

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TİCARİ BİR ARAÇTA MARKET VE KIRICI PARKUR
GÖRECELİ HASAR KORELASYON YÖNTEMLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI VE ARAÇ DAYANIMI DOĞRULAMA
SÜREÇLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

MURAT TALAY

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI



YÜKSEK LİSANS TEZİ

TİCARİ BİR ARAÇTA MARKET VE KIRICI PARKUR
GÖRECELİ HASAR KORELASYON YÖNTEMLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI VE ARAÇ DAYANIMI DOĞRULAMA
SÜREÇLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

MURAT TALAY

Prof. Dr. H. Metin ERTUNÇ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet UÇAR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Mustafa AY
Jüri Üyesi, Marmara Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.06.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Otomotiv sektöründe bir aracın geliştirilmesi etabında tasarımının doğrulanması büyük önem taşımaktadır. Araç gövde ve süspansiyonunun doğrulanması için prototip araçlara ömür dayanım testleri uygulanmaktadır. Ar-Ge faaliyetlerinde önemli bir yer tutan ömür dayanım testleri sürelerinin kısaltılmasına bağlı olarak proje süreçlerinin hızlandırılması mümkündür. Bu yüksek lisans tez çalışmasında bir otobüsün hızlandırılmış ömür testi süreçleri incelenmiştir. Aracın market ömründe koşacağı yol profilleri referans alınarak toplam sanal hasar değeri elde edilmiş, bu hasar değerinin seçilen kırıcı parkur verileri ile korelasyonu gerçekleştirilmiştir. Farklı tipte sensörler kullanılarak toplanan yol verilerinin çeşitli analiz metodları ile sanal hasar değerleri elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu metodlar ışığında hızlandırılmış ömür testi sürecinde koşulacak mesafe değeri optimize edilmiştir. Ayrıca tez çalışmasında hızlandırılmış test sürecinin gerçekleştirildiği hidrolik eyleyici (4Poster) sisteminde yol verilerinin hazırlanması için gerekli olan sinyal işleme, araç modelini oluşturma ve iterasyon adımlarına yer verilmiştir.

Çalışmalarım boyunca yardımları ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. H. Metin ERTUNÇ'a teşekkürlerimi sunarım. Test çalışmalarımda araçlarını, tesislerini ve ekipmanlarını kullanmama izin veren Otokar Otomotiv ve Savunma A.Ş.'ne teşekkür ederim.

Tezimin hazırlanması ve tamamlanması konusunda gösterdiği destek, çaba ve hayatıma kattığı anlamdan dolayı sevgili hayat arkadaşım Burcu EMLEK TALAY'a sonsuz teşekkür ederim.

Haziran – 2018

Murat TALAY

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	viii
ÖZET.....	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER.....	3
1.1. Taşıtlarda Hızlandırılmış Ömür Testleri	3
1.2. Hızlandırılmış Ömür Testlerinin Gerekliliği	3
1.3. Hızlandırılmış Ömür Testi Yöntemleri	4
1.3.1. Ürün doğrulama test pistleri.....	4
1.3.2. Test Sistemleri.....	5
1.4. Müşteri Kullanım Profili ve Kırıcı Yol Profili Kavramları.....	6
1.4.1. Müşteri kullanım profili tanımı	6
1.4.2. Kırıcı yol profili tanımı	7
1.5. Taşıtlarda Ömür Hesabı Aşamaları	8
1.5.1. Hasar korelasyonu	8
1.5.2. Mesafe optimizasyonu kavramı	10
1.6. Yorulma Teorisi	10
1.6.1. Yorulma tanımı	11
1.6.2. Tekrar sayılarına göre yorulma türleri	12
1.6.3. S-N eğrisi kavramı	13
1.6.4. Palmgren-Miner birikimli hasar teorisi.....	17
1.7. Sinyal İçeriğini Karşılaştırma ve Sanal Hasar Hesaplama Yöntemleri.....	19
1.7.1. Range-Pair saydırma yöntemi	19
1.7.2. Rainflow saydırma yöntemi	20
1.7.3. Level-Crossing yöntemi	25
1.7.4. Frekans-Spektrum yöntemi	26
1.7.5. Göreceli hasar hesaplama yöntemi.....	29
1.8. Hedef Mesafe Değeri Optimizasyonu	31
1.8.1. Test eşleme yöntemi (Test Match).....	31
2. TEST EKİPMANLARI VE SİNYAL İŞLEME ADIMLARI	34
2.1. Test Ölçüm Ekipmanları	34
2.1.1. Veri toplama cihazları	35
2.1.2. İvme ölçerler	36
2.1.3. Deplasman ölçerler.....	38
2.1.4. Strain-gauge	39
2.1.5. GPS cihazları.....	42
2.2. Sinyal İşleme Adımları.....	42
2.2.1. Kanalların isimlendirmesi ve numaralandırılması	42
2.2.2. Spike filtreleme işlemi	42
2.2.3. Kayma (drift) ve sapma (offset) tespiti	43

2.2.4. Grafiksel düzenlemeler	44
2.2.5. Aritmetik işlemler	45
2.2.6. Örnekleme sıklığı değişikliği	45
2.2.7. Frekans filtreleme işlemi	45
3. SİNYAL KISALTMA YÖNTEMLERİ.....	47
3.1. Stresslife Yöntemi ile Sinyal Kısaltma İşlemi	47
3.2. Data Kısaltma Sonrası Hasar Karşılaştırma Yöntemleri.....	49
3.2.1. Sinyalin frekans içeriğinin incelenmesi	49
3.2.2. Sinyallerin istatistikî değişimlerinin incelenmesi	50
3.2.3. RDS yöntemi ile sanal hasar seviyelerinin karşılaştırılması.....	51
4. YOL PROFİLİ OLUŞTURMA VE DATA TOPLAMA SÜRECİ.....	53
4.1. Yol Profili Oluşturma Safhası	53
4.1.1. Müşteri kullanım profilinin belirlenmesi	53
4.1.2. Kırıcı yol profillerinin belirlenmesi	54
4.1.3. Araç yük koşulunun belirlenmesi.....	55
4.1.4. Araç hız değerinin belirlenmesi	57
4.2. Araç Enstrümantasyonu	57
4.3. Veri Toplama Süreci	62
4.3.1. Müşteri kullanım profili verisi toplama süreci.....	63
4.3.2. Kırıcı parkur verisi toplama süreci.....	64
4.4. Veri İnceleme ve Temizleme Süreci	65
5. MARKET VE KIRICI PARKUR VERİSİ HASAR KORELASYONU.....	67
5.1. Hasar Histogramları Oluşturma ve Histogram Eşitleme Süreci.....	67
5.2. RDS Metodu ile Hasar Hesabı	71
5.2.1. 4 adet ivme sinyali ile hasar hesabı.....	71
5.2.2. 12 adet ivme sinyali ile hasar hesabı.....	74
5.2.3. 5 adet strain sinyali ile hasar hesabı.....	76
5.2.4. Alternatif hesaplama metodları için sonuç tablosunun oluşturulması.....	78
5.3. Korelasyon Sürecinin Doğrulanması.....	79
5.3.1. İvme ve strain verisi ile hasar karşılaştırmaları.....	79
5.3.2. Level-crossing yöntemi ile doğrulama işlemi	80
6. HİDROLİK SİMÜLATÖR SİSTEMİ TEST SÜREÇLERİ	84
6.1. 4Poster Sisteminin Özellikleri.....	84
6.2. Test Aracının Hazırlanması.....	86
6.3. 4Poster Sistemi Data İterasyon Etabı	86
6.3.1. Sinyal işleme süreci.....	86
6.3.2. Araç sistem modelinin oluşturulması.....	87
6.3.3. Sinyal iterasyon adımlarının gerçekleştirilmesi	88
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	93
KAYNAKLAR	96
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	100
ÖZGEÇMİŞ	101

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yorulma hasarı görülen örnek taşıt fotoğrafları	4
Şekil 1.2. Ürün doğrulama test pistlerinin görünümü	5
Şekil 1.3. Taşıt ömür testlerinin gerçekleştirildiği test sistemleri	6
Şekil 1.4. Farklı müşteri profillerine sahip ticari araçlar	7
Şekil 1.5. Farklı tipteki araçların “Proving ground” geçişleri	8
Şekil 1.6. İvme sinyalleri ile yol profillerinin karşılaştırılması	9
Şekil 1.7. Strain sinyalleri ile yol profillerinin karşılaştırılması	10
Şekil 1.8. Tipik bir stres sinyali döngüsü değişim grafiği	11
Şekil 1.9. Zamana bağlı olarak değişen bir strain sinyalinin görünümü.....	12
Şekil 1.10. Taşıt ömür dayanımına etki eden bileşenlerin gösterimi	13
Şekil 1.11. Stres-strain ve S-N eğrilerinde malzeme dayanımları	14
Şekil 1.12. S-N eğrisinde malzeme için tanımlı plastik bölge	14
Şekil 1.13. S-N eğrisinde malzeme için tanımlı elastik bölge	15
Şekil 1.14. S-N eğrisinde malzeme için tanımlı sonsuz ömür bölgesi	15
Şekil 1.15. S-N eğrisinde jenerik bir malzeme için yorulma ömür yaklaşımı	17
Şekil 1.16. S-N eğrisinde farklı çevrimler için yorulma hasar yaklaşımları	18
Şekil 1.17. S-N eğrisinde değişken yükler altında hasar birikimi	19
Şekil 1.18. Bir sinyal üzerinde range pair sayma metoduna ait görünüm	20
Şekil 1.19. Zamana bağlı yorulma değişimlerinin histerizis dönüşümleri.....	21
Şekil 1.20. Rainflow hesaplama prosedürünün stress-strain ilişkisi.....	22
Şekil 1.21. Rainflow saydırma yöntemleri arasında histerizis filtreleme	22
Şekil 1.22. Rainflow saydırma yöntemleri arasında peak-valley metodu.....	23
Şekil 1.23. Rainflow saydırma yöntemleri içinde “4-Point counting” metodu.....	24
Şekil 1.24. 4-Point saydırma yönteminde kısaltma işlemi.....	24
Şekil 1.25. Level-crossing sinyal saydırma yönteminin gösterimi	25
Şekil 1.26. Level-crossing yönteminde üç farklı ivme sinyalinin görünümü	26
Şekil 1.27. Fourier dönüşümünde bir zaman sinyalinin frekans spektrumu	27
Şekil 1.28. Test aracında zamana bağlı olarak toplanan ivme sinyalleri	28
Şekil 1.29. Test aracından toplanan ivme sinyallerine ait PSD diyagramı	29
Şekil 1.30. RDS yöntemi ile hasar hesaplama adımları	30
Şekil 1.31. Glyphworks yazılımında RDS yöntemi ile hasar hesaplamaları	31
Şekil 1.32. Çeşitli yol profillerinin farklı katılım değerleri ile optimizasyonu	31
Şekil 1.33. Hedef profil ve kırıcı yol profilleri test optimizasyon akış şeması.....	32
Şekil 2.1. Süspansiyon üzerinde farklı tipteki sensörlerin konumlandırılması.....	34
Şekil 2.2. Veri toplama süreçlerinde kaydedilen adımların gösterimi	35
Şekil 2.3. Test süreçlerinde kullanılan veri toplama cihazı	36
Şekil 2.4. Veri toplama süreçlerinde kullanılan ivme ölçerler.....	37
Şekil 2.5. Ömür dayanım testlerinde kullanılan ivme ölçerler.....	37

Şekil 2.6. Ömür dayanım testlerinde kullanılan deplasman ölçerler	38
Şekil 2.7. Strain ifadesinin şematik olarak gösterimi.....	39
Şekil 2.8. Wheatstone bridge devresi ve strain gauge uygulaması	39
Şekil 2.9. Wheatstone bridge devresinde R_G direnci ve direnç değişimi	40
Şekil 2.10. Süspansiyon bölgesinde konumlandırılan strain-gaugeler.....	41
Şekil 2.11. Sinyal üzerinde gerçekleştirilen spike filtreleme işlemi	43
Şekil 2.12. Sinyal üzerinde gerçekleştirilen offset düzeltme işlemi	44
Şekil 2.13. Sinyal üzerinde gerçekleştirilen grafiksel düzenleme işlemi.....	44
Şekil 2.14. Sinyal üzerinde gerçekleştirilen frekans filtreleme işlemi.....	46
Şekil 3.1. Stresslife yöntemi ile sinyal kısaltma işleminin blok diagramı	48
Şekil 3.2. S355J0 nolu çelik malzemenin S-N diyagramı.....	49
Şekil 3.3. Kısaltılmış ve ham ivme sinyaline ait frekans içeriği değişimi	50
Şekil 3.4. Ham ve kısaltılmış ivme verilerinin istatistiki değişimleri.....	51
Şekil 3.5. Sanal hasar hesabı ile ham ve kısaltılmış verinin karşılaştırılması.....	52
Şekil 4.1. Müşteri kullanım profillerine göre araç yük dağılımı yüzdeleri.....	54
Şekil 4.2. Veri toplama süreçlerinde müşteri yol profilleri görüntüleri.....	54
Şekil 4.3. Veri toplama süreçlerinde kırıcı yol profilleri görüntüleri	55
Şekil 4.4. Saat dilimlerine göre şehir içi hatlarda yolcu yoğunluğu değişimleri.....	56
Şekil 4.5. Müşteri kullanım profiline göre araç yük dağılımı yüzde değişimleri.....	56
Şekil 4.6. Ön aks üzerinde yer alan ivme ve deplasman sensörleri	58
Şekil 4.7. Arka aks üzerinde yer alan üç eksenli ivme sensörleri	59
Şekil 4.8. Araç üzerinde yer alan ivme ölçüm sensörlerinin yön gösterimi	59
Şekil 4.9. Araç üzerinde yer alan ivme ölçüm sensörlerinin gösterimi	60
Şekil 4.10. Araç gövdesi üzerinde konumlandırılan strain-ölçerler.....	61
Şekil 4.11. Test etabında araç hızı ve süspansiyon ivme datasının görünümü	61
Şekil 4.12. Canbus protokol ile toplanan müşteri kullanım profil verileri.....	62
Şekil 4.13. Veri işleme ve temizleme sürecinde takip edilen adımlar	66
Şekil 5.1. Yol verilerinin farklı yöntemler ile histogramlarının oluşturulması	68
Şekil 5.2. Müşteri profilleri histogramlarına uygulanan aritmetik işlemler.....	69
Şekil 5.3. Histogram eşleştirme safhasında yol profillerinin korelasyonu.....	70
Şekil 5.4. Test aracının süspansiyon bölgesinden toplanan ivme sinyalleri	72
Şekil 5.5. Süspansiyon bölgesi ivme sinyallerine ait frekans spektrumu	72
Şekil 5.6. 4 adet ivme sinyali ile hasar korelasyonu (logaritmik).....	73
Şekil 5.7. Hedef histogram ve çözüm histogram vektörünün görünümü.....	74
Şekil 5.8. 12 adet ivme sinyali ile hasar korelasyonu (logaritmik).....	75
Şekil 5.9. Hedef histogram vektörü ile çözüm histogram vektörünün eşleştirilmesi.....	76
Şekil 5.10. Strain verileri yardımıyla hasar korelasyonu (logaritmik).....	77
Şekil 5.11. Strain verileri yardımıyla hasar korelasyonu (lineer)	77
Şekil 5.12. Hedef ve çözüm histogram vektörlerinin eşleştirilmesi	78

Şekil 5.13. Müşteri kullanım profilinde ivme ve strain verisi hasar korelasyonu	79
Şekil 5.14. Kırıcı yol profillerinde ivme ve strain verisi hasar karşılaştırmaları.....	80
Şekil 5.15. Süspansiyon bölgesinden toplanan strain sinyallerinin korelasyonu	81
Şekil 5.16. Araç gövdesinden toplanan strain sinyallerin korelasyonu	82
Şekil 5.17. Süspansiyon bölgesinden toplanan ivme verilerinin korelasyonu	82
Şekil 5.18. Süspansiyon bölgesinden toplanan ivme verilerinin korelasyonu	83
Şekil 6.1. 4Poster sisteminde gerçekleştirilen dayanım testi örnekleri.....	84
Şekil 6.2. 4Poster sisteminde ön teker eyleyicisi ve hidrolik güç ünitesi	85
Şekil 6.3. 4Poster sisteminde araç sistem modelinin oluşturulması adımları	87
Şekil 6.4. 4Poster sisteminde araç sistem modelinin oluşturulması adımları	88
Şekil 6.5. Desired signal verisi ile Drive_0 signal verisinin elde edilmesi.....	89
Şekil 6.6. Error_0 signal (ilk hata sinyali) verisinin elde edilmesi	90
Şekil 6.7. Hata verisi yardımı ile düzeltme değerinin elde edilmesi.....	90
Şekil 6.8. Düzeltme faktörü ile ikinci piston strok verisinin elde edilmesi	90
Şekil 6.9. 4Poster sisteminde sinyal iterasyon adımlarının gösterimi.....	91
Şekil 6.10. Desired signal, Response signal ve Error signal iterasyon verileri	91
Şekil 6.11. Desired signal, Response signal ve Error signal iterasyon verileri.....	92

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Tekrar sayılarına göre yorulma türleri ve özellikleri.....	12
Tablo 1.2. Örnek bir ivme verilerine ait istatistiki değişimlerin görünümü.....	28
Tablo 2.1. Test sürecinde kullanılan ivme ölçerlerin teknik özellikleri.....	38
Tablo 4.1. Test aracı üzerinde konumlandırılan ölçüm ekipmanların gösterimi.....	58
Tablo 4.2. Müşteri kullanım profili tesbiti sürecinde ele alınan parkurlar.....	63
Tablo 4.3. Kırıcı yol profilinin belirlenmesi sürecinde ele alınan parkurlar.....	64
Tablo 5.1. Farklı optimizasyon senaryoları için hedef mesafe sonuç tablosu	78
Tablo 6.1. 4Poster sistemi teknik özellikleri.....	85

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

b	: Yorulma dayanım üssü
$E[D]$: Toplam göreceli hasar değeri
H	: Transfer matrisi
GF	: Gauge faktörü
n_i	: Çevrim sayısı
N_f	: Hasara kadar olan stres çevrim katsayısı
S_a	: Sabit gerilme aralığı
S_f	: Yorulma dayanım katsayısı
S_{max}	: En yüksek stres değeri, (Pa)
S_r	: Sabit gerilme genliği, (Pa)
ϵ	: Strain birim uzama katsayısı
ΔS	: Stres farkı, (Pa)

Kısaltmalar

BPF	: Band Pass Filter (Bant Geçiren Filtre)
CF	: Crest Factor (Krest Faktör)
CUP	: Customer Usage Profile (Müşteri Kullanım Profili)
DAQ	: Data Acquisition System (Veri Toplama Sistemi)
DES	: Desired Signal (Hedef İvme Sinyali)
DRV	: Drive Signal (Eyleyici Deplasman Verisi)
FFT	: Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
FRF	: Frequency Response Function (Frekans Cevap Fonksiyonu)
GF	: Gauge Factor (Gösterge İşareti)
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumla Sistemi)
HPS	: High Pass Filter (Yüksek Geçiren Filtre)
LP	: Low Pass Filter (Alçak Geçiren Filtre)
PG	: Proving Ground (Hasar İçeriği Yüksek Parkur)
PSD	: Power Spectral Density (Güç spektrum yoğunluğu)
RDS	: Relative Damage Spectrum (Sanal Hasar Spektrumu)
RLDA	: Road Load Data Acquisition (Yol Verisi Toplama Süreci)
RMS	: Root Mean Square (Kareleri Ortalamasının Karekökü)
RSP	: Response Signal (Cevap Sinyali)
S-N	: Stres-Döngü Sayısı
TD	: Target Damage (Hedef Hasar Değeri)
TH	: Time History (Zaman Düzlemindeki Sinyal)

TİCARİ BİR ARAÇTA MARKET VE KIRICI PARKUR GÖRECELİ HASAR KORELASYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI VE ARAÇ DAYANIMI DOĞRULAMA SÜREÇLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

ÖZET

Otomotiv sektöründe araştırma geliştirme faaliyetleri günümüz koşullarında önemli bir yer tutmaktadır. Bu faaliyetlerin en önemli iki noktası güvenilirlik ve zaman faktörleridir. Güvenirlilik konusu aracın piyasaya sunulmasından sonra karşılaşılabilecek olası sorunlar nedeniyle firma imajının zedelenmemesi için önem arz etmektedir. Zaman faktörü ise hızla değişen piyasa koşullarına uyum sağlama noktasında dikkate alınması gereken bir etkidir. Zaman faktörü bu kadar önemli olduğu için araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin süresinin kısaltılması birçok avantaj sağlamaktadır. Ar-Ge faaliyetlerinde önemli bir yer tutan dayanım testleri süresinin kısaltılmasına bağlı olarak proje süreçlerinin hızlandırılması mümkündür. Bir aracın geliştirme ve doğrulama sürecinin en önemli adımlarından bir tanesi araç dayanım testleridir. Dayanım testlerinin amacı aracın kullanım ömrü boyunca karşılaşılabileceği yapısal sorunları önceden tespit etmek ve bu doğrultuda önlemler almaktır. Araç dayanımı test süreçlerini farklı yöntemler kullanarak hızlandırmak mümkündür. Hızlandırılmış ömür testlerinin amacı test aracının kullanım ömrü boyunca maruz kaldığı kuvvet yüklemesini birkaç ay içerisinde uygulayarak test sürecini kısaltmaktır.

Bu tez çalışmasında Otokar bünyesinde geliştirilen bir otobüsün tasarım doğrulama etabında gerçekleştirilen hızlandırılmış dayanım test süreçleri ele alınmıştır. Market yol profillerinde ve kırıcı yol profillerinde toplanan veriler kullanılarak sanal hasar değerleri elde edilmiş ve bu değerler yardımıyla hasar korelasyonları gerçekleştirilmiştir. Araç üzerinde konumlanan farklı tipteki sensörlerden alınan ölçümler yardımıyla çeşitli analiz yöntemleriyle elde edilen sanal hasar korelasyonları karşılaştırılmış ve hızlandırılmış test süreci için öngörülen hedef mesafe değerinin optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda uzun süren taşıt ömür testlerini kabul edilebilir doğruluk katsayısı sınırları içerisinde yaklaşık %30 oranda kısaltacak metodoloji ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: 4Poster, Dayanıklılık Testleri, Hedef Mesafe Optimizasyonu, Sanal Hasar Korelasyonu, Yorulma.

COMPARISON OF MARKET PROFILES AND PROVING GROUND RELATIVE DAMAGE CORRELATION METHODS IN A COMMERCIAL VEHICLE AND IMPLEMENTATION OF VEHICLE DURABILITY VALIDATION PROCESS

ABSTRACT

Research and development activities in the automotive industry have an important role in today's conditions. The two most important points of these activities are reliability and time factors. The reliability issue is important for avoiding any damage to the image of the brand due to possible problems to be encountered after the vehicle is presented to the market. Time factor is important in order to adapt to rapidly changing market conditions. Shortening the duration of research and development activities provides many advantages as the time factor is so important. Accelerating project time is possible due to the shortening of the duration of the durability tests which are an important part of research and development activities. One of the most important steps in the development and verification process of a prototype vehicle is, vehicle body and suspension durability tests. The purpose of the durability tests are to identify in advance the structural problems that the vehicle may encounter during its lifetime and to take precautions in this direction. It is possible to accelerate vehicle durability testing processes by using different methods. Accelerated life testing is the process of shortening the testing period by applying the force load that the test vehicle is subjected to during its lifetime within a few months.

In this thesis study, the accelerated durability test processes which are carried out during a bus design validation process in Otokar are discussed. Relative damage values are obtained by using road load data collected in market road profiles – proving ground profiles and damage correlations are made with these values. Relative damage correlations obtained by various analysis methods performed with the measurements taken from different types of sensors located on the vehicle are compared and optimization studies of the target distance value for the accelerated test process were made. As a result of these studies, a methodology has been developed to shorten long-term vehicle life tests by approximately 30% within the acceptable accuracy coefficient limits.

Keywords: 4Poster, Durability Tests, Target Distance Optimization, Relative Damage Correlation, Fatigue.

GİRİŞ

Giderek daha rekabetçi bir hal alan otomotiv endüstrisi, güvenilirlik, dayanıklılık ve kalite konularında sürekli inovasyona ihtiyaç duymaktadır. Bu doğrultuda araç bileşenlerinin ve alt sistemlerin araç market ömrü boyunca düzgün ve güvenli şekilde çalışması beklenmektedir. Taşıtlarda seri üretim öncesi prototip araçlarda gövde ve alt sistemlerin dayanım doğrulama faaliyetleri yürütülmektedir. Bu faaliyetler sırasıyla tasarım, analiz ve test süreçleriyle sürdürülmektedir.

Prototip bir aracın gövde ve alt sistemlerinin doğrulama sürecinde gerçekleştirilen önemli adımlardan birisi dayanım testleridir. Dayanım testleri süreci taşıtların proje takviminde önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu süreci kısaltmak için dayanım testleri hızlandırılmış yöntemler ile gerçekleştirilmektedir. Hızlandırılmış dayanım testleri yardımıyla taşıt veya taşıt bileşenlerine market ömürde maruz kalacakları kuvvet yüklemeleri yapılarak seri üretim öncesi prototip tasarımların performansı değerlendirilir. Test süreci boyunca taşıt üzerinde karşılaşılan olası sorunlar tespit edilir ve Ar-Ge birimlerine girdi sağlanır. Bu süreç boyunca elde edilen bilgiler ışığında gerekli durumlarda taşıt yapısının güçlendirilmesi, tasarım değişikliği yapılması veya yeni alt sistem seçimi söz konusu olabilir. Bu tez çalışmasında yürütülen adımlar yedi bölümde ele alınmıştır.

Bölüm 1’de taşıtlarda gerçekleştirilen ömür testleri ve testlerin gerekliliğiyle ilgili genel bilgilere yer verilmiştir. Tez çalışmasının temel hedefleri arasında market verisi ve kırıcı parkur verisi hasar korelasyon metodlarının karşılaştırılması ve sonuç olarak hedef mesafe değerinin optimizasyonu yer almaktadır. Bu doğrultuda hasar korelasyonu ve hedef mesafe optimizasyonu kavramlarının üzerinden geçilmiştir. Ayrıca yorulma teorisi hakkında bilgi verilip sanal hasar hesaplama yöntemlerine değinilmiştir.

Bölüm 2’de veri toplama süreçlerinde kullanılan test ekipmanları ile ilgili bilgi verilmiştir. Testlerde kullanılan veri toplama cihazları ve yol karakteristiklerini tespit

etmekte kullanılan farklı türdeki sensörlere ait teknik bilgilere değinilmiştir. Ayrıca toplanana ham verilerin yorumlanması öncesinde gerekli olan sinyal işleme adımları anlatılmıştır.

Bölüm 3'te hızlandırılmış ömür çalışmalarında toplam test süresini düşürmeyi sağlayan kırıcı yol profili verilerinin kısaltılması kavramı ve bu kısaltma işlemlerinin takip edildiği yöntemler üzerinde durulmuştur. Ayrıca izlenen çeşitli metotlarla bu yöntemlerin doğrulanması hedeflenmiştir.

Bölüm 4'te taşıtlarda tasarım doğrulama faaliyetlerinde ömür dayanım testleri öncesinde gerçekleştirilen en önemli adımlardan biri olan müşteri yol profili ve kırıcı parkur belirleme adımlarına yer verilmiştir. Bunun yanında aracın market ömründe karşılaçağı yol profili çeşitleri ve bunların mesafe değerlerinin tespit çalışmalarına değinilmiş, bu süreçte uygulanacak olan farklı yük koşulu değerlerinin belirlenmesi konusunda bilgi verilmiştir. Bu bölümde ayrıca test öncesi gerçekleştirilen araç enstrümantasyonu adımları, veri toplama süreci ve veri inceleme safhalarına da yer verilmiştir.

Bölüm 5'te bu çalışmada ele alınan otobüsün hızlandırılmış ömür testleri analiz sürecinde farklı sensör türleri ile toplanan sinyallerin farklı yöntemler kullanılarak elde edilen sanal hasar değerlerine ait sonuçları paylaşılmıştır. Ayrıca araç market ömrü için hesaplanan hedef sanal hasar değeri ile kırıcı yol profilleri sanal hasar değerlerinin korelasyon çalışmalarına yer verilmiştir. Bu bölümde tez çalışmasındaki korelasyon yaklaşımları ile sonuç çıkarımları gerçekleştirilmiştir.

Bölüm 6'da hızlandırılmış ömür testlerinin gerçekleştiği 4Poster test sistemi test süreçleri hakkında bilgi verilmiştir. 4Poster sisteminin genel özelliklerinden bahsedilmiş olup, bu süreçte gerçekleştirilen sinyal işleme, araç modelinin oluşturulması ve iterasyon adımları anlatılmıştır.

Bölüm 7'de tez çalışmasında elde edilen sonuçlara yer verilmiş ve genel değerlendirmelerde bulunulmuştur.

1. GENEL BİLGİLER

Dayanım testleri komponentlerde, alt sistemlerde veya araç bütününde ömür kestirimi yapmak için gerekli olan önemli adımlardan biridir. Ayrıca araç geliştirme sürecinin erken safhalarında tasarımla ilgili bilinmeyenlere cevap bularak risk etkenlerini azaltmaya yardımcı olur [1].

1.1. Taşıtlarda Hızlandırılmış Ömür Testleri

Hızlandırılmış dayanım testleri taşıtlara, alt sistemlere veya parçalara ömür kestirimi yapmak için uygulanan bir test metodolojisidir. Bu testler yardımıyla bir test numunesine market ömürde karşılaçağı olası kuvvet ve hareketler gerçek kullanım şartlarında hızlandırılmış şekilde uygulanmaktadır. Dayanım testleri ürün tasarım hedeflerini değerlendirmek ve doğrulamak için gereklidir. Bu testler ürün geliştirme döngüsü içerisinde tasarım ve alt sistem entegrasyon uyumuyla ilgili kritik bilgileri seri üretim öncesi sağlamaktadır. Hızlandırılmış dayanım testleri ürün kalitesini geliştirmek, Ar-Ge faaliyetleri maliyetlerini düşürmek ve araç, alt sistem veya komponent geliştirme süreçlerini hızlandırmak amacıyla gerçekleştirilmektedir [2].

1.2. Hızlandırılmış Ömür Testlerinin Gerekliği

Dayanıklılık, güvenilirlik ve maliyetlerin düşük olması bir taşıt veya ürünün başarılı bir şekilde geliştirilmesi için gerekli önemli kriterler arasında yer almaktadır. Bunun bir parçası olarak dayanıklılık; bir tasarımın üzerine etkiyen statik ve dinamik yükleri belirlenen servis ömrü boyunca, ilgili çevresel ve kullanım koşulları dikkate alarak hasar görmeden taşıyabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Dayanıklılığın kanıtlanması ve dayanıklılık süresinin kestirimi taşıt geliştirme sürecinde önemli bir yer tutmaktadır. Günümüzde taşıtlarda hafifletilmiş tasarım taleplerinin olması ve tasarımda kullanılan malzemelerin optimize edilmesi neticesinde ürünlerin servis ömürlerinin kestirimi büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte özellikle güvenilirlikle ilgili bileşenler söz konusu olduğunda, tasarımlarda dayanıklılığın deneysel olarak doğrulanması esastır. Ancak bu şekilde tasarım yetkinliğinin,

malzeme seçiminin, imalat kalitesinin ve çevresel değişkenlerin etkileşimi doğru bir şekilde test edilebilir [3]. Şekil 1.1’de ticari araçlarda karşılaşılan yorulma kaynaklı hasarlara ilişkin örnek fotoğraflara yer verilmiştir.



Şekil 1.1. Yorulma hasarı görülen örnek taşıt fotoğrafları [4]

1.3. Hızlandırılmış Ömür Testi Yöntemleri

Taşıtlarda hızlandırılmış ömür testleri farklı yöntemler yardımıyla gerçekleştirilmektedir. İlgili test aracının sınıfı, araç misyon yol profillerinin çeşitliliği, prototip araca seri üretim öncesi ömür testleri için ayrılan zaman zarfı test yöntemlerini etkileyen başlıca parametreler arasında yer almaktadır.

1.3.1. Ürün doğrulama test pistleri

Ürün doğrulama test pistleri (Proving ground), üretilecek araçların belirlenen standartlara uygunluğunun ön testleri ve Ar-Ge faaliyetleri amaçlanarak, birçok test parkurunu içinde barındıran kompleks bir yapıdan oluşmuş özel alanlardır. Bu pistler, otomotiv üreticilerinin kendi bünyelerinde kurulduğu gibi tip onay mevzuatına göre teknik servis ya da onay kuruluşu olarak hizmet veren kurumlar tarafından da kurulmaktadır [5]. Şekil 1.2’de taşıtların hızlandırılmış ömür testlerinin gerçekleştirildiği “Proving ground” test parkurlarından görüntülere yer verilmiştir.

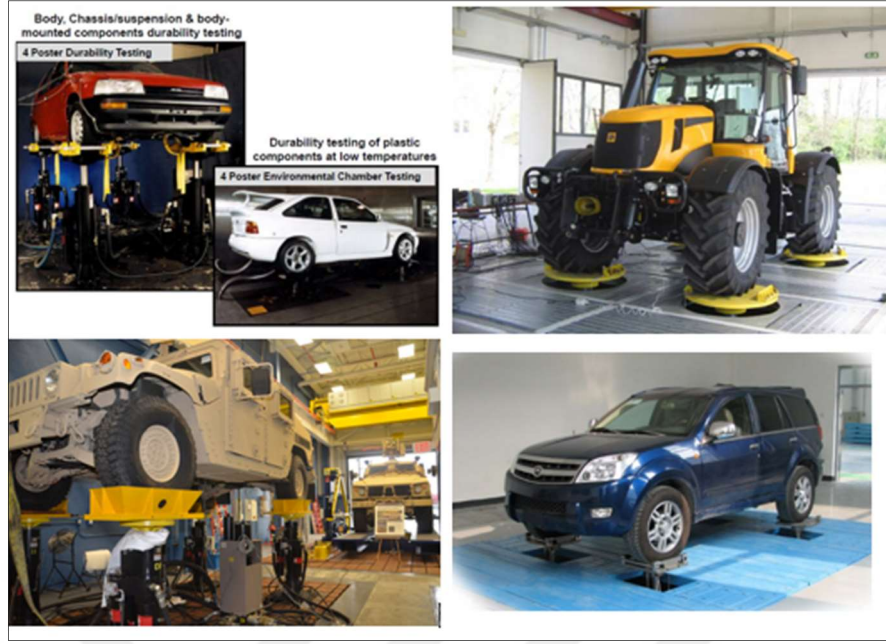


Şekil 1.2. Ürün doğrulama test pistlerinin görünümü [6]

1.3.2. Test Sistemleri

Hidrolik veya Elektrodinamik Test Simülatörleri, 4Poster test sistemleri araç gövde ve süspansiyon dayanımı doğrulama süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Test sistemleri araçların farklı kırıcılıktaki parkurlardan geçiş esnasında ve farklı sürüş koşullarındaki dinamiklere karşı oluşturdukları etkileri tekrar elde etmeye yarayan test platformlarıdır. Bu sistemler sıklıkla araç gövde, şasi ve süspansiyon bileşenlerinin dayanımlarını ve performans özelliklerini belirlemek için kullanılmaktadır. Şekil 1.3'te taşıtlarda hızlandırılmış ömür testlerinin gerçekleştirildiği örnek simülatör sistemlerinin fotoğraflarına yer verilmiştir. Bazı özel uygulamalarda taşıtlarda iç gürültü değerlendirme metodlarından olan “tıkırtı” ve “gıcırıtı” tesbiti ve yorumlamaları yapılmaktadır. Ayrıca bu sistemler yardımıyla “random, white-noise, sine-sweep, square wave” gibi sinyal çeşitleri üretilmekte ve prototip araçların geliştirme faaliyetlerinde kullanılmaktadır.

Test sistemlerinin avantajı test parkurlarında sağlanamayan yol profilli tekrarlılığının kontrollü, hızlı bir şekilde düşük maliyetlerle gerçekleştirilebilmesidir. Ömür testlerinde araca uygulanan girdi sinyal bileşenlerinin aynı içeriğe (genlik, frekans ve faz) sahip olmasının beklendiği koşullarda test sistemleri ile tekarlanabilir testler gerçekleştirmek mümkündür [7].



Şekil 1.3. Taşıt ömür testlerinin gerçekleştirildiği test sistemleri [8]

1.4. Müşteri Kullanım Profili ve Kırıcı Yol Profili Kavramları

Taşıt ömür testleri etabında izlenen yollar arasında müşteri kullanım profillerinin ve araca hasar döngüsünde uygulanan kırıcı parkur verilerinin toplandığı yol profillerinin belirlenmesi yer almaktadır. Her iki süreç de araca uygulanan kuvvetlerin seviyeleri ve tekrar etme sıklıkları hakkında bilgi verdiği için önem arz etmektedir.

1.4.1. Müşteri kullanım profili tanımı

Her komponent, alt sistem, sistem veya araç kompleksi için tanımlanan servis ömrüne ve bu ömür boyunca ilgili test numunelerinin maruz kalacakları yüklerin mertebelerini ve tekrarlama sıklıklarını ifade eden tanıma müşteri kullanım profili adı verilmektedir. Ürünlerin servis ömrü, güvenilirlik ve emniyet kestirimleri araçların yapısal tasarım süreçlerini doğrudan etkileyen parametreler arasında yer almaktadır. Bir ürüne servis ömrü boyunca etkileyen operasyonel yük koşulları oldukça önemlidir. Ürün dayanımı noktasındaki gereksinimler müşteri kullanım profilindeki yük mertebeleri ile doğrudan ilişkilidir [5]. Servis ömrü yük koşulları doğru şekilde tespit edilmediği takdirde büyük emniyet faktörleri ile yüksek maliyetli, ağır tasarımlar üretilebilir. Benzer şekilde yapılacak zayıf tasarımlar ile ürün servis ömrünü tamamlamadan hasar görebilir veya arızalanabilir. Bu olası koşulların yaşanmaması için müşteri kullanım profilinde ürüne etkileyen yükler referans alınarak optimum tasarım gerçekleştirilmelidir.

Prototip araç üretim safhasında takip edilen tasarım, analiz ve test süreçlerinde hedeflenen nihai tasarımı optimize etmektir. Burada esas olan aracın gövde, şasi ve alt sistemlerinin dayanımını emniyet limitleri içerisinde tutarak mümkün olduğunca hafif araçlar tasarlamaktır. Bu doğrultuda gerçek kullanım koşulları ve güzergahlarını tespit etmek için bazı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Literatürde yaygın olan yöntem müşteri ile anket yapılması ve istatistikî bilgi sağlanması yönündedir. Benzer şekilde referans araçların kullanım misyonu dikkate alınarak (şehir içi, şehirler arası, vb) uygun data toplama rotaları tespit edilir ve bu rotalar boyunca aracın takip edeceği hız değerleri ve manevra senaryoları uygulanır. Şekil 1.4’te farklı müşteri kullanım profillerinde kullanılan ticari araçların yer aldığı fotoğraflara yer verilmiştir.



Şekil 1.4. Farklı müşteri profillerine sahip ticari araçlar [9]

1.4.2. Kırıcı yol profili tanımı

Taşıt ömür çalışmalarında test süreçlerini kısaltmak ve seri üretime hızlı bir şekilde geri besleme sağlamak için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan biri de araca yoğun hasar girdileri sağlayabileceğimiz parkurlar yardımıyla olmaktadır. Yüksek ve yoğun kırıcılık içeren bu profiller ile aracın misyon ömründe karşılaşıcağı kuvvet girdilerini hızlandırılmış bir şekilde araca uygulamak mümkündür. Şekil 1.5’te taşıt hızlandırılmış ömür testlerinin gerçekleştirildiği, standartlarda tanımlı yol profillerinin içeren örnek “Proving ground” (kırıcı yol profili) fotoğraflarına yer verilmiştir. Bu yöntem ile müşteri kullanım ömründe araca daha az etkiyen ve hasar noktasında

nispeten daha düşük seviyeli bölümlerin olmadığı profiller seçilerek test süreçleri hızlandırılır [10].

Bu noktada kırıcı yol profili türleri, araç ağırlık koşulu, araç hızı, yapılacak manevra çeşitleri gibi parametreler dikkate alınarak optimum bir test programı oluşturulmalıdır.



Şekil 1.5. Farklı tipteki araçların “Proving ground” geçişleri [11]

1.5. Taşıtlarda Ömür Hesabı Aşamaları

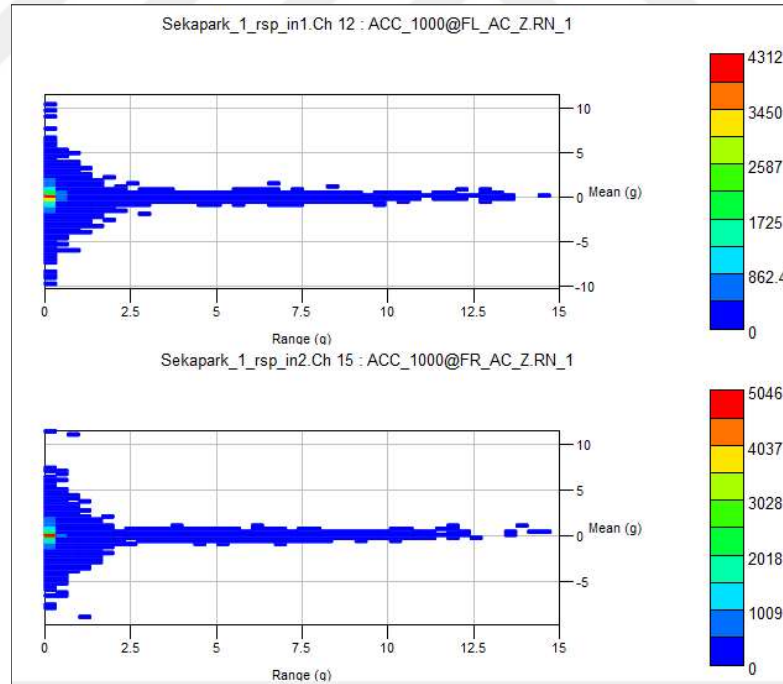
Taşıtların tasarımı süreçlerinde seri öncesi gerçekleştirilmesi elzem olan adımlardan biri de ömür testleridir. Ömür testleri yardımıyla aracın market ömründe karşılaşılabileceği hasarların önceden kestirimini yapıp, gerekli önlemler alınması amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda yol datası toplama adımları ile aracın market ömründe karşılaşılabileceği göreceli hasar değeri nümerik olarak elde edilir ve bu değere ulaşmak için gerekli olarak hızlandırılmış test profili ile hasar korelasyonu gerçekleştirilir. Mesafe optimizasyonu çalışmaları ile ömür testi sürecinde test aracının koşması gereken optimum mesafe değeri hesaplanır.

1.5.1. Hasar korelasyonu

Ömür testleri öncesinde gerçekleştirmemiz gereken önemli adımlardan bir tanesi de müşteri kullanım profili ve kırıcı yol profili verilerinin hasar korelasyonunun yapılmasıdır. Araç üzerinde süspansiyon, şasi ve gövde başta olmak üzere pek çok

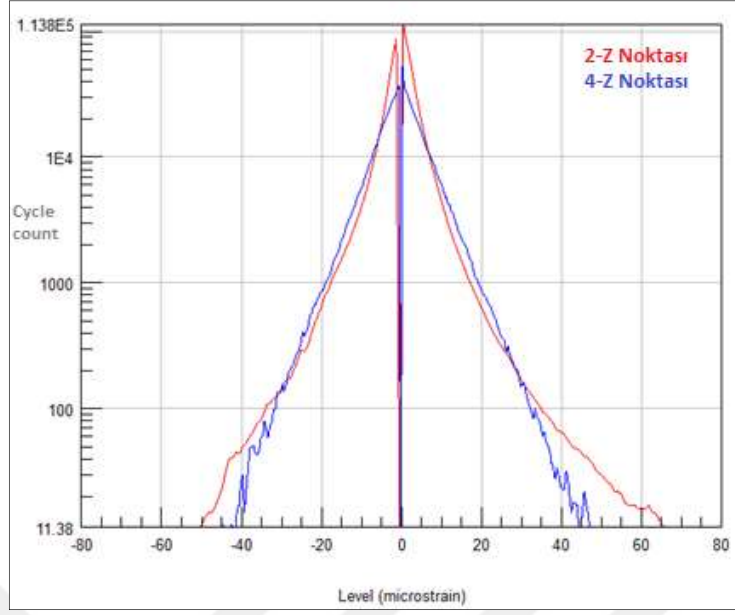
noktaya konumlandırılmış, çeşitli sensörler yardımıyla toplanan veriler ilerleyen bölümlerde bahsedilen korelasyon yöntemleri ile işleme alınır. Bu yöntemlerde ivme, kuvvet, deplasman, strain-gauge, GPS vb sensörler yardımıyla toplanan yol verileri hasar hesaplarına tabi tutulur. Korelasyon çalışmaları istatistiki yaklaşımların yanı sıra sinyallerin frekans içeriklerinin değerlendirilmesi ve sanal hasar seviyelerinin karşılaştırılması şeklinde yapılabilir. Hasar korelasyonu yardımı ile market ömrü boyunca aracın belirli bir bölgesine etkileyen hasar değerinin göreceli bir şekilde kırıcı yol profili hasar değeri ile eşleştirilmesi amaçlanır. Bu korelasyon çalışmasının hem araç üzerinde farklı tipteki sensörlerden elde edilen sinyallerin kullanılmasıyla, hem de bu sinyallerin farklı hasar hesaplama yöntemleri yardımıyla hesaba katılıp doğrulanması amaçlanır [12].

Şekil 1.6’da test aracının “Sekapark Kırıcı” test parkurunda geçişi esnasında sağ ön ve sol ön teker salıncak bölgesinde toplanan ivme sinyallerinin “Rainflow counting” yöntemi ile oluşturulan histogramlarının karşılaştırma grafiği yer almaktadır.



Şekil 1.6. İvme sinyalleri ile yol profillerinin karşılaştırılması

Şekil 1.7’de test aracının “Ormanköy kırıcı test parkurundan” geçişi esnasında araç süspansiyon bölgesinde, “2-z” ve “4-z” noktalarında toplanan strain sinyallerinin “Level-crossing” yöntemi ile oluşturulan histogramlarının karşılaştırma grafiği yer almaktadır.



Şekil 1.7. Strain sinyalleri ile yol profillerinin karşılaştırılması

1.5.2. Mesafe optimizasyonu kavramı

Araç ömür testlerinde araca uygulanacak hasar mertebelerinin belirlendiği ve bu mertebelerin tekrar sayılarının tespit edildiği sürece mesafe optimizasyonu ismi verilmektedir. Bu süreç hasar korelasyon adımı ile doğrudan ilişkili olup ilgili test aracının yapısal olarak doğrulanmasına etki eden en önemli adımlardan biridir. Bu safhada müşteri kullanım profilinde hesaplanan hedef (target) hasar değeri ve frekans içeriği referans alınarak, kırıcı yol profilleri içerisinde seçim işlemi gerçekleştirilir. Farklı karakteristikte yol profilleri ve bu profillerden farklı hızlarda geçiş ile çeşitlendirilmiş kırıcı yol profilleri yardımıyla hedef hasar değerine erişmek için en ideal optimizasyon senaryosu amaçlanır. Bu sürecin sonunda hedef hasar değerine ulaşmak için gerekli olan kırıcı yol profilleri katılımları ve tekrar sayıları elde edilmektedir. Kırıcı yol profillerinin tekrar etme sıklıkları ile bir test döngüsü oluşturulur. Bu döngü yardımıyla yol profillerinin birim süreleri de dikkate alınarak toplam test süresi hesaplanır [13].

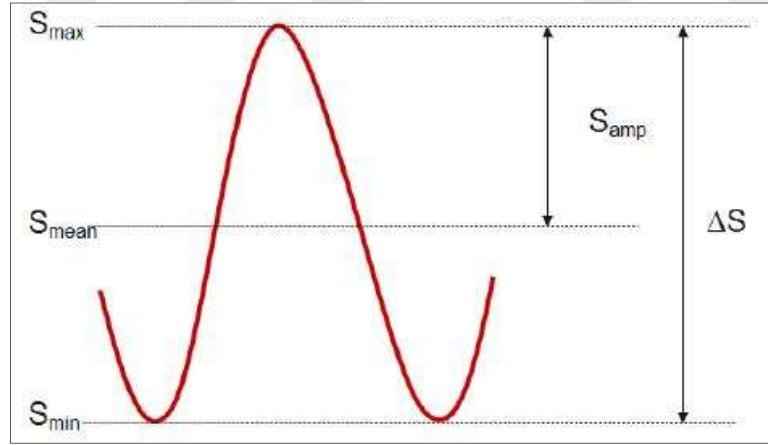
1.6. Yorulma Teorisi

Bu bölümde hızlandırılmış ömür testleri sürecinde kullanılan; malzemeler üzerinde yorulma döngüleri oluşturularak hasar hesabına ulaşma teorisinden bahsedilecektir. Yorulma kavramı, yorulma türleri ve yorulma hesaplama yöntemlerine değinilmiştir.

1.6.1. Yorulma tanımı

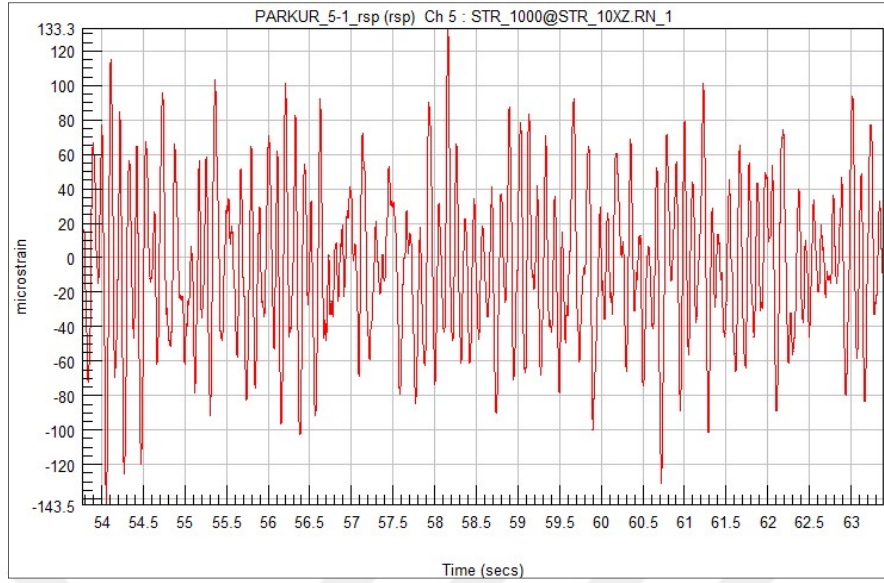
Değişken yükler altında malzemenin iç yapısında meydana gelen değişimlere yorulma denir. Dinamik yüklere maruz kalan yapılar belirli bir süre sonra etki altında kaldıkları yükleri taşıyamaz olur ve kırılırlar. Bir malzemenin değişken dinamik yükler altında belirli bir süre sonunda kırılmasına yorulma hasarı denir. Özel durumlar dışında çoğunlukla yorulmaya yol açan gerilme seviyesi malzemenin akma dayanımından düşüktür.

Bir parçaya gelen maksimum gerilme değeri malzemenin elastik limitini geçmediği sürece, parçadan yük geri çekilse bile parça başlangıç konumuna gelir. Uygulanan bir yükleme malzemenin elastik sınırları içerisinde birçok defa tekrarlanabilir. Tekrar sayısı binlerce kez gerçekleştiğinde artık malzeme üzerinde yorulma birikmesi oluşmakla birlikte yapısal değişiklikler meydana gelebilir. Bunun sonucunda malzemede deformasyon gerçekleşebilir. Şekil 1.8’de tipik bir stres sinyali dögüsü değişim grafiğine yer verilmiştir. Yorulma genel olarak bir yapıya uygulanan tekrarlı yüklerin sonucunda oluşan hasar birikmesi olarak tanımlanabilir [14].



Şekil 1.8. Tipik bir stres sinyali dögüsü değişim grafiği [14]

Taşıt, alt sistem veya komponent seviyesinde gerçekleştirilen yorulma odaklı ömür testlerinde Şekil 1.9’da yer verilen strain sinyalleri sıklıkla kullanılmaktadır.



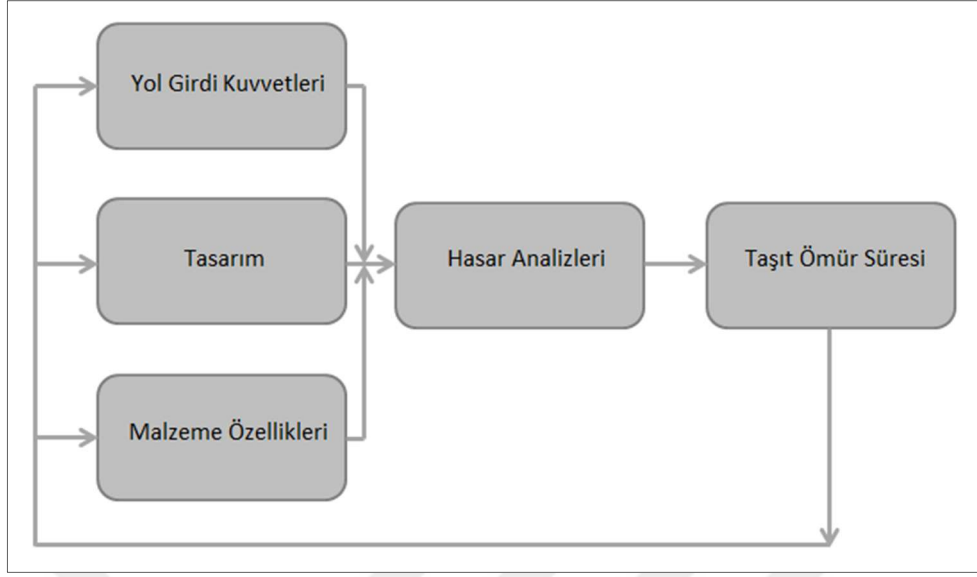
Şekil 1.9. Zamana bağlı olarak değişen bir strain sinyalinin görünümü

1.6.2. Tekrar sayılarına göre yorulma türleri

Malzemeler kullanım ömürleri boyunca çeşitli dinamik yüklerin etkisi altında kalmaktadırlar. Uygulanan yüklerin tekrar sayıları ve yüklerin mertebeleri dikkate alındığında yorulma türlerini yüksek ve düşük tekrarlı yorulma olarak sınıflandırabiliriz. Tekrar sayılarına göre yorulma türleri ve özelliklerine Tablo 1.1’de yer verilmiştir.

Tablo 1.1. Tekrar sayılarına göre yorulma türleri ve özellikleri [14]

	Yüksek Tekrarlı Yorulma (High Cycle Fatigue)	Düşük Tekrarlı Yorulma (Low Cycle Fatigue)
Genlik Mertebeleri ve Yorulma Zamanı	Düşük genlikli gerilmeler altında uzun sürede oluşan yorulmadır	Yüksek genlikli gerilmeler altında kısa sürede oluşan yorulma
Deformasyon Türü	Genlik değerleri düşük olduğu için genel olarak elastik deformasyonlar söz konusudur	Genlik değerleri yüksek olduğu için genel olarak plastik deformasyonlar söz konusudur
Tekrar Sayıları	Malzeme ömrü > 100.000 tekrar	100.000 > Malzeme ömrü > 10 tekrar

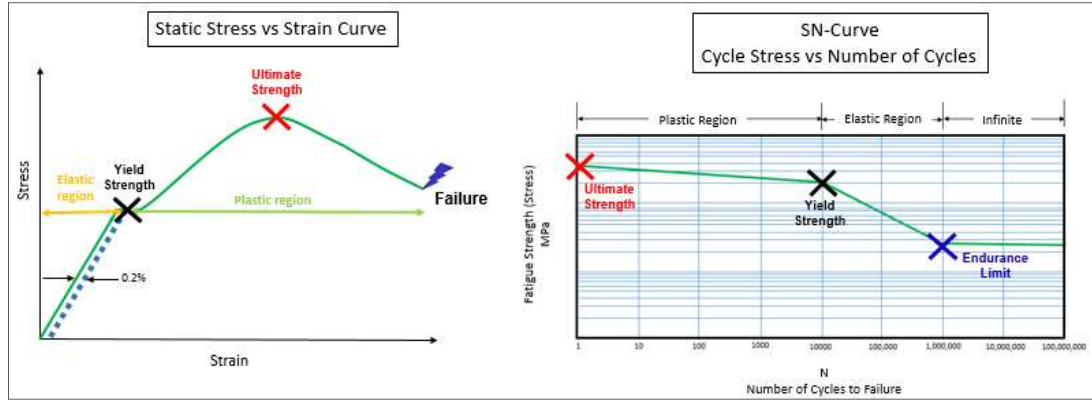


Şekil 1.10. Taşıt ömür dayanımına etki eden bileşenlerin gösterimi [15]

Tüm taşıt, alt sistem veya komponentler için yapılan hasar hesaplamalarında yapıya servis koşullarında uygulanan yük girdilerine, yapının tasarımına ve malzeme bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır [15]. Şekil 1.10'da taşıt gövde ve alt sistemlerinin doğrulanması aşamalarında doğrudan ömür sürelerine etki eden parametrelere yer verilmiştir.

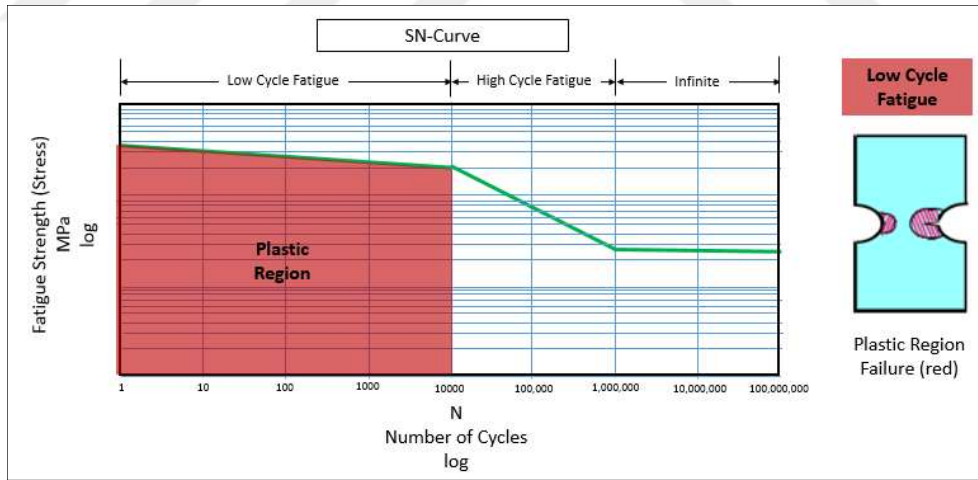
1.6.3. S-N eğrisi kavramı

S-N eğrisi bir malzeme üzerinde uygulanan değişken stres değerleri ve bu değerlerin tekrar sıklığı ilişkisine bağlı olarak malzeme üzerinde oluşabilecek yorulma hasarı hakkında bilgi veren bir eğridir. Eğrinin düşey eksenini uygulanan stres mertebesini, yatay eksenini ise döngü sayılarını ifade etmekle birlikte, S-N eğrisi her malzeme için farklılık göstermektedir. Eğri genel olarak logaritmik skalada incelenir. S-N eğrisi üzerinde yer alan eğimler malzemenin plastik, elastik veya sonsuz ömür bölgesinde bulunan stres-tekrar sayısı ilişkisini ifade eder. Malzemelerin mukavemet değerlerine göre eğrinin eğiminde farklılıklar oluşur. Bu eğri yardımıyla değişken yükler altında bulunan bir malzeme için yorulma kestirimleri yapmak mümkün olmaktadır. Malzemelerin yapısal karakteristikler hakkında bilgi veren bu eğri ile yapılarda hasar-ömür ilişkisi kurulabilmektedir [16]. Şekil 1.11'de bir malzeme üzerinde akma dayanımı, kopma dayanımı noktalarını ve farklı stres değerleri altında uygulanan tekrar sayıları ile yorulma ilişkisini gösteren grafiklere yer verilmiştir.



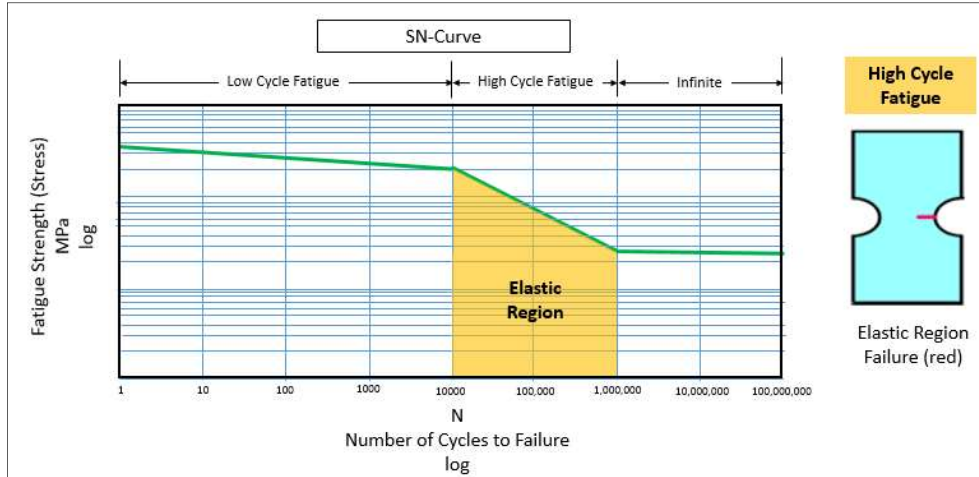
Şekil 1.11. Stres-strain ve S-N eğrilerinde malzeme dayanımları [16]

S-N eğrisi üzerinde malzemelerin mukavemet hesaplarında kullanılan akma dayanımı, kopma dayanımı ve sonsuz dayanım noktaları ifadeleri yer alabilir. S-N eğrisi üzerinde değişen eğim bölgelerini bu ifadeleri tanımlar. Yapılan hasar analizlerinde malzemelerin akma dayanım noktası referans olarak alınmaktadır. Bu seviyenin üzerinde uygulana stres mertebelerinde malzemenin doğrudan deformasyona maruz kalabileceği kabul edilmektedir. Jenerik bir malzeme için S-N eğrisinde plastik bölgenin gösterimine Şekil 1.12’de yer verilmiştir.



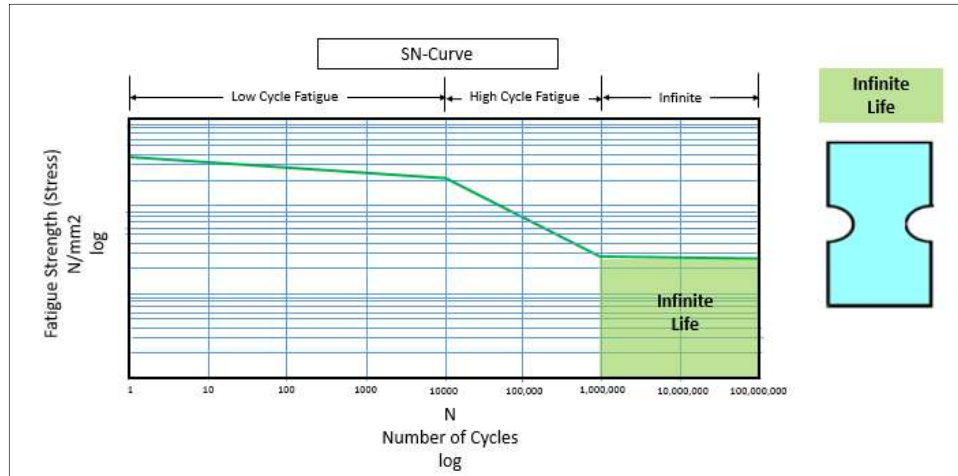
Şekil 1.12. S-N eğrisinde malzeme için tanımlı plastik bölge [16]

Malzemenin akma ve kopma dayanım arasında kalan bölge ise plastik deformasyon bölgesi olarak nitelendirilir ve bu bölge içinde uygulanan stres değeri kalıcı deformasyona sebep olur. Plastik bölgede uygulanan stres değerleri oldukça yüksek olduğu için bu bölge aynı zamanda düşük döngü yorulmalarını (low cycle fatigue) kapsar. Jenerik bir malzeme için S-N eğrisinde elastik bölgenin gösterimine Şekil 1.13’te yer verilmiştir.



Şekil 1.13. S-N eğrisinde malzeme için tanımlı elastik bölge [16]

Akma dayanımının altında kalan bölgelerde malzeme için stres-strain eğrisi üzerinde doğrusal bir ilişki olmakla birlikte bu bölge elastik deformasyon bölgesi olarak nitelendirilir. Bu bölge içerisinde malzeme üzerine uygulanan stres kalktıktan sonra malzeme yapısal olarak ilk haline geri döner. Elastik bölgede uygulanan stres değerleri düşük mertebelerde olduğu için bu bölge aynı zamanda yüksek döngü yorulmalarını (high cycle fatigue) kapsamaktadır [17]. Jenerik bir malzeme için S-N eğrisinde sonsuz ömür bölgesinin gösterimine Şekil 1.14'te yer verilmiştir.



Şekil 1.14. S-N eğrisinde malzeme için tanımlı sonsuz ömür bölgesi [16]

Sonsuz ömür bölgesi malzeme üzerine uygulanan stresin kalıcı bir deformasyona neden olmadığı, yorulma noktasında hasar birikmesinin yaşanmadığı bölgelerdir. Bu bölgedeki stres seviyeleri oldukça düşük olduğu için sonsuz sayıda stres tekrarı uygulansa da yorulma gerçekleşmez.

Toplam ömür metodu yada gerilme-ömür metodu olarak da adlandırılan bu yöntem diğer yorulma analiz ve dizayn tekniklerinden aşağıdaki özelliklerden dolayı ayırt edilmektedir;

- Yorulma hasarına neden olan en önemli parametre tekrarlı gerilmelerdir.
- Etkin olduğu yer yüksek çevrim ve stres genliği olan bölgedir.
- Özellikle malzemenin elastik bölgesindeki yorulma davranışlarında kullanıma uygundur.
- Kalıcı şekil değişimi etkin parçalar ve yapılar için uygun değildir.

Toplam ömür yönteminde yorulma testi sırasında test parçasına yada numunesine değişken genlikli yükler etkidiğinden yorulma hasarı meydana gelmektedir. Numuneye etkiyen yükler hem sabit gerilme aralığında “ S_r ” hem de sabit gerilme genliğinde “ S_a ” tanımlanır. Denklem (1.1)’de gösterildiği gibi gerilme aralığı bir çevrimdeki maksimum gerilme ile minimum gerilme arasındaki fark olarak tanımlanır;

$$S_r = S_{\max} - S_{\min} \quad (1.1)$$

Denklem (1.2)’de görüldüğü gibi gerilme genliği gerilme aralığının yarısı olarak tanımlanmaktadır;

$$S_a = \frac{S_r}{2} = \frac{(S_{\max} - S_{\min})}{2} \quad (1.2)$$

Gerilme-ömür yorulma testlerinde uygulanan gerilmeye karşılık ömür değerini logaritmik skalada elde ederken, “y” eksenini gerilme genliğini yada gerilme aralığı olarak ifade edilir. Diğer eksen olan “x” eksenini ise hasara kadar olan çevrim sayısı yada hasarlanma çevrim sayısı olarak ifade edilir.

Denklem (1.3) toplam ömür metoduyla yapılan yorulma tasarımlarında kullanılan en yaygın denklem olup logaritmik eksende türetilerek “Basquin” denklemi olarak literatüre geçmiştir. Bu denklemde “ S_a ” uygulanan stres genliği olarak tanımlanabilir. “ N_f ” uygulanan stres çevrim sayısını ifade etmektedir. S-N eğrisi referans alınarak belirli bir stres değerinin tekrar sayısını belirtmektedir. Denklemde yer alan “b” üslü

ifadesi S-N eğrisinin eğimini ifade etmektedir. Bu eğri doğrudan yorulma denklemleri sonuçlarına etki etmektedir. “S_f“ yorulma katsayısı ise “b” eğimli eğrinin düşey eksenini kestiği noktanın değerini ifade etmektedir [18]. Şekil 1.15’te jenerik bir malzeme için S-N eğrisi üzerinde yorulma ömür yaklaşım grafiğine yer verilmiştir.

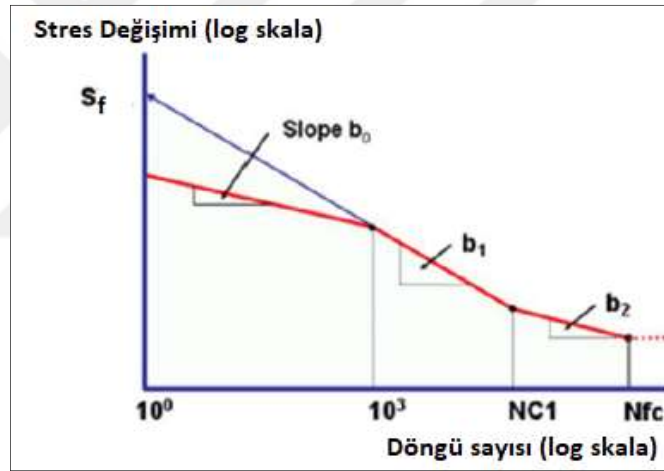
$$S_a = S_f (2N_f)^b \quad (1.3)$$

S_a: Sabit gerilme genliği

S_f: Yorulma dayanım katsayısı

N_f: Stres çevrim sayısı

b: Yorulma dayanım üssü



Şekil 1.15. S-N eğrisinde jenerik bir malzeme için yorulma ömür yaklaşımı [18]

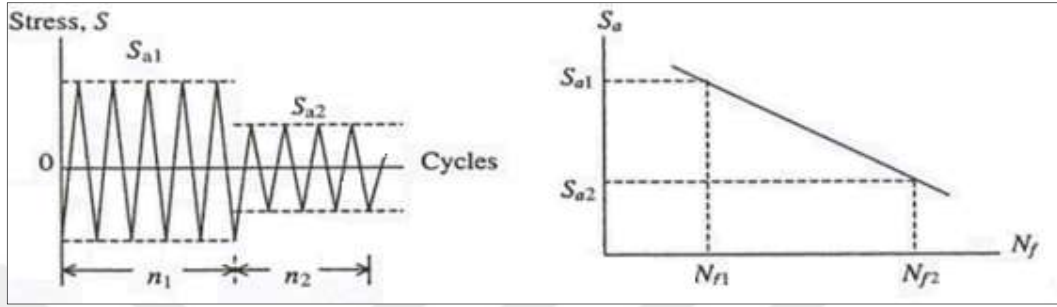
$$b = - \frac{(\log S - \log S_0)}{(\log N_0 - \log N)} \quad (1.4)$$

Denklem (1.4) ile S-N eğrisinin eğimini elde etmek mümkündür.

1.6.4. Palmgren-Miner birikimli hasar teorisi

Değişken yükleme koşullarına maruz kalan yapısal parçaların yorulma dayanımlarını önceden tahmin etmek karmaşık bir konudur. En çok kullanılan hasar modeli lineer hasar yaklaşım modelidir. Bu model “Palmgren-Miner” kuralı olarak da bilinmektedir.

Değişken genlikli yüklemeler altındaki parçaların yorulma karakteristiklerinin belirlenmesi birikimli hasar teorisine göre yapılır. Değişken genlikli zaman ekseninde tanımlanmış olan yüklemeler “ n_1 ” çevrimde ve “ S_1 ” genlikte, “ n_2 ” çevrimde ve “ S_2 ” genlikte sonlu sayıda çevrim ve genlikten oluşur. Şekil 1.16’da S-N eğrisinin farklı stres çevrimleri ve çevrimlerin tekrar sayıları ile ilişkisinin grafiğine yer verilmiştir.



Şekil 1.16. S-N eğrisinde farklı çevrimler için yorulma hasar yaklaşımları [19]

“Palmgren-Miner” teorisine göre her bir çevrimde oluşan hasarın bulunabilmesi için malzemenin gerilme-ömür eğrisi referans alınır. Gerilme ömür eğrisi üzerinde her bir gerilme genliği için “ N_f ” değeri mevcuttur.

“ n_i ” sayıdaki toplam çevrim için belirli bir gerilme aralığı veya ortalama gerilmede oluşacak olan beklenen toplam hasar, “ $E[D]$ ” ise Denklem (1.5)’de belirtildiği gibi her bir hasar yüzdesinin lineer olarak toplanmasıyla bulunur;

$$E[D] = \sum \frac{n_i}{N_{fi}} = \frac{n_1}{N_{f1}} + \frac{n_2}{N_{f2}} + \dots \geq 1 \quad (1.5)$$

n_i : Toplam çevrim sayısı

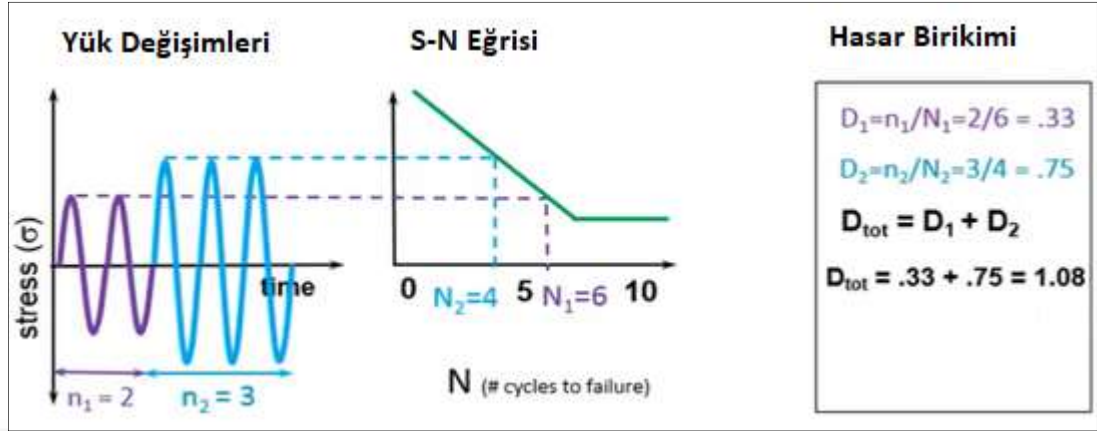
N_{fi} : Hasara kadar olan çevrim sayısı

$E[D]$: Toplam hasar

i : Aralık değişkeni

Lineer hasar teorisine göre her bir çevrim sonucu oluşan yüzde hasar değerlerinin toplanarak “1” katsayısına ulaşması ve bu değeri aşması sonucunda hasar meydana gelir. Yorulma ömrü ise yapıya etkileyen yük çevrimlerinin süresinin her bir çevrim sonucu toplanarak bulunan toplam hasara bölünmesi ile bulunur [19]. Şekil 1.17’de

jenerik bir malzemenin S-N eğrisi kullanılarak gerçekleştirilen birikimli hasar teorisi örneğine yer verilmiştir.



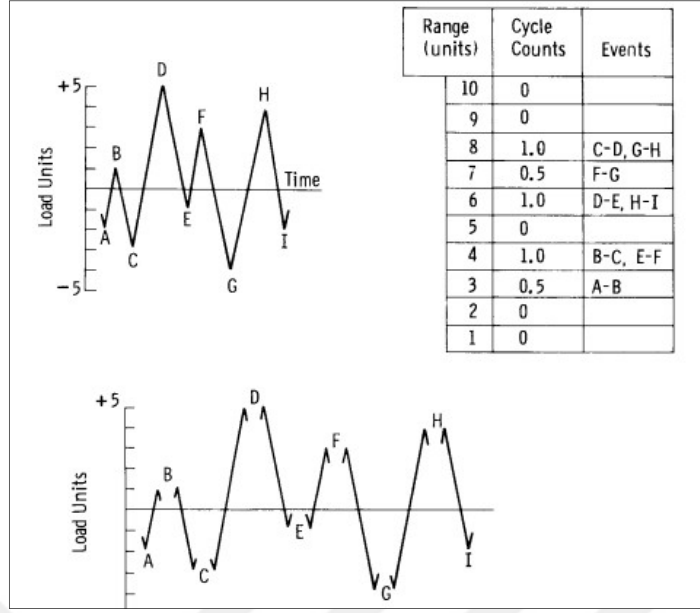
Şekil 1.17. S-N eğrisinde değişken yükler altında hasar birikimi [18]

1.7. Sinyal İçeriğini Karşılaştırma ve Sanal Hasar Hesaplama Yöntemleri

Toplanan ham verilere sinyal temizleme işlemi uygulanmasının ardından hasar korelasyonu çalışmalarına geçilir. Müşteri kullanım profillerinden ve kırıcı yol profillerinden elde edilen verilerin karşılaştırılması ve korelasyon sürecinin gerçekleştirilmesi için bazı metodların takip edilmesi gerekmektedir. Bu yöntemlerin tercihi korelasyon sürecindeki yaklaşım metodolojisi ile doğrudan ilişkilidir. İstatistikî yaklaşımlar, sanal hasara yönelik karşılaştırmalar veya verilerin frekans içeriklerine odaklanarak yapılan korelasyonları gerçekleştirmek mümkündür.

1.7.1. Range-Pair saydırma yöntemi

“Range-pair” saydırma metodu DIN 45667 de standartlaştırılmıştır. Bu yöntemde sinyal üzerinde iki dönüş noktası (uç nokta) arasındaki genlikler sayılmaktadır. Burada bir salınımda eşdeğer boyutlu pozitif ve negatif dönüşümler mevcuttur. Bu yöntemde bu eşdeğer boyutlu salınımlar toplanır. Sonuç olarak kümülatif bir döngü dağılımı elde edilir. Şekil 1.18’de “Range-pair” saydırma yöntemi ile genlik saydırma süreci anlatılmıştır.



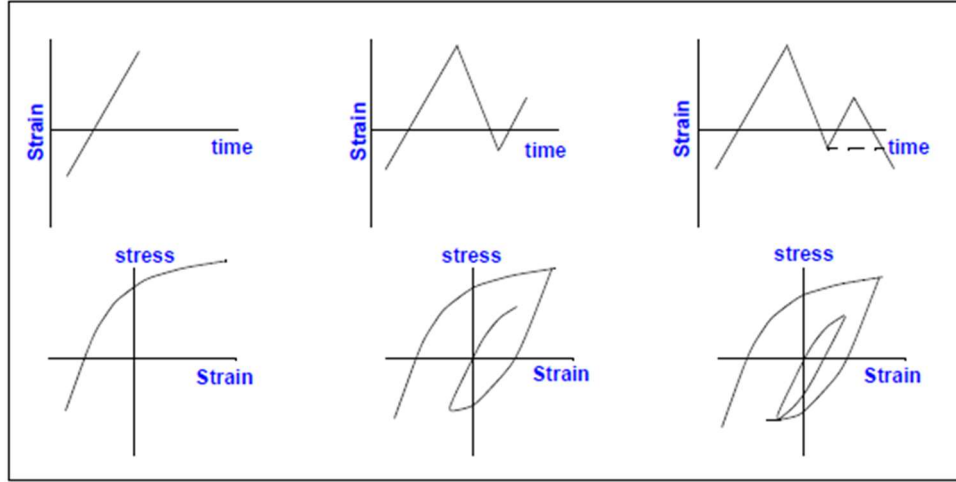
Şekil 1.18. Bir sinyal üzerinde range pair sayma metoduna ait görünüm [20]

Elde edilen farklı uzunluktaki genlik değerleri ile bu genlik değerlerine ait tekrar sayılarının not edilmesi mantığı ile çalışmaktadır [20].

1.7.2. Rainflow saydırma yöntemi

“Rainflow” saydırma yöntemi yorulma analizlerinde sinyal değişimlerindeki tekrarların hesaplanması ile ilgili çalışmaların yapıldığı ASTM E1049-85 standardına uyumlu şekilde çalışmaktadır.

“Rainflow” saydırma yöntemi herhangi bir malzemenin gerilim-birim uzama eğrisindeki kapalı histerizis çevrimlerini bulmaya yarayan bir metottur. Bir yükleme çevrimini temsil eden histerizis çevrimi hasar hesaplamalarında kullanılan temel birimdir. Malzemelerin gerilme eğrileri incelendiğinde akma noktasının ötesinde malzemelerde oluşan yükleme ve boşalım eğrilerinin oluşturduğu kapalı çevrimlere histerizis çevrimi denir [21]. Şekil 1.19’da jenerik bir malzemenin zamana bağlı yorulma değişimlerinin histerizis dönüşümlerine yer verilmiştir.

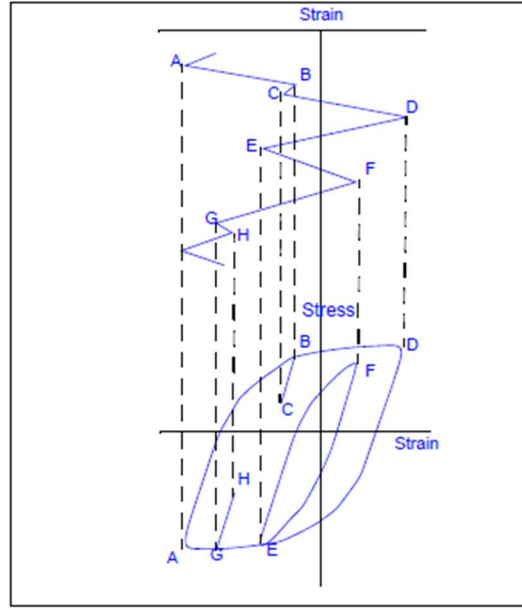


Şekil 1.19. Zamana bağlı yorulma değişimlerinin histerizis dönüşümleri [21]

“Rainflow” saydırma yönteminin en önemli avantajı, bu yöntemin yorulma hasar hesaplarına tutarlı bir şekilde ilişkilendirilebilmesidir. Bu avantaj kapalı histerizis çevrimlerinin fiziksel olarak yorumlanabilmesi sayesinde. “Rainflow” algoritmasında uygulanması gereken sıra şu şekildedir. Gerilme tepeleri sıkıştırılarak zaman eksenini daraltılır ve zaman eksenini bir çatı olarak düşünülür. Çatı zaman ekseninin başlangıç noktası yukarı gelecek şekilde 90° açı ile döndürülür ve her gerilme tepesi bir su kaynağı olarak düşünülür. Ardından aşağıdaki kriterlere göre yarım çevrim sayısı belirlenir [21].

- Zaman ekseninin sonuna ulaşıp ulaşmadığına,
- Daha önceki bir gerilme tepesinden başlayan akış ile birleşip birleşmediğine,
- Daha büyük yükseklikteki bir gerilme tepesinin tersi yönünde akıp akmadığına göre.

Bu aşamadan sonra yarım çevrimlerin genlikleri hesaplanır ve aynı genliklere sahip yarım çevrimler birbirleri ile eşleştirilerek tam çevrim oluşturup oluşturmadığına bakılır. Şekil 1.20’de “Rainflow” saydırma yönteminde stres-strain ilişkisine yer verilmiştir.

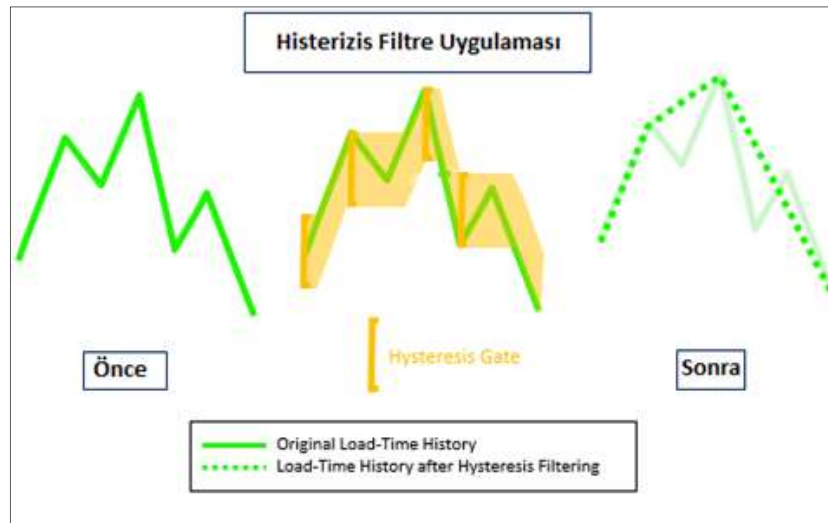


Şekil 1.20. Rainflow hesaplama prosedürünün stress-strain ilişkisi [21]

“Rainflow” saydırma yöntemi farklı metodlar yardımıyla gerçekleştirilebilir. Bu metodlar aşağıda belirtildiği şekildedir;

- Histerizis filtre uygulaması;

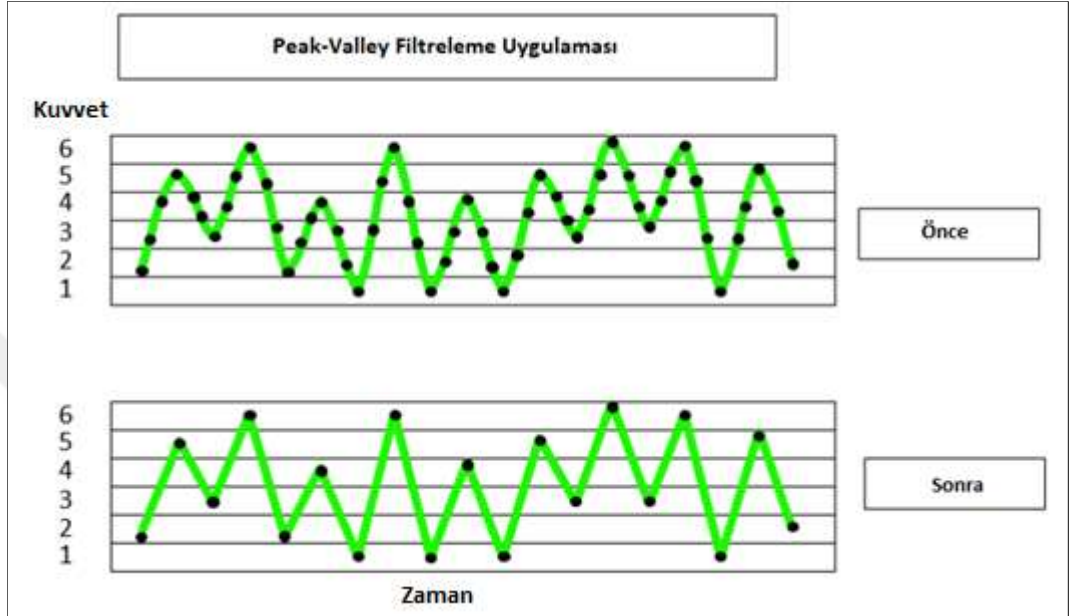
Histerizis filtre uygulamasında kullanılan filtreleme işlemine ilişkin bir grafiğe Şekil 1.21’de yer verilmiştir.



Şekil 1.21. Rainflow saydırma yöntemleri arasında histerizis filtreleme [24]

- “Peak-valley” filtre uygulaması;

“Peak-valley” filtre uygulamasında kullanılan filtreleme işlemine ilişkin bir grafiğe Şekil 1.22’de yer verilmiştir.

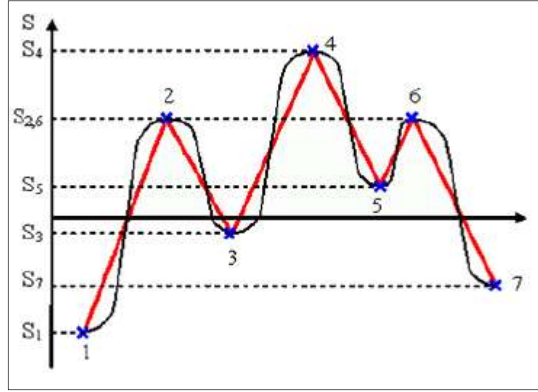


Şekil 1.22. Rainflow saydırma yöntemleri arasında peak-valley metodu [24]

Bu yöntemin amacı sinyal üzerinde ters yönlü gerçekleşen veri noktalarını tutmak ve arada kalan genlik mertebesi nispeten düşük seviyede kalan noktaları elemektir. Bu yöntemde yorulma ömür hesapları için sinyalin maksimum ve minimum noktaları dikkate alınır. Belirli bir çevrim içerisinde maksimum ve minimum değerleri arasında herhangi bir ara veri noktası yorulma hesaplarına dahil edilmez [22].

- Dört nokta saydırma uygulaması (4-Point Counting Method);

“Rainflow” saydırma yönteminde en sık kullanılan filtreleme yöntemlerindedir. Diğer metodlarda olduğu gibi döngü sayıları saydırılır. Yorulma ömrü hesaplamalarında çevrimler sayılırken, yalnızca çevrimlerin sayısı ve büyüklüğü dikkate alınmaz, aynı zamanda çevrimlerin ortalama değerleri de saklanır [23].

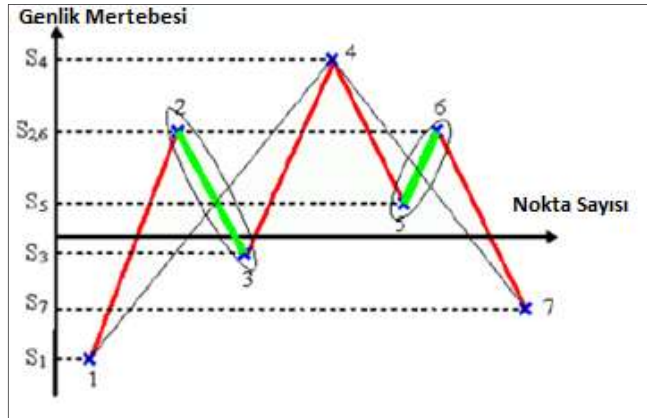


Şekil 1.23. Rainflow saydırma yöntemleri içinde "4-Point counting" metodu [21]

Dört nokta saydırma yönteminde temel olarak sinyalin değişim gösterdiği dört adet büküm noktası arasında genlik mertebesi kıyaslaması yapılarak gerçekleştirilir. Şekil 1.23'te bulunan grafikler üzerinden yöntemle ilişkin çıkarımlarda bulunulabilir [21].

- Eğer "n" noktası maksimum değerde ise; " $S_n \geq S_{n-2}$ " ve " $S_{n-1} \geq S_{n-3}$ " koşulu sağlanıyorsa, " S_{n-2} ve S_{n-1} " noktalarının gerçekleştireceği döngü sinyalden çıkartılmalıdır.
- Eğer n noktası minimum değerde ise; " $S_n \leq S_{n-2}$ " ve " $S_{n-1} \leq S_{n-3}$ " koşulu sağlanıyorsa, " S_{n-2} ve S_{n-1} " noktalarının gerçekleştireceği döngü sinyalden çıkartılmalıdır.

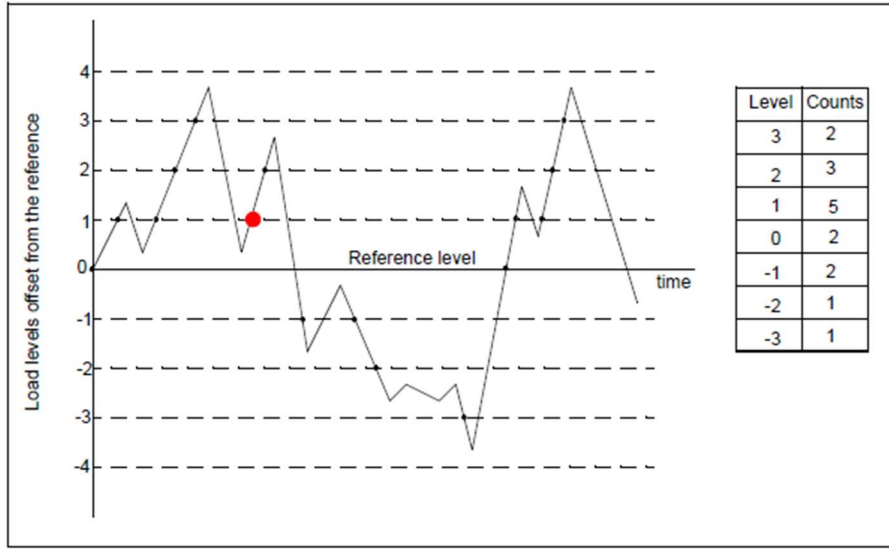
"4-Point counting" uygulamasında kullanılan filtreleme işlemine ilişkin bir grafiğe Şekil 1.24'te yer verilmiştir.



Şekil 1.24. 4-Point saydırma yönteminde kısaltma işlemi [21]

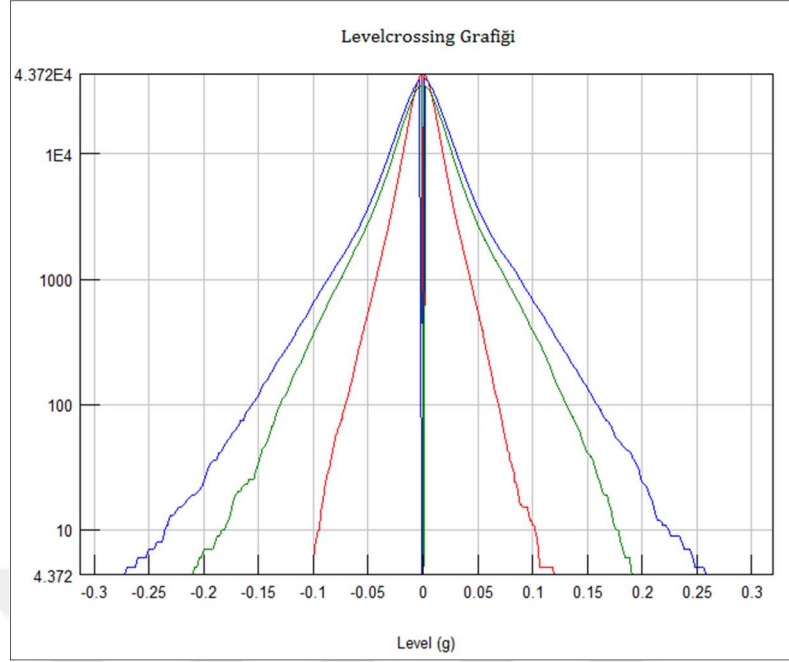
1.7.3. Level-Crossing yöntemi

“Level-crossing” yöntemi yorulma analizlerinde sinyal değişimindeki tekrarların hesaplanması ile ilgili işlemlerin yapıldığı ASTM E1049-85 standardına uyumlu şekilde çalışmaktadır. Bir sinyal üzerinde değişim gösteren mertebelerin tekrar sayılarının hesaplanması mantığı üzerine işlem yapmaktadır. Sinyal mertebelerindeki değişimler için referans bir seviye kabul edilmelidir. Bu seviye genel olarak sıfır değeri veya sinyalin ortalama değeri olarak ele alınır. Referans mertebeye etrafında belirli örnekleme adımları (bin size) ile sinyalin ulaştığı değerler ve tekrar sayıları kayıt altına alınır [19].



Şekil 1.25. Level-crossing sinyal saydırma yönteminin gösterimi [19]

Bu yöntem yardımıyla zaman bağılı olarak toplanan bir sinyal üzerinde istatistiki yorumlar yapabiliriz. Bir sinyal demeti üzerinde değişken genlik mertebelerini almak ve bu mertebelerin tekrar sıklıklarını saydırmak mümkündür. Şekil 1.25'te görüldüğü gibi birimi “g” olan bir ivme verisinin genlik değişimleri ve bu değişimlerin tekrar sayıları bu yöntem ile ele alınmıştır. Bu yöntemde grafiğin yatay ekseninde genlik mertebeleri yer almakla birlikte grafiğin düşey ekseninde genlik mertebelerinin tekrar etme sıklıklarına yer verilmektedir.

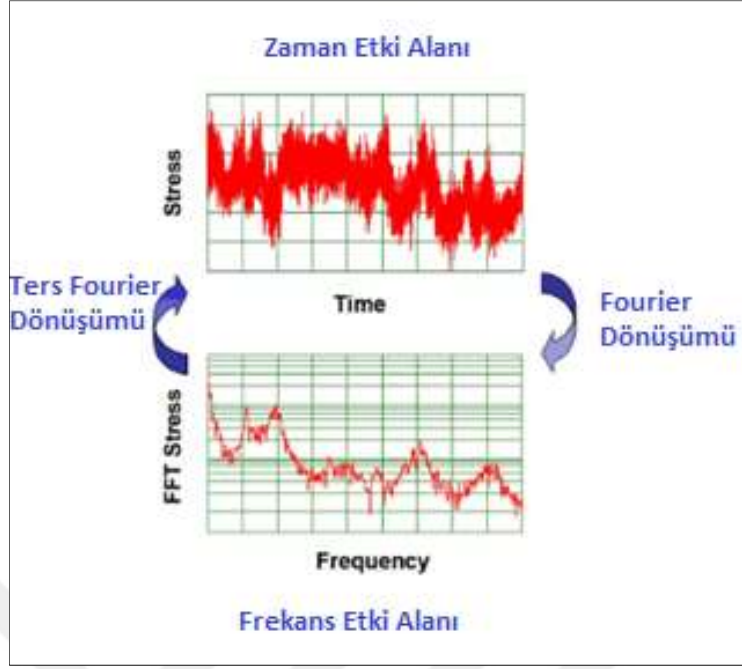


Şekil 1.26. Level-crossing yönteminde üç farklı ivme sinyalinin görünümü

Şekil 1.26’da zamana bağlı toplanan üç farklı ivme sinyalinin “level-crossing” grafiği bulunmaktadır. Bu grafikte yanal eksen genlik mertebelerini (g), düşey eksen ise bu mertebelerin tekrar sayılarını göstermektedir.

1.7.4. Frekans-Spektrum yöntemi

“Fourier” dönüşümü bir sinyalin farklı frekans içerikleri için genlik ve faz bileşenlerini yorumlayan bir yöntemdir. Güç spektrum yoğunluğu (Power Spectral Density) her frekans değeri için sinyalin ortalama genlik değerinin karesini göstermektedir. Fakat faz bilgisini içermemektedir. PSD yöntemi yükleme koşullarının raslantısal olduğu durumları incelemek için oldukça kullanışlıdır. Olasılıksal (stochastic) olarak değişen yükler zaman bandında (binlerce istatistiksel varyasyon) yada PSD yöntemi (birkaç yüz spektral çizgi ile tüm sinyal içeriği tanımlanır) ile yorumlanabilmektedirler. Bu yöntem yardımıyla zamana bağlı toplanan bir veride enerji seviyelerinin en yüksek olduğu frekans içeriklerini tespit etmek mümkündür. Bir komponent üzerinden toplanan sinyalin frekans içeriği, yapının rezonatif davranışı hakkında bize bilgi verebilir. Gerçekleştirilen modal testler ile (sarsıcı sistemler, çekiç testleri) yapılar üzerinde frekans taramaları ve doğal frekans değerlerinin tespiti mümkündür [25].

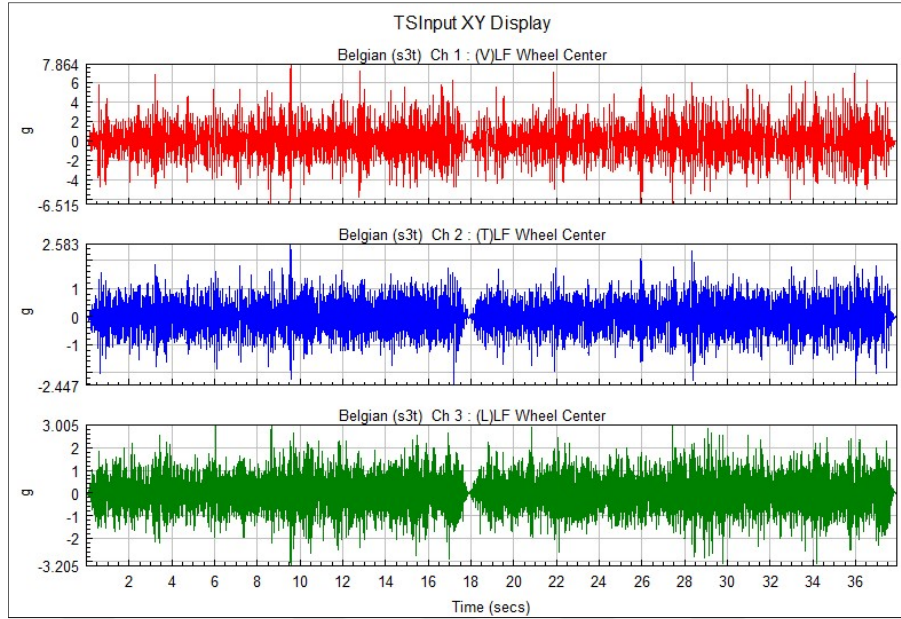


Şekil 1.27. Fourier dönüşümünde bir zaman sinyalinin frekans spektrumu [12]

Şekil 1.27’de görüldüğü gibi bir sinyale ait frekans içeriği zaman bandından frekans bandına, benzer şekilde frekans bandından zaman bandına aktarılabilir. Unutulmamalıdır ki zaman bandında toplanan bir sinyalin yalnızca tek bir frekans içeriği bulunmaktadır. Fakat ters fourier dönüşümü ile tek bir frekans içeriği bulunan ve korunan sinyal için sonsuz sayıda “time history” (zaman etki alanı) sinyali türetilir.

Öte yandan bir sinyalin frekans içeriği ve enerji seviyeleri hasar değeri ile doğrudan ilişkilidir. Zaman bandında toplanan bir sinyalin RMS değeri ile frekans bandında bulunan PSD diyagramı enerji seviyeleri arasında ilişki bulunmaktadır. PSD diyagramında grafiğin altında kalan alanın karekökü, zaman bandında elde edilen RMS değerine eşittir.

Taşıt dayanımı, NVH, taşıt dinamiği, akustik vb. konularda sinyallerin “time history” ve PSD grafikleri sıklıkla incelenmektedir. “Time history” yöntemi ile bir sinyalin zamana bağlı değişen istatistiki değerlerine ulaşılır. En yüksek genlik değerleri veya ortalama genlik değerleri elde edilebilir. PSD diagramları ile bir sinyale ait frekans bileşenleri çıkartılır.



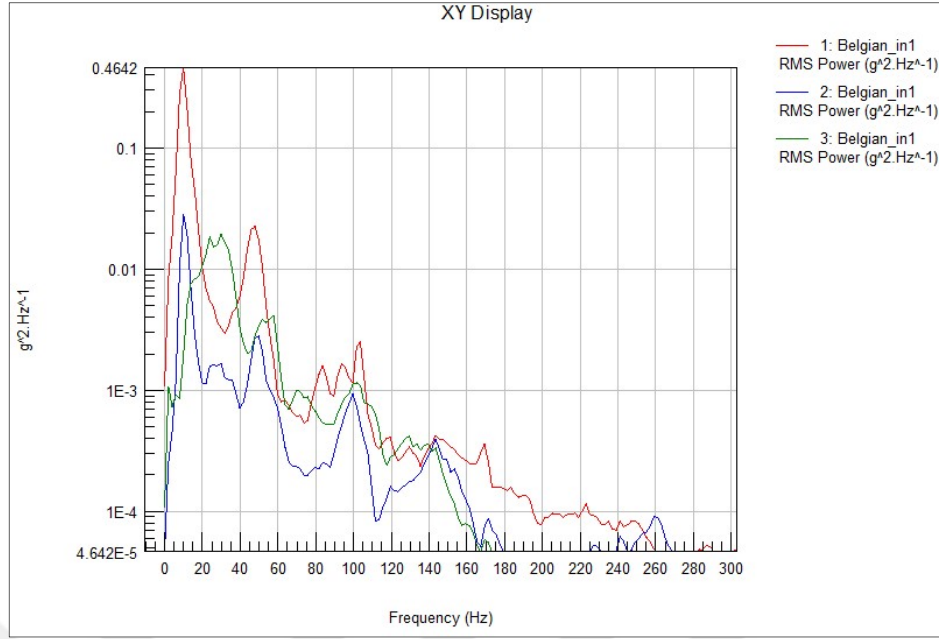
Şekil 1.28. Test aracında zamana bağlı olarak toplanan ivme sinyalleri

Şekil 1.28’de test aracından zaman bağlı olarak toplanan ivme sinyalleri değişimleri yer almaktadır. Bu sinyallere ait istatistiki değişimler ise Tablo 1.2 ‘de bulunmaktadır. Genel olarak bir sinyale ait genlik değişimlerinin yüksek olması RMS değerinde artışa neden olmaktadır. RMS değeri ise doğrudan sinyalin hasar içeriği ile ilişkilidir.

Tablo 1.2. Örnek bir ivme verilerine ait istatistiki değişimlerin görünümü

İvme Verisi	Maksimum (g)	Minimum (g)	RMS (g)
X Ekseni	3	-3,2	0,68
Y Ekseni	2,58	-2,44	0,48
Z Ekseni	7,86	-6,51	1,65

Şekil 1.29 no’lu grafikte “Arnavut kaldırım” yol profilinden geçiş esnasında araç üzerinden zamana bağlı olarak toplanan üç eksen (x,y,z) ivme sinyalinin PSD diyagramı yer almaktadır. Yatay eksen frekans değişimini, dikey eksen ise enerji seviyesi değişimlerini ifade etmektedir.



Şekil 1.29. Test aracından toplanan ivme sinyallerine ait PSD diyagramı

Frekans içerikleri ve enerji seviyeleri değişimlerine yer verilen bu grafikte, grafiğin altında kalan alanların karekökleri Tablo 1.2'de belirtilen RMS değerlerine eşittir.

PSD diyagramında enerji seviyesi ne kadar artar ise sinyalin RMS değeri ve kırılcılık değeri de artış gösterecektir.

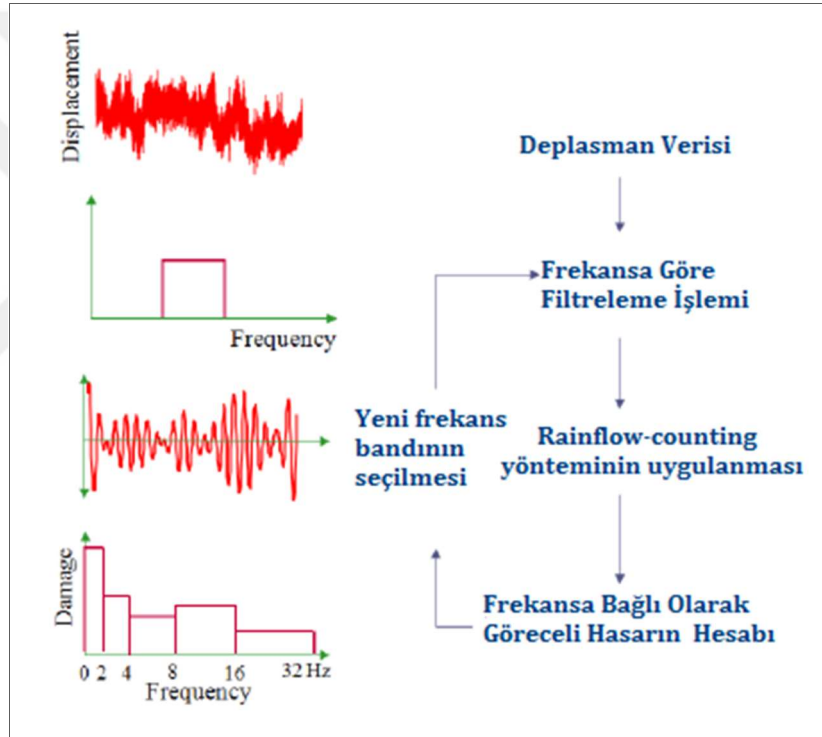
1.7.5. Göreceli hasar hesaplama yöntemi

Göreceli hasar hesaplama (RDS-Relative damage spectrum) yönteminde giriş sinyaline ait sanal hasar spektrumları hesaplanır. Bu yöntem yardımıyla frekansa bağlı yorulma hasar değerleri elde edilir. İvme, hız ve deplasman gibi girdi sinyalleri kullanılmaktadır. Eğer ivme verisi girdi sinyali olarak bulunuyorsa iki kez integral alınır ve deplasman verisine dönüştürülür. Benzer şekilde hız verisinin bir kez integrali alınarak deplasman verisine dönüşümü gerçekleştirilir. Yorulma hasarı uygulanan gerilme (strain) ve deplasman değerleriyle doğrudan ilişkilidir. İvme verisinin bu nedenle integrali alınarak yorulma hasarıyla daha fazla orantılı olan deplasman verisine çevrilir [12].

Bir veriye ait hem hasar, hem frekans içeriği dayanım testleri korelasyonu için önemlidir. Çünkü bir yapıyı oluşturan bileşenler farklı frekans değerlerindeki yüklerden göreceli olarak az veya çok etkilenebilmektedirler. Bu konu doğrudan araç

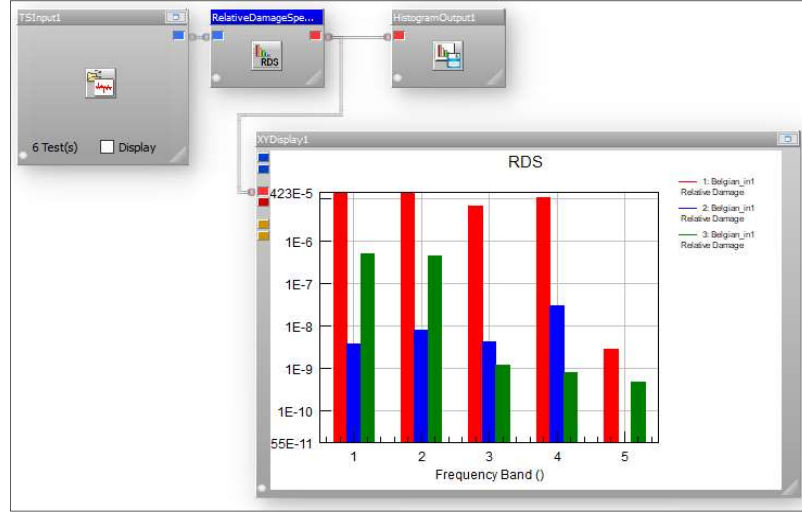
dinamikleri ve komponentlerin rezonans frekansları ile ilişkilidir. Araca etkiyen frekans bileşenleri, yol profillerinin karakteristiği ve araç hızı değişimlerinden etkilenmektedir [26].

RDS yönteminde frekans bantları otomatik şekilde veya kullanıcı seçimi ile gerçekleştirilebilir. Otomatik seçimde arazi modunda (terrain) yol profilleri frekans bileşenlerini temsil etmek için yeterli olan 0-32 Hz aralığı kullanılmaktadır. Bu frekans aralığı 'band-pass filtre' yardımıyla 0-2, 2-4, 4-8, 8-16, 16-32 beş farklı frekans bandına bölünerek analizler gerçekleştirilir. Şekil 1.30'da RDS yöntemi ile göreceli hasar hesaplama adımlarına yer verilmiştir.



Şekil 1.30. RDS yöntemi ile hasar hesaplama adımları [12]

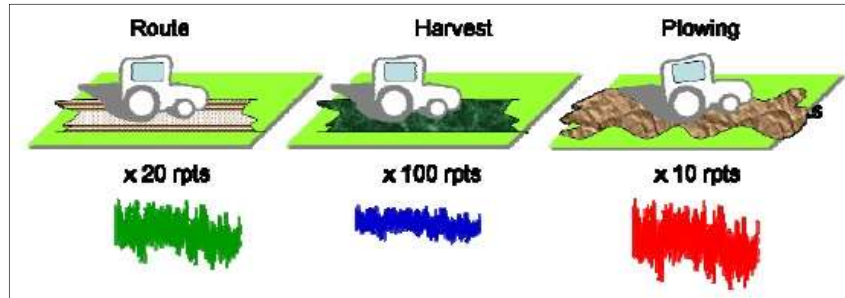
Yukarıdaki şekilde RDS yönteminin çalışma metodolojisi yer almaktadır. İntegrasyon sonucu elde edilen deplasman verisine blok filtreleme işlemi uygulanarak istenen frekans bantlarına ayrılmaktadır. "Rainflow" algoritması ile filtrelenmiş sinyalin sanal hasarı "Stress-life" metodu ile hesaplanır. Daha sonra her frekans bandı için elde edilen hasar değerleri grafik olarak çizdirilir. Şekil 1.31'de Glyphworks yazılımında gerçekleştirilen, göreceli hasar hesaplama sürecinde kullanılan işlem yığımına (batch) yer verilmiştir.



Şekil 1.31. Glyphworks yazılımında RDS yöntemi ile hasar hesaplamaları [26]

1.8. Hedef Mesafe Değeri Optimizasyonu

Hızlandırılmış ömür testlerinde kırıcı parkur verileri ile müşteri kullanım profili hedef hasar değerinin korelasyon çalışması yapılmaktadır. Bu çalışmaların sonunda alternatif kırıcı yol profillerini kullanarak, hedef (müşteri kullanım profili) hasar değeri için yaklaşımlar gerçekleştirilir. Şekil 1.32’de göreceli hasar hesaplama süreçlerinde çeşitli yol profillerinin farklı katılım değerleri ile optimizasyon sürecine dahil edilmesini simgeleyen bir şema yer almaktadır.



Şekil 1.32. Çeşitli yol profillerinin farklı katılım değerleri ile optimizasyonu [27]

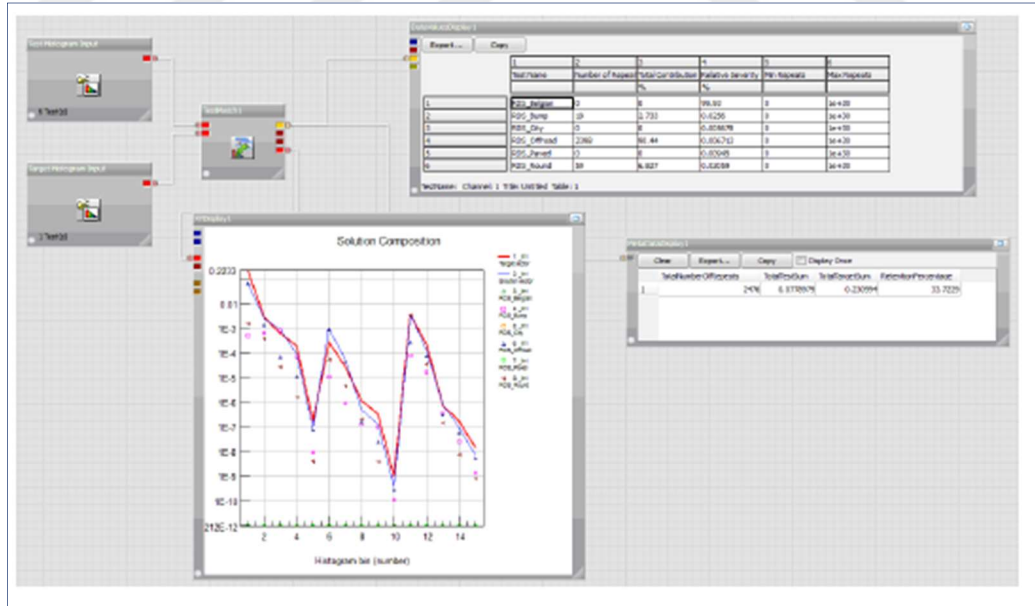
1.8.1. Test eşleme yöntemi (Test Match)

Glyphworks yazılımını test eşleme yöntemi ile alternatif yol profilleri arasından seçim gerçekleştirilerek hedef hasar içeriklerini en iyi şekilde temsil edebilecek test döngüsü

oluşturulur. Bu yöntem kara araçlarının kırıcı parkur datası optimizasyonunda sıklıkla kullanılır [12].

Bu yöntem hedef (müşteri kullanım profili) uygulamadaki en yakın temsili sağlamak için hangi kırıcı yol profilinin katılımlarına ihtiyaç duyulduğuna işaret etmektedir. Bu metod ile analizler öncesi kaydedilmiş yol verisi histogram formatına çevrilir. Bu süreç veri karakterizasyonu olarak tanımlanır. Veri karakterizasyonunun amacı tüm veri karakterlerini sağlarken, veri boyutlarını küçülterek daha yönetilebilir bir seviyeye çekmektir. Yorulma hasarı odaklı optimizasyon çalışmalarında, zamana bağlı toplanan veri sıklıkla “Rainflow counting, Levelcrossing, Pseudo-damage, Fatigue Damage Spectrum veya Relative Damage Spectrum” yöntemleri ile karakterize edilir [27].

Test eşleme yönteminin amacı karakterize edilmiş verileri kullanarak, hedef yol profili ile en iyi şekilde eşleşen kırıcı parkur profillerinin karışımını belirlemektir. Şekil 1.32’de Glyphworks yazılımında gerçekleştirilen, araç market yol profilleri ve kırıcı yol profillerinin göreceli hasar korelasyonlarının gerçekleştirildiği işlem yığınının yer verilmiştir.



Şekil 1.33. Hedef profil ve kırıcı yol profilleri test optimizasyon akış şeması

Test eşleştirme şemasında iki adet giriş bloğu bulunmaktadır. Bu bloklardan ilki müşteri kullanım parkurlarındaki bütün yol profil içeri kapsayan tek parça hedef (target) profil içeriği, diğeri ise çeşitli frekans ve genlik içeriğine sahip alternatif kırıcı

parkur profillerini bulunduran bir bloktur. Her iki blokta da sinyal çeşidi ve kanal eşleşmesi noktasında aynı sıralama bulunmalıdır. Örneğin 12 adet süspansiyon verisi hedef yol profili korelasyonu için (dört tekerlek merkezinden, üç eksen “x-y-z”) 12 adet kırıcı yol profili verisi bulunmalıdır.



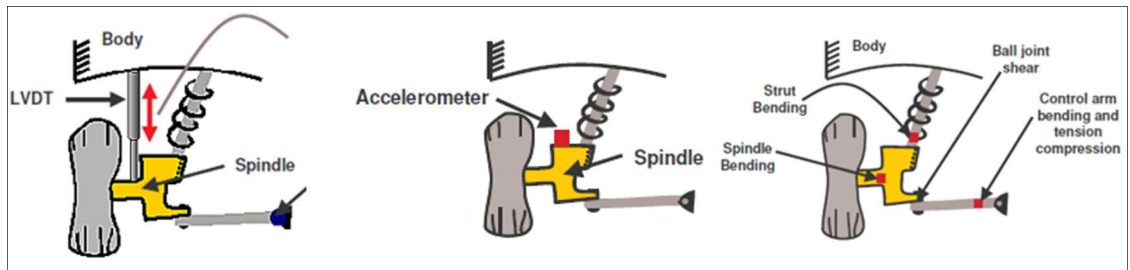
2. TEST EKİPMANLARI VE SİNYAL İŞLEME ADIMLARI

Bu bölümde otomotiv geliştirme testlerinde yaygın olarak kullanılan ölçüm ekipmanlarına değinilmiş ve hızlandırılmış ömür testleri sürecinde tercih edilen sensörlere ait teknik bilgilere yer verilmiştir. Ayrıca veri toplama süreçlerinin ardından gerçekleştirilen sinyal işleme adımlarından bahsedilmiştir.

2.1. Test Ölçüm Ekipmanları

Ölçüm ekipmanları ve veri toplama cihazları yardımıyla bir komponent, sistem ve araç üzerinde takip etmemiz gereken fiziksel değişiklikleri ölçmek ve kayıt altına almak mümkündür. Toplanan fiziksel bilgiler yardımıyla araç geliştirme çalışmaları (akustik, titreşim, araç performansı, araç dayanım, araç dinamiği) gerçekleştirilebilir.

Bir araç binlerce parça ve komponentten oluşmaktadır. Tüm bu noktalardan veri toplamak gerçekçi olmayacaktır. Bu noktada takip edilen yöntemlerden biri yol girdilerine karşılık komponent davranışlarının izlenmesidir. Örneğin aks taşıyıcı kollarındaki stres seviyesi ile süspansiyon yükleri arasında güçlü bir korelasyon bulunmaktadır. Hasar korelasyonu ve mesafe optimizasyonu çalışmalarında yol girdi değerleri ile doğrudan ilişkili sensörler araç süspansiyon, şasi veya gövde üzerinde belirlenen noktalarda kullanılmaktadır [28]. Şekil 2.1’de araç dayanım testlerinde sıklıkla kullanılan sensörlerin araç süspansiyon bölgelerinde enstrümantasyonu ile ilgili bir grafiğe yer verilmiştir.



Şekil 2.1. Süspansiyon üzerinde farklı tipteki sensörlerin konumlandırılması

2.1.1. Veri toplama cihazları

Veri toplama süreçlerinde ihtiyaç duyduğumuz test ekipmanlarından biri de veri toplama cihazlarıdır. Veri toplama süreci İngilizcede genelde “Data Acquisition” ya da kısaca “DAQ” olarak adlandırılan bazı fiziksel ya da kimyasal niceliklerin sensörler aracılığı ile elektriksel olarak algılanıp, olabildiğince ya da gerektiğince yüksek hassasiyette sayısal değerlere dönüştürülüp örneklenerek, kaydedilmesi işlemini tanımlar.



Şekil 2.2. Veri toplama süreçlerinde kaydedilen adımların gösterimi

Temel olarak fiziksel nicelikler (Kuvvet, Pozisyon, İvme, Birim Deformasyon, Sıcaklık, Basınç, Hız, Seviye) sensörler yardımıyla algılanır ve elektriksel sinyallere dönüştürülür. Daha sonra veri toplama cihazları ile veriler sayısallaştırılır ve dijital ortamda kayıt altına alınır. Şekil 2-2’de bahsedilen dört aşama içinde fiziksel nicelikten sonra gelen üç ana aşama, veri toplama sürecinin olmazsa olmazlarıdır. Ancak bunun dışında, ayrıntılı olarak grafikleme, göstergeler ile gösterme, gerçek zamanlı analizler, kablosuz olarak ya da internet üzerinden veri transferi, kalibrasyon, raporlama günümüzde yaygın olarak kullanılan önemli adımlardandır [29].

Bu tez çalışmasında HBM firmasının Somat EDAQ veri toplama cihazı kullanılmıştır. Edaq otomotivde Ar-Ge faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılan zorlayıcı iklim koşullarında (-25 °C - +65 °C) çalışabilen oldukça dayanıklı bir cihazdır. Cihaz giriş gücü 10-60 V aralığında, örnekleme frekansı ise 100 kHz’e kadar çıkabilmektedir. Aynı anda onlarca kanaldan eşzamanlı kayıt alma imkanı sağlayan bu cihaz ile geniş bir sinyal aralığında (Analog giriş, Strain-ölçer, Termokupl, Dijital I/O, Pulse sayıcı, GPS ve CanBus) ölçümler alınabilir. Cihaz ile seri port ve ethernet üzerinden veri aktarımı sağlamak mümkündür. Ayrıca bu cihaz ihtiyaca göre farklı özellikteki

modüllerin eklenebildiği portatif bir ekipmandır. Şekil 2.3'te test süreçlerinde kullanılan veri toplama cihazına ait fotoğraflara yer verilmiştir.



Şekil 2.3. Test süreçlerinde kullanılan veri toplama cihazı [30]

Veri toplama sürecinde cihaz üzerinde iki adet “EHLS” modülü (ivme ve deplasman sinyali ölçümü), bir adet “EBRG” modülü (strain sinyali ölçümü) bulunmaktadır. Ayrıca seri port üzerinden GPS ölçüm cihazı bağlanmış, “CanBus” protokolü üzerinden de araç “CanBus” bilgisi alınmıştır.

2.1.2. İvme ölçerler

İvme sensörleri, ivme, titreşim ve mekanik şok değerlerini ölçmede kullanılan elektromekanik elemanlardır. İvme sensörlerinin farklı çalışma yöntemleri vardır. Bazı ivme sensörleri piezoelektrik etkiyi kullanır. İçerdikleri mikroskobik kristal yapılar ivmesel kuvvetle gerilir; bu da voltaj üretilmesini sağlar. Bir başka yol da kapasitedeki değişimi algılamaktır. Birbirine yakın iki mikro yapı arasında kapasitif etki oluşur ve kapasitans değeri açığa çıkar. Kapasitif ivmeölçer; kapasitif iletim prensibi kullanılır. Sismik kütle olarak bir diyafram kullanılır. Bir ivme etkidiği zaman sabit elektrot ile sismik elektrot arasındaki mesafe değişir. Mesafenin değişmesiyle kapasitans değişir ve ivme ile orantılı bir çıkış elde edilir [31].

İvme ölçüm sensörleri otomotiv sektörü uygulamaları, savunma sanayi çalışmaları ve hava-uzay endüstrisi araştırmaları başta olmak üzere yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Özellikle otomotivde “NVH (Noise,Vibration & Harshness)”, “RLDA

(Road Load Data Acquisition)” ve “RHD (Ride, Handling & Driveability)” uygulamalarında tercih edilen ivme ölçerlere Şekil 2.4’te yer verilmiştir.



Şekil 2.4. Veri toplama süreçlerinde kullanılan ivme ölçerler [32]

İvme ölçerler uygulaması kolay ve diğer ekipmanlara nispeten daha dayanıklı oldukları için yol datası toplama ve yol profili çıkarma süreçlerinde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Araç üzerinde tekerlek merkezleri, süspansiyon salıncakları başta olmak üzere pek çok noktaya uygulanabilirler. İvme verisinin pek çok uygulamada iki kez integrali alınarak deplasman verisi elde edilir.

Bu tez çalışmasında Memsic-Crossbow markasının ait CXL-GP serisi tek ve üç eksen ivme ölçerler kullanılmıştı, ölçüm ekipmanlarına ilişkin fotoğraflara Şekil 2.5’te yer verilmiştir. Çevresel etkilere karşı dayanıklı olup, kolay uygulanabilir olmalarının yanı sıra yol profili çıkarma çalışmaları için yeterli titreşim genliği ve frekans bant aralığına sahip olmaları sebebiyle bu ekipmanlar tercih edilmiştir. İvme ölçerlere ait teknik bilgilere Tablo 2.1’de yer verilmiştir.



Şekil 2.5. Ömür dayanım testlerinde kullanılan ivme ölçerler

Tablo 2.1. Test sürecinde kullanılan ivme ölçerlerin teknik özellikleri

Model Numarası	Eksen Sayısı	Genlik Ölçüm Aralığı (g)	Hassasiyeti (mv/g)	Frekans Aralığı (Hz)
CXL10GP1Z	1 Eksen (Z)	± 10	200	DC-100
CXL25GP3	3 Eksen (XYZ)	± 25	80	DC-100

2.1.3. Deplasman ölçerler

Deplasman sensörleri referans bir nokta ile hareketli bir parça arasında gerçekleşen yer değişim miktarlarını ölçmek için kullanılır. Ölçüm yöntemi olarak temassız (ışık veya manyetik alan, ses dalgası) veya ölçüm noktası ile doğrudan temas halinde olmak üzere iki kategoriye ayrılırlar. Deplasman sensörü seçiminde ekipmanın ölçüm hassasiyeti, ölçüm hızının yanı sıra, ölçüm mesafesi, ölçüm yüzeyi ve ölçümün yapıldığı çevre koşulları da önem arz etmektedir.

Bu çalışmada Skywire firmasının ipli potansiyometreleri kullanılmıştır. SWP serisi ipli potansiyometreler lineer bir hareketi potansiyometrik çıkışa çevirirler. Bir rotary potansiyometrenin paslanmaz çelik ip ile kontrolünden oluşurlar. 300, 500, 1.000 mm gibi standart strok seçenekleri vardır. 0-10 V analog voltaj veya 4-20 mA çıkış sinyali verebilen bu sensörler IP54 koruma seviyesine sahip olup 0.5 m/sn maksimum hız değeri verebilmektedir. Şekil 2.6'da bu çalışmada kullanılan deplasman sensörlerinin fotoğraflarına yer verilmiştir.

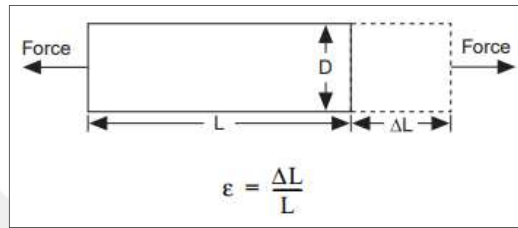
Veri toplama sürecinde 0-10 V analog voltaj çıkışı ve 0-500 mm deplasman sağlayan ekipmanlar kullanılmıştır.



Şekil 2.6. Ömür dayanım testlerinde kullanılan deplasman ölçerler

2.1.4. Strain-gauge

Strain-gauge üzerine kuvvet uygulandığında değişken direnç değeri gösteren bir sensör tipidir. Direnç değerlerindeki değişim ile bir malzeme yada parça üzerindeki birim uzama (strain) seviyesi ölçülebilir. Strain-gaugeler birim uzama miktarlarını ölçmenin yanı sıra birim uzama değerleri ile malzemelerin yapısal özelliklerini de dikkate alarak yapılar üzerinde oluşan stres değerlerini elde etmek için de kullanılırlar. Strain (birim uzama) ifadesinin simgesi “ ϵ ” (epsilon)’dur. Şekil 2.7’de birim uzama ifadesinin elde edildiği bir gösterim yer almaktadır.

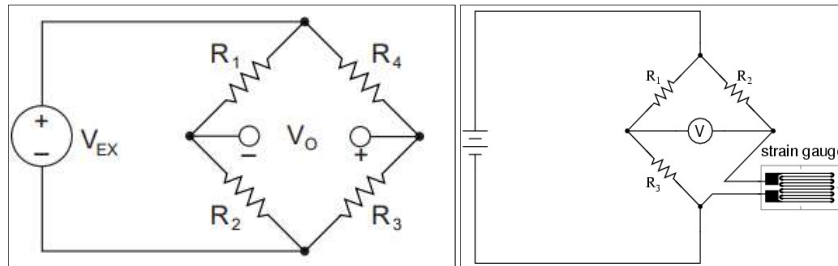


Şekil 2.7. Strain ifadesinin şematik olarak gösterimi

Strain-gauge sensörlerinin temel parametrelerinden biri de “Gauge Factor (GF)” olarak adlandırılan hassasiyet mertebeleridir. Gauge faktörü elektriksel direnç değişim oranının, strain değişim oranına oranı şeklinde formülize edilir;

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon} \quad (2.1)$$

Strain-gauge sensörleri temel olarak “Wheatstone bridge” (Wheatstone köprüsü) yöntemi ile çalışmaktadırlar. Wheatstone köprüsü birbirine paralel (veya seri) bağlı olan dört direnç elemanın oluşturduğu bir devre, bu devreyi besleyen bir voltaj elemanı ve direnç değişimlerinin ölçüldüğü voltaj farkı noktasından oluşmaktadır [33].



Şekil 2.8. Wheatstone bridge devresi ve strain gauge uygulaması [33]

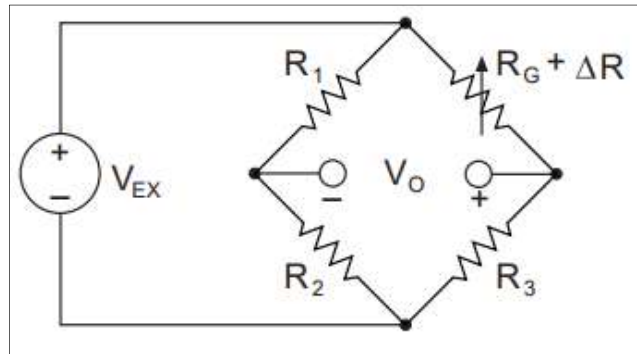
“Wheatstone bridge” devresinde yer alan dört direnç elemanlarının, devrenin gerilim beslemesinin ve çıkış voltajının elde edildiği noktanın gösterimi Şekil 2.8’deki grafikte yer almaktadır.

Denklem (2.2)’de Wheatstone devresine ilişkin direnç değişimlerine bağlı voltaj çıkış ifadesi yer almaktadır;

$$V_O = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \times V_{EX} \quad (2.2)$$

Denklemden “ $R_1/R_2 = R_3/R_4$ ” koşulu sağlandığında “ V_O ” değerinin sıfır olacağı açıktır. Bu koşul altında köprü devresi elektriksel anlamda dengededir. Herhangi bir rezistans elemanının direnç değerindeki değişim “ V_O ” gerilim değerinin oluşmasını sağlayacaktır.

Şekil 2.9’da yer verilen “Wheatstone bridge” devresinde “ R_4 ” direncini “ R_G ” aktif aktif strain direnci ile değiştirilirse devredeki elektriksel denge bozulacak ve sıfırdan farklı bir “ V_O ” değeri oluşacaktır. Strain-gauge üzerinde gerçekleşen strain değerleri için “ ΔR ” ifadesi kullanılmaktadır.



Şekil 2.9. Wheatstone bridge devresinde R_G direnci ve direnç değişimi [33]

Denklem (2.3)’te strain-gauge üzerinde gerçekleşen direnç değişiminin “ R_G ” aktif direnç değeri, “gauge faktörü” ve birim uzama ile ilişkisine yer verilmiştir;

$$\Delta R = R_G \times GF \times \epsilon \quad (2.3)$$

Denklem (2.4)’de çeyrek köprü strain-gauge uygulamasında “Wheatstone köprüsü” devre denklemi elde edilmiştir;

$$\frac{V_O}{V_{EX}} = -\frac{GF \times \varepsilon}{4} \left[\frac{1}{1 + GF \times \frac{\varepsilon}{2}} \right] \quad (2.4)$$

Strain-gauge uygulamaları üç farklı köprüleme yöntemi ile kullanılmaktadır. Köprüleme yöntemleri kullanılan strain-gauge sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Çeyrek köprü (quarter bridge), yarım köprü (half bridge) veya tam köprü (full bridge) bağlantıları ile sırasıyla bir, iki veya dört adet strain-gauge direncini wheatstone devresine bağlayabiliriz. Bir yapı üzerinde strain ölçülmesi gereken eksen sayısı, birim uzama değerininin ne şekilde gerçekleştiği (eksenel yönde, bükme yönünde veya burulma yönünde) ve ölçüm hassasiyetinin seviyesi ne tür bir köprüleme gerçekleştirmemiz gerektiğini belirler.

Hızlandırılmış ömür testi uygulamalarında strain-gauge'ler sıklıkla kullanılmaktadır. Şekil 2.10'da bu çalışmada ilgili test aracının süspansiyon bölgesine yerleştirilen strain-gauge'in konumuna yer verilmiştir. Analiz ortamında ön teker salıncak kollarının araç gövdesine bağlandığı noktada en yüksek stres değerleri görülmüştür. Strain değişim mertebelerinin yüksek olduğu bu tip noktalara strain-gauge uygulayarak hem yol profilleri ile kolay bir korelasyon sağlanır hem de gerçek yol koşullarında analiz ortamında elde edilen maksimum stres değerleri doğrulanır.



Şekil 2.10. Süspansiyon bölgesinde konumlandırılan strain-gaugeler

Bir yapı üzerindeki birim uzama değeri ölçümü ile stres değişimlerine ilişkin hesaplamalar yapılabilir. Bir sonraki aşamada değişken stres girdilerini kullanarak bir malzeme üzerinde yorulma döngüleri oluşturulabilir. Strain seviyesi ve tekrar sayıları yorulma hasarına etki eden önemli bir parametrelerdendir. Bir testi doğrulamanın en iyi yolu gerçek yol koşullarını sağlayarak kritik noktalardaki stres ve hasar seviyelerini karşılaştırmaktır [34].

2.1.5. GPS cihazları

Global Positioning System kelimelerinin kısaltması olan GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) uydu sinyallerinden faydalanarak dünya üzerinde bulunduğumuz konumu ve hareketlerimizi çok yüksek hassasiyetle ölçen sistemlerdir. Test süreçlerinde araç hız ve konum bilgisi yardımıyla yol profillerinin tanımlanması ve kırıcılık seviyelerinin belirlenmesi sağlanır.

2.2. Sinyal İşleme Adımları

Toplanan ham verilerin incelenmesi ve yorumlanmasından önce bazı sinyal işleme metodlarına tabi tutulması gerekmektedir. Bu işlemlerin yardımıyla sinyal üzerinde kayıt esnasında oluşmuş olan olası problemler giderilebilir. Bunun yanında gerekli aritmetik işlemlerin ve filtrelemelerin gerçekleştirilmesi de söz konusu olabilir.

2.2.1. Kanalların isimlendirmesi ve numaralandırılması

Sinyal işleme adımında toplanan verilerin anlamlı şekilde yorumlanması için kanal isimlendirme ve numaralandırmalarının doğru yapılması gerekmektedir. Toplanan veriler sinyal çeşitlerine göre kendi içinde sınıflandırılmalıdır (İvme verileri, deplasman verileri vs).

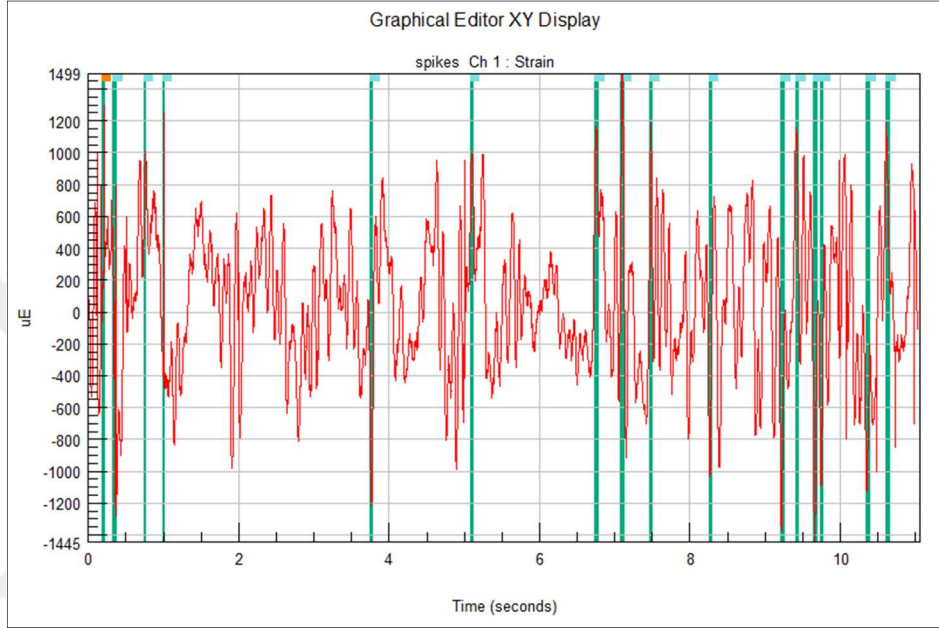
2.2.2. Spike filtreleme işlemi

“Spike” gerçek koşullar altında meydana gelmeyen anlık bir sinyaldir. Spike genelde bir veya iki noktadan oluşan anlık bir sinyal olarak tanımlanır. Genliği, eğimi ve istatistiksel değerler ile rahatlıkla tespit edilebilir. “Spike filtreleme” işlemi aşağıda belirtilen yöntemler ile gerçekleştirilebilir [13].

- Genlik (Amplitude) metodu ile sinyal içinde en yüksek ve en düşük değerler mertebelenilerek filtreleme gerçekleştirilir.
- Krest Faktörü (Crest factor) metodu ile tüm sinyal içinde yer alan en yüksek genlikli değerler, sinyalin ortalama değerine bölünür ve limit değer referans alınarak filtreleme gerçekleştirilir.

- Türevsel (differential) metod ile “y” ekseninde verilen değerle koşul sınırlandırılır ve her nokta için değişimler takip edilir. Değişimin anlık olarak yüksek bir mertebede olduğu bölüm spike olarak işaretlenir.

Şekil 2.11’de bir strain sinyali üzerinde gerçekleştirilen “spike filtreleme” işlemine ait grafiksel gösterime yer verilmiştir.

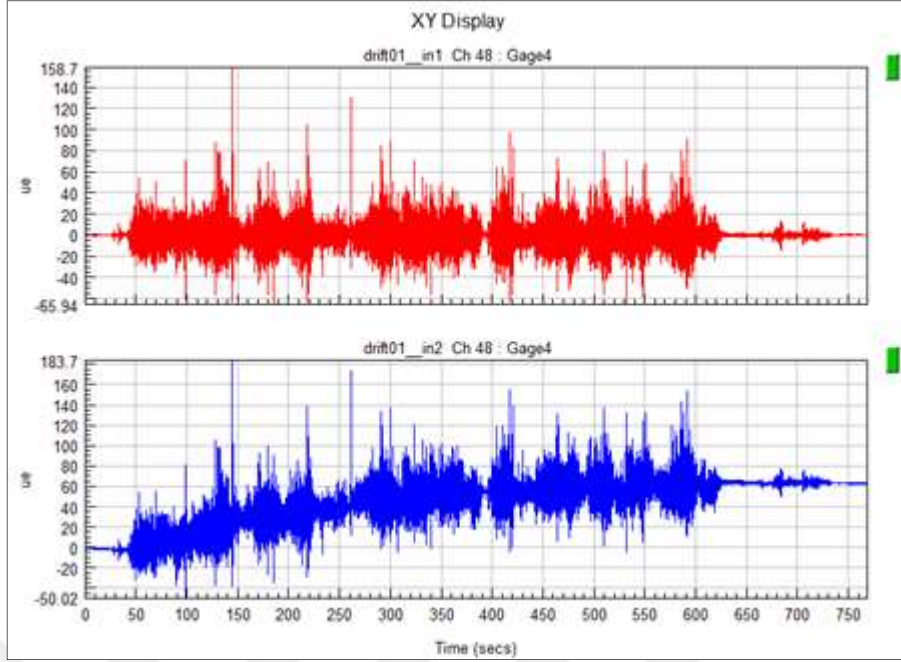


Şekil 2.11. Sinyal üzerinde gerçekleştirilen spike filtreleme işlemi

2.2.3. Kayma (drift) ve sapma (offset) tespiti

Zaman bağılı olarak toplam bir sinyalde referans bir noktadan (ivme ve deplasman sinyalleri için sıfır trendi, strain ve kuvvet sinyalleri için statik yüklemenin olduğu değer) genel olarak sapma eğilimi varsa sapma seviyesi gerekli katsayı değeri girilerek düzeltilebilir.

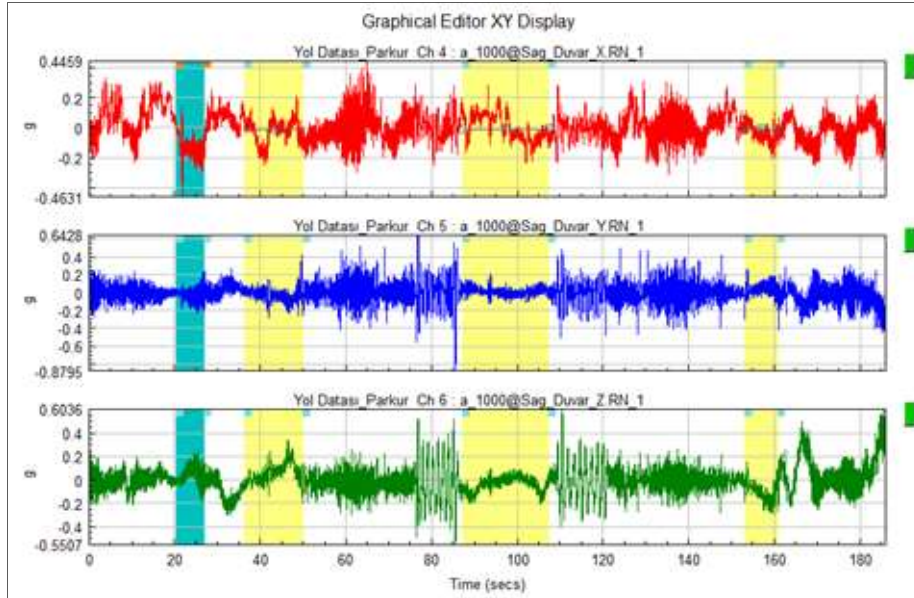
Sinyalin bazı bölümlerinde referans ortalama değer kaçıklığı söz konusu ise değişken ortalama değer (running mean) yöntemi ile düzeltme gerçekleştirilir. Özellikle strain-gauge verilerinde gerçek şartlarda yapılan ölçümlerde her ne kadar baştan sıfırlama işlemi yapılsa da dış faktörlerden dolayı (sıcaklık, çevre vb.) değişken sapmalar oluşabilmektedir. Şekil 2.12’de bir strain sinyali üzerinde gerçekleştirilen “drift” düzeltme işlemine ait grafiksel gösterime yer verilmiştir.



Şekil 2.12. Sinyal üzerinde gerçekleştirilen offset düzeltme işlemi

2.2.4. Grafiksel düzenlemeler

Veri toplama esnasında sinyalde oluşan kopukluk ve anlık temassızlıklar grafiksel düzenlemeler yardımıyla giderilmektedir. Şekil 2.13'te bir ivme sinyal üzerinde gerçekleştirilen grafiksel düzeltme işlemine ait grafiksel gösterime yer verilmiştir.



Şekil 2.13. Sinyal üzerinde gerçekleştirilen grafiksel düzenleme işlemi

Sinyal üzerinde düzeltme işlemlerinin mümkün olmadığı bölümler için kesme işlemi uygulanabilmektedir.

2.2.5. Aritmetik işlemler

Toplanan sinyallerin gerekli durumlarda aritmetik işlemlere tabi tutulması gerekebilir. Sinyallerin bazı katsayılar ile çarpılması, bölünmesi, çıkarılması veya toplanması söz konusu olabilir. Ayrıca sinyallerde RMS değer, ortalama değer, standart sapma hesaplamaları ile sinyal işleme adımları gerçekleştirilebilir. Örneğin araç hız değerinin integrali alınarak toplam yer değiştirme değeri elde edilebilir.

2.2.6. Örnekleme sıklığı değişikliği

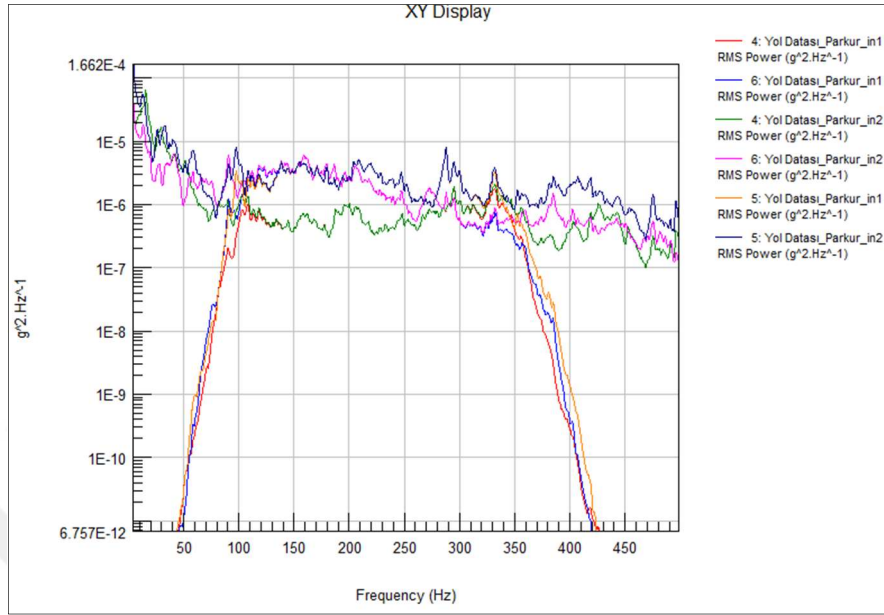
Sinyallerin örnekleme sıklığı veri ölçüm tipine ve uygulama alanlarına göre değişiklik gösterebilmektedir. Data analiz sürecinde örnekleme sıklığı yüksek olan verilerde daha fazla bilgi sahibi olmaktayız. Bunun yanında özellikle uzun süren sinyal toplama süreçlerinde verilerin boyutlarında artış olması ve bazı durumlar için problem oluşturabilmektedir. Bu yüzden test senaryoları ve ölçüm yapılacak sensör tiplerine göre örnekleme sıklığı belirlenmelidir. Örneğin sıcaklık ölçümleri için saniyede bir ölçüm yeterli iken, ivme ölçümleri için 500Hz - 5kHz aralığında örnekleme alınmalıdır.

2.2.7. Frekans filtreleme işlemi

Frekans filtreleme işlemi toplanan sinyalin işleme sürecinde yer alan önemli adımlardan biridir. İhtiyaç duyulan frekans aralıkları için frekans içeriğinin filtrelenmesi gerçekleştirilir [13].

- Alçak Geçiren filtre (Low-pass filtre) ile belirlenen kesim frekans değerinin üzerindeki frekans içeriği filtrelenir.
- Yüksek Geçiren filtre (High-pass filter) ile belirlenen kesim frekans değerinin altındaki frekans içeriği filtrelenir.
- Bant Geçiren Filtre (Band-pass filter) ile belirlenen kesim aralığının dışındaki frekans bileşenleri filtrelenir.

- Bant Geçirmeyen Filtre (Bant-stop filter) ile belirlenen kesim aralığının içindeki frekans bileşenleri filtrelenir.



Şekil 2.14. Sinyal üzerinde gerçekleştirilen frekans filtreleme işlemi

Bilindiği gibi taşıt süspansiyon bileşenlerinin yorulma analizleri için takip edilen frekans aralığı 50-60 Hz'in altında kalan frekans içeriğidir. Bu bölüm yüksek frekans içeriğine kıyasla enerji seviyelerinin oldukça yoğun olduğu, yol profili ve süspansiyon karakteristiğinin güçlü şekilde yansıtıldığı bir frekans bandıdır [35]. Bu çalışmada kırıcı parkur ve müşteri kullanım profili verileri için 100 Hz alçak geçiren filtre uygulanmıştır. Şekil 2.14'te araç süspansiyon bölgesinden toplanan ivme verilerine uygulanan “band pass filtre” uygulaması yer almaktadır.

3. SİNYAL KISALTMA YÖNTEMLERİ

Taşıtların hızlandırılmış ömür testlerinde, test sürecini kısaltmak için pek çok yöntem geliştirilmiştir. İlk adımda kırıcı yol profil verileri toplanarak hasar seviyesi oldukça düşük olan bölümler hesaba katılmamaktadır. Bu yöntemin yanı sıra kırıcı yol profillerinden elde edilen sinyalin hasar seviyelerini büyük oranda koruyarak kısaltılması mümkündür. Taşıt ömür testi sürelerini kısaltmak için bu uygulamada benzer bir yöntem kullanılmıştır. Yapılan kısaltma işleminin ardından ham verinin ve kısaltılmış verinin frekans içerikleri, sanal hasar seviyeleri ve istatistiği değişimleri karşılaştırılmış ve incelenmiştir. Yapılan kısaltma işleminin ardından araç ömür testinin icra edileceği simülatör sistemi için girdi sinyalleri hazırlanmış olur.

3.1. Stresslife Yöntemi ile Sinyal Kısaltma İşlemi

Glyphworks yazılımının yorulma kütüphanesinde pek çok malzeme için S-N eğrileri tanımlanmıştır. S-N eğrileri referans alınarak bir malzemeye uygulanan stress seviyesi ve bu stresin uygulandığı döngü sayısından yola çıkarak malzemenin yorulma dayanımı hakkında fikir sahibi olabiliriz. Farklı birimdeki stress girdileri için (Pa, Mpa, μ E, %strain) bir malzemenin yorulma geleceğine ilişkin bilgi edinebiliriz. Malzemenin tekrarlanan bir stres döngüsüne maruz bırakıldığında kaçınıcı döngüde hasara uğrayabileceği yada stress seviyesinin düşük kalıp sonsuz ömür bölgesinde kalıp kalmayacağı bilgisine erişilebilir. Ayrıca bu eğrileri kullanılarak çeşitli türdeki sinyalleri, genlik değerlerini farklı katsayılar ile çarpıp sanal bir yorulma döngüsüne katabiliriz. Bu yöntem yardımıyla sinyal süreleri, hasar değişimleri dikkate alınarak kontrollü bir şekilde kısaltılabilir ve test sistemi için nihai girdi sinyalleri oluşturulabilir.

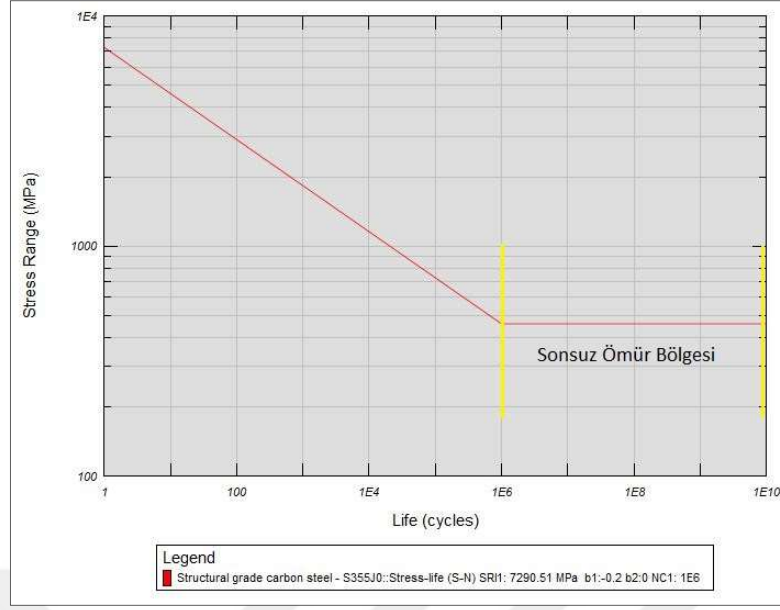
Bu tez çalışmasında ticari bir aracın dört teker düşey ekseninde süspansiyon (sönümsüz kütle) bölgesinden toplanan ivme sinyalleri kullanılmıştır. İvme verileri malzeme üzerinde bir gerilme ile ilişkiliymiş gibi kabul edilir ve S-N hesabına katılır. Burada ivme verisi genlikleri hasara neden olacak şekilde bir katsayı ile yapay olarak artırılır ve jenerik bir S-N eğrisinde sanal hasar hesabına eklenir. Genel olarak amaç

bu sinyal grubunda hasar seviyesinin düşük olduğu bölümleri çıkarmak ve test sürecini hızlandırmaktır. Bu noktada kısaltma süresine etki edecek husus, kısaltılmış sinyaldeki hasar kaybı olacaktır. Bu çalışmada kırıcı parkur sinyalleri % 30-40 oranda kısaltılmıştır. Şekil 3.1’de kırıcı parkur sinyallerinin göreceli hasarları büyük oranda korunarak kısaltıldığı Glyphworks yazılımında oluşturulan “batch” görülmektedir.



Şekil 3.1. Stresslife yöntemi ile sinyal kısaltma işleminin blok diagramı

Her malzeme belirli bir stres altında yorulma eğilimi gösterir. Malzemelerin yorulması uygulanan stress (kuvvet, basınç vb) mertebesi ve bu stress değerinin kaç kez tekrar ettiği ile doğrudan ilişkilidir. S-N eğrisi her malzeme için farklılık arz etmektedir [36]. Örnek grafikte S355J0 malzemesine ait S-N eğrisine yer verilmiştir. Grafiğin dikey eksenini stress seviyesini yatay eksenini ise uygulanan stresin tekrar sayısını ifade etmektedir. Grafiğin sağ tarafında sonsuz ömür bölgesi yer almaktadır. Bu bölgedeki stress değerleri oldukça düşük olduğu için tekrar sayısı ne kadar artış gösterirse göstereceği malzemenin hasar görmeyeceği bilinmektedir. Şekil 3.2’de kırıcı parkur sinyallerinin kısaltılması sürecinde “Stresslife” yönteminde kullanılan S355J0 nolu çelik malzemenin S-N eğrisine yer verilmiştir.



Şekil 3.2. S355J0 nolu çelik malzemenin S-N diyagramı

3.2. Data Kısaltma Sonrası Hasar Karşılaştırma Yöntemleri

Zaman düzleminde kısaltma işlemi uyguladığımız bir sinyalde hasar kaybı olması kaçınılmazdır. Kısaltma işlemi sonucunda elde ettiğimiz yeni sinyalin hasar kaybı pek çok yöntem ile incelenebilir. Ham veri ve kısaltılmış verinin frekans içerikleri, istatistiği değişimleri ve jenerik bir malzeme kullanılarak elde edilen sanal hasar seviyeleri karşılaştırılarak zaman düzlemindeki kısaltma yüzdesi keyfi olarak belirlenebilir. Bu doğrultuda farklı yöntemler yardımıyla sinyal karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

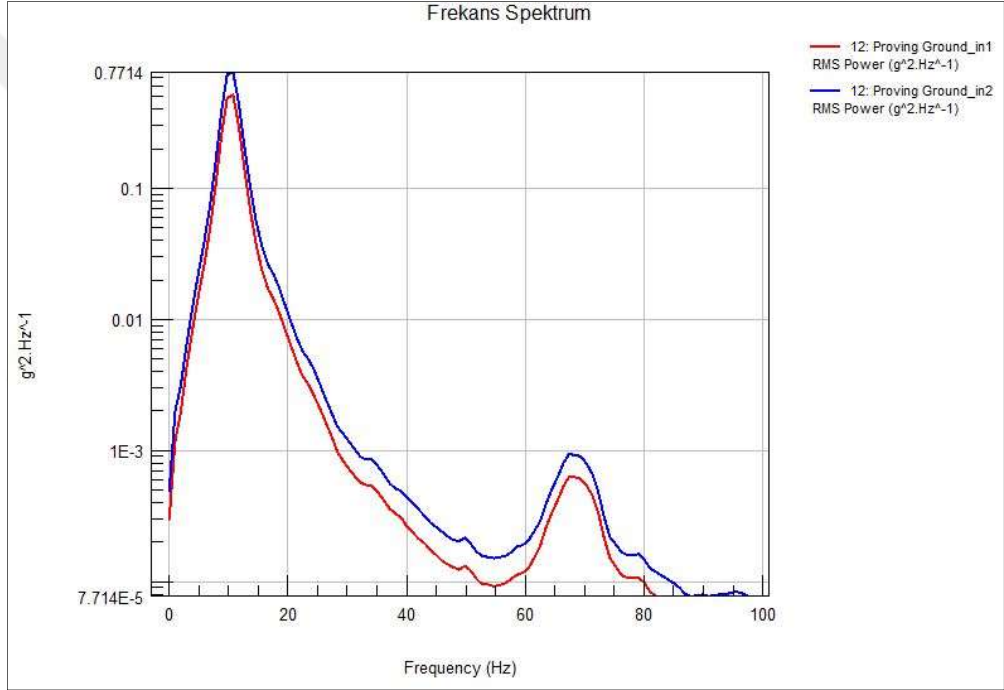
3.2.1. Sinyalin frekans içeriğinin incelenmesi

Frekans spektrumu bir sinyalin karakteristiği hakkında bilgi vermektedir. Sinyalin farklı frekans bantlarındaki enerji seviyelerini görmek oldukça önemlidir. Bu çalışmada frekans spektrum modülü yardımıyla “time history” olarak ele aldığımız ham veri ve kısaltılmış verinin frekans içerikleri incelenmiştir. Bu noktada amaçlanan data kısaltma işlemi sonunda datanın frekans içeriğinin değişmemesi (frekansa bağlı trend değişiminin) ve enerji mertebelerinin büyük oranda düşmemesidir.

Bu uygulamada ivme sinyallerinin örnekleme frekansı 1 kHz olarak seçilmiştir. Bu yüksek frekans değerleri farklı yapıların model incelemelerinde kullanılmakla birlikte, yol datası korelasyonları ve ömür hesaplarında 0-60 Hz yada 0-70 Hz frekans aralığı

yeterli olmaktadır. Bu ve daha düşük frekans aralıkları arazi modu (terrain-mod) olarak adlandırılmaktadır.

Şekil 3.3’de gösterilen grafikte araç ön aks süspansiyon bölgesinden toplanan ivme sinyaline ait frekans içeriğine yer verilmiştir. Grafikte mavi renkli sinyal ham veriye ait, kırmızı renkli sinyal ise kısaltılmış veriye ait frekans spektrum gösterimidir. Grafikte görüldüğü gibi her iki sinyalin davranışı benzer yapıdadır. Özellikle düşük frekans aralığında oldukça yakın bir örtüşme gözlenmektedir. Yol profili çıkarma ve yol datası korelasyon çalışmalarında genellikle 0-32 Hz frekans bandı, geniş bir arazi mod skalasını temsil edebildiği için yeterli görülmektedir [37].

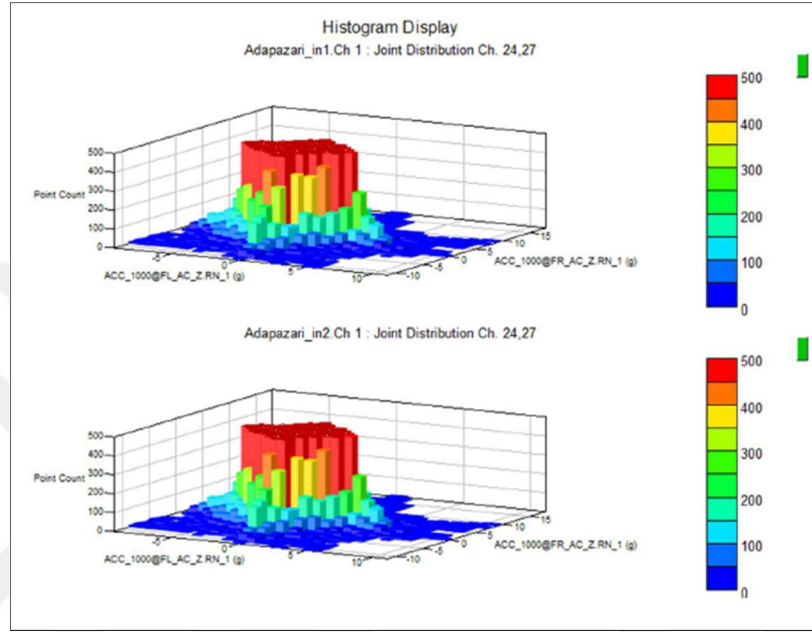


Şekil 3.3. Kısaltılmış ve ham ivme sinyaline ait frekans içeriği değişimi

3.2.2. Sinyallerin istatistiki değişimlerinin incelenmesi

Ham data ve kısaltılmış verinin istatistiki yöntemler yardımıyla karşılaştırılması da oldukça yaygın bir yöntemdir. Sinyal üzerinde zamana bağlı genlik mertebelerindeki gerçekleşen değişimler ve bu değişimlerin tekrar sayılarını inceleyerek yapılan karşılaştırma yöntemleri de bulunmaktadır. Bu yöntemler ile ham ve kısaltılmış veri üzerinde doğrudan hasar hesabı yapılamamakla birlikte sinyallerin genel trendi hakkında önemli bilgiler vermektedir. “Joint distribution” modülü yardımıyla ham data ve kısaltılmış data üzerinde istatistiki yorumlar yapılabilir. Şu açıktır ki sinyal

üzerinde genlik mertebesi düşük olan bölümler hasar seviyeleri az olduğu için kesilmiştir. Fakat hasar seviyesi büyük olan yüksek genlikli bölgeler korunmaktadır. Bu doğrulamayı da “joint distribution” modülü ile yapabiliriz. Şekil 3.4'te “joint distribution” modülü ile gerçekleştirilen ham ve kısaltılmış ivme verilerine ait istatistiki değişimlerin yer aldığı grafik bulunmaktadır.

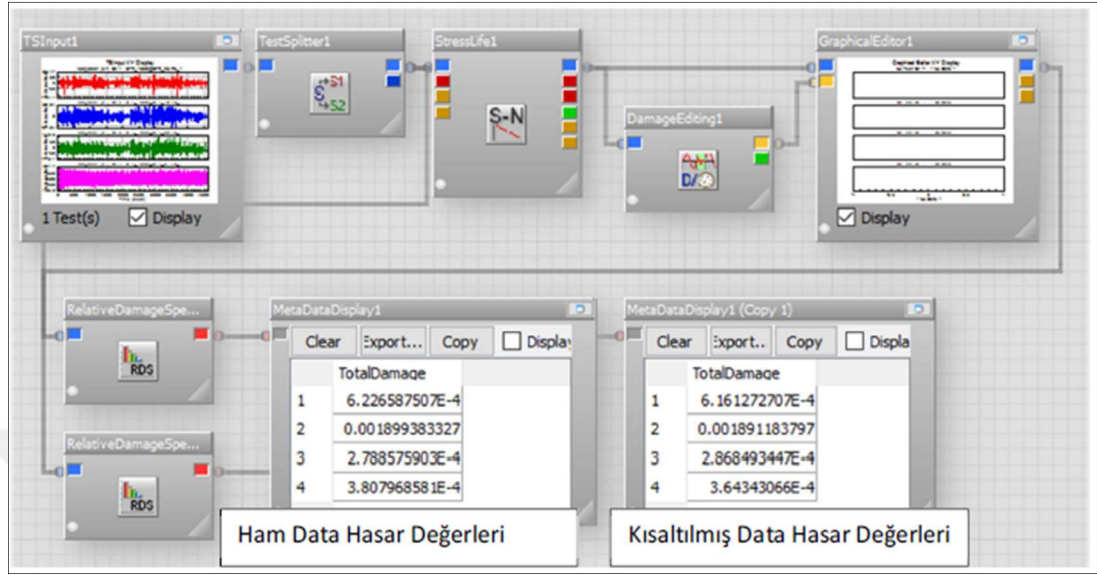


Şekil 3.4. Ham ve kısaltılmış ivme verilerinin istatistiki değişimleri

3.2.3. RDS yöntemi ile sanal hasar seviyelerinin karşılaştırılması

Bu yöntemi ile bir sinyalin frekans içeriği de dikkate alınarak sanal hasar hesabı yapılabilmektedir. İvme sinyalinin genel olarak iki kez integrali alınır ve yer değiştirme (deplasman) sinyaline çevrilir. Daha sonra bu genlik değerleri bir sanal bir malzemeye farklı frekans bantları (ör. 0-2, 2-4,4-8,8-16,16-32,32-64 Hz) için ayrı ayrı uygulanır. Bu işlem sonucunda her frekans bandı için ayrı ayrı sanal hasar değeri elde edilir. Bu uygulamanın sonunda bir sinyal için hasar ifadesinde kullanabileceğimiz toplam nümerik bir değer elde ederiz. Bu çalışmada ham ve kısaltılmış veri için hasar hesabı yapılmıştır. Ham veriyi % 30-35 mertebesinde kısaltmamıza rağmen hasar seviyesinin % 95-97 oranında korunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Şekil 3.5'te bir ivme sinyalinin ham halinin ve % 30 mertebesinde kısaltılmış halinin RDS yöntemi ile sanal hasar hesabının gerçekleştirildiği örnek bir “batch” bulunmaktadır. Ham veri ve

kısaltılmış veriye ilişkin göreceli hasar değerleri 5 farklı frekans bandı için hesaplanmaktadır.



Şekil 3.5. Sanal hasar hesabı ile ham ve kısaltılmış verinin karşılaştırılması

4. YOL PROFİLİ OLUŞTURMA VE DATA TOPLAMA SÜRECİ

Bu bölümde hızlandırılmış ömür testleri sürecinde takip edilen adımlara yer verilmiştir. Test etabında veri toplama safhasında aracın koşacağı güzergahların tesbiti, kırıcı parkurların belirlenmesi adımlarına değinilmiştir. Ayrıca veri toplama öncesinde araçta kullanılan ölçüm ekipmanlarının enstrümantasyonu ile bu süreçte takip edilen araç yük koşulu ve hız değişimlerine yer verilmiştir.

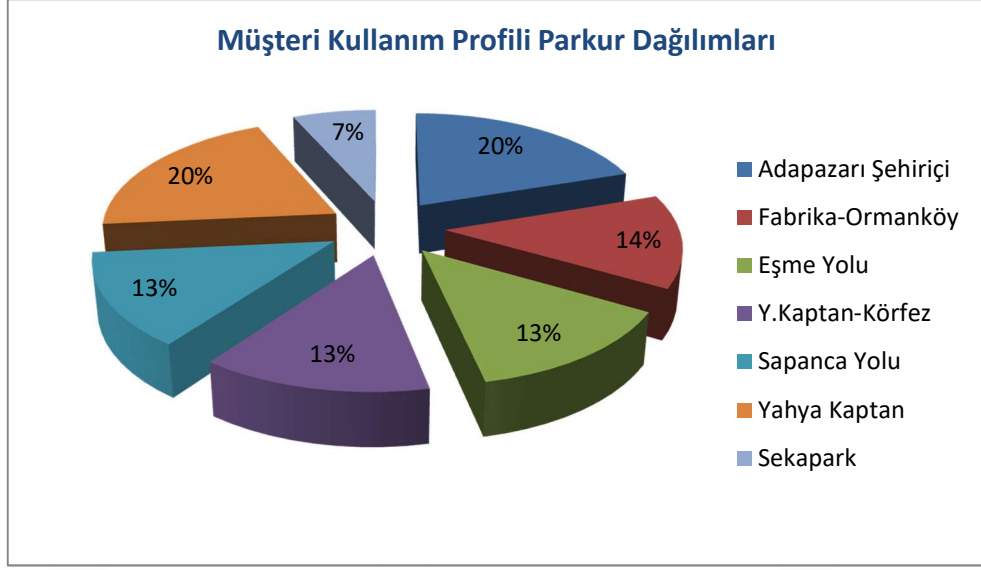
4.1. Yol Profili Oluşturma Safhası

Bu aşamada veri toplama süreçlerinin takip edileceği güzergahların belirlenmesi için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aracın market ömründe karşılaşılabileceği kuvvet içeriklerini temsil eden müşteri kullanım profilleri ile test sürecini hızlandırmamızı sağlayan yoğun hasar ihtiva eden kırıcı parkurların belirlenmesi ile ilgili adımlara yer verilmiştir.

4.1.1. Müşteri kullanım profiline belirlenmesi

Müşteri kullanım profili kavramı her sistem için farklılık arz etmektedir. Herhangi bir komponent, alt sistem, sistem veya araç için değişiklik göstermektedir. Bir sisteme çalışma zamanı kestirimleri yapılarak market ömrü ile ilgili bir garanti süresi tayin edilebilir. Benzer şekilde bir araç söz konusu olduğunda yıllık katedebileceği mesafe değerlerinin kestirimi yapılarak araçla ilgili bir market ömrü yaklaşımı yapılabilir [38].

Hızlandırılmış test süreçlerini takip ettiğimiz araçla ilgili vadedilen market ömür mesafe değeri 1 milyon km olarak belirlenmiştir. Çalışmalar bu mesafe değeri referans alınarak sürdürülmüştür. Ayrıca bu bölümde aracın market ömründe koşabileceği yol profillerine benzer parkurlar belirlenmiştir. Bu parkurların hedef 1 milyon km üzerindeki yüzde katılım değerleri ile ilgili tahmini yaklaşımlar gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de ilgili test aracının müşteri kullanım profillerinde göre ele alınan parkurlar ve katılım yüzdelerini içeren grafiğe yer verilmiştir.



Şekil 4.1. Müşteri kullanım profillerine göre araç yük dağılımı yüzdeleri

Bu adımda çeşitli parkurlardan yol verisi toplanmıştır. Bu parkurların market ömürdeki yüzde dağılım değerleri, Otokar Ar-Ge proje ekibinin bilgi paylaşımları ve satış sonrası hizmetler bölümünün istatistiki geri dönüşleri yardımıyla yapılmıştır. Benzer uygulamalar için anket yöntemleri de kullanılmaktadır. Şekil 4.2’de hızlandırılmış ömür testi süreçlerinde araç sınıflarına göre çeşitlilik gösteren örnek market profiller fotoğraflarına yer verilmiştir.



Şekil 4.2. Veri toplama süreçlerinde müşteri yol profilleri görüntüleri

4.1.2. Kırıcı yol profillerinin belirlenmesi

Hızlandırılmış ömür doğrulama süreçlerinde hedef hasar değerine ulaşmak için yoğun kırıcılık değeri ihtiva eden yol profillerine ihtiyaç duyulmaktadır. Aracın müşteri kullanım profilleri tercihlerinde olduğu gibi kırıcı yol profillerinin doğru seçilmesi de oldukça önemlidir. Müşteri kullanım profilinde aracın gövde ve süspansiyon bileşenlerine etkileyen kuvvet bileşenleri (genlik mertebeleri, frekans içerikleri, faz

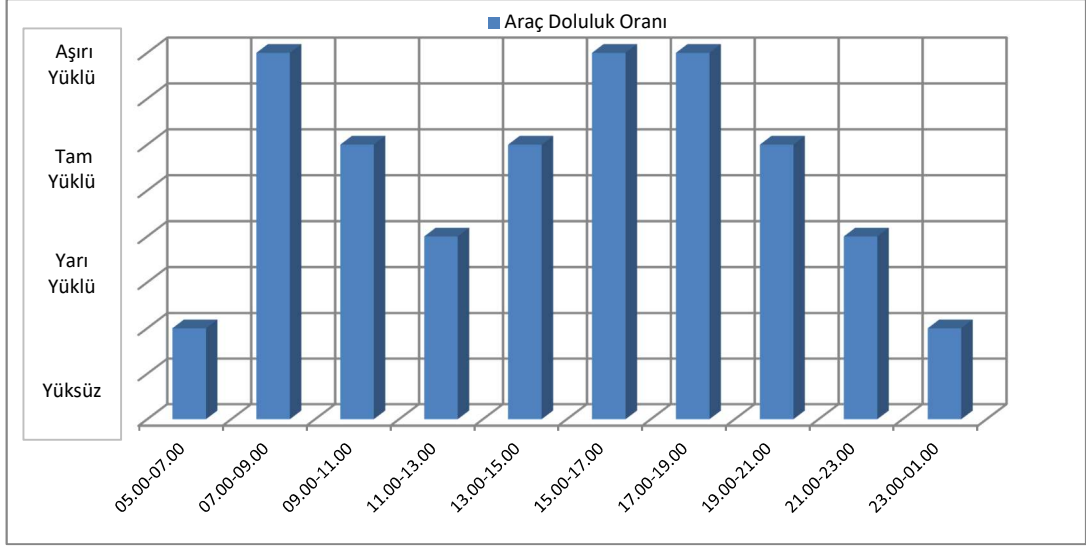
farkları) referans alınarak kırıcı yol profili tespit çalışmaları yapılmalıdır. Şekil 4.3'te kırıcı yol profili verisi toplama süreçlerinde geçiş yapılan parkurlara yer verilmiştir.



Şekil 4.3. Veri toplama süreçlerinde kırıcı yol profilleri görüntüleri

4.1.3. Araç yük koşulunun belirlenmesi

Dayanım testleri etabında araca market kullanım ömrü boyunca etkiyen yükler hasar hesapları ve ömür kestirimi analizlerinde önem taşımaktadır. Yük koşulu değişimlerine bağlı olarak aracın süspansiyon ve gövdesine etki eden kuvvet değerlerinde değişim beklenmektedir. Bu doğrultuda market ömürdeki dinamik kuvvetleri en doğru şekilde tespit edebilmek için aracın kullanım ömründeki yük değişimlerini doğru şekilde belirlemek gerekmektedir. Bu aşamada aracın hedeflenen toplam ömrü belirlenen yük koşulları için yüzde değerlere bölünür. Benzer kullanım şartlarında koşan araçların günlük yük değişim bilgileri referans olarak alınabilir. Belirlenen farklı yük koşulları için hem market yol profillerinde hem de kırıcı yol profillerinden veri toplama süreci gerçekleştirilir. Ticari araçlarda yaygın olarak dört farklı yük koşulu ile testler gerçekleştirilmektedir. Bunlar; yüksüz koşul, yarı yüklü koşul, tam yüklü ve aşırı yüklü koşullardır.



Şekil 4.4. Saat dilimlerine göre şehir içi hatlarda yolcu yoğunluğu değişimleri

Şekil 4.4'te belirtilen grafikte IETT şehir içi hatlarda çalışan bir otobüsün gün içinde farklı saat dilimlerindeki doluluk seviyelerine yer verilmiştir. Genel olarak çalışma saatleri öncesi ve sonrasında, trafik yoğunluğunun yaşandığı zaman dilimlerinde araçlardaki doluluk oranlarında artış gözlenmektedir. Şekil 4.5'te bu tez çalışmasında ele alınan test aracı için market ömürde öngörülen yük koşulu dağılım yüzdelerine yer verilmiştir.



Şekil 4.5. Müşteri kullanım profiline göre araç yük dağılımı yüzde değişimleri

4.1.4. Araç hız değerinin belirlenmesi

Araç ömür testleri yol datası toplama sürecinde gerek kırıcı yol profillerinde, gerekse de müşteri kullanım profillerinden geçiş esnasında araç hızını kontrol etmek oldukça önemlidir. Araca uygulanan kuvvetler, parkur geçiş hızlarındaki değişimlerden doğrudan etkilenmektedir. Bu doğrultuda data toplama sürecinde araç hız bilgisinin kayıt altına alınması ve kontrollü şekilde takip edilmesi gerekmektedir. Bu noktada müşteri kullanım profillerinden geçiş esnasında gerçek koşullara yakın seviyelerde bir hız takibi gerçekleştirilmelidir.

Müşteri kullanım profillerinden geçiş esnasında araç süspansiyonu veya gövdesi üzerinde yer alan sensörlerden elde edilen dataların en yüksek değerleri kırıcı yol profili geçişlerinde referans değer olarak kullanılmalıdır. Müşteri kullanım profilinde elde edilen en yüksek mertebelerin kırıcı yol profili geçişinde aşılmamasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde araca kullanım ömrü boyunca maruz kalmayacağı mertebelerde kuvvet uygulamış oluruz. Bu noktada kırıcı yol profillerinin karakteristiğinin yanı sıra bu profillerden geçiş hızlarının da önemi ortaya çıkmaktadır.

4.2. Araç Enstrümantasyonu

Yol verisi toplama süreçlerinden önce gerçekleştirilmesi gereken önemli adımlardan biri de test aracının ölçüm ekipmanları ile enstrümantasyonudur. Bu aşamada test aracının süspansiyon sistemine, şasi bölgesine ve araç gövdesi üzerine çeşitli ölçüm ekipmanları yerleştirilerek farklı yol profillerinden geçiş esnasında zamana bağlı yol verisinin toplanması hedeflenir.

Hızlandırılmış ömür testi hedefleri için yol verisi toplama noktasında farklı motivasyonlar bulunmaktadır. Bunlardan ilki araç süspansiyon bölgesine konumlandırılan ivme, deplasman, strain-gauge tipi sensörler ile doğrudan yol profillerinin karakteristiklerini elde etmek ve bu profilleri karşılaştırmaktır. Diğer bir motivasyon ise analiz programlarında yapıların quasi-static davranışları dikkate alarak, araç gövdesi veya şasi üzerinde en yüksek stres seviyelerinin kaydedildiği noktalara strain-gauge uygulayıp, gerçek stres değerleri ile analiz sonuçlarının korelasyonu gerçekleştirmektir [39].

Tablo 4.1. Test aracı üzerinde konumlandırılan ölçüm ekipmanlarının gösterimi

	Ölçüm Kanalı İsimleri	Birim		Ölçüm Kanalı İsimleri	Birim	
ivme Ölçerler	Sol Ön Teker Aktif_X	g	Deplasman Ölçerler	Sol Ön Teker	mm	
	Sol Ön Teker Aktif_Y			Sağ Ön Teker		
	Sol Ön Teker Aktif_Z			Sol Arka Teker		
	Sol Arka Teker Aktif_X			Sağ Arka Teker		
	Sol Arka Teker Aktif_Y		Strain-gauge	STR_2Z	µstrain	
	Sol Arka Teker Aktif_Z			STR_4Z		
	Sağ Ön Teker Aktif_X			STR_6Z		
	Sağ Ön Teker Aktif_Y			STR_9Z		
	Sağ Ön Teker Aktif_Z			STR_10XZ		
	Sağ Arka Teker Aktif_X		STR_11XZ	GPS	Araç Hızı	kph
	Sağ Arka Teker Aktif_Y		Enlem Bilgisi		°	
	Sağ Arka Teker Aktif_Z		Boylam Bilgisi		°	
	Sol Ön Teker Pasif_Z		CanBus	Motor Devri	rpm	
	Sol Arka Teker Pasif_Z			Vites Konumu	-	
	Sağ Ön Teker Pasif_Z			Gaz Pedalı Pozisyonu	%	
Sağ Arka Teker Pasif_Z						

Tablo 4.1’de test aracı üzerinde konumlandırılan farklı tipte ve farklı kanal sayılarına sahip ölçüm ekipmanlarına ait bilgilere yer verilmiştir. Araç ön aks üzerinde salıncak gölgesine yerleştirilen deplasman ve ivme ölçerler yardımıyla teker deplasmanı ve yaysız kütle üzerindeki titreşim değişimleri kayıt altına alınmaktadır. Aracın ön aksı bağımsız süspansiyon yapısına sahip olduğu için sağ ve sol tekere etki eden girdi değerleri yol karakteristiklerindeki değişkenliğe bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir.

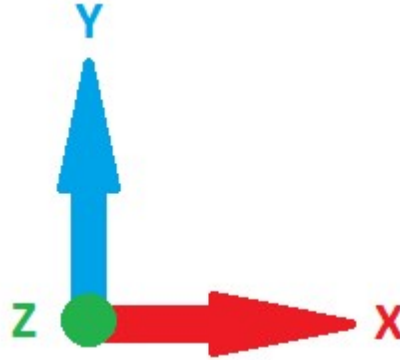


Şekil 4.6. Ön aks üzerinde yer alan ivme ve deplasman sensörleri

Araç arka aks üzerine yerleştirilen deplasman ölçer ve ivme ölçerler yardımıyla arka tekerler bölgesine gelen deplasman ve titreşim değişimleri takip edilmiştir. Araç arka dingili rijit aks olarak tasarlanmıştır. Bu yüzden yol girdilerine bağlı olarak sağ ve sol tekere etki eden titreşim mertebeleri ve frekans içerikleri benzerlik gösterebilmektedir. Şekil 4.7’de test aracının süspansiyon bölgesinde konumlandırılan ivme ölçere ait fotoğrafa yer verilmiştir.



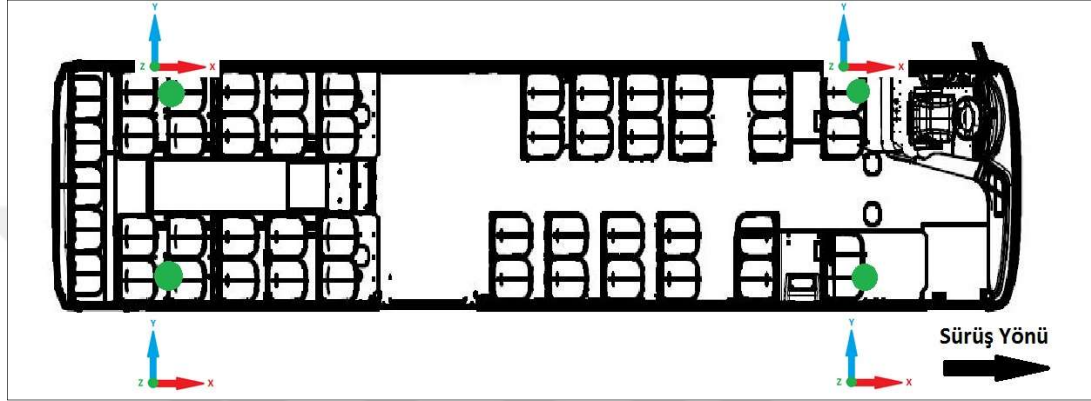
Şekil 4.7. Arka aks üzerinde yer alan üç eksenli ivme sensörleri



Şekil 4.8. Araç üzerinde yer alan ivme ölçüm sensörlerinin yön gösterimi

Araçlarda veri toplama süreçlerinde ivme ölçerler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamada ivme ölçerler yardımıyla düşey eksen (z eksen), yanal eksen (y eksen) ve boylamsal eksen (x eksen) olmak üzere üç eksenle titreşim ölçümü yapılmıştır. Otomotiv sektöründe ivme ölçer ile yapılan uygulamalarda eksen konumlandırması Şekil 4.8’de yer verilen grafikteki gibidir. Eksenleri doğru şekilde konumlandırılması oldukça önemlidir. Araca etkiyen kuvvetlerin yönünü tespit etmek ve doğru şekilde

yorumlamak için sinyal polaritelerinden emin olmamız gerekir. Örneğin “x” ekseninde takip ettiğimiz bir titreşim ölçüm testinde, sinyal polaritesinden emin değilsek araca ivmelenme senaryosu mu yoksa frenleme senaryosu mu uygulandığını eğer araç üzerinde GPS ekipmanı bulunmuyorsa tam olarak kestiremeyebiliriz. Benzer şekilde düşey eksende takip edilen ölçümlerde kasis veya çukur geçiş senaryolarını ayırt edemeyebiliriz.

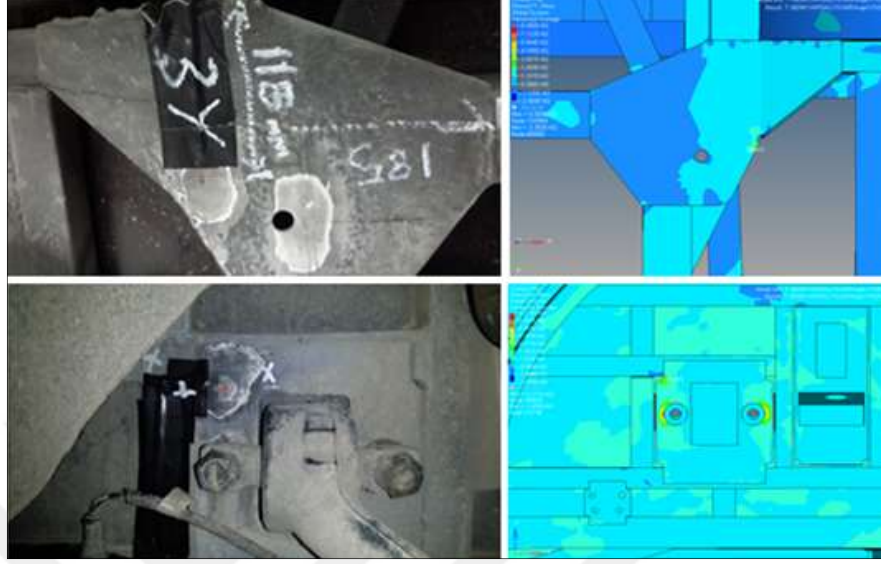


Şekil 4.9. Araç üzerinde yer alan ivme ölçüm sensörlerinin gösterimi

Şekil 4.9’da gösterildiği gibi araç üzerinde dört teker bölgesi yaysız kütle (unsprung-mass) merkezlerine üç eksenli ivme ölçerler konumlandırılmıştır. Bu ölçümler yol profili tespiti, hasar korelasyon ve yol datası optimizasyon çalışmalarının temel taşı oluşturmaktadır. Ayrıca araç gövdesi üzerinde yaylı kütle merkezlerine (sprung-mass) tek eksen ivme ölçerler yerleştirilmiştir. Aynı tekerlek bölgesinde yaylı ve yaysız kütle üzerine yerleştirilen sensörlerin düşey eksenleri yardımıyla aracın transfer fonksiyonunun hesaplanması mümkündür [40].

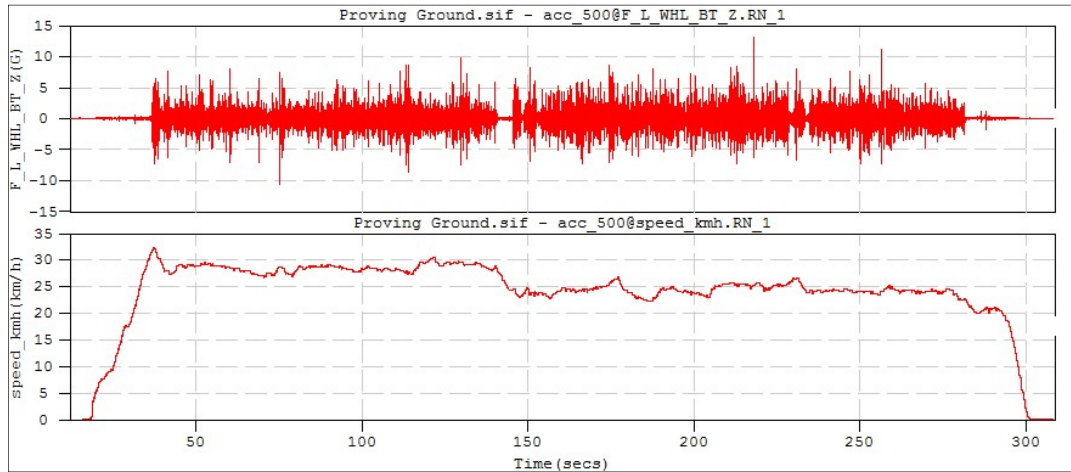
Test aracı üzerinde süspansiyon ve araç gövdesi olmak üzere beş noktadan strain ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu noktalar yardımıyla hem yol profili kestirimi aşamasında titreşim sinyalleri ile korelasyon çalışması yapmak, hem de araç gövdesinde “quasi-statik” analizler sonucunda kritik görülen noktalarındaki stres değerlerini takip etmek mümkündür. Bunun yanında strain ölçümleri ile ilgili parçaların elastisite modüllerini kullanarak stres hesaplamaları yapılabilmektedir. Stres hesapları ile yapıların hasara yönelik kestirimleri doğrudan gerçekleştirilebilir. Şekil 4.10’da test aracının süspansiyon bölgesinde konumlandırılan strain-gauge’lere ait fotoğraflara yer verilmiştir. Strain-gauge enstrümantasyonu esnasında uygulamayı

pratik hale getirmek için strain ölçümün alınacağı eksen ve sensörün yerleştirileceği koordinat bilgisi yüzey üzerine işaretlenir.



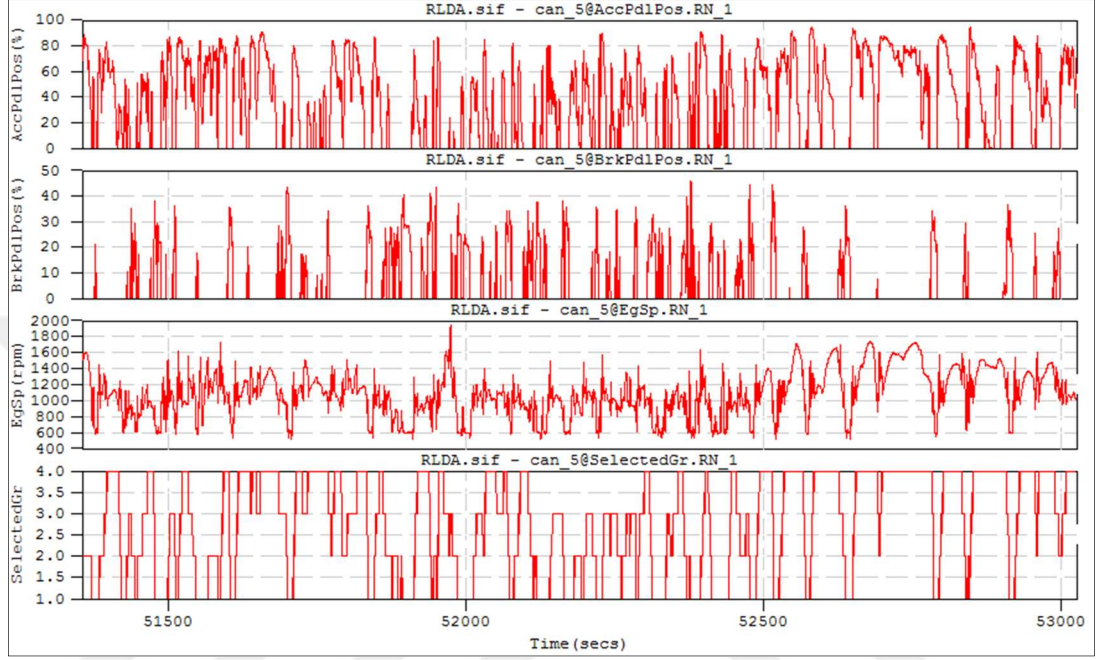
Şekil 4.10. Araç gövdesi üzerinde konumlandırılan strain-ölçerler

Yol verisi toplama aşamalarında araç hız ve konum bilgisi GPS sensörleri yardımıyla kayıt altına alınmaktadır. Konum bilgisi özellikle müşteri kullanım profil verisi toplama etabında güzergah tespitleri için gereklidir. Bu bilgi yardımıyla yol tiplerinin sınıflandırmaları gerçekleştirilir. Şekil 4.11’de yer verilen grafikte araç hız bilgisi ile veri toplama güzergahlarındaki yoğunluğun, seçilen müşteri kullanım profillerinin uygunluğunun tespit edilmesinin yanı sıra, kırıcı yol profili süreçlerinde hıza bağlı olarak girdi sinyallerindeki (kuvvet, ivme, deplasman, strain) merteye değişimleri de takip edilebilir.



Şekil 4.11. Test etabında araç hızı ve süspansiyon ivme datasının görünümü

Araç CanBus protokolü ile motor kontrol biriminde yer alan ölçüm kanallarına ilişkin bilgiler de kayıt altına alınmaktadır. Yol verisi toplama süreçlerinde motor devri, gaz ve fren pedalı pozisyonları, vites konumu gibi parametreler de kaydedilip gerekli durumlarda değerlendirilmektedir.



Şekil 4.12. Canbus protokol ile toplanan müşteri kullanım profil verileri

Şekil 4.12' nolu grafikte müşteri kullanım profilinde toplanan araç motor devri, gaz ve fren pedalı pozisyonları ile vites devri parametreleri yer almaktadır.

4.3. Veri Toplama Süreci

Hızlandırılmış ömür testleri sürecinde yol verisi toplama adımları iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk adım ömür testlerini gerçekleştirmeyi hedeflediğimiz test aracının daha önceden belirlenen müşteri kullanım profillerinde yürütülmüştür. Farklı yol profillerinin toplandığı bu süreçte aracın market ömründe karşılaşılabileceği yol içeriklerini kapsayan referans bir hedef sinyal paketi oluşturmak amaçlanmıştır. İkinci adımda ise market ömür hedef sinyal paketine karşılık bu verilerle hasar korelasyonunun yapılacağı aynı zamanda test süresini de kısaltacak daha yoğun hasar içeriklerine sahip kırıcı yol profillerinden veri toplanmıştır.

4.3.1. Müşteri kullanım profili verisi toplama süreci

Müşteri kullanım profil verisi toplama safhasında aracın market ömründe koşabileceği parkurlara benzer güzergahlar seçilmiştir. Kocaeli ve Sakarya ili çevresinde aracın gerçek kullanımına uygun rotalar tayin edilerek veri toplama süreci gerçekleştirilmiştir. Dört farklı araç yük koşulu için tekrar edilen bu süreçte her yük koşulu için yaklaşık 180 km müşteri kullanım profil verisi toplanmıştır. Toplamda 720 km'lik yol verisi ile çeşitli yol karakteristikleri kullanılarak market ömür korelasyonu hedeflenmiştir. Aracın dayanım testlerinde hedeflenen market ömür mesafe değeri 1 milyon km olarak tayin edilmiştir. 720 km'lik yol verisi ile 1 milyon km hedef mesafe değerine ulaşmak için farklı katsayılar belirlenmiştir.

Bu süreçte müşteri kullanım profillerinden toplanan çeşitli yollar sınıflandırılmış ve aracın hedef market ömründeki yüzde katılım değerleri için kestirimler gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.2'de müşteri kullanım profili tesbit sürecinde ele alınan parkurlar ve katılım yüzdelerine yer verilmiştir. Örneğin "Sekapark" (arnavut kaldırım) yol profili geçişinin aracın market ömründe karşılaşılabileceği yol profilleri içinde katılımı % 6,7 (67 bin km) olarak belirlenmiştir.

Son tahlilde müşteri kullanım profillerinden toplanan 720 km'lik veri yardımıyla her sinyal için (sağ ön teker ivme – "z eksen", sol arka teker ivme – "z eksen", araç gövde üzeri strain – 4z vb.) birim sanal (720 km'lik) hasarlar elde edilmiştir. Bu birim hasar değerleri daha sonra 1 milyon km hedefi için belirlenen katsayılar ile çarpılarak nihai hedef (1 milyon km) hasar değeri elde edilmiştir.

Tablo 4.2. Müşteri kullanım profili tesbiti sürecinde ele alınan parkurlar

Müşteri Yol Profili	Birim Mesafe Değeri (km)	Yüzde Katılım Değeri (%)
Adapazarı Şehir içi	45	% 20
Akyazı	20	% 13,5
Eşme Yolu	30	% 13,5
Körfez	30	% 13,5
Sapanca Yolu	40	% 13,5
Yahya Kaptan	10	% 20
Sekapark	5	% 6,7
Toplam	180	% 100

4.3.2. Kırıcı parkur verisi toplama süreci

Bu çalışmada kırıcı yol profili toplama süreci iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak Ford İnönü fabrikasında yer alan dayanım pisti kullanılmıştır. Bu pist içerisinde üç veya dört adet farkı yol profilini barındıran altı adet parkurdan oluşmaktadır. Ford dayanım parkuru içerisinde ilgili standartlarda tanımlı farklı genlik ve frekans içeriğine sahip (belgian block, cobblestone, washboard, resonance profile) pek çok yol profilini kapsamaktadır. Bu yol profilleri araç geliştirme çalışmalarında (konfor, dayanım, iç gürültü seviyesini düşürme) sıklıkla kullanılmaktadır [41]. Ford dayanım parkuru yardımıyla müşteri kullanım profilinde araca etkiyen kuvvetleri büyük oranda elde etmek mümkündür. Dört farklı araç yük koşulu için gerçekleştirilen veri toplama adımları farklı hız geçişleri için tekrar edilmiştir. Alternatif hız geçişleri ile araca etkiyen kuvvet değerleri ve frekans içerikleri çeşitlendirilerek müşteri kullanım profili korelasyonu için daha yakın yaklaşımlar hedeflenmiştir.

İkinci aşamada “Ford dayanım parkuru” verilerine ek olarak Sakarya ve Kocaeli illeri sınırları içerisinde bulunan, test aracın market ömründe karşılaşılabileceği kırıcılığı geçmeyecek şekilde yoğun hasar ihtiva eden yol profillerinden veri toplanmıştır. Bu parkurlar yardımıyla “Ford dayanım parkurunda” elde edilemeyen yanal yüklenme senaryoları uygulanmış ve bu senaryolar ile araca boyamsal ve yanal yönden etkiyen ivme değerleri kayıt altına alınmıştır.

Tablo 4.3. Kırıcı yol profilinin belirlenmesi sürecinde ele alınan parkurlar

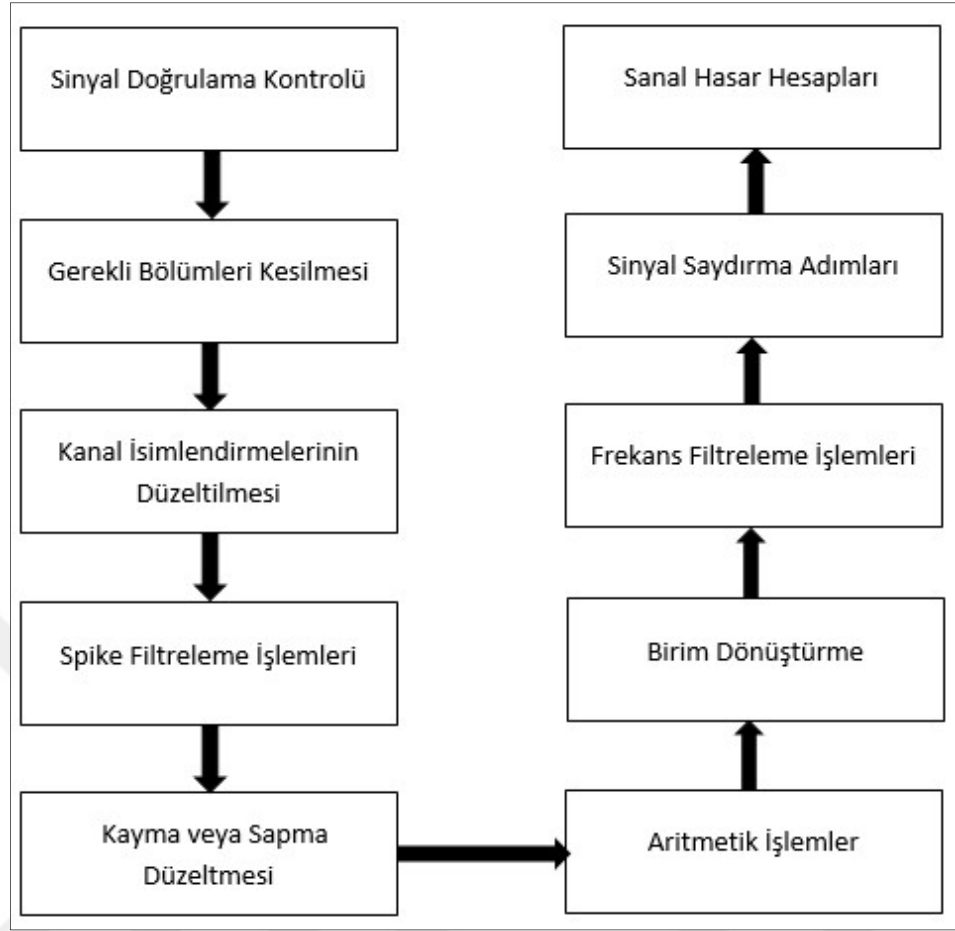
Kırıcı Yol Profili	Birim Mesafe Değeri (km)	Birim Süre Değeri (sn)
Ormanköy	10.2	900
Ormanköy slalom	10.2	850
Mollaköy	1.5	210
Fabrika Parkuru	2.5	410
Ford Parkur-1	0.3	45
Ford Parkur-2	0.4	85
Ford Parkur-3	0.3	100
Ford Parkur-4	0.42	90
Ford Parkur-5	0.4	110
Ford Parkur-6	0.4	160
Toplam	26.7	

Tablo 4.3 'de kırıcı yol profilleri için belirtilen birim süreler sinyal kısaltma süreçlerinin uygulanmasının ardından elde edilen birim sürelerdir. Bölüm 3'te belirtilen yöntemler yardımıyla yol veri uzunlukları yaklaşık olarak % 30 mertebesinde kısaltılmıştır.

4.4. Veri İnceleme ve Temizleme Süreci

Hızlandırılmış ömür testleri etabında yol verisi kayıt altına alındıktan sonra hasar korelasyonu ve mesafe optimizasyonu süreçlerine geçmeden önce birçok sinyal inceleme adımı gerçekleştirilmektedir. Bu adımlar yardımıyla sinyal içeriğinin doğruluk kontrolü, gerekli durumlarda sinyal içeriğinin bir bölümünü kesilmesi işlemi gerçekleştirilir. Gerekli durumlarda sinyal işleme sürecini kolaylaştırmak için kanal isimlendirmelerinde değişiklik de yapılabilir. Ham bir veride sıklıkla karşılaşılan spike olarak isimlendirilen pik değerlerin giderilmesi, sinyalin bazı bölümlerinde veya genel trendinde karşılaşılan sapma veya kayma durumlarının önlenmesi için bazı filtreleme işlemleri uygulanabilir. Ayrıca sinyalin aritmetik değerlerini (RMS, ortalama, minimum, maksimum, vb.) inceleyerek sinyal hakkında fikir sahibi olunabilir.

Sinyal işleme adımları içinde birim dönüştürme işlemi de gerekli durumlarda gerçekleştirilmektedir. Örneğin ivme verisinin deplasman verisine iki kez integral alınarak dönüştürülmesi sürecinde birimi "g" olan ivme verisi "m/sn²" ye çevrilir ve birimi "m" olan deplasman sinyali elde edilir. Frekans filtreleme işlemi de sıklıkla kullanılmaktadır. Yol profil sinyallerin değerlendirilmesi noktasında 0-50 Hz "lowpass filtreleme" (alçak geçiren filtre) işlemi ile yoğun enerji barındıran frekans bandına odaklanılır. Bu sayede yol profili korelasyon çalışmalarında daha gerçekçi ve hızlı bir karşılaştırma yapılabilir. Şekil 4.13'te veri işleme ve temizleme sürecinde takip edilen adımlara yer verilmiştir.



Şekil 4.13. Veri işleme ve temizleme sürecinde takip edilen adımlar

Sinyal temizleme süreçleri tamamlandıktan sonra farklı sinyal içeriklerinin istatistikî anlamada karşılaştırıldığı adımlar bulunmaktadır. Bu adımlar yardımıyla zamana bağlı toplanan bir sinyalde genlik değişimlerinin mertebeleri ve bu mertebelerin tekrar sayıları hesaplanır ve grafiksel olarak gösterilebilir. Bu yöntemler arasında “level crossing, time at level, rainflow counting” sıklıkla kullanılmaktadır.

5. MARKET VE KIRICI PARKUR VERİSİ HASAR KORELASYONU

Bu bölümde müşteri kullanım profillerinde ve kırıcı parkurlarda toplanan veriler yardımıyla hasar korelasyonları gerçekleştirilmiştir. Hasar korelasyonları neticesinde hızlandırılmış test süreci için mesafe optimizasyonu yapılmıştır. Bu süreçte farklı tipte sensörlerden elde edilen veriler yardımıyla, farklı korelasyon metodları kullanılarak gerçekleştirilen adımların doğrulanması hedeflenmiştir.

Ncode Glyphworks yazılımında zamana bağlı toplanan yol verilerinin farklı metodlar ile histogram dönüşümleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen bu histogram içerikleri “Test Match” (histogram eşleştirme) bloğu yardımıyla hasar korelasyonuna tabi tutulmuştur. Histogram eşleştirme işlemi ile hasar korelasyonu yapılan yol profillerinin birim uzunlukları kullanılarak mesafe optimizasyonu yapılmıştır.

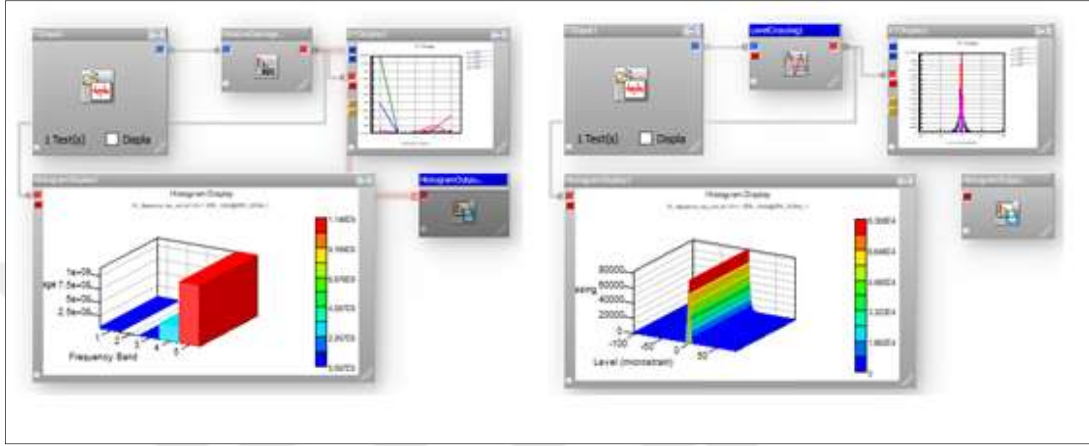
5.1. Hasar Histogramları Oluşturma ve Histogram Eşitleme Süreci

Bu süreçte müşteri kullanım profil verileri ile kırıcı yol profil verileri hasar histogramları elde edilmektedir. Hedef histogram elde edilirken müşteri yol profillerinin birim mesafe değerleri ve belirlenen araç market ömrü yüzde katılım değerleri dikkate alınmıştır. Bu adımda öncelikle 7 farklı müşteri kullanım profili için tek tek hasar histogramları elde edilmiştir. Daha sonra aritmetik işlemler ile birim mesafe değerleri ve araç market ömrü mesafe katılımları dikkate alınarak, her bir histogram belirlenen farklı katsayılar ile çarpılmıştır.

Elde edilen histogramlar kümülatif olarak toplanarak hedef müşteri kullanım profili hasar histogramı oluşturulmuştur.

Müşteri kullanım profillerinde olduğu gibi kırıcı yol profil verilerinden farklı yöntemler kullanılarak hasar histogramları elde edilmiştir. Kırıcı yol profilleri 10 adet farklı yol parkurunu kapsamaktadır. Burada amaçlanan hedef (müşteri kullanım profili) histogram değerine ulaşmak için çeşitli kırıcı yol profilleri ile eşleştirmeler yapmak ve optimum katılım sayılarını belirlemektir. Kırıcı yol profilleri farklı genlik ve frekans içeriğine sahip hasar histogramlarından oluşmaktadır. Bu histogramlar

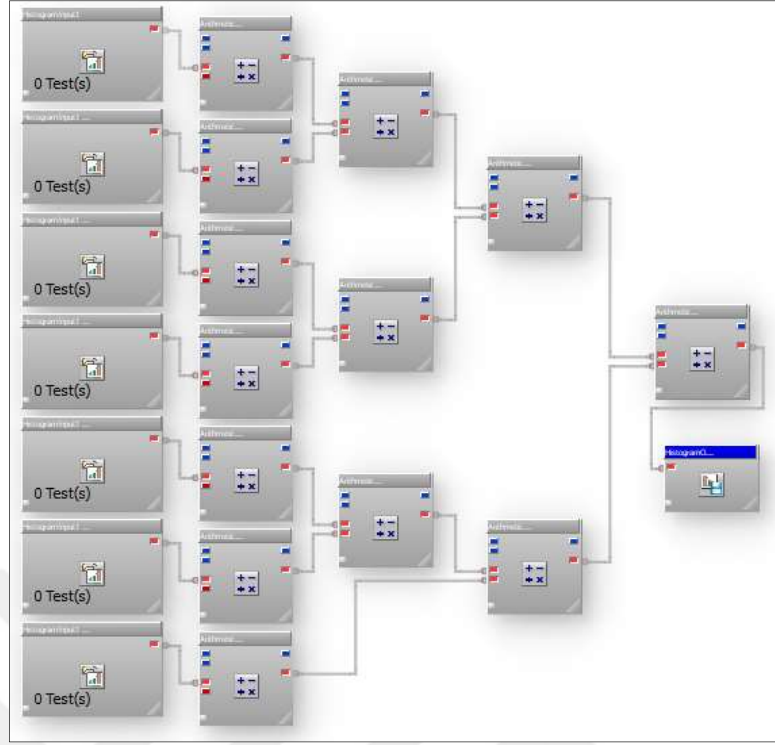
içerisinde Ford fabrikası dayanım parkurundan ve Sakarya ili çevresinden toplanan yoğun kırıcılıkta yol verilerinden elde edilen veriler bulunmaktadır. Şekil 5.1’de zaman bandında “time history” olarak toplanan verilerin Glyphworks yazılımında daha yönetilebilir ve kıyaslanabilir bir format olan hasar histogramlarına dönüştürüldüğü “batch’e yer verilmiştir.



Şekil 5.1. Yol verilerinin farklı yöntemler ile histogramlarının oluşturulması

Müşteri kullanım profillerindeki histogramlar elde edildikten sonra farklı katsayılar ile aritmetik olarak çarpılmaktadırlar. Çarpım katsayısının belirlenmesinde yol profillerinin birim mesafe değerleri önem arz etmektedir. Ayrıca bu yol profillerinin aracın market ömründeki öngörülen mesafe katılımları da dikkate alınır. Örneğin “Adapazarı şehir içi” yol profili aracın market ömründe % 20 oranda temsil edileceği kestirimi yapılmıştır. Benzer şekilde Tablo 4.2’de “Sekapark” yol profilinin (arnavut kaldırım) market ömründe temsili % 6.7 olarak ele alınmıştır. Bu şekilde birim mesafe değerleri de dikkate alınarak 1 milyon km hedef market ömür için histogramlar farklı katsayılar ile çarpılır ve toplam (hedef) histogram elde edilir. Histogram bloklarında farklı frekans aralıkları için sayısal göreceli hasar değerleri yer almaktadır. Bu hasar değerleri müşteri kullanım profillerinin katılım değerleri dikkate alınarak aritmetik olarak çarpılır ve kümülatif olarak toplanır.

Şekil 5.2’de müşteri kullanım profili histogramlarının farklı katsayılar ile çarpılarak hedef histogramın aritmetik olarak hesaplandığı hesaplama adımları yer almaktadır.

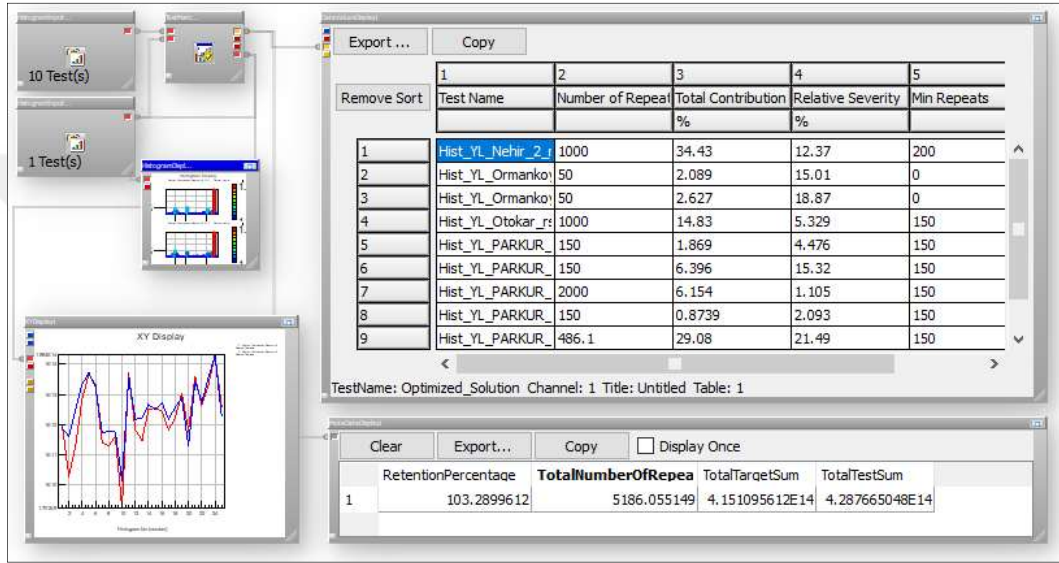


Şekil 5.2. Müşteri profilleri histogramlarına uygulanan aritmetik işlemler

Bir sonraki adımda ise müşteri kullanım profili histogramları ile kırıcı yol profili histogramlarının eşleştirilerek hasar korelasyonunun yapıldığı adıma geçilir. Bu bölümde Glyphworks yazılımında hazırlanan bloklar yardımıyla histogram eşleştirmeleri gerçekleştirilir. Hazırlanan beş blokluk yapı ile süreç takip edilmektedir.

Ana blok test eşleşmelerinin gerçekleştirildiği, histogram karşılaştırmalarının ve hasar korelasyonunun yapıldığı “Test match” (Histogram eşleştirme) bloğudur. Bu blok yardımıyla müşteri yol profili ile kırıcı yol profili histogramlarının karşılaştırılır. Blokta iki adet histogram girişi bulunmaktadır. İlk giriş hedef histogram için (hedef histogram için tek giriş), ikinci giriş ise kırıcı yol profili histogramları içindir (çoklu histogram girişi mümkündür). Histogram eşleşme sonuçlarının yer aldığı blok ile “Data values display” görüntüleme sağlanır. Bu blok üzerinde kırıcı yol profillerinin isimleri, hedef histogram hasarına ulaşmak için kırıcı yol profillerinin kaç kez tekrar etmelerinin gerektiği bilgisi bulunmaktadır. Ayrıca kırıcı yol profili histogramlarının göreceli birim hasar değerleri ve hedef histogram hasarı içindeki katkı yüzdeleri bulunmaktadır. Toplam hasar değerlerinin ve hasar yaklaşım sonuçlarının bulunduğu blok “Metadata display” yardımıyla da korelasyon yaklaşımlarının ne kadar isabetli

olduğu kontrol edilebilir. Bu blokta test toplam hasarı (Total_test_sum) ve hedef toplam hasarı (Total_target_sum) ifadeleri bulunmaktadır. Hedef toplam hasar müşteri kullanım profili histogramı hasar bilgisini, test toplam histogram ise kırıcı parkur histogramları hasar bilgisini içerir. Bu blokta yer alan diğer bir ifade yaklaşım seviyesidir “Retention_Percentage”. Yaklaşım seviyesi histogramların hasar oranlarının nümerik ifadesidir. Yaklaşım seviyesi % 100 değerine ne kadar yakınsar ise o nispete doğru yaklaşım yapılmıştır.



Şekil 5.3. Histogram eşleştirme safhasında yol profillerinin korelasyonu

Histogram eşleştirme bloğunda lineer ve logaritmik olmak üzere iki farklı yaklaşım metodu bulunmaktadır. Lineer yöntemde histogram eşlemesi sürecinde enerji seviyelerinin yüksek olduğu, tepe değerlerin yaklaşımı sağlanır. Logaritmik yöntemde ise tepe değerlerin yanı sıra enerji seviyelerinin nispeten düşük olduğu fakat logaritmik skalada belirgin olan bölümler de dikkate alınır. Logaritmik yöntemde daha gerçekçi korelasyonlar yapmak mümkün iken yaklaşım seviyelerini ulaşmak oldukça zordur [13].

Bu noktada amaçlanan yaklaşım seviyesini mümkün olduğunca yüksek tutarak histogram eşitlemelerini gerçekleştirmektir. Diğer bir amaç ise kırıcı parkur tekrar sayılarını mümkün olduğunca düşük tutarak hızlandırılmış test sürecini en aza indirmektir. Yaklaşım seviyesini en yüksek düzeyde, toplam kırıcı parkur mesafe değerini ise en düşük seviyede tutacak şekilde varyasyonlar yapılmıştır. İlk adımda yaklaşım seviyesini % 100 mertebesine çekmek hedeflenmiştir. Bunun yanı sıra Tablo

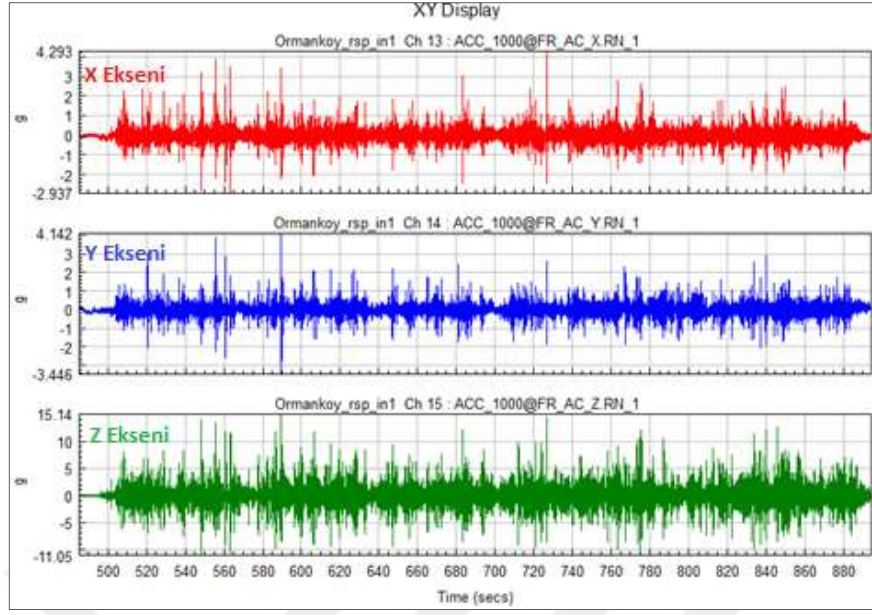
4.3’de belirtildiği gibi birim mesafe değeri yüksek olan bazı kırıcı yol profillerinin katılım değerleri kısıtlanarak toplam test sürecine etkileri en aza indirilmiştir.

5.2. RDS Metodu ile Hasar Hesabı

Bu yöntem yardımıyla deplasman, hız, ivme veya strain verileri göreceli hasar hesaplarına tabi tutulabilmektedir. Strain verisi doğrudan işleme alınmakla birlikte, ivme verisinin iki kez integrali alınarak hasar hesabına katılır. Bu veriler “rainflow” saydırma yöntemi ile yorulma döngülerine çevrilirler. Daha sonra bu döngüler tanımlanan her bir frekans bandı için (0-2, 2-4, 4-8, 8-16, 16-32 Hz) jenerik bir S-N eğrisinde yorulma hesabına katılırlar. Bu işlemin sonucunda her bir frekans bandı için hasar içeriğine sahip olan histogramlar elde edilir [13].

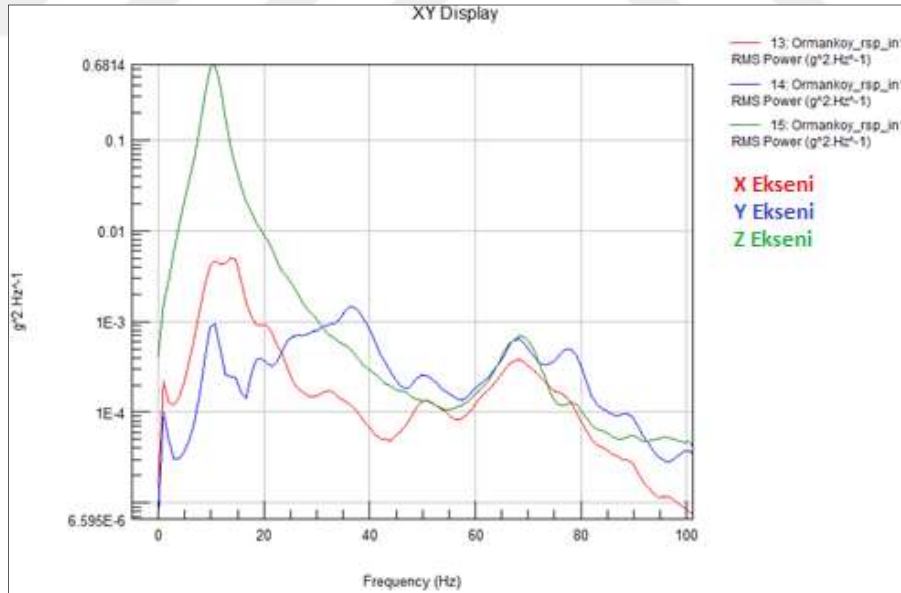
5.2.1. 4 adet ivme sinyali ile hasar hesabı

Bu adımda araç süspansiyon bölgesinden toplanan ivme verilerinin düşey eksenleri (x-ekseni) kullanılarak, dört adet ivme sinyali için korelasyon çalışması yapılmıştır. Yol verisi korelasyon çalışmalarında süspansiyon bölgesinden düşey ekseninde toplanan ivme verileri sıklıkla kullanılmaktadır. “z” ekseninde elde edilen sinyalin enerji seviyeleri diğer iki eksene göre oldukça yüksektir. Test aracının süspansiyon bölgesinden kırıcı parkur geçişi esnasında, “x, y ve z” eksenlerinde zaman bağlı toplanan ivme verilerine Şekil 5.4’de yer verilmiştir. Titreşim seviyeleri incelendiğinde genlik mertebelerinin düşey ekseninde yaklaşık 3 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Aynı verilerin frekans içeriklerine de Şekil 5.5’de yer verilmiştir. 100 Hz frekans aralığında yapılan incelemede düşey ekseninde özellikle 10 Hz mertebesinde enerji seviyesinin yaklaşık olarak 100-130 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu noktada korelasyon çalışmalarında düşey eksen (z) verisinin ciddi bir hasar katılımı bulunmaktadır. Bunun yanında aracın yanal (y eksen) ve boylamsal (x eksen) yönde maruz kaldığı yükleri de temsil etmek doğru bir korelasyon çalışması için gereken şartlar arasındadır. Aracın viraj senaryolarında yada fren, ivmelenme senaryolarındaki kuvvetlerin karşılanması için diğer eksenlerdeki ivme verileri de hesaba katılmalıdır. Şekil 5.4’te test aracının süspansiyon bölgesinden toplanan örnek bir kırıcı yol profili sinyallerine ait grafiğe yer verilmiştir.



Şekil 5.4. Test aracının süspansiyon bölgesinden toplanan ivme sinyalleri

Şekil 5.5'te test aracının süspansiyon bölgesinden toplanan örnek kırıcı yol profili sinyallerinin PSD diagramlarına yer verilmiştir.



Şekil 5.5. Süspansiyon bölgesi ivme sinyallerine ait frekans spektrumu

4 adet ivme verisi ile yapılan korelasyon çalışmasında logaritmik yaklaşım ile sonuca ulaşmak hedeflenmiştir. Yaklaşım seviyesi olarak % 100 gibi oldukça iyi bir merteye yakalanmıştır. Bu yaklaşım değeri ile kırıcı parkur yol profilleri katılım sayıları dikkate alınarak toplam hızlandırılmış test mesafe değeri elde edilmiştir.

4 adet ivme verisi kullanarak logaritmik yaklaşım ile yapılan korelasyon neticesinde 1 milyon hedef mesafe değeri için 32000 km hızlandırılmış test çözümü elde edilmiştir. Yapılan korelasyon işlemi sonucunda test süreci ≈ 30 kat hızlandırılmıştır.

Kırıcı yol parkurları içinde 10 farklı yol profili bulunmaktadır. Her parkurun dengeli bir şekilde temsil edilmesi için minimum katılım değerleri girilmektedir. Test eşleştirme algoritması bazı yol profillerini daha sık kullanmak isteyebilir. Bu tarz durumlar için parkurların katılımlarına müsaade ettiğimiz maksimum tekrar sayıları da girilmektedir.

Sonuç gösterge tablosunda yer alan parkurların göreceli hasar katılım oranları da kontrol edilmektedir. Bu hasar katılım değerlerinin de dengeli bir şekilde paylaşılması için parkur tekrar sayıları manipüle edilebilmektedir. Şekil 5.6'da test aracının süspansiyon bölgesinden düşey ekseninde toplanan 4 adet ivme sinyali ile yapılan hasar korelasyonu (logaritmik yaklaşım) sonuçları yer almaktadır.

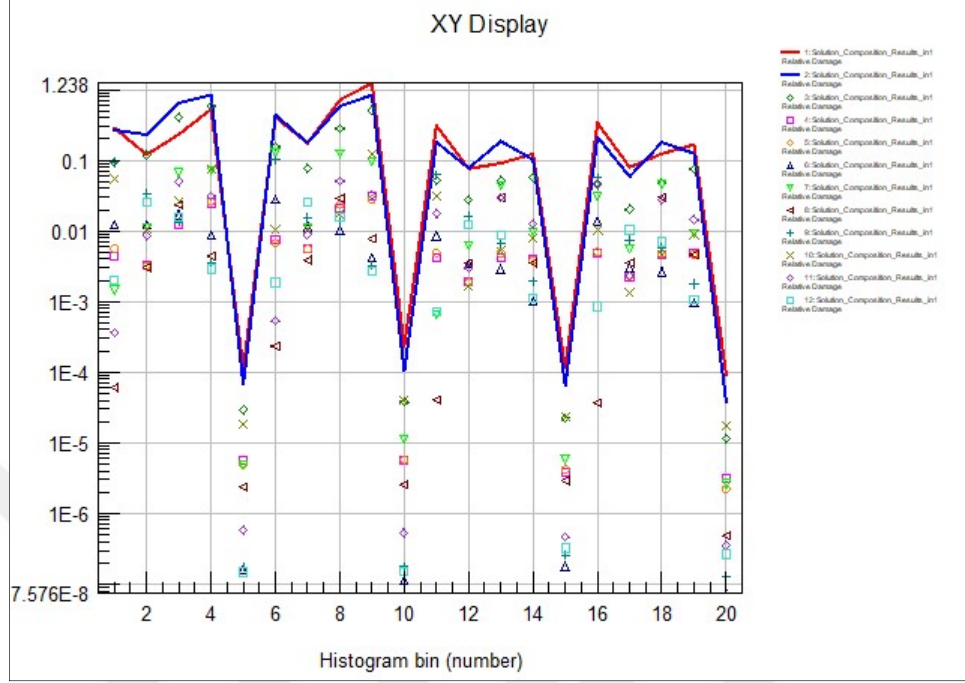
1	2	3	4	5	6	
Test Name	Number of Repeats	Total Contribution	Relative Severity	Min Repeats	Max Repeats	
		%	%			
1	Hist_4Acc_Nehir_2_rsp	700	36.29	19.93	0	700
2	Hist_4Acc_Ormarkoy_rsp	50	2.793	21.47	0	50
3	Hist_4Acc_Ormarkoy_slalom_rs	50	2.894	22.25	0	50
4	Hist_4Acc_Otokar_rsp	158.1	3.927	9.549	0	2000
5	Hist_4Acc_PARKUR_1-2_rsp	2000	25.31	4.865	250	2000
6	Hist_4Acc_PARKUR_2-2_rsp	250	2.894	4.45	250	2000
7	Hist_4Acc_PARKUR_3-3_rsp	2000	8.693	1.671	250	2000
8	Hist_4Acc_PARKUR_4-2_rsp	2000	7.899	1.518	250	2000
9	Hist_4Acc_PARKUR_5-1_rsp	250	6.647	10.22	250	2000
10	Hist_4Acc_PARKUR_6-2_rsp	250	2.655	4.083	250	2000

RetentionPercentage	TotalNumberOfRepeats	TotalTargetSum	TotalTestSum	
1	100.6207973	7708.091657	5.018648805	5.049804441

Şekil 5.6. 4 adet ivme sinyali ile hasar korelasyonu (logaritmik)

Şekil 5.7'de 4 adet ivme sinyali kullanılarak test aracının müşteri kullanım profilleri ve kırıcı yol profilleri arasında göreceli hasar korelasyonu sürecinde farklı frekans bantları için histogram eşleşmelerine yer verilmiştir. Hedef histogram vektörü (mavi renkli) ile çözüm histogram vektörünün (kırmızı renkli) korelasyonu ile market yol

profili (hedef göreceli hasar) ve kırıcı yol profili (test göreceli hasar) sinyallerinin karşılaştırılması yapılmaktadır.



Şekil 5.7. Hedef histogram ve çözüm histogram vektörünün görünümü

5.2.2. 12 adet ivme sinyali ile hasar hesabı

Bu adımda test aracının dört tekerinde süspansiyon bölgesinde yer alan ivme verileri kullanılarak hasar korelasyonları gerçekleştirilmiştir. Her teker için üç eksen (x,y,z eksen) olmak üzere toplamda 12 adet ivme sinyali kullanılmıştır. Araca yatay ve boylamsal ekseninde etkiyen kuvvetleri de kontrol etmek için süspansiyon bölgesinde “x ve y” ekseninde toplanan ivme verileri de hesaba katılmıştır.

12 adet ivme verisi kullanarak logaritmik yöntem ile % 79 korelasyon sağlanmıştır. % 79 korelasyon ile 30700 km hedef test mesafesi hesaplanmıştır. Yapılan çalışmanın emniyet sınırlarında kalması için % 21’lik korelasyon sağlanmayan bölüme karşılık gelen mesafe değeri de eklenmiştir. Bu süreçte 1 milyon hedef mesafe değeri için 38850 km hızlandırılmış test çözümü elde edilmiştir. Yapılan korelasyon işlemi sonucunda test süreci yaklaşık 26 kat hızlandırılmıştır.

Bu adımda ivme sinyali sayısı artırıldığı için daha gerçekçi hasar yaklaşımlarına ulaşmak hedeflenmiştir. Fakat ölçüm kanalı çeşitliğinde (frekans içeriği, genlik

değişimleri) artış olması 4 adet ivme korelasyonuna kıyasla, hasar korelasyonunu güçleştirmiştir. Şekil 5.8’de test aracının süspansiyon bölgesinden üzer ekseninde (x,y,z) toplanan 12 adet ivme sinyali ile yapılan hasar korelasyonu (logaritmik yaklaşım) sonuçları yer almaktadır.

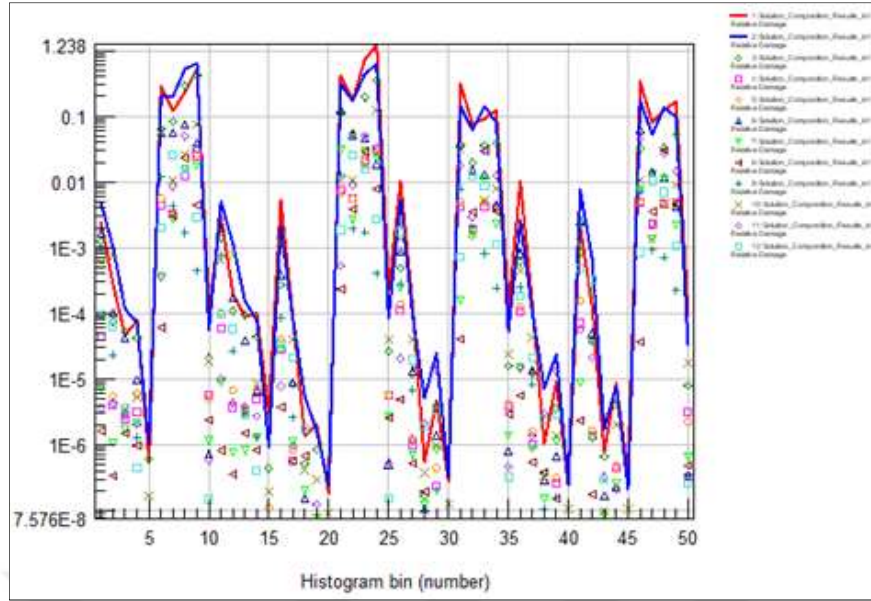
1	2	3	4	5	6	
Test Name	Number of Repeats	Total Contribution	Relative Severity	Min Repeats	Max Repeats	
		%	%			
1	Nehir_2_rsp_12ch	700	45.86	19.86	250	700
2	Ormarkoy_rsp_12ch	50	3.531	21.4	0	50
3	Ormarkoy_slalom_rsp_12ch	50	3.664	22.21	0	50
4	Otokar_rsp_12ch	500	15.87	9.619	500	2000
5	PARKUR_1-2_rsp_12ch	250	3.995	4.843	250	2000
6	PARKUR_2-2_rsp_12ch	250	3.648	4.422	250	2000
7	PARKUR_3-3_rsp_12ch	250	1.486	1.801	250	2000
8	PARKUR_4-2_rsp_12ch	2000	10.13	1.536	250	2000
9	PARKUR_5-1_rsp_12ch	250	8.382	10.16	250	2000
10	PARKUR_6-2_rsp_12ch	250	3.426	4.153	250	2000

TestName: Optimized_Solution Channel: 1 Title: Untitled Table: 1

RetentionPercentage	TotalNumberOfRepeats	TotalTargetSum	TotalTestSum	
1	79.29892652	4550	5.053123692	4.007072843

Şekil 5.8. 12 adet ivme sinyali ile hasar korelasyonu (logaritmik)

Şekil 5.9’da 12 adet ivme sinyali kullanılarak test aracının müşteri kullanım profilleri ve kırıcı yol profilleri arasında göreceli hasar korelasyonu sürecinde farklı frekans bantları için histogram eşleşmelerine yer verilmiştir. Hedef histogram vektörü (mavi renkli) ile çözüm histogram vektörünün (kırmızı renkli) korelasyonu ile market yol profili (hedef göreceli hasar) ve kırıcı yol profili (test göreceli hasar) sinyallerinin karşılaştırılması yapılmaktadır.



Şekil 5.9. Hedef histogram vektörü ile çözüm histogram vektörünün eşleştirilmesi

5.2.3. 5 adet strain sinyali ile hasar hesabı

Bu adımda araç gövde ve süspansiyon bölgeleri üzerinden toplanan 5 adet strain verisi ile korelasyon adımları gerçekleştirilmiştir. Test eşleştirme bloğunda ilk adımda logaritik yaklaşım ise korelasyon yapılmıştır. Bu yöntem ile % 75 yaklaşım gerçekleşmiş olup, histogram eşitlemelerine hedef ve test histogramlarının tepe değerlerinin üst üste oturduğu görülmüştür. İkinci adımda lineer yaklaşım gerçekleştirilmiş olup, yaklaşım seviyesi % 103 olarak elde edilmiştir.

Korelasyon denemelerinin sonunda hızlandırılmış ömür test sürecini etkileyen mesafe değeri optimizasyon sürecine geçilmiştir. Bu süreçte kırıcı parkur yol profillerinin birim mesafe değerleri, Şekil 5.10 ve Şekil 5.11'de tekrar sayılarına yer verilen katsayılar ile çarpılmıştır. Bu hesaplama neticesinde müşteri kullanım profili hasarına denk hasarı elde etmek için gerekli olan kırıcı yol profili toplam mesafe değeri elde edilir.

5 adet strain verisi kullanarak logaritmik yöntem ile % 75 korelasyon sağlanmıştır. % 75 korelasyon ile 32000 km hedef test mesafesi hesaplanmıştır. Yapılan çalışmanın emniyet sınırlarında kalması için % 25'lik korelasyon sağlanmayan bölüme karşılık gelen mesafe değeri de eklenmiştir. Bu süreçte 1 milyon hedef mesafe değeri için 42650 km hızlandırılmış test çözümü elde edilmiştir. Yapılan korelasyon işlemi

sonucunda test süreci yaklaşık 23 kat hızlandırılmıştır. Şekil 5.10'da test aracının süspansiyon bölgesinden toplanan 5 adet strain sinyali ile yapılan hasar korelasyonu (logaritmik yaklaşım) sonuçları yer almaktadır.

1	2	3	4	5	6	
Test Name	Number of Repeats	Total Contribution	Relative Severity	Min Repeats	Max Repeats	
		%	%			
1	Hist_YL_Nehir_2_rsp_srt	250	11.71	12.37	250	2000
2	Hist_YL_Orman koy_rsp_srt	50	2.844	15.01	0	50
3	Hist_YL_Orman koy_slalom_rsp_srt	50	3.575	18.87	0	50
4	Hist_YL_Otokar_rsp_srt	1034	20.87	5.329	250	2000
5	Hist_YL_PARKUR_1-2_rsp	1143	19.38	4.476	250	2000
6	Hist_YL_PARKUR_2-2_rsp	250	14.51	15.32	250	2000
7	Hist_YL_PARKUR_3-3_rsp	250	1.047	1.105	250	2000
8	Hist_YL_PARKUR_4-2_rsp	250	1.982	2.093	250	2000
9	Hist_YL_PARKUR_5-1_rsp	250	20.36	21.49	250	2000
10	Hist_YL_PARKUR_6-2_rsp	250	3.729	3.937	250	2000

TestName: Optimized_Solution Channel: 1 Title: Untitled Table: 1

RetentionPercentage	TotalNumberOfRepeats	TotalTargetSum	TotalTestSum	
1	75.89741414	3776.256117	4.151095612E14	3.150574228E14

Şekil 5.10. Strain verileri yardımıyla hasar korelasyonu (logaritmik)

5 adet strain verisi kullanarak lineer yaklaşım ile yapılan korelasyon neticesinde 1 milyon hedef mesafe değeri için 25255 km hızlandırılmış test çözümü elde edilmiştir. Yapılan korelasyon işlemi sonucunda test süreci yaklaşık 40 kat hızlandırılmıştır. Şekil 5.11'de test aracının süspansiyon bölgesinden toplanan 5 adet strain sinyali ile yapılan hasar korelasyonu (lineer yaklaşım) sonuçları yer almaktadır.

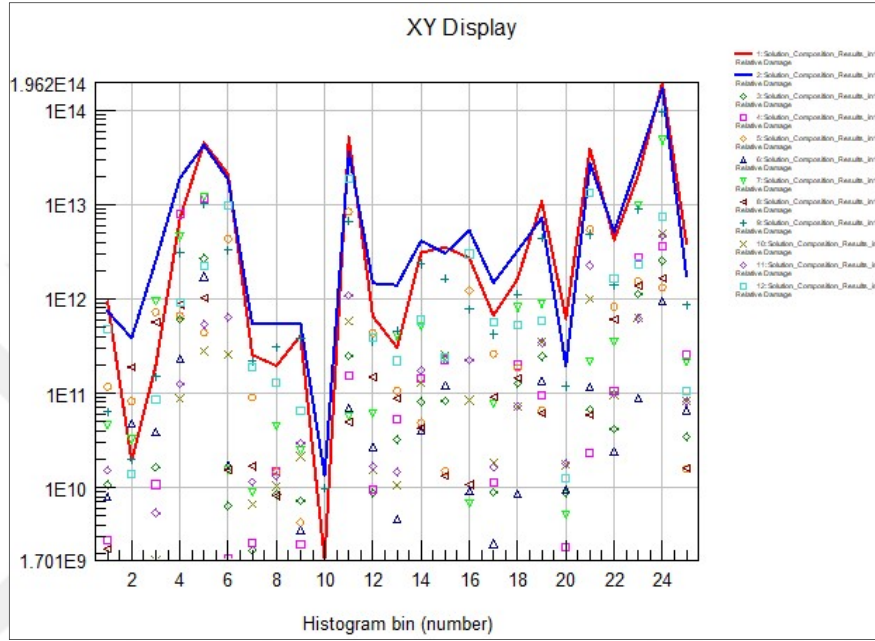
1	2	3	4	5	6	
Test Name	Number of Repeats	Total Contribution	Relative Severity	Min Repeats	Max Repeats	
		%	%			
1	Hist_YL_Nehir_2_rsp_srt	1000	34.43	12.37	200	1000
2	Hist_YL_Orman koy_rsp_srt	50	2.089	15.01	0	50
3	Hist_YL_Orman koy_slalom_rsp_srt	50	2.627	18.87	0	50
4	Hist_YL_Otokar_rsp_srt	1000	14.83	5.329	150	1000
5	Hist_YL_PARKUR_1-2_rsp	150	1.869	4.476	150	2000
6	Hist_YL_PARKUR_2-2_rsp	150	6.396	15.32	150	2000
7	Hist_YL_PARKUR_3-3_rsp	2000	6.154	1.105	150	2000
8	Hist_YL_PARKUR_4-2_rsp	150	0.8739	2.093	150	2000
9	Hist_YL_PARKUR_5-1_rsp	486.1	29.08	21.49	150	2000
10	Hist_YL_PARKUR_6-2_rsp	150	1.644	3.937	150	2000

TestName: Optimized_Solution Channel: 1 Title: Untitled Table: 1

RetentionPercentage	TotalNumberOfRepeats	TotalTargetSum	TotalTestSum	
1	103.2899612	5186.055149	4.151095612E14	4.287665048E14

Şekil 5.11. Strain verileri yardımıyla hasar korelasyonu (lineer)

Şekil 5.12’de 5 adet strain sinyali kullanılarak test aracının müşteri kullanım profilleri ve kırıcı yol profilleri (test profilleri) arasında göreceli hasar korelasyonu sürecinde farklı frekans bantları için histogram eşleşmelerine yer verilmiştir. Hedef histogram vektörü (mavi renkli) ile çözüm histogram vektörünün (kırmızı renkli) korelasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.12. Hedef ve çözüm histogram vektörlerinin eşleştirilmesi

5.2.4. Alternatif hesaplama metodları için sonuç tablosunun oluşturulması

Bu çalışmada göreceli hasar korelasyonları lineer ve logaritmik yaklaşımlar ile hesaplanarak farklı optimizasyon sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca farklı tipte ve sayıda kanal içeren senaryolar ile optimizasyon sonuçları çeşitlendirilmiştir.

Tablo 5.1. Farklı optimizasyon senaryoları için hedef mesafe sonuç tablosu

Opt. No	Analiz Yapılan Veri	Hesaplama Yöntemi	Hesaplanan Test Mesafesi (km)	Hasar Yaklaşım Yüzdesi (%)	Nihai Test Mesafesi (km)	Hızlandırma Oranı
1	4 Adet İvme	logaritmik	32000	100.5	31800	31
2	12 Adet İvme	logaritmik	30700	79	38850	26
3	5 Adet Strain	logaritmik	32000	75	42650	23
4	5 Adet Strain	lineer	25250	103	24520	41

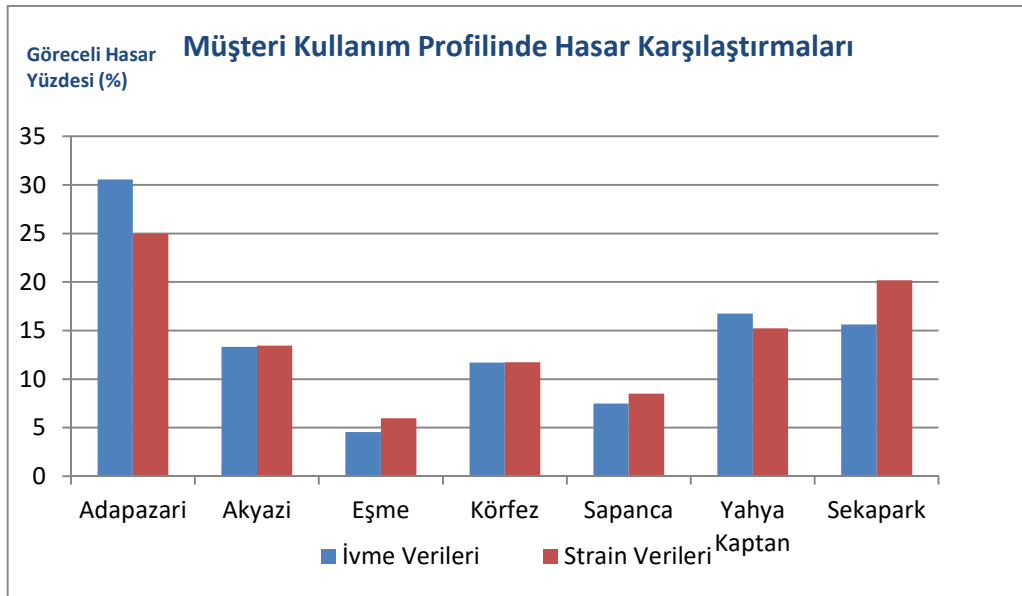
Tablo 5.1.'de araç dayanım testi için öngörülen hızlandırma oranları, korelasyon neticesinde elde edilen hasar yaklaşım yüzdeleri ve hedef test mesafe değerleri yer almaktadır. Tabloda görüldüğü gibi en yakın korelasyon değeri logaritmik yaklaşım ile 4 adet ivme verisi kullanılarak elde edilmiştir. Logaritmik yaklaşım ile tepe genlik değerlerinin yanısıra düşük genlik mertebelerinin de korelasyonu amaçlanır. Bu süreçte işleme alınan kanal sayısı arttıkça hedef veriye daha yakın bir yaklaşım elde edilmekle birlikte, korelasyon işlemi daha güçleşmektedir.

5.3. Korelasyon Sürecinin Doğrulanması

Hızlandırılmış ömür testleri sürecinde birkaç farklı yöntem ile müşteri yol profili ve kırıcı parkur verileri korelasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte aynı yöntem kullanılarak farklı sinyal girdileri ile korelasyon sürecinin yaklaşımı incelenmiştir.

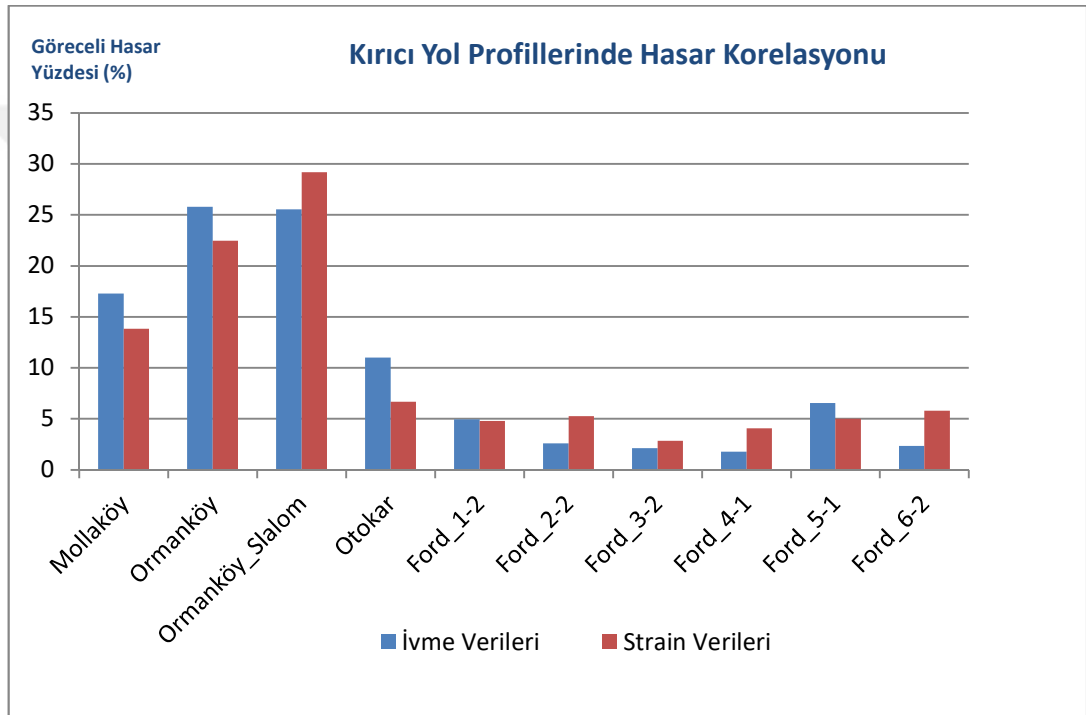
5.3.1. İvme ve strain verisi ile hasar karşılaştırmaları

RDS yöntemi kullanılarak araç süspansiyon bölgesinden toplanan ivme verileri ile araç gövdesi üzerinden toplanan strain verilerinin hasar seviyeleri karşılaştırılmıştır. Araç süspansiyonunda yer alan 4 adet ivme verisi (z eksen) ile gövde üzerinde farklı noktalarda bulunan 5 adet strain verisinin toplanan hasar değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.13. Müşteri kullanım profilinde ivme ve strain verisi hasar korelasyonu

Müşteri kullanım profillerinden geçiş esnasında elde edilen sinyaller ile yapılan hasar korelasyonuna Şekil 5.13'te yer verilmiştir. Bu grafikte aynı yol profilinden aynı tekrar sayısı ile geçiş esnasında farklı türdeki sinyallerin hasar karşılaştırmaları görülmektedir. Parkurlar göreceli olarak karşılaştırıldığında aynı yöntem kullanılarak farklı türdeki sinyaller ile oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Örneğin “Adapazarı” parkurundaki toplam hasar değeri hem ivme hem de strain hasar hesabında diğer parkurlara göre en yüksek değerde çıkmıştır. Benzer şekilde “Eşme parkuru” en düşük çıkmıştır.



Şekil 5.14. Kırıcı yol profillerinde ivme ve strain verisi hasar karşılaştırmaları

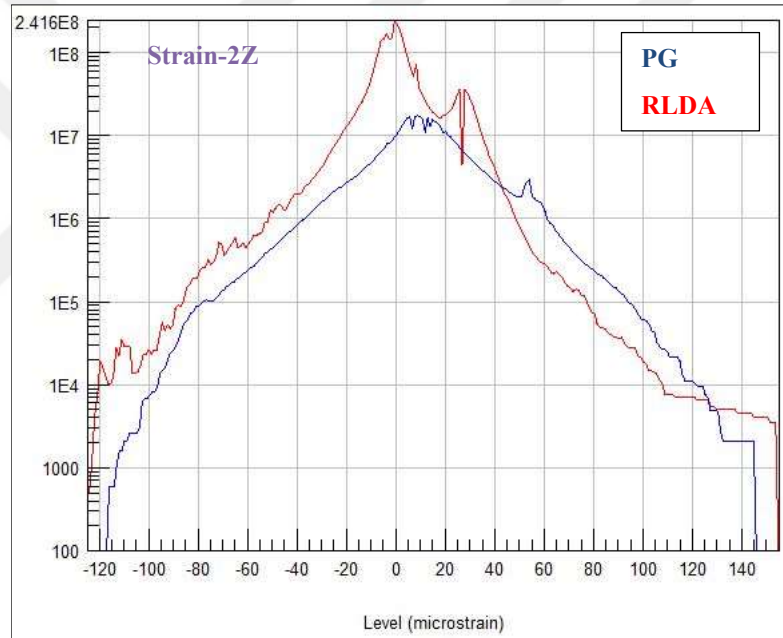
Kırıcı yol profilleri test sürecini hızlandırmamıza yardımcı olan yoğun hasar içeriğine sahip yol profilleridir. Şekil 5.14 nolu grafikte ivme ve strain verileri ile aynı yol profilinden aynı tekrar sayısı ile geçişte elde edilen hasar değerlerinin karşılaştırması bulunmaktadır. Müşteri kullanım profili hasar karşılaştırmalarında olduğu gibi, parkurlar göreceli olarak kıyaslandığında aynı yöntem kullanılarak farklı türdeki sinyaller ile oldukça yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir.

5.3.2. Level-crossing yöntemi ile doğrulama işlemi

“Level-crossing” yöntemi ile müşteri kullanım profili ve kırıcı parkur yol verisi (Proving ground) toplama sürecinde elde edilen verilerin genlik değişimleri ve bu

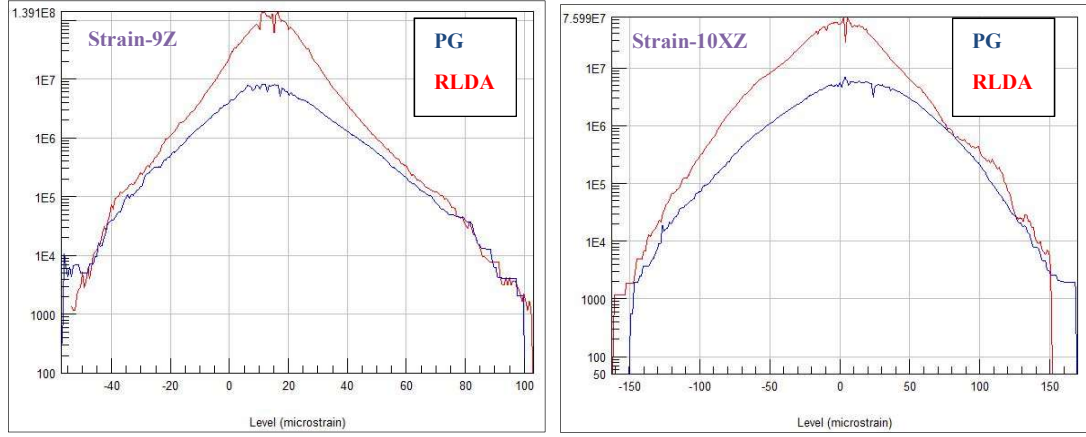
değişimlerin tekrar sayıları karşılaştırılmıştır. Bu yöntemde bölüm 5.2.2’de belirtilen 12 adet ivme verisi kullanılarak gerçekleştirilen RDS göreceli hasar hesabı sonuçları kullanılmıştır. Bu bölümde müşteri kullanım profilleri ile kırıcı yol profillerindeki histogramların optimum korelasyonu neticesinde elde edilen kırıcı yol profilleri katılım sayıları kullanılmıştır. Araç üzerinde farklı noktalarda konumlandırılan farklı tipteki sinyallerin “RLDA ve PG” geçişi esnasındaki mertebe ve değişim sayıları karşılaştırılmıştır.

“Level-crossing” yöntemi ile istatistiki bir yaklaşım yapılmaktadır. Doğrudan hasar ile ilişkili olmayan bu yöntem hasar analiz sonuçlarını doğrulama süreçlerinde sıklıkla kullanılmaktadır.



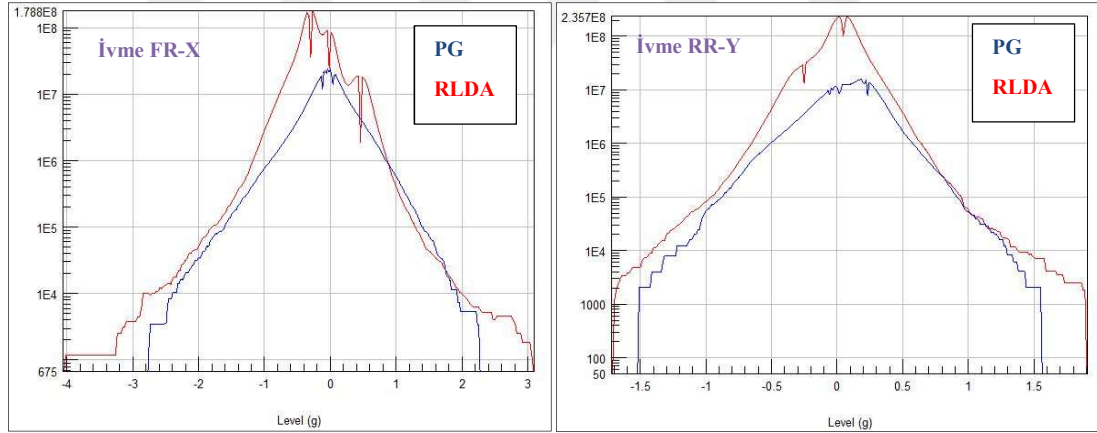
Şekil 5.15. Süspansiyon bölgesinden toplanan strain sinyallerinin korelasyonu

Yol profil verilerinin korelasyon süreçlerinde araç süspansiyon bölgesinden toplanan veriler doğrudan yol karakteristikleri hakkında bilgi vermektedir. Strain verileri ise hasar ve dolayısıyla yorulma ömrü ile ilişkili olduğu için tercih edilmektedir. Şekil 5.15’te araç süspansiyonu salıncak bölgesinden düşey ekseninde toplanan strain verisinin korelasyonu görülmektedir.



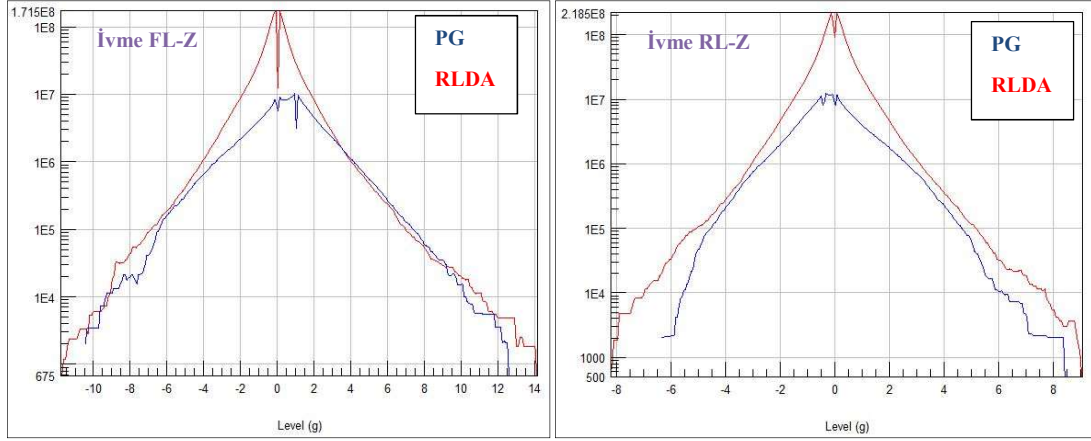
Şekil 5.16. Araç gövdesinden toplanan strain sinyallerin korelasyonu

Araç gövdesi üzerinden toplanan strain verileri daha çok malzemelerin quasi-statik davranışlarını yorumlamak için kullanılırlar. Analiz sonuçlarında riskli görülen bölgelerde karşılaşılabilecek en yüksek stres değerlerini hesaplamada kullanılmaktadırlar. Şekil 5.16.'da görüldüğü gibi “PG ve RLDA” etabında özellikle yüksek strain değerlerinin görüldüğü mertebelerde iyi bir korelasyon sağlanmıştır.



Şekil 5.17. Süspansiyon bölgesinden toplanan ivme verilerinin korelasyonu

Araca yanal ve boylamsal ekseninde etki eden kuvvetlerin de korelasyonunun doğru şekilde yapılması gerekmektedir. Müşteri kullanım profillerinde karşılaşılan viraj alma, kasis geçme, ivmelenme veya fren senaryoları da kırıcı yol profilleri içerisinde yer almalıdır. Şekil 5.17'de sağ ön teker bölgesi “x” ekseninden ve sol arka teker bölgesi “y” ekseninden toplanan ivme verilerinin “PG ve RLDA” etabında istatistiksel korelasyonu yer almaktadır.



Şekil 5.18. Süspansiyon bölgesinden toplanan ivme verilerinin korelasyonu

Yol profilleri korelasyon süreçlerinden en yaygın olarak kullanılan ölçüm noktaları tekerlek göbeği veya süspansiyon bölgesinden yer alan hareketli bir noktadır. Bu bölgelerde düşey ekseninde toplanan ivme (kuvvet, deplasman, vb.) verileri yol profili çıkarımlarında sıklıkla kullanılmaktadır. Yaysız kütle bölgesine konumlandırılan bu sensörler ile tekere etkiyen kuvvetler doğrudan (arada farklı bir transfer fonksiyonu bulunmadan) ölçülebilmektedir [35]. Şekil 5.18’de görüldüğü gibi düşey eksenlerde oldukça başarılı bir korelasyon sağlanmıştır.

6. HIDROLİK SİMÜLATÖR SİSTEMİ TEST SÜREÇLERİ

4Poster hidrolik yol simülatöründe araçların kullanım ömürleri boyunca maruz kalabilecekleri yapısal yüklemeler, gerçek hayatla birebir özelliklerde oluşturulan farklı niteliklerdeki yol çevrimleri vasıtasıyla araç gövdesine hızlandırılmış bir şekilde uygulanabilmektedir. Hidrolik eyleyiciler yüksek deplasman genlikleri uygulanarak yorulma hasarlarının elde edildiği, düşük frekans içeriğinde yapısal testlerin gerçekleştirildiği sistemlerdir. Benzer şekilde elektrodinamik sarsıcılar ise test cihazlarının yada test numunelerinin olası rezonans koşullarını da dikkate alıp, yüksek frekanslar için yorulma testlerinin gerçekleştirildiği sistemlerdir [1]. Geliştirilmekte olan her türlü askeri ve ticari araçların süspansiyon sistemlerinin ters transfer matrisleri oluşturularak yol verileri simülasyon verilerine çevirmekte ve araçların gövde/süspansiyon aksamalarının hızlandırılmış ömür testleri gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda farklı sinyal simülasyon yetenekleriyle doğal frekans taramaları, titreşim, gürültü ve konfor çalışmaları da yapılabilmektedir. Şekil 6.1’de test süreçlerinin takip edildiği 4Poster simulatör sistemine ait fotoğraflara yer verilmiştir.



Şekil 6.1. 4Poster sisteminde gerçekleştirilen dayanım testi örnekleri

6.1. 4Poster Sisteminin Özellikleri

Taşıtların hızlandırılmış ömür testlerinin gerçekleştirildiği 4Poster sisteminde ticari veya taktik tekerlekli askeri araçların gövde/süspansiyon doğrulama faaliyetleri yapılmaktadır. Sistem 0-70 Hz frekans ve ± 125 mm deplasman aralığında tüm yol profili sinyallerini oluşturabilmektedir. 4Poster sistemi üç yollu servovalf kontrollü,

dört adet eyleyiciden oluşan hidrolik bir simülör sistemidir. Sistem 3000 psi basınç üretebilen 12 adet pompadan oluşan hidrolik ünite ile beslenmektedir [43]. Farklı aks aralığı ve iz genişliğinde, 5-13 m uzunluk aralığındaki araçların testlerini gerçekleştirmek mümkündür. Şekil 6.2’de 4Poster sisteminde yer alan eyleyici ünite ve pompa grubuna ait fotoğraflara yer verilmiştir.



Şekil 6.2. 4Poster sisteminde ön teker eyleyicisi ve hidrolik güç ünitesi

4Poster sistemine ait teknik özelliklere ve sistem kabiliyetlerine Tablo 6.1’de yer verilmiştir.

Tablo 6.1. 4Poster sistemi teknik özellikleri

Test Sistemi	MTS 320 Serisi 4Poster
Hidrolik Güç Ünitesi	MTS 505 Serisi SilentPro
Hidrolik Pompa Adedi	Hidrolik Kontrol Ünitesinde-12 adet
Maksimum Basınç	21 Mpa (3000 psi)
Ön Aktüatör Statik Gücü	100 kN
Arka Aktüatör Statik Gücü	160 kN
Ön Arka Aktüatör Deplasman Aralığı	± 125 mm
Ön Arka Aktüatör Frekans Aralığı	0 - 70 Hz
Maksimum Aks Aralığı	2200 – 6200 mm
Maksimum İz Genişliği	1350 – 2200 mm

6.2. Test Aracının Hazırlanması

Test aracını iterasyon sürecinde sistem üzerine alınmasından önce bazı hazırlıkların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Sistem üzerinde araç ömür testleri farklı yük koşulları için gerçekleştirilmektedir. Her yük koşulu için yeni bir iterasyon süreci takip edilmektedir. Bu noktada iterasyon öncesi araç yük koşulu kontrol edilmelidir. Aracın lastik basınç değerleri istenen mertebede olmalı ve elektronik kontrollü hava körüklü (ECAS) ticari araçlar için gövde-süspansiyon seviyelemesi doğru yapılmalıdır. Ayrıca iterasyon sürecinde aracın süspansiyon bölgesine yerleştirilecek olan sensörün tipi ve konumu kırıcı parkur data toplama etabını referans alınarak gerçekleştirilmelidir.

6.3. 4Poster Sistemi Data İterasyon Etabı

Test aracının market ve kırıcı yol profilleri hasar korelasyonlarının, mesafe optimizasyonlarının ve ihtiyaç doğrultusunda yapılan kısaltma uygulamalarının gerçekleştirilmesinin ardından elde edilen hedef mesafe değeri dikkate alınarak ömür testinin gerçekleştirildiği istasyon 4Poster sistemidir. Sistem ticari veya taktik tekerlekli askeri bir aracın çeşitli yol profillerinde karşılaşılabileceği farklı frekans ve genlikteki sinyalleri üretme yeteneğine sahiptir. İterasyon sürecinde esas olan kırıcı yol profillerinin mümkün olduğunca gerçeğe yakın bir şekilde, araç modeli transfer matrisi de hesaba katılarak sistemde oluşturulmasıdır. Sistemde farklı sinyal tipleri (ivme, deplasman, gerilme, kuvvet, yük) kullanarak iterasyon gerçekleştirmek mümkündür. Bu uygulamada market ve kırıcı parkur hasar korelasyonu uygulamalarında etkili olan ivme ölçerler kullanılmıştır.

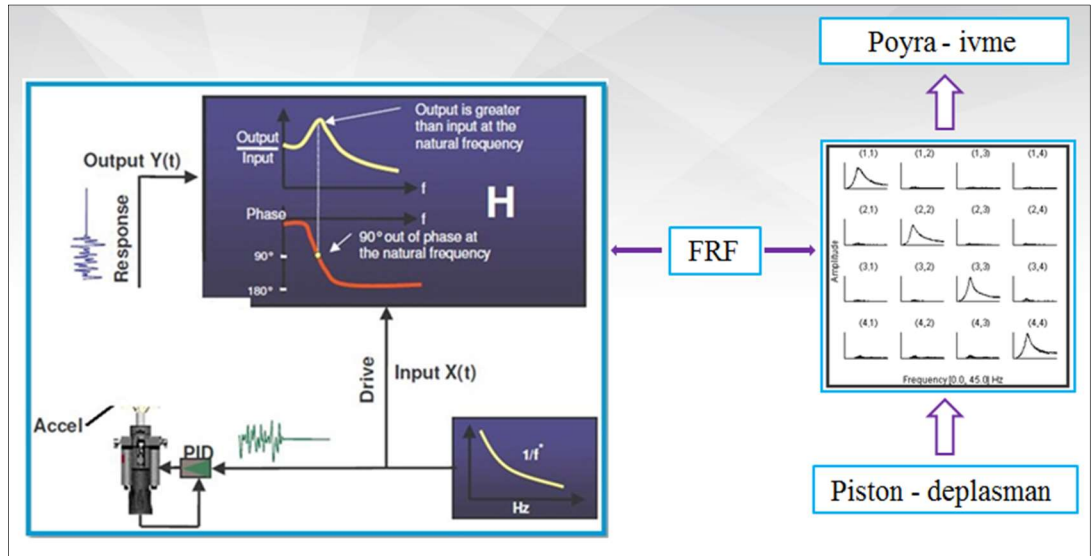
6.3.1. Sinyal İşleme Süreci

Yoldan toplanan ham verilerin sistem iterasyon adımlarında kullanılabilir hale gelmesi için bazı sinyal işleme süreçlerine tabi tutulması gerekmektedir. İterasyon öncesi ham verilerde spike filtreleme, grafiksel düzenlemeler, kayma veya sapma düzeltmeleri, örnekleme sıklığı değişikliği, frekans içeriğinin filtrelenmesi vb. işlemler uygulanmaktadır.

6.3.2. Araç sistem modelinin oluşturulması

Sisteme alınan her aracın her bir yük koşulu için ayrı ayrı araç modelinin oluşturulması gerekmektedir. Bunun için öncelikle aks üzerinde tekerlek merkezlerine en yakın noktalara ivme ölçerler yerleştirilir. Daha sonra sistem eyleyicilerinin yardımıyla tekerleklere farklı frekans ve genlikte bileşenler içeren beyaz gürültü “white-noise” sinyali uygulanır. Aks üzerinde veya tekerlek merkezinde yer alan ivme ölçerlerden bu deplasmanlara karşılık gelen ivme verileri toplanarak sistem yazılımına girdi olarak verilir. Yazılımın sistem modelini oluşturma ara yüzü kullanılarak her bir tekerlek üzerindeki süspansiyonun transfer fonksiyonu hesaplanır ve transfer matrisine (H) yerleştirilerek aracın matematiksel modeli oluşturulur [44]. Şekil 6.3’te 4Poster sisteminde sinyal iterasyonu öncesinde test aracının matematiksel modelinin oluşturulduğu ve 4x4’lük model matrisinin elde edildiği grafiğe yer verilmiştir.

İlgili test aracının transfer fonksiyonu giriş sinyaline karşılık çıkış sinyali bilgisi kestirimi yapmamıza yardımcı olan matematiksel ifade olarak tanımlanabilir. Bu noktada test sürecinde ivme verisi kullandığımız için transfer fonksiyonu birim ifadesi “g / mm” olarak ele alınabilir.

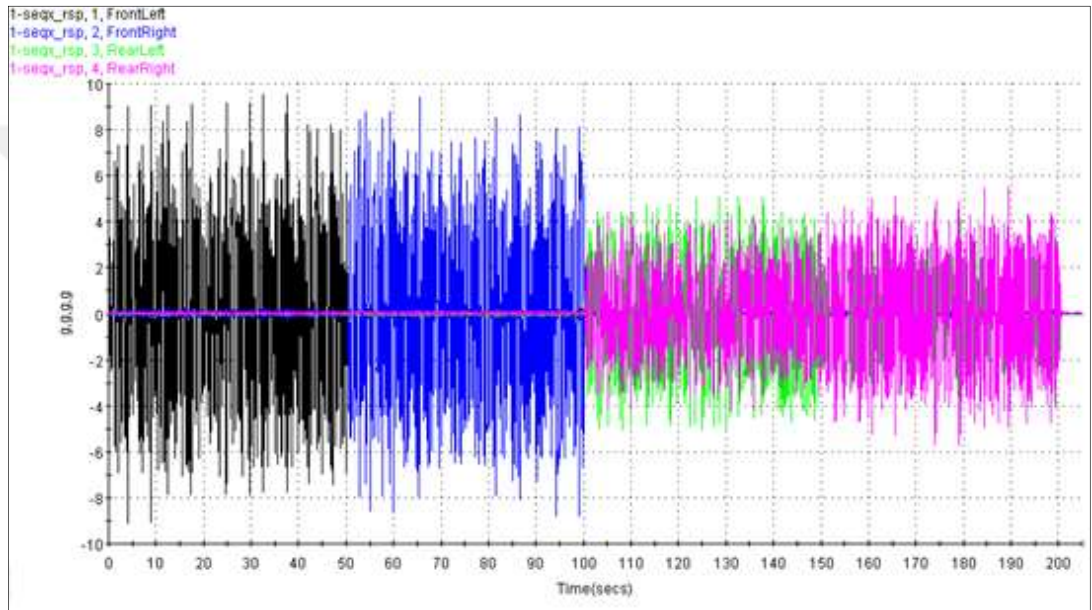


Şekil 6.3. 4Poster sisteminde araç sistem modelinin oluşturulması adımları

Ticari bir aracın model matrisinin çıkarımı safhasında her bir tekere sırasıyla “white noise” sinyali uygulanır. Bu noktada dört teker üzerinde yer alan ivme sensörlerden cevap sinyali toplanır. Dört teker için de tekrarlanan bu uygulamanın sonunda “4 x 4”

'lük bir model matris elde edilir. Bu matris aracın ağırlığı ve süspansiyon davranışı hakkında bilgi ihtiva eden bir transfer fonksiyonudur.

Bir ticari aracın 4Poster sisteminde modelinin oluşturma etabında “white noise” sinyaline karşılık tekerlek merkezinde yer alan ivme ölçerden okunan cevap sinyaline Şekil 6.4.'te yer verilmiştir. Aracın ön aksı bağımsız süspansiyon sistemi arka aks ise rijit aksa sahip olduğu için ön akstan toplanan sinyallerin bağımsız, arka aks sinyallerinin ise üst üste oturduğu söylenebilir.



Şekil 6.4. 4Poster sisteminde araç sistem modelinin oluşturulması adımları

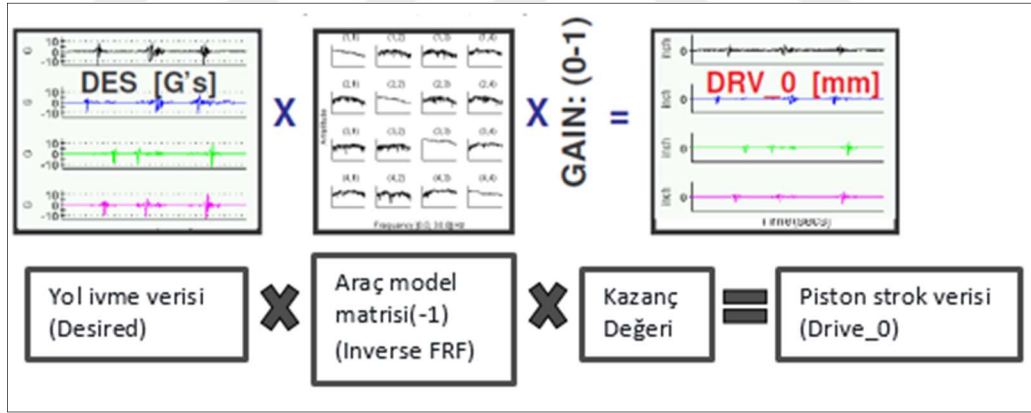
6.3.3. Sinyal iterasyon adımlarının gerçekleştirilmesi

Araç modelinin oluşturulmasının ardından kırıcı parkurda elde edilen ivme datası frekans ve genlik bileşenlerinin sistem eyleyici deplasman sinyali olarak üretilmesinin hedeflendiği iterasyon sürecine geçilmektedir. Bu noktada kırıcı parkur ivme verisi “Desired signal” (Hedef sinyal), “Drive signal” (Eyleyici deplasman verisi), araç aksından ölçülen “Response signal” (Cevap ivme verisi), “Frequency response function-FRF” (Frekans cevap fonksiyonu), kırıcı parkur ivme verisinin kademe kademe kullanılmasını sağlayan “Gain” (Değişken kazanç değeri), “Error signal” (ivme verisi hata değeri), “Correlation factor” (Eyleyici deplasman verisi düzeltme faktörü) ifadeleri sıkça yer almaktadır.

İterasyon süreci verinin uzunluğu, frekans ve genlik bileşenlerinin çeşitliği ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Bu noktada kırıcı yol profil verisi toplama etabında aracın tekerlek merkezine veya akslarına yerleştirilen ivme sensörlerinden elde edilen verilerin mümkün olduğunda kısa aralıklar ile (yaklaşık 5-6 dk) ele alınması gerekir. Veri süreleri arttıkça “Response signal ve Desired signal” arasında hata payında artış gözlenmektedir. Gerekli durumlarda kırıcı yol profil verileri kısa periyotlara bölünerek gerekli sinyal işleme süreçlerinin ardından kullanılabilir [45].

Data iterasyon sürecinde;

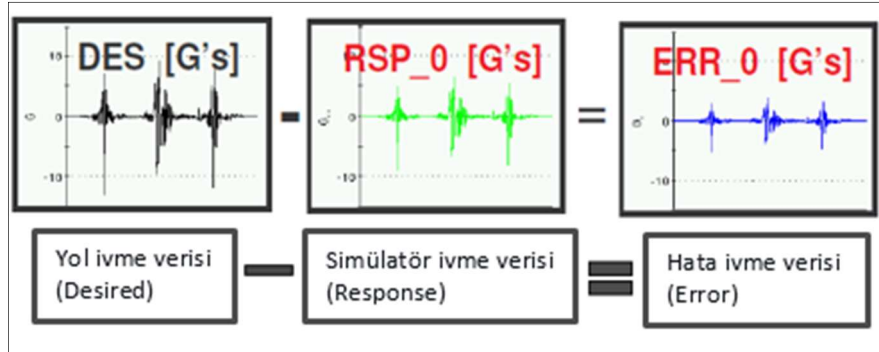
- İlk aşamada “Desired signal” araç model matrisinin tersi ve ilk kazanç değeri ile çarpılır ve “Drive_0 signal” verisi elde edilir. İlk kazanç değeri genellikle % 30-40 seviyesinde seçilir. “Desired signal” genlik mertebesi kademeli olarak kullanılarak “Response_0 signal” hata seviyesinin düşürülmesi amaçlanır. Şekil 6.5’te sinyal iterasyonu sürecinde “Drive_0 signal” (ilk eyleyici deplasman verisi) sinyalinin elde edilme aşamalarına yer verilmiştir.



Şekil 6.5 Desired signal verisi ile Drive_0 signal verisinin elde edilmesi

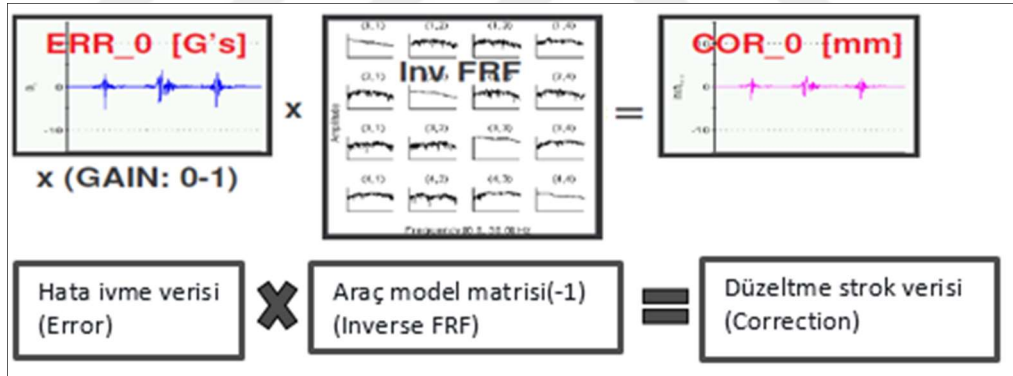
- İkinci aşamada “Drive_0 signal” verisine karşılık elde edilen “Response_0 signal” kullanılır. “Desired signal” ile “Response_0 signal” arasındaki fark bulunur ve “Error_0 signal” verisi elde edilir. Bu hata değeri büyük oranda kazanç değerinin % 30-40 seçilmesinden kaynaklı olmakla birlikte, araç süspansiyonunun karakteristiği, eyleyici sistemin performansı, sensör hassasiyetleri ve sinyal işleme etabındaki kayıplarda bu değere katkı sağlamaktadır. Şekil 6.6’da “Drive_0 signal” sistemde koşturulduktan sonra araç üzerinde bulunan ivme ölçerlerden toplanan

“Response_0 signal” verisinin, “Desired_0 signal” verisinden çıkarılması ve “Error_0 signal” verisinin elde edilme adımlarına yer verilmiştir.



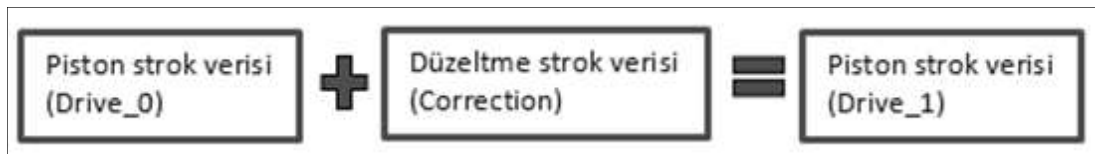
Şekil 6.6. Error_0 signal (ilk hata sinyali) verisinin elde edilmesi

- Üçüncü aşamada “Error_0 signal” aracın ters transfer fonksiyonu ve yeni kazanç değeri ile çarpılarak “Correlation_0 signal” (düzeltme değeri) elde edilir. Şekil 6.7’de sinyal iterasyon sürecinde düzeltme değerinin elde edilme aşamalarına yer verilmiştir.



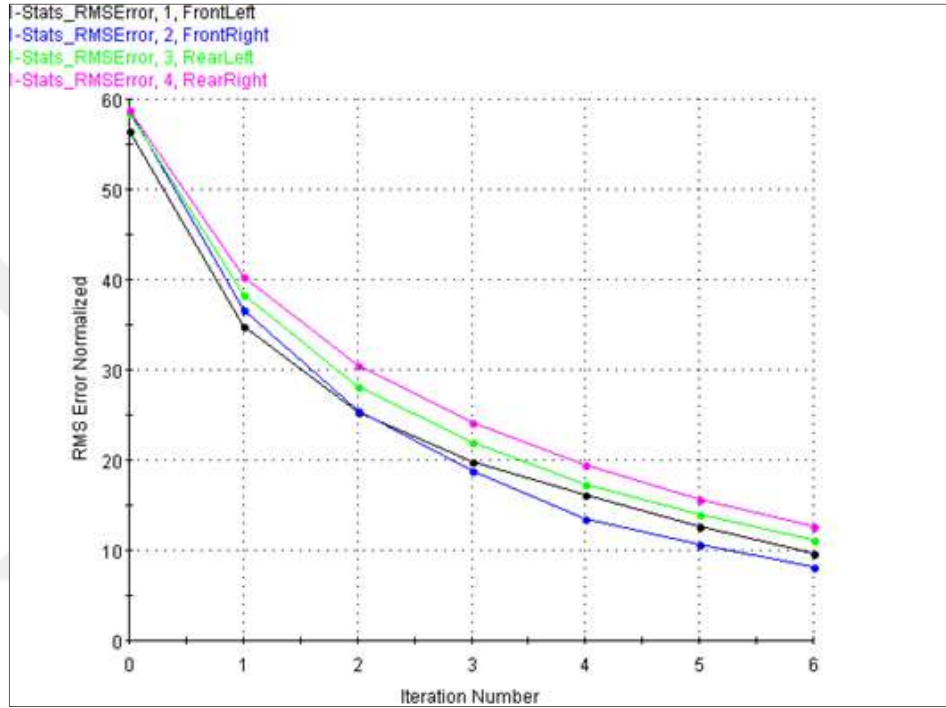
Şekil 6.7. Hata verisi yardımı ile düzeltme değerinin elde edilmesi

- Dördüncü aşamada “Drive_0 signal” verisi ile “Correlation_0 signal” verisi toplanır ve “Drive_1 signal” elde edilir. Şekil 6.8’de sinyal iterasyon sürecinde “Drive_0 signal” ile “Correlation_0 signal” sinyalinin toplanması sonucu “Drive_1 signal” sinyalinin elde edilme aşamalarına yer verilmiştir.

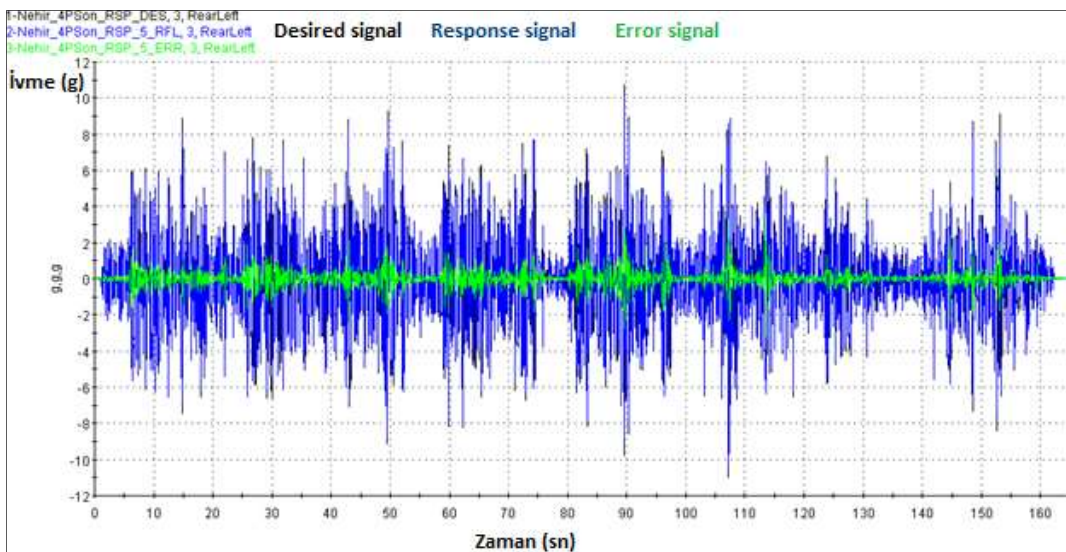


Şekil 6.8. Düzeltme faktörü ile ikinci piston strok verisinin elde edilmesi

Yukarıda yer verilen iterasyon adımları yaklaşık olarak 7-8 kez tekrarlanır ve “Drive_signal” kademeli şekilde artırılarak “Response_signal” elde edilir. İterasyon sürecini tek seferde de gerçekleştirmek mümkündür. “Gain” değeri % 30-40 yerine %100 seçilerek hedef sinyalinin tamamının tek seferde hesaba katılması sağlanır. Fakat bu doğru bir yöntem değildir. Bu şekilde hedef ve cevap sinyalleri arasında yüksek fark oluşmakta ve hata oranı büyümektedir.

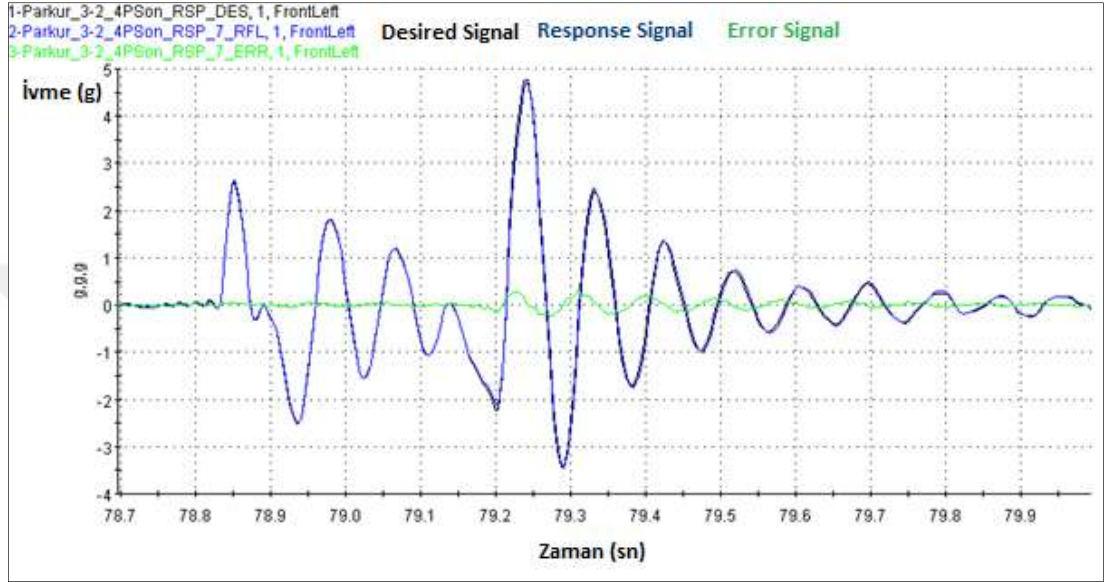


Şekil 6.9. 4Poster sisteminde sinyal iterasyon adımlarının gösterimi



Şekil 6.10 Desired signal, Response signal ve Error signal iterasyon verileri

Şekil 6.10.'da yer alan grafikte üç adet sinyale yer verilmiştir. Bu sinyallerden ilki “Desired signal”, “Response signal” ve aradaki farkı ifade eden “Error signal” ‘dir. “Desired signal” ‘a ait frekans ve genlik bileşenlerine, “Response signal” yaklaştıkça “Error signal” mertebesi düşmektedir. Şekil 6.11’de kırıcı yol profili sinyalinin iterasyonu sürecinde elde edilen yaklaşım sonucunun bir bölümüne yer verilmiştir.



Şekil 6.11. Desired signal, Response signal ve Error signal iterasyon verileri

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bir ticari araçta hızlandırılmış ömür testleri süreçlerinde takip edilen sinyal analizi ve hasar korelasyon yöntemleri incelenmiştir. Bir aracın gövde ve süspansiyon bileşenlerinin doğrulanması sürecinde müşteri kullanım profillerini referans alınarak gerçekleştirilen hızlandırılmış test yöntemleri üzerinde durulmuştur. Test sürecinde veri toplama safhası öncesinde, ilgili aracın müşteri kullanım profillerinin belirlenmesi ve bu süreçte takip ettiği yol profillerinin katılım değerlerinin tesbit çalışmaları yürütülmüştür. Benzer şekilde müşteri kullanım profillerinde araca etkiyen hasarı göreceli olarak karşılayan, yoğun hasar içeriğine sahip kırıcı yol profillerinin tesbiti ve bu süreçte kaydedilen hız değerleri üzerinde durulmuştur. Test etabında araç üzerinde enstrümantasyonu gerçekleştirilen farklı özelliklerdeki sensörler ve bu sensörlerin konumlandırıldığı noktalarına değinilmiştir. Veri toplama safhasının ardından Ncode Glyphworks yazılımında çeşitli bloklar yardımıyla yapılan sinyal temizleme süreçleri anlatılmıştır. İlgili araç için öngörülen 1 milyon km market ömür hasarını hızlandırılmış bir şekilde uygulamak için müşteri kullanım profilleri ve kırıcı yol profilleri arasında Ncode Glyphworks yazılımında bulunan RDS yönteminde “Rupp” yaklaşım metodu ile göreceli hasar hesaplamaları yapılmış ve “Test Match” histogram eşleştirme metodu ile hasar korelasyonları gerçekleştirilmiştir. Araç süspansiyonu üzerinden toplanan 4 adet (z eksen) ivme, 12 adet (x,y,z eksen) ivme sinyali ile araç gövdesi ve süspansiyonu üzerinden toplanan 5 adet strain verisi kullanılarak göreceli hasar hesapları yapılmıştır.

Yapılan hesaplamalarda 4 adet ivme verisi ile en başarılı korelasyon sonuçlarına ulaşılmıştır. 1 milyon km market mesafe değerine karşılık 32 bin km (≈ 30 kat hızlandırılmış sonuç) kırıcı yol profili mesafe değeri elde edilmiştir. 12 adet ivme verisi ile yapılan korelasyon çalışmasında bu değer 39 bin km olarak (≈ 26 kat hızlandırılmış sonuç) hesaplanmıştır. 5 adet strain verisi yardımıyla yapılan korelasyon sürecinde 42.5 bin km kırıcı yol profili mesafe değeri (≈ 23 kat hızlandırılmış sonuç) elde edilmiştir. Korelasyon sürecinde süspansiyon bölgesinden toplanan ivme verileri ile daha yakın histogram eşleştirmeleri sağlanmıştır. Elde edilen

sonuçlardan yola çıkarak ≈ 36 bin km hızlandırılmış test çözümü uygun görülmüştür. Böylece test mesafe değeri 25 kat hızlandırılmıştır. Bu süreçte dikkat edilmesi gereken nokta hesaplanan test mesafe değerinin hangi yöntem ile araç hızlandırılmış test sürecine uygulanacağıdır. Hızlandırılmış test süreci standartlarda tanımlı yoğun hasar içeriğine sahip kırıcı yol profillerinde (Proving ground) yada simülatör sistemlerinde uygulanabilmektedir. Yanal yüklerin yeterince temsil edilemeyeceği simülatör sistemleri için 4 adet ivme verisinin (z eksen) korelasyon sonuçlarını uygulamak yeterli iken, yanal yüklerin uygulanabildiği kırıcı parkurlarda 12 adet ivme verisi ile yapılan korelasyon sonuçlarını uygulamak daha gerçekçi olacaktır. Bu süreçte emniyet katsayıları hesaba katılıp, kırıcı yol profili veri toplama sürecinde gerçekleştirilen slalom senaryoları da dikkate alındığında 12 adet ivme verisi ile korelasyon çözümünü uygulamak uygun görülmüştür.

Yapılan korelasyon çalışmaları farklı yöntemler ile doğrulanmıştır. İlk adımda farklı parkurlardan geçiş esnasında ivme ve strain verilerinde kaydedilen birim hasarlar göreceli olarak kıyaslanmıştır (Şekil 5.13 ve Şekil 5.14). Hem müşteri kullanım profillerinden hem de kırıcı yol profillerinden geçiş esnasında kaydedilen strain ve ivme verilerinin hasar değerleri kendi içinde yakın mertebelerde kaydedilmiştir. “Level-crossing” saydırma yöntemi yardımıyla 12 adet ivme verisiyle RDS metodunda elde edilen sonuçların doğrulanması hedeflenmiştir. Bu yöntemde araç üzerinde farklı noktalardan toplanan ivme ve strain verilerinin genlik mertebe değerleri ve bu mertebelerin tekrar sayıları incelenmiştir. Özellikle düşey ekseninde toplanan ivme verileri ile araç gövdesinde toplanan strain verilerinde başarılı bir korelasyon sağlanmıştır.

Hasar korelasyon süreçlerinde hedef mesafe değerinin kısaltılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmaların yanında toplam test süresini de kısaltacak bir adım daha uygulanmıştır. Bölüm 3’te belirtilen; sinyalin hasar seviyesini büyük oranda koruyarak zamana bağlı olarak kısaltılması yöntemi ile test süresinin düşürülmesi hedeflenmiştir. Kırıcı yol profilleri içerisinde yer alan Sakarya-Kocaeli illeri çevresinden toplanan yoğun hasar içeriğine sahip yol verileri yaklaşık olarak % 30 oranda kısaltılmıştır. Ford fabrikasında yer alan dayanım parkurundan elde edilen veriler standartlarda tanımlı genlik, frekans ve faz içeriğine sahip olduğu için değişikliğe gidilmemiştir. Kısaltma işlemi Ncode Glyphworks yazılımında sanal bir S-N eğrisi tanımlayıp, yol verilerinin

hasar değeri düşük b6l6mlerinin çıkarılması ile gerçekleştirilmiştir. Ham veri ve kısaltılmış verilerin frekans içerikleri karşılaştırılmış ve enerji seviyelerinin b6y6k oranda korunduğu tespit edilmiştir. Ham veride % 30 oranda kısaltma yapılmasına rağmen, hasar içeriğinin % 95-97 oranda korunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Son b6l6mde hızlandırılmış test s6relerinin takip edildiği sim6lat6r sistemi tanıtılmış ve sim6lat6r sisteminde kırıcı yol profillerinin oluşturulduğu adımlar incelenmiştir. İvme verilerinin piston deplasman stroklarına d6n6řt6r6lmesi s6recinde gerçekleştirilen, sistem modeli oluşturma ve sinyal iterasyon s6releri g6zden geçirilerek optimal bir test y6ntemi sunulmuştur.



KAYNAKLAR

- [1] <https://www.horiba-mira.com/our-services/vehicle-durability-testing/> (Ziyaret tarihi: 18 Şubat 2017).
- [2] Bayram H., Çokal İ., Usta E., Örme Şasili Otobüsün Süspansiyon Geometrisi ve Komponentlerinin Hidrolik Yol Simülatörü Üzerinde Yorulma Etkisi İncelenerek Optimize Edilmesi, 6. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, Türkiye, 04-05 Haziran 2012.
- [3] Yay K., Ereke M., Hızlandırılmış Taşıt Ömür Testlerinde Yol Verisi Kullanımına Yeni Bir Yaklaşım, *İTÜ Dergisi*, 2003, **2**(5), 61-73.
- [4] <https://www.alamy.de/fotos-bilder/tipped-truck.html> (Ziyaret tarihi: 24 Mayıs 2017).
- [5] Kaya M. E., Ürün Doğrulama Test Pistleri, *Standart Dergisi*, 2011, **46**, 14-23.
- [6] <https://infraestructura.info/2018/idiada-spain.asp> (Ziyaret tarihi: 27 Mayıs 2017).
- [7] <http://www.millbrook.co.uk/vehicle-durability/> (Ziyaret tarihi: 12 Mart 2017).
- [8] <https://www.horiba-mira.com/our-services/test-engineering> (Ziyaret tarihi: 01 Haziran 2017).
- [9] <https://www.alamy.com/stock-photo/tata-bus.html> (Ziyaret tarihi: 03 Haziran 2017).
- [10] Bayram H., Çokal İ., Usta E., Yeni Nesil Zırhlı Aracın Ömür Testinin Hızlandırma Sürecine Yönelik Test ve Doğrulama Faaliyetleri, 7. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, Türkiye, 26-27 Mayıs 2014.
- [11] <http://www.millbrook.co.uk/sectors/bus-truck-and-off-highway/> (Ziyaret tarihi: 03 Haziran 2017).
- [12] Akarsu C., Bir Ticari Kamyon Şasisine Bağlı Parçaların Titreşim Kaynaklı Yorulma Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 349646.
- [13] Kağnıcı F., Ulaş B., Araç Yorulma Analizi Sonucuna Göre Hasar Görülen Parçanın Dayanım ve NVH Açısından İyileştirilmesi, 6. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, Türkiye, 4-5 Haziran 2012.
- [14] Miner M., Cumulative Damage in Fatigue, *Transaction of ASME Journal of Applied Mechanics*, 1945, **12**, 159-164.

- [15] Aksoy M., Yılmazçoban K., Kahraman Y., Ticari Yarı Römork Tanker Şasisinin Dayanım Testlerinde Kullanılacak Yol Profiline Müşteri Kullanım Şartlarına Göre Belirlenmesi ve Optimize Edilmesi, *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2015, **19**(3), 257-266.
- [16] Morrow J., Fatigue Design Handbook Advances in Engineering, *Society of Automotive Engineering*, 1968, **4**, 22-39.
- [17] Arıdurdu S., Fatigue Life Calculations By Rainflow Cycle Counting Method, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 2004, 153258.
- [18] <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Testing-Knowledge-Base/What-is-a-SN-Curve/ta-p/355935> (Ziyaret tarihi: 13 Haziran 2017).
- [19] Yolaç D., Bir Yolcu Otobüsünün Farklı Yol Kategorilerine Göre Ömrünün Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 315249.
- [20] https://www.efatigue.com/training/Chapter_9.pdf (Ziyaret tarihi: 15 Haziran 2017).
- [21] Bayraktar F., Belek T., Çamaşır Makinası Dinamik Davranışının Deneysel ve Teorik İncelenmesi, *İTÜ Dergisi*, 2006, **5**(2), 98-110.
- [22] Nopiah M., Khairir I., Peak-Valley Segmentation Algorithm for Fatigue Time Series Data, *WSEAS Transactions on Mathematics*, 2007, **12**(7), 698-707.
- [23] Andrew H., Methods for Accelerating Dynamic Durability Tests, *9th International Conference on Recent Advances in Structural Dynamics*, Southampton, UK, 3-5 July 2006.
- [24] <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Testing-Knowledge-Base/Rainflow-Counting/ta-p/383093> (Ziyaret tarihi: 13 Temmuz 2017).
- [25] Halfpenny A., A Frequency Domain Approach for Fatigue Life Estimation from Finite Element Analysis, *10th Conference on Damage Assessment of Structures*, Dublin, Ireland, 8-10 July 2013.
- [26] Aktaş G., Ön Gerilmeli Beton ve Betonarme Prefabrik Yapı Elemanı Üretimi İçin Bilgisayar Destekli Kalıp Tasarımı, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2005, 197948.
- [27] Kuntay A., İpek G., Güngör S., Hızlandırılmış Ömür Test Prosedürü Geliştirilmesi, *2. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, Türkiye, 21-23 Haziran 2004.
- [28] Toprak M., Ereke M., Ticari Taşıt Akslarının Dayanım Testlerinde Kullanılacak Yüklerin Müşteri Çevrimindeki Taşıtların Ölçümlerinden Elde Edilmesi, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 2014, **55**(651), 26-42.

- [29] <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/> (Ziyaret tarihi: 12 Temmuz 2017).
- [30] <https://www.hbm.com/en/1774/somat-edaq-rugged-mobile-data-acquisition-system/> (Ziyaret tarihi: 12 Temmuz 2017).
- [31] Böhm M., Nieslony A., Strain-based Multiaxial Fatigue Life Evaluation Using Spectral Method, *3rd International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading*, Prague, Czech Republic, 23-26 March 2015
- [32] <http://www.pcb.com/TestMeasurement/Accelerometers> (Ziyaret tarihi: 18 Temmuz 2017).
- [33] <https://www.omega.com/prodinfo/straingages.html> (Ziyaret tarihi: 23 Temmuz 2017).
- [34] Şener A. Ş., Araç Parçaları Yorulma Ömürlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Belirlenmesi, *Electronic Journal of Vehicle Technologies*, 2010, **2**, 13-28.
- [35] A. Halfpenny, S. Hussain, S. Mcdougall and M. Pompetzki, Investigation Of The Durability Transfer Concept For Vehicle Prognostic Applications, *NDIA Ground Vehicle System Engineering Symposium*, Münich, Germany, 11-14 October 2010.
- [36] Şener A. Ş., Determination Of Vehicle Components Fatigue Life Based On FEA Method And Experimental Analysis, *International Journal Of Electronics*, 2010, **2**(1), 133-145.
- [37] Duruş M., Kırkayak L., Fatigue Life Prediction of Z Type Leaf Spring and New Approach to Verification Model, *3rd International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading*, Prague, Czech Republic, 23-26 March 2015
- [38] Şener A. Ş., Steering Wheel Tie Rod Fatigue Life Determination According to Turkish Mission Profiles, *International Journal of Engineering Technologies*, 2016, **2**(2), 56-63.
- [39] Güvenç A., Gürel G., Bostalı M, Binek Araç Salıncağında Oluşan Gerilmelerin Çok Kütleli Yarım Araç Modeli Kullanılarak Belirlenmesi, *Uluslararası Katılımlı 17. Makina Teorisi Sempozyumu*, İzmir, 14-17 Haziran 2015
- [40] Biradar G., Dr. Maruthi B., Channakeshavalu H., Life Estimation of Double Wishbone Suspension System of Passenger Car, *International Journal For Technological Research In Engineering*, 2015, **2**(12), 3205-3211.
- [41] Mo K., Suh K., New Approach in Vehicle Durability Evaluation, *FISITA Automotive Congress*, Seoul, North Korea, June 12-15 2000.
- [42] https://www.servotestsystems.com/images/PDFs/ST_brochures/07_4-Poster_Vehicle_Ride-simulation.pdf (Ziyaret tarihi: 9 Eylül 2017).

- [43] <https://www.mts.com/en/products/producttype/test-systems/simulation-system/road-simulation/tire-coupled/index.htm> (Ziyaret tarihi: 12 Kasım 2017).
- [44] Rupp A., Masieri A., Durability Transfer Concept for the Monitoring of the Load and Stress Conditions on Vehicles, *Innovative Automotive Technology*, Bled, Slovenia, 21-22 April 2005.
- [45] Liu J., Ramnath V., Road Load Data for Fatigue Analysis in Concept Phase, Master's Thesis, Chalmers University of Technology, *Department of Applied Mechanics*, Göteborg, Sweden, 2016.



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Bayram H., Çokal İ., **Talay M.**, Usta E., Yeni Nesil Zırhlı Aracın Ömür Testinin Hızlandırma Sürecine Yönelik Test ve Doğrulama Faaliyetleri, 7. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa ,Türkiye, 26-27 Mayıs 2014.
- [2] Bayram H., Çokal İ., **Talay M.**, Usta E., Askeri Bir Araçta Gövde ve Süspansiyon Doğrulama Faaliyetlerinde Hızlandırılmış Test Süreçleri, 7. *Savunma Teknolojileri Kongresi*, Ankara ,Türkiye, 25-27 Haziran 2014.
- [3] Şenveli E., **Talay M.**, 8X8 Bir Askeri Aracın Titreşim Probleminin Kaynağının Tespiti, 9. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa ,Türkiye, 7-8 Mayıs 2018.
- [4] **Talay M.**, Ertunç H. M., An Accelerated Durability Test of a Commercial Vehicle Based on Customer Usage Profiling Method, 9. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa ,Türkiye, 7-8 Mayıs 2018

ÖZGEÇMİŞ

Kasım 1986'da Kütahya'da doğmuştur. 2001 yılında ortaokulu Kütahya – Ali Güral Lisesinde ve lise öğrenimini ise, Kütahya – Özel Konuralp Lisesi'nde 2004 yılında tamamlamıştır. 2004 yılında Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünü kazanmış olup 2009 yılında mezun olmuştur. 2010 yılında askerlik görevini yerine getirmiştir. Bozüyük - Demirer Kablo firmasında Yüksek Gerilim Yer Altı Kabloları Aksesuarları Geliştirme Bölümünde Ar-Ge mühendisi olarak 2 yıl boyunca görev yapmıştır. 2012 yılında Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi firmasında Test ve Validasyon Müdürlüğünde, Test ve Simülasyon Mühendisi olarak işe başlamıştır. 2015 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. 2017 yılı Nisan ayında Uzman Test ve Simülasyon Mühendisi olarak ünvan almıştır. 2018 yılı Nisan ayında NVH ve Yorulma Testleri Süreç Yöneticisi olarak ünvan almış olup halen Otokar Otomotiv ve Savunma Sanayi firmasında çalışmalarına devam etmektedir.