noktalarının mümkün olduğunca doğru ve kayıpsız şekilde alınması gerekmektedir. Bu amaçla araç üzerinde kayıt alacak bölgeler için bir enstrümantasyon tablosu oluşturulmuştur (Tablo 2).

Tablo 2. Araç Enstrümantasyon Listesi (Vehicle Instrumentation List)

	Parça	Sinyal Koşullama	Ölçme Birimi	Adet
Birinci Dingil	Sağ Teker Yer Değiştirme	Analog	mm	1
	Sol Teker Yer Değiştirme	Analog	mm	1
	Sağ Teker İvme	Analog	g	1
	Sol Teker İvme	Analog	g	1
İkinci Dingil	Sağ Teker Yer Değiştirme	Analog	mm	1
	Sol Teker Yer Değiştirme	Analog	mm	1
	Sağ Teker İvme	Analog	g	1
	Sol Teker İvme	Analog	g	1
Üçüncü Dingil	Sağ Teker Yer Değiştirme	Analog	mm	1
	Sol Teker Yer Değiştirme	Analog	mm	1
	Sağ Teker İvme	Analog	g	1
	Sol Teker İvme	Analog	g	1
King Pin	King pin İvme	Analog	g	1
Şasi	Birim Şekil Değişimi	Yarım Köprü	µm/m	21

Bu tahrikleri kaydetmek için aks üzerinde tekerlek merkezine yakın noktalara 6 adet ivmeölçer ve ön kısımda çekici bağlantı noktasına (king pin) 1 adet ivmeölçer yerleştirilmiştir. Ayrıca dingil bölgelerindeki yer değiştirme değerlerinin ölçülmesi için her teker bölgesine yer-değiştirme ölçüm sensörü yerleşimi yapılmıştır. Aracın gittiği yolların karakterinin daha iyi incelenebilmesi ve ayrıştırılabilmesi amacıyla hız ve konum bilgisini kayıt altına almak için GPS cihazı yerleşimi yapılmıştır. Hasar analizinde kullanılmak üzere araca 7 adet rozet tipi strain gauge yerleştirilmiştir. Strain gauge noktaları frenleme, çukur tümsek geçme, viraj alma gibi farklı senaryolar için yapılan statik analizlerde, yapısal deformasyon miktarları dikkate alınarak, sorun çıkabileceği düşünülen noktalar üzerinden belirlenmiştir. Belirlenen noktalara çeyrek köprü (quarter bridge) yöntemi ile rozet tipi 3 eksenli strain gauge yerleştirilmiştir. Çok kanallı veri toplama sistemi, ivmeölçerler, yer-değiştirme ölçerler, strain gauge ve GPS'den gelen verileri senkronize olarak kaydetmesi için araca yerleştirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Araç üzerindeki sensör yerleşim noktaları (Sensor placement points on vehicle)

### 2.3. Müşteri Çevrimi – Türkiye Ölçümleri (Customer Cycles – Turkey Measurements)

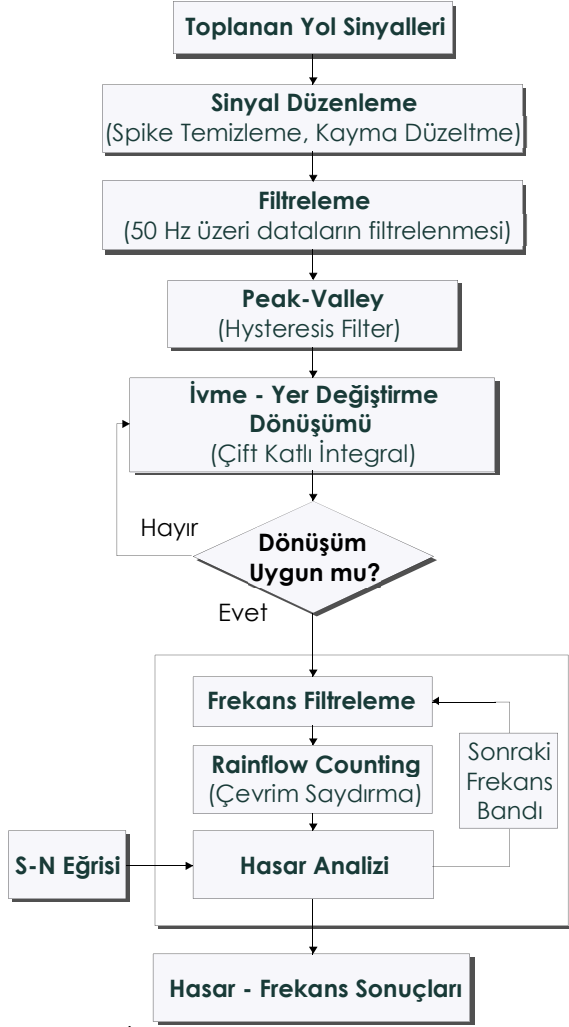
Tasarım spektrumu ile tespit edilen kullanım oranları referans alınarak müşteri çevrimindeki taşıt testlerinde toplam 587 km'lik ivme, yer-değiştirme, hız, konum değerleri ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Türkiye şartlarında yapılan yol keşifleri ve satış sonrası hizmetlerin verileri neticesinde Türkiye ölçümü yarı-römork 3 dingilli akaryakıt tankeri ile belirlenen yol güzergâhlarında izin verilen maksimum aks yüklerinde gerçekleştirilmiştir.

Veri toplama esnasında yapılacak yanlışlık tüm teste olumsuz yönde etki edecektir. Bu yüzden veri toplama işleminden önce yol profili, yük koşulu seçimi, ivmeölçerlerin yeri, veri örnekleme frekansı ve veri çözünürlüğü seçilirken dikkat edilmesi gerekmektedir. Yoldan gelen titreşimlerin kayıpsız bir şekilde hafızaya alınabilmesi için beklenen en yüksek titreşim frekansının (50 Hz) en az iki katı büyüklüğünde örnekleme frekansı seçilmelidir. Bu nedenle yol verileri 500 Hz örnekleme frekansı ile kayıt altına alınmıştır.

Müşteri çevrimi için yapılan veri toplama çalışmaları sonucunda Tablo 3'te verilen uzunluklarda farklı yol tiplerinden veri toplanmış ve müşteri çevrimindeki oran dağılımları ile eşleştirilmiştir.

Tablo 3. Müşteri Çevrimindeki Ölçüm Yollarının Dağılımı (Distribution of Measurement paths of Customer Cycles)

Yol Profili	Uzunluk [km]	Oran [%]
Otoban (Asfalt)	90	13%
Şehirlerarası (Asfalt)	280	65%
Şehir İçi (Bozuk Asfalt)	150	15%
Köy Yolları (Stabilize)	59	5%
Offroad (Arazi)	8	2%
Toplam	587	100%



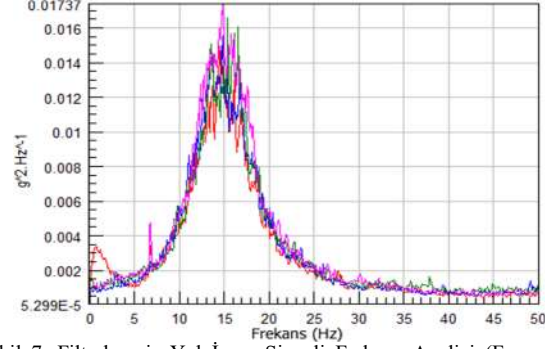
Şekil 6. Sinyal İşleme Akış Diyagramı (Data Processing Flow Chart)

#### 2.4. Yol Verisi İnceleme Yöntemi (Road Data Investigation Method)

Testler sonucunda elde edilen veriler Şekil 6'daki akış diyagramında belirtilen sıralama ve yöntemler ile HBM firmasına ait bir paketyazılım olan Glypworks ile analiz edilmiştir.

Araç hasarlanmalarından genelde yoldan gelen 0-50 Hz frekans aralığındaki sinyaller etkili olmaktadır. Bu nedenle "Fourier Filter" metodu kullanılarak 50 Hz üzerindeki frekanslar filtrelenerek gereksiz sinyaller ayrıştırılmıştır. Filtrelenmiş yol sinyalleri ile yapılan frekans analizleri sonucunda yoldan gelen sinyallerin 0-25 Hz arasında baskın olduğu ve 16 Hz etrafında en yüksek değerine ulaştığı görülmüştür (Şekil 7).

Bu sonuçlar ayrıca aracın bilgisayar destekli analizlerinde aracın rezonans durumunun incelenmesinde referans olarak faydalı olmaktadır.



Şekil 7. Filtrelenmiş Yol İvme Sinyali Frekans Analizi (Frequency Analysis Of Filtered Road Acceleration Signals)

Sinyallerin kısaltılması için filtreleme yanında peak-valley yöntemi de bulunmaktadır. Elde edilen ham sinyallerin bütün tepe ve çukur noktaları işaretlenerek sinyaller "Time History" formundan "Peak-Valley" formuna çevrilmiştir. Elde edilen Peak-Valley verisinde, belirlenen "hysteresis filter" seviyesinin altında kalan bütün maksimum ve minimum noktalar silinmiştir [10].

Bu yöntem sayesinde hasar etkisi bulunmayan veya çok düşük olan çevrimler sinyallerin içinden çıkarılarak sinyal süreleri kısaltılmıştır.

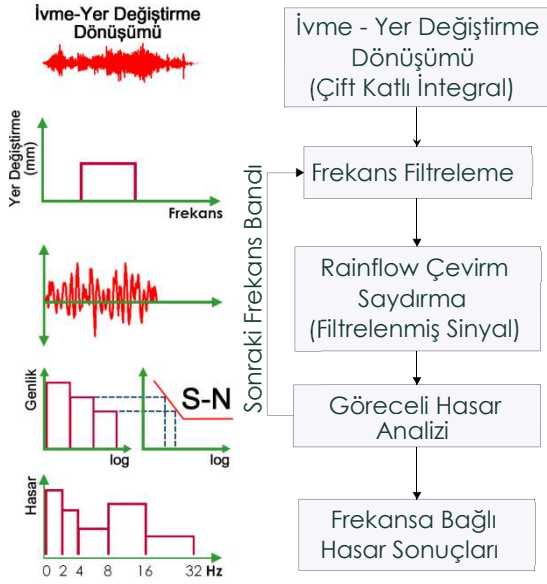
Farklı yol profillerinin araç üzerindeki hasar etkilerinin göreceli olarak hesaplamasında birçok yöntem kullanılmaktadır. Düşük frekans (0-32 Hz) değerlerinde Göreceli Hasar Analizi (Relative Damage Spektrum) yöntemi oldukça doğru sonuçlar vermekte ve hasarın frekans bandlarına göre etkisini gösterebilmektedir. Bu yöntemde ivme sinyalleri çift katlı integral kullanılarak yer değiştirme sonuçlarına dönüştürülmektedir. Bunun sebebi yorulma etkisinin şekil değişimi ile doğru orantılı olması ve yorulmanın daha iyi ifade edilebilmesidir. Dönüştürülen ivme sinyallerinin frekans düzleminde yorulma etkisinin hesaplanması için filtrelenerek frekans bandlarına ayrıştırılmaktadır. Genellikle yolda giden tekerlekli araçlar için bu frekans bandları 0-2, 2-4, 4-8, 4-16,16-32 olarak logaritmik olarak seçilmektedir.

Her frekans bandı için rainflow saydırma yöntemi kullanılarak kapalı çevrimler saydırılmış ve yükeme birikim eğrileri elde edilmektedir (Şekil 8) [11-13].

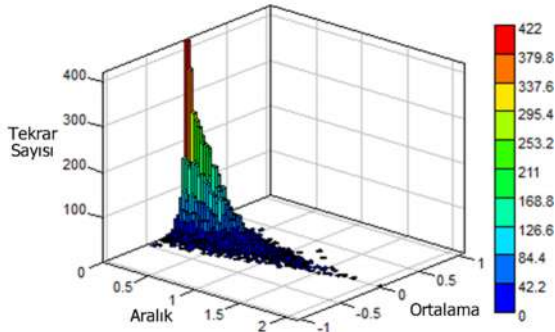
Rainflow metodu ile saydırılmış çevrimlerin frekans bandlarına göre yorma etkilerinin hesaplanması için sanal bir S-N eğrisi oluşturulmaktadır (Şekil 9). Bu eğri sayesinde her bir çevrimin hasar etkisi Palmgren-Miner yöntemi ile her frekans bandı için hesaplanmaktadır (Denklem 1) [11-13].

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} \dots + \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad (1)$$



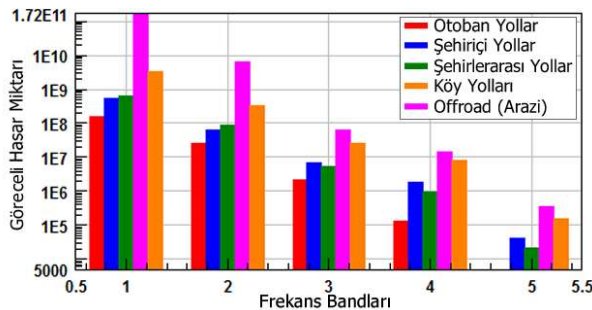


Şekil 8. Göreceli Hasar Analizi Akış Şeması (Relative Damage Spektrum Flow Chart)

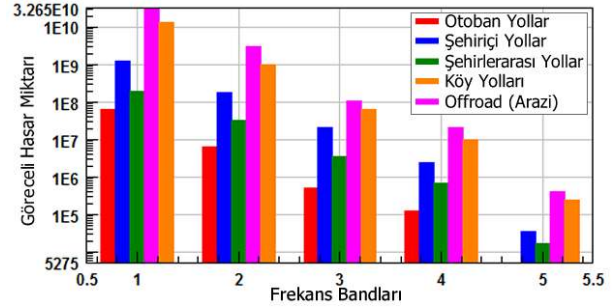


Şekil 9. King pin bölgesinden elde edilen rainflow matrisi histogramı. (Rainflow matrix of signals of king pin)

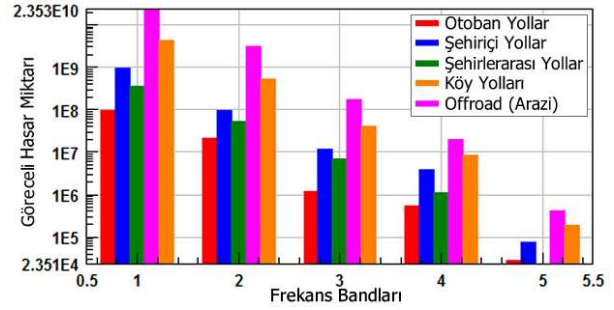
Çalışma konusu yarı römork akaryakıt tankerinden toplanan ivme sinyallerinin Şekil 7’de gösterilen frekans analizlerinin düşük (0-25 Hz) olması nedeniyle hasar etkisinin karşılaştırılmasında Göreceli Hasar Analizi yöntemi kullanılmıştır.



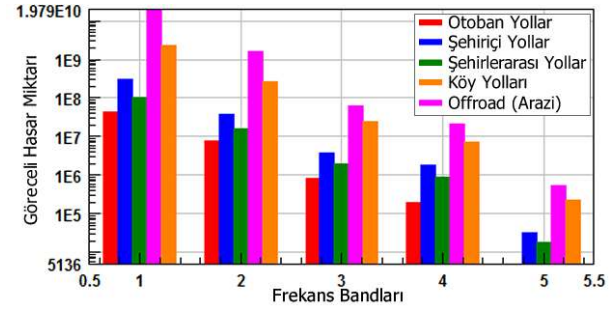
Şekil 10. Sağ Teker (1. Dingil) Göreceli Hasar Sonuçları (Right Wheel (1. Axle) Relative Damage Results)



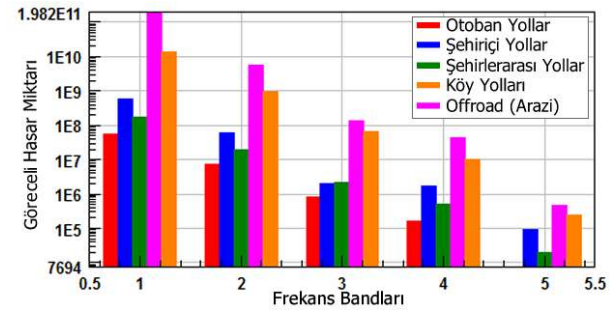
Şekil 11. Sağ Teker (2. Dingil) Göreceli Hasar Sonuçları (Right Wheel (2. Axle) Relative Damage Results)



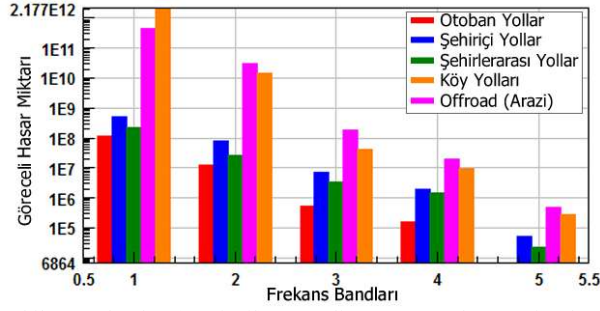
Şekil 12. Sağ Teker (3. Dingil) Göreceli Hasar Sonuçları (Right Wheel (3. Axle) Relative Damage Results)



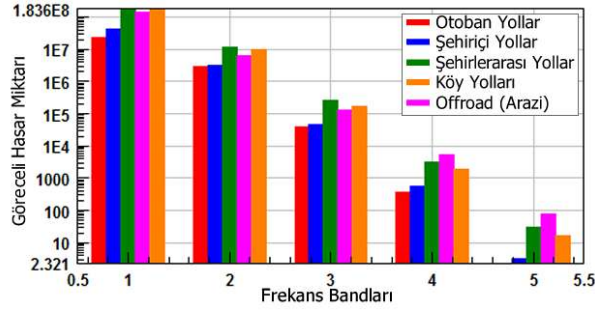
Şekil 13. Sol Teker (1. Dingil) Göreceli Hasar Sonuçları (Left Wheel (1. Axle) Relative Damage Results)



Şekil 14. Sol Teker (2. Dingil) Göreceli Hasar Sonuçları (Left Wheel (2. Axle) Relative Damage Results)



Şekil 15. Sol Teker (3. Dingil) Göreceli Hasar Sonuçları ( Left Wheel (3. Axle) Relative Damage Results)



Şekil 16. King Pin Göreceli Hasar Sonuçları (King pin Relative Damage Results)

Göreceli hasar analizi ile elde edilen farklı yollara ait hasar miktarları frekans bandında karşılaştırıldığında en yüksek hasar etkisinin Köy yolları ve Arazi (Off-road) koşullarında, en düşük hasar etkisinin ise otoban yollarında meydana geldiği görülmektedir (Şekil 10 - Şekil 16).

İvme sinyalleri ile elde edilen yol profillerinin etkilerinin doğrulanması amacıyla birim şekil değişimi (strain) sinyalleri kullanılmıştır. Sanal bir S-N eğrisi yardımıyla gerilme değerlerine dönüştürülen sinyallerin hasar verme değerleri elde edilmiştir (Tablo 4-Tablo 5).

Tablo 4. Birim Şekil Değişimi Hasar Sonuçları (Strain Damage Results)

Ölçüm noktası	Yol profili	Hasar
1. Nokta	Köy yolları	1,04E-04
	Arazi (offroad) yollar	1,44E-05
	Otoban yollar	4,75E-07
	Şehirli yollar	1,00E-06
	Şehirlerarası yollar	2,65E-06
2. Nokta	Köy yolları	6,81E-05
	Arazi (offroad) yollar	3,35E-04
	Otoban yollar	2,79E-06
	Şehirli yollar	1,32E-05
	Şehirlerarası yollar	5,14E-05

Tablo 5. Birim Şekil Değişimi Hasar Sonuçları (Strain Damage Results) (Devam)

Ölçüm noktası	Yol profili	Hasar
3. Nokta	Köy yolları	7,05e-05
	Arazi (offroad) yollar	2,64e-05
	Otoban yollar	4,22e-06
	Şehirli yollar	1,56e-05
	Şehirlerarası yollar	3,54e-05
4. Nokta	Köy yolları	3,64e-04
	Arazi (offroad) yollar	1,51e-04
	Otoban yollar	1,31e-06
	Şehirli yollar	1,29e-05
	Şehirlerarası yollar	5,34e-05
5. Nokta	Köy yolları	2,71e-06
	Arazi (offroad) yollar	1,79e-06
	Otoban yollar	7,34e-07
	Şehirli yollar	1,35e-06
	Şehirlerarası yollar	2,52e-06
6. Nokta	Köy yolları	1,85e-05
	Arazi (offroad) yollar	8,60e-06
	Otoban yollar	1,17e-06
	Şehirli yollar	5,31e-06
	Şehirlerarası yollar	2,70e-05
7. Nokta	Köy yolları	5,91e-04
	Arazi (offroad) yollar	4,04e-04
	Otoban yollar	2,02e-05
	Şehirli yollar	9,64e-05
	Şehirlerarası yollar	2,79e-04

Tablo 4 ve Tablo 5'te verilen sonuçlar incelendiğinde birim şekil değişimi ve ivme kanalları ile yapılan hasar analizlerinin birbirini doğruladığı ve dayanıklılık testlerinin optimizasyonu için kullanılabileceği görülmüştür.

## 2.5. Hedef Müşteri Çevriminin Yoldan Ölçülen Müşteri Çevrimleri ile İfade Edilmesi (Expression of the Target Customer Usage with Customer Road Measurements)

Farklı yol kategorilerinden toplanan Müşteri Çevrimi Ölçümlerini (İvme Sinyalleri) kullanılarak Hedeflenen Toplam Müşteri Çevrimi'nin ifade edilebilmesi için doğrusal ekstrapolasyon ve süperpozisyon matematiksel işlemlerinin kullanılması gerekmektedir. Hedeflenen Toplam Müşteri Çevrimi, farklı yol kategorilerinin belirlenen oranlarda kullanılması ile elde edilen ve müşteri profiline göre değişiklik gösteren bir çevrimdir. Bu çevrimi meydana getiren her yol tipinin, yoldan toplanan Müşteri Çevrimi Ölçümleri ile ifade edilebilmesi için her bir yol kategorisi için hesaplanan ekstrapolasyon katsayısı ( $N_i$ ) ile ilgili Müşteri Çevrimi Ölçümleri çarpılmaktadır. Bu sayede tüm yol kategorileri için elde edilen hedeflenen müşteri çevrimleri süperpozisyon yöntemi ile toplanarak Hedeflenen

Toplam Müşteri Çevrimi elde edilmektedir (Tablo 4) (Denklem 2).

$$N_i = \frac{\text{Hedef Müşteri Kullanımı [km]}}{\text{Müşteri Çevrimi Ölçümü [km]}} \quad (2)$$

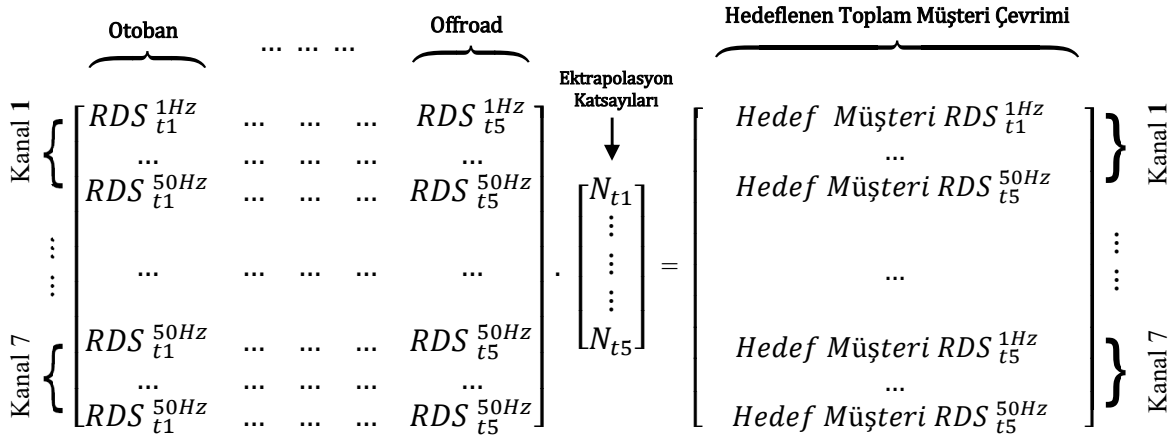
Yol verisi toplanan yarı römork tanker şasi aracı için Hedef Müşteri Profiline oluşturulması ve Optimizasyonu için hesaplanan ekstrapolasyon katsayıları ve yol özellikleri Tablo 6'da verilmektedir.

Yol kategorilerin karşılaştırılması, optimizasyonu ve hedeflenen toplam müşteri profilinin elde edilmesinde kistas olarak RDS (Göreceli Hasar Analizi) sonuçları kullanılmıştır. Şekil 17'de Göreceli Hasar Analizi (RDS) sonuçları ile ekstrapolasyon katsayıları kullanılarak Hedeflenen Toplam Müşteri profilinin elde edilmesi matris olarak ifade edilmektedir.

frekans bandlarında elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ekstrapolasyon katsayıları ile çarpılarak süperpozisyon yöntemi ile toplanmış ve Hedeflenen Toplam Müşteri Çevrimine ait Göreceli Hasar Analizi sonuçları elde edilmiştir.

## 2.6. Müşteri Çevrimlerinin Optimizasyonu (Customer Cycles Optimization)

Hedeflenen Toplam Müşteri Çevrimi, gerçekleştirilmesi oldukça uzun süren ve maliyetli olan bir çalışmadır. Bu nedenle optimizasyon çalışmaları ile sürecin kısaltılması gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken en önemli husus, süre kısaltılırken hasar etkisinin eşdeğer olmasıdır. Müşteri Çevrimlerinde Ölçülen yollara ait hasar sonuçları bir optimizasyon algoritması yardımıyla işlenerek hedeflenen toplam hasarı verecek şekilde müşteri çevrimleri optimize edilmektedir.



Şekil 17. Ölçüm yapılan müşteri çevrimleri ile Hedef Müşteri Çevriminin elde edilmesinin Matris olarak ifadesi. [2]. (Matrix representation of the expression of the Target Customer Usage with measurement road data)

Yol Profili	Müşteri Çevrimi Ölçümü [km]	Çevrim Oranı [%]	Hedef Müşteri Kullanımı [km]	Ekstrapolasyon katsayısı (N <sub>i</sub> )
Otoban	90	13	130000	1444
Şehirlerarası	280	65	650000	2321
Şehir İçi	150	15	150000	1000
Köy Yolları	59	5	50000	847
Offroad	8	2	20000	2500
Toplam	587	100	1000000	1704

Çalışma konusu araç ile farklı yol kategorilerinden toplanan 7 farklı ivme kanalı için RDS sonuçları farklı

Çevrim içindeki düşük hasar etkisine sahip yollar çıkarılırken, yüksek hasar etkisine sahip yolların çevrim sayıları artırılmakta, bu sayede süre ve maliyet kazancı sağlanmaktadır.

Optimizasyon çalışmaları için nCODE paket yazılımında bulunan "TestMatch" modülü kullanılmıştır. Bu modülün optimizasyonlar için kullanılan algoritması bir matris eşitliği olarak ifade edilmekte ve genel olarak bu matris Müşteri Çevrim hasarları ile bir çözüm matrisinin çarpılması ile hedef hasar matrisinin elde edilmesinden oluşmaktadır (Şekil 18). Optimizasyon algoritması bu eşitliği çözümlenerek "Çözüm Matrisini" yani müşteri çevrim sayıları belirlemektedir [2-13].



$$\begin{bmatrix} \text{Müşteri Çevrimi} \\ \text{Hasarları} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \text{Çözüm} \\ \text{Matrisi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Hedef} \\ \text{Hasarlar} \end{bmatrix}$$

Şekil 18. Optimizasyon Algoritması Matrisi

Optimizasyon algoritması, çözümlene için “lineer” ve “logaritmik” olmak üzere 2 farklı yöntem kullanılmaktadır.

Lineer yöntem daha çok değişimi doğrusal olan ivme, yüklenme, gerilme gibi değerler için Denklem 3’te gösterilen eşitliği kullanarak optimizasyon yapmaktadır.

$$\min\{([\text{Ölçüm}] \cdot [\text{Çözüm}] - [\text{Hedef}])^2\} \quad (3)$$

Logaritmik yöntem ise daha çok değişimi doğrusal olmayan yorulma hasarı gibi değerler için tercih edilmekte ve Denklem 4’te gösterilen eşitliği kullanarak optimizasyon yapmaktadır.

$$\min\{\log([\text{Ölçüm}] \cdot [\text{Çözüm}]) - \log([\text{Hedef}])\} \quad (4)$$

Hesaplanan müşteri çevrimlerinin minimuma indirilmesi için yol tipleri oranlarına bakılmaksızın en yüksek hasarlı yollar seçilerek oldukça düşük çevrimler elde edilebilmektedir. (Denklem 5) [2-13].

Tablo 7. Müşteri Çevrimlerine ait Göreceli Hasar Histogramları kullanarak Hedeflenen Toplam Araç Ömrünün nCODE yazılımında Optimizasyonu. (The Optimization of the Target Vehicle Life using Relative Damage Histograms of customer measurements in nCODE software)

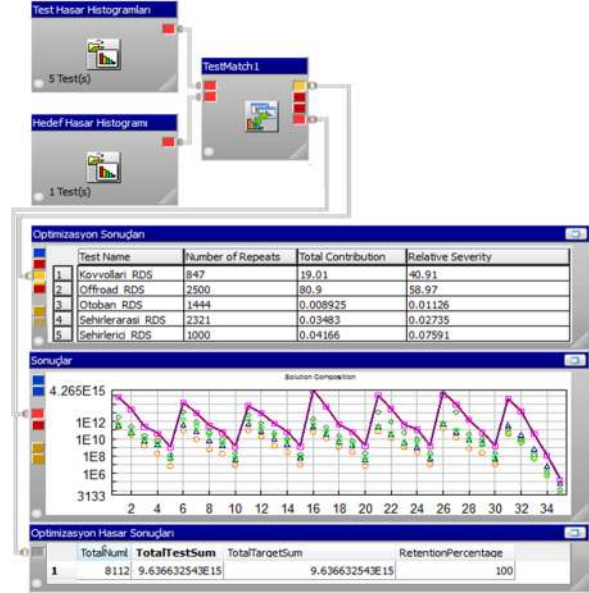
	Optimizasyon 1	Optimizasyon 2	Optimizasyon 3	Optimizasyon 4
Yol Kategorileri [Tekrar Sayıları]				
Otoban	15	0	95	34
Şehirlerarası	82	0	519	197
Şehir İçi	1	0	519	290
Köy Yolları	123	612	2278	1591
Offroad	2225	3714	0	1620
Toplam Tekrar	2446	4326	3411	3732
Toplam Test Yolu [km]	49517	65820	366122	208549
Hedef Ömür Testi [km]		1.000.000		
Test Kısaltma Oranı	95,0483	93,418	63,3878	79,1451
Korunan Hasar [%]	87,76	134,79	51,1	88,15
Opt. Algoritması [%]	Logaritmik	Lineer	Logaritmik	Logaritmik

Optimizasyon algoritmasında minimum çevrimin elde edilmesi amacıyla Denklem 5’te gösterilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$\min_{\text{östeğer}} \sum [\text{Tekerar}] \quad (5)$$

Makale konusu aracın dayanıklılık testleri için lineer ve logaritmik algoritmalar kullanılarak farklı optimizasyon çalışmaları yapılmış ve test sürelerindeki kısalma

oranları ile hasar etkisi yüzdeleri karşılaştırılmıştır. (Şekil 19) [2-13].



Şekil 19. nCODE yazılımı Test Optimizasyon Modülü. (Test Optimization module of nCODE software)

### 3. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada bir ticari yarı römork tanker aracının ömür testlerinin daha kısa sürede ve daha az maliyetle yapılabilmesi için, toplam araç ömrünün farklı yol kategorilerinden elde edilen müşteri çevrimleri ile ifade edilmesi sağlanmıştır. Müşteri çevrimleri farklı optimizasyon algoritmaları kullanılarak, eşdeğer hasar değerini elde edecek şekilde optimize edilmiş ve test sürelerinin kısaltılması sağlayan Tablo 7’de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Optimizasyon sonuçları

incelendiğinde en düşük kısaltma oranı Optimizasyon 3 ile elde edilmiştir. Bunun nedeni yüksek hasar etkisi olan Arazi (Offroad) yol profilinin bu optimizasyonda hesaba katılmamasıdır. Optimizasyon 1 ve Optimizasyon 2 ile elde edilen sonuçlarda bozuk yol oranları çok yüksek tutularak kısaltma oranı en yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen 3 optimizasyon çalışması verileri belli oranda kısaltırken farklı yol profillerinin etkilerini düşürdüğü veya hiç hesaba katmadığı için müşteri çevrimini tam olarak ifade edememektedir. Bu nedenle müşteri çevrimindeki tüm yol profillerini içeren Optimizasyon 4 çalışması yapılarak müşteri çevrimi %79 kısaltılarak 208549 km'ye düşürülmüş ve Hasar etkisi %88 oranında korunmuştur. Bu sayede Optimizasyon 4 ile Müşteri çevriminin kısaltılması ile test çalışmaları için gerekli süre ve maliyetlerin düşürülmesi amaçlanmıştır. Günümüzde müşteri çevrimlerinde yapılan yorulma testleri demode olması nedeniyle bu sonuçlar hızlandırılmış test pistlerinde yapılacak olan çalışmalar için bir referans olarak kullanılmakta ve müşteri çevrimine göre test pistinde kullanılacak bölgeler belirlenmektedir. Bu sayede test pistlerinde aracın koşurulacağı güzergâhlar optimize edilerek avantaj sağlanmaktadır. Elde edilen sonuçlar sadece test çalışmaları için değil, aynı zamanda bilgisayar destekli analizler içinde bir girdi oluşturarak farklı şartlardaki araç davranışının incelenmesi ve analiz modelinin doğrulanmasında kullanılmaktadır. Makale konusu ticari yarı römork şasi aracına ait dinamik araç modeline yoldan elde edilen deplasman ve ivme değerleri uygulanarak farklı yol şartlarına ait gerilme değerleri elde edilmiş ve yoldan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak analiz modelinin iyileştirilmesi ve kritik bölgelerin daha doğru şekilde belirlenmesi sağlanmıştır. Bu sayede hızlandırılmış test pistlerinde yapılacak testler sırasında araç üzerinde sensör yerleşimi gerektiren kritik noktalar daha net bir şekilde belirlenerek aracın incelenmesinin kolaylaştırılması amaçlanmıştır.

Sonuç olarak; yapılan bu çalışmalar sayesinde bir aracın deplasman, ivme, birim şekil değişimi verileri müşteri profiline göre belirlenen çevrimler boyunca elde edilerek bilgisayar destekli analiz çalışmaları ve hızlandırılmış test pistlerinde yapılacak testler için referans yol verileri ve göreceli hasar sonuçları elde edilmiştir. Bu sayede makalede anlatılan çalışmanın devamında yapılacak olan hızlandırılmış test pistindeki çevrim oranları toplam araç ömrünü ifade edecek şekilde elde edilebilecektir.

## KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] A. Vertua, F. Halfpenny, "Proving Ground Optimisation based on Fatigue Damage Spectra," Whitepaper, nCode International, 2011.
- [2] A. Halfpenny, "Ncode Methods For Accelerating Dynamic Durability Tests," nCode International Ltd, Sheffield, 2006.
- [3] M. Toprak, M. Ereke, "Ticari Taşıt Akslarının Dayanım Testlerinde Kullanılacak Yüklerin Müşteri Çevrimindeki Taşıtlardan Elde Edilmesi," *Mühendis ve Makina*, 55(651), 26-42.
- [4] K. Yay, M. Ereke, "Hızlandırılmış Taşıtların Ömür Testlerinde Yol Verisi Kullanımına Yeni Bir Yaklaşım," 2(5), 61-73, 2003.
- [5] T. Bayram, M. L. Koyuncu, "Traktör Saha Testinin Laboratuvarda Hızlandırılmış Olarak Gerçekleştirilmesi," *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, 2008.
- [6] A. Kuntay, G. İpek, S. Güngör, "Hızlandırılmış Ömür Test Prosedürü Geliştirilmesi," *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, 2004.
- [7] A. Ş. Şener, "Araç Parçaları Yorulma Ömürlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Belirlenmesi," *Electronic Journal of Vehicle Technologies (EJVT)*, 2, 13-28, 2010.
- [8] A. Ş. Şener, "Determination Of Vehicle Components Fatigue Life Based On FEA Method And Experimental Analysis," *International Journal Of Electronics*, 2, 133-145, 2012.
- [9] H. Bayram, İ. Çokal, M. Talay and E. Usta, "Yeni Nesil Zırhlı Aracın Ömür Testinin Hızlandırma Sürecine Yönelik Test Ve Doğrulama Faaliyetleri," *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, 2014.
- [10] A. Halfpenny, S. Hussain, S. Mcdougall and M. Pompetzki, "Investigation Of The Durability Transfer Concept For Vehicle Prognostic Applications," 2010.
- [11] Ncode Designlife Theory Guide, HBM Software Corporation, 2013.
- [12] Ncode Glypworks Theory Guide,, HBM Software Corporation, 2013.
- [13] LMS Tecware User Manuel, Belgium: LMS International, 2010.
- [14] "HORIBA MIRA: World-class Vehicle Engineering, Test and Development," [Online]. Available: <http://www.mira.co.uk>. [Accessed 3 4 2014].