

SALINCAK KOLU İÇİN HIZLANDIRILMIŞ ÖMÜR TEST PROSEDÜRÜ GELİŞTİRİLMESİ

Alimurtaza RUTCİ, Ahmet ÇAĞLAYAN, Burak ERDAL

^{1,2,3}Teknorot Otomotiv Ürünleri A.Ş Ar-Ge Merkezi, Düzce –TURKİYE
^{4,5}Bias Mühendislik, İstanbul, TÜRKİYE

ÖZET

Yapılan çalışmada, hafif ticari bir araç için üretilen salıncak koluna, tasarım ömrü boyunca karşılaşılabileceği çalışma koşullarında gelen kuvvetler belirlenmiş ve hızlandırılmış ömür test spektrumu oluşturulmuştur. Salıncak koluna iki eksende gelen kuvvetler, kuvvet kalibrasyonu yöntemi ile belirlenmiştir. Belirlenen hedef kullanım ömür dağılımına göre, toplanan veriler kullanılarak salıncak kolu için bir yük kolektifi oluşturulmuş, sonrasında ise yapı üzerindeki tüm pozisyonlarda eş hasarı oluşturacak hızlandırılmış ömür test spektrumu verisi oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hızlandırılmış Ömür Testi, Kuvvet Kalibrasyonu, Yol Verisi, Salıncak Kolu, PDI

ABSTRACT

The aim of this study is to determine service loads on a control arm of a light commercial vehicle. The study contains strain gauge applications and calibration measurements under known loads. Acquired strain data is used to determine the external loads on defined design test scenarios. After creating the load spectrum, accelerated fatigue test spectrum is calculated which represents equal damage with load spectrum for the whole individual locations on the structure.

Keywords: Accelerated Fatigue Test, Back to Back Calibration, Field Data Acquisition and Processing, Optimized Testing, Potential Damage Index

1. GİRİŞ

Salıncak kolu, otomobilde ön tekerleklerin şaseye bağlantısını sağlayan elemanlardır. Salıncak kolu şaseye burçlar vasıtasıyla araç sürüş ekseninde dönme serbestliği verilerek monte edilmektedir. Tekerlek tarafından yapıya araç sürüş ekseninde ve aracın yanal yönünde kuvvet girişi olmaktadır. Aracın düşey ekseninde, salıncak kolunun dönme serbestliği bulunduğu için herhangi bir kuvvet oluşmadığı kabul edilmiştir.

Bu iki eksendeki kuvvetlerin doğrudan ölçümü için tekerlek yük ölçüm sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler, araç tekerleğine göre özel olarak üretilmiş bir jant ve özel olarak geliştirilmiş yük hücreleri ile veri aktarımı için telemetri veya slip-ring sistemleri gerektirmektedir. Dolayısıyla, bu sistemlerin uygulanması otomotiv yan sanayi firmaları için hatta çoğu zaman ana sanayi için ekonomik olarak uygulanabilir olmamaktadır. Yapılan çalışmada, sahadan gelen bu kuvvetler, parçanın yük hücresine dönüştürülmesi ile ölçülmüştür. Kuvvetlerin ölçümü için, iki eksende gelecek olan kuvvetler altında parça üzerinde birbirinden olabildiğince lineer bağımsız cevap verecek iki noktaya lineer strain gauge uygulanmış ve bilinen kuvvetler altında kalibre edilmiştir.

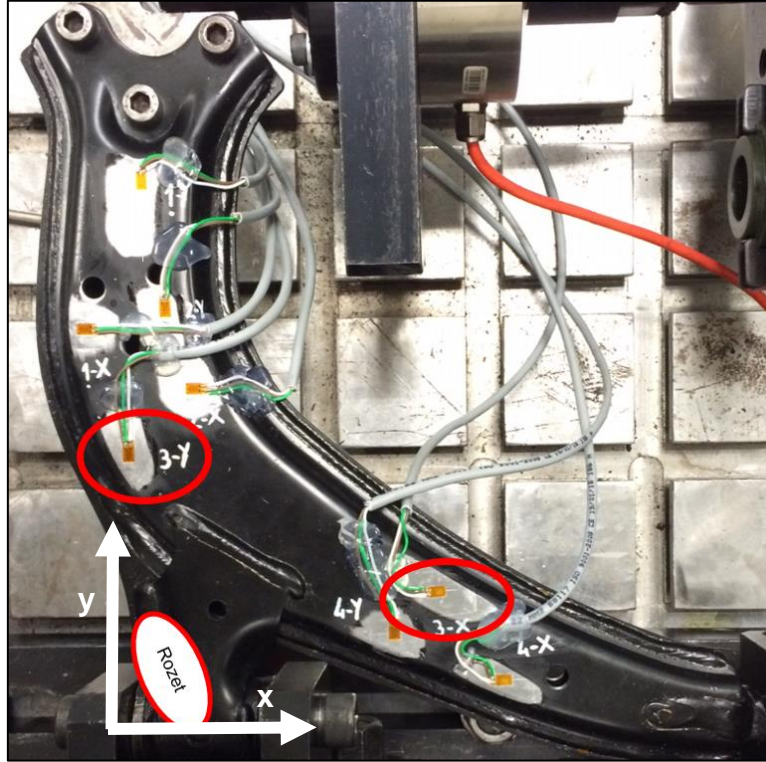
Enstrümanite edilmiş salıncak kolu araca monte edilerek, aracın hedef kullanım ömrünü geçireceği şartlarda saha verileri toplanmıştır. Salıncak koluna sahada gelen kuvvetlerin genlik ve faz ilişkisi her an için değiştiğinden, yapı üzerinde en büyük gerilmenin görüldüğü bölgeler değişmektedir. Bu durumda, çalışma sonunda elde edilmek istenen blok yükleme test senaryosunun, saha verilerinin

yapı üzerinde sebep olduğu hasar dağılımını tam olarak yansıtıp yansıtmadığını belirlemek önem arz etmektedir.

Çalışma kapsamında, salıncak koluna ömrü boyunca karşılaşılabileceği çalışma koşullarında gelen kuvvetler kuvvet kalibrasyonu yöntemi ile ölçülmüş ve iki eksenli hidrolik test sisteminde yapılacak olan hızlandırılmış ömür testi için gerekli blok yükleme test verileri oluşturulmuştur.

2. KUVVET KALİBRASYONU YÖNTEMİ

Çalışmada kullanılan salıncak kolu Şekil 1’de gösterilmektedir. Kuvvet kalibrasyonu için farklı pozisyonlara strain gauge’ler uygulanmış ve iki eksenli bilinen kuvvetlerin altında birim uzamalar ölçülmüştür.



Şekil 1 Salıncak Kolu – Kalibrasyon Ölçümleri

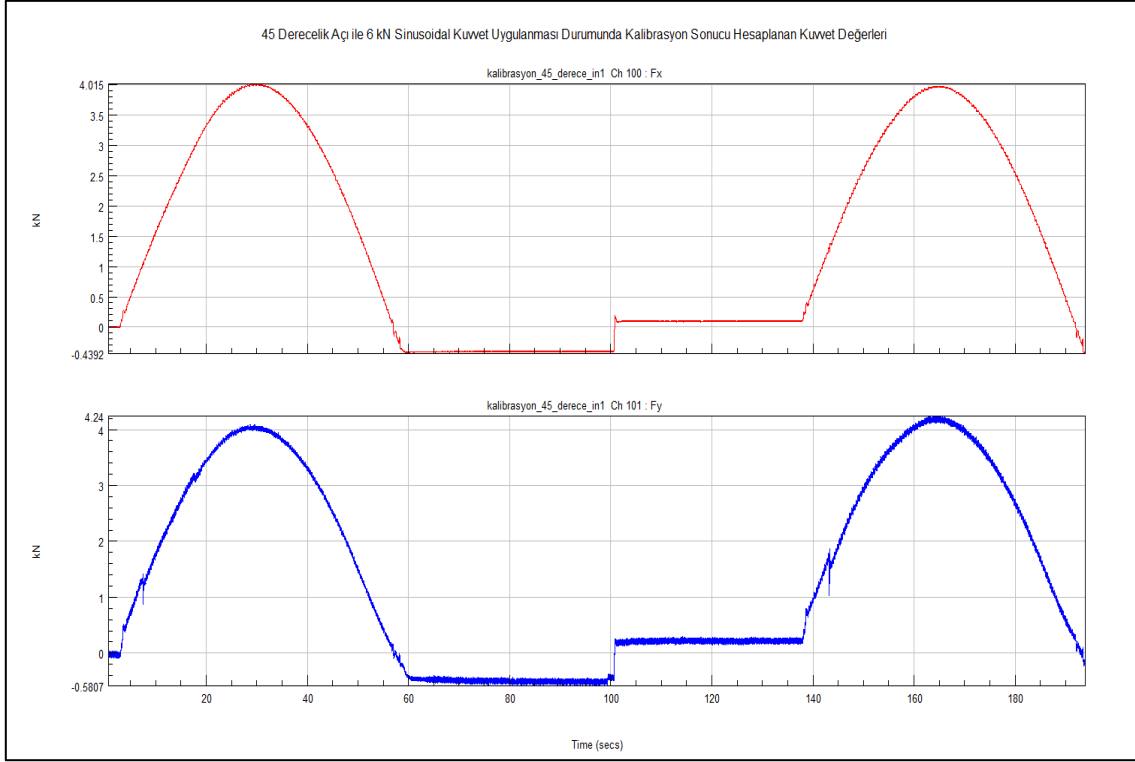
İki eksenli yapılmış olan kalibrasyon ölçümleri sonrasında hesaplanan kalibrasyon formülleri aşağıda gösterilmektedir.

$$F_x = A \varepsilon_{x3}$$

$$A = \frac{F_x}{\varepsilon_{x3}} = \frac{6}{248.1} = 0.02420$$

$$F_y = 0.1109(\varepsilon_{y3} + 1.0484\varepsilon_{x3})$$

Kalibrasyonun doğruluğunu gözlemek üzere 45 derecelik açı ile uygulanan 6kN'luk bilinen kuvvet altında, F_x ve F_y kuvvetleri Şekil 2'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.



Şekil 2 Hesaplanan Kuvvetler – F_x ve F_y [kN]

Bu kalibrasyon katsayılarına göre 6 kN'luk kuvvetin 45 derecelik açı ile uygulanması durumunda, F_x kuvvetinde %5 mertebesinde bir hata gözlenmiştir.

4. YORULMA HESABI

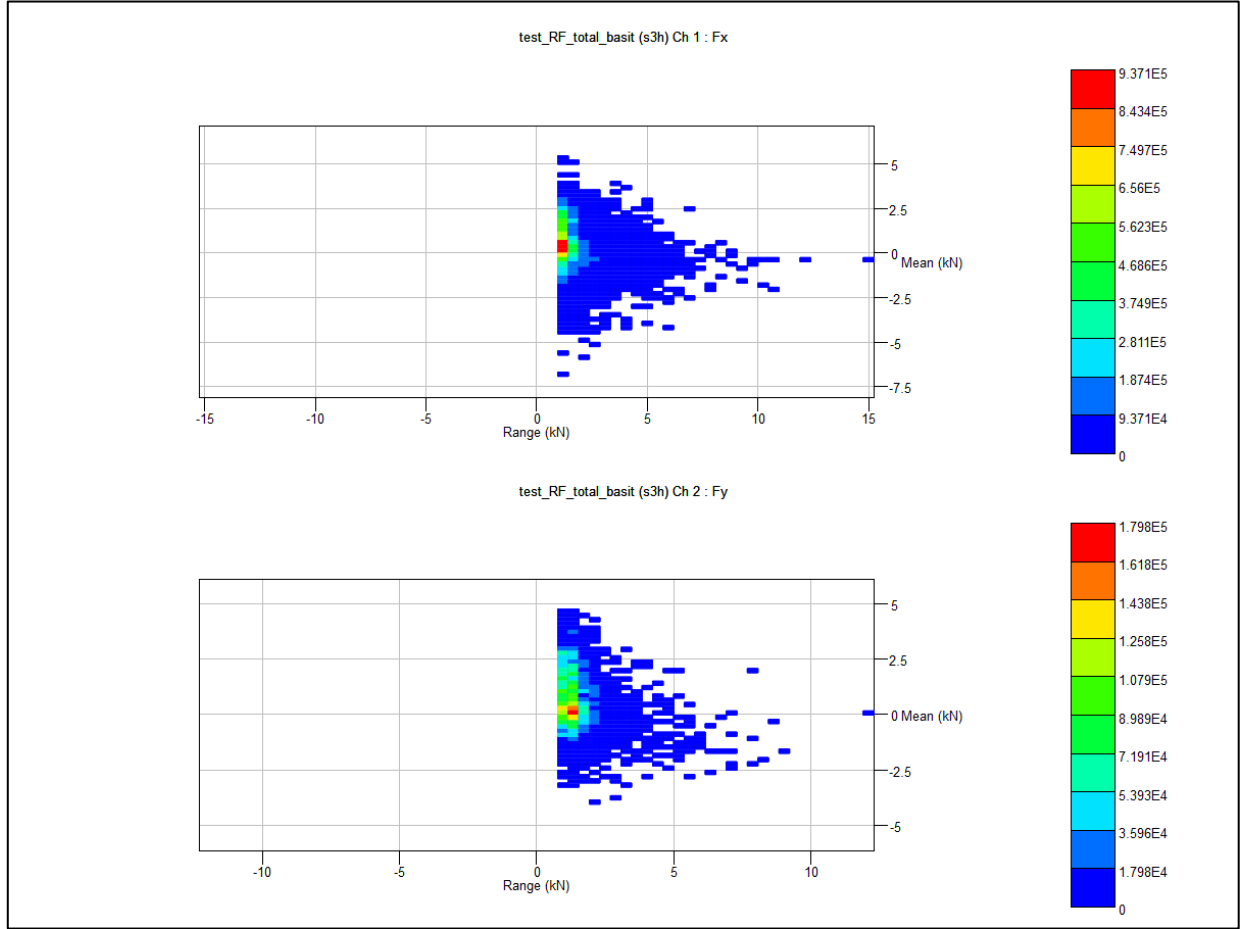
4.1. Dizayn Spektrumu ve Yük Spektrumunun Belirlenmesi

Aracın kullanım ömrü boyunca maruz kalacağı senaryolar Tablo 1 ile gösterilmektedir.

Tablo 1 Hedef % Kullanım Ömrü Dağılımı

%	Köy Yolu	Şehirler Arası	Otoyol	Şehir İçi
Boş	5.0%	15.0%	10.0%	20.0%
Dolu	5.0%	15.0%	10.0%	20.0%

Aracın 1 milyon km'lik hedef kullanım ömrü için Tablo 1'de gösterilen koşullarda yol verisi toplanmıştır. Sonrasında ise toplanan yol verileri mesafe üzerinden hedef kullanım ömrüne ekstrapole edilerek yük spektrumu elde edilmiştir. Bu işin sonunda, salıncak kolu için yük spektrumu oluşturulmuştur. Şekil 3'te 1 milyon km için hesaplanan yük spektrumu Rainflow diyagramı üzerinden gösterilmektedir.



Şekil 3 Yük Spektrumu – Rainflow Diyagramı

4.2. Kuvvet – Yorulma İlişkisi: Kuvvet Verilerinden Yorulmaya Geçiş

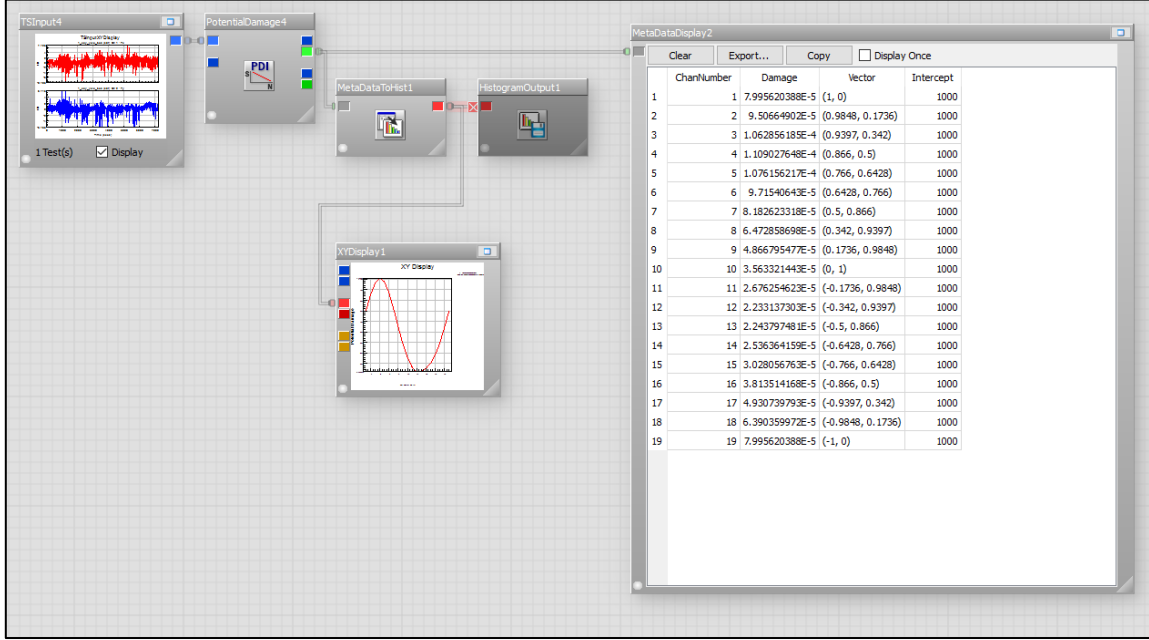
Yorulma analizlerinde, yük altındaki parça veya sistemin, hedef kullanım ömrü boyunca maruz kalacağı tüm senaryolar ve yükleme durumları için en kritik bölgesi biliniyorsa, doğrudan o bölgeye uygulanan rozet strain gauge'den hesaplanan eş değer gerilme – zaman verisi ile ömür hesabına geçilebilir. Kuvvet verisinden, doğrudan bir ömür hesabı yapmak, elde başka veri veya sonlu elemanlar modeli olmadan imkansızdır.

Bu çalışma kapsamında, yapıya farklı senaryolarda gelen kuvvetler, kalibrasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Yapı, bu kuvvetlerin etkisi altında çalışmaktadır. Farklı senaryolarda, farklı yön ve genliklerde gelen kuvvetler etkisinde yapı üzerindeki gerilme dağılımı değişiklik göstermektedir. Bu doğrultuda, hesaplanan kuvvet verilerinden, yapının üzerindeki farklı bölgelerin yorulma ömrüne geçmek için sonlu elemanlar modeli kullanılabilir. Sonlu elemanlar modeline yük spektrumu uygulanarak, yapı üzerindeki tüm gerilme dağılımı çıkartılarak, yorulma ömrü hesaplanabilir. İkinci bir yöntem ise, yapı üzerine gelen kuvvetlerin, bileşkesi bir olacak şekilde düzenlenen birim vektörler ile çarpılarak, yeniden oluşturulmasıdır. İstenilen sayıda oluşturulan bu vektörler, yapıya gelen kuvvetlerin lineer kombinasyonlarıdır ve yapı üzerindeki farklı bölgelerin yorulma hasarının tespiti için kullanılabilir.

Çalışma kapsamında, farklı senaryolar için hesaplanan kuvvet – zaman verilerinden, on dokuz adet vektör oluşturulmuştur. Bu vektörler ise eğimi -3 olan jenerik bir S – N eğrisinde yorulma analizine tabii tutularak, potansiyel hasarlar hesaplanmıştır.

Farklı senaryolarda, on dokuz farklı vektörün potansiyel hasarı ve yapının belirlenen tasarım ömrü boyunca alacağı toplam hasar, birikimli hasar kabulü ile toplanarak hesaplanmıştır.

Vektörlerin oluşturulmasında kullanılan nCode akış şeması Şekil 4'te tek bir senaryo için gösterilmektedir.



Şekil 4 Vektörlerin Oluşturulmasında Kullanılan nCode Akış Şeması

Çalışma kapsamında, tüm senaryolar için bu vektörler oluşturulmuş ve tüm senaryoların toplam potansiyel hasarları 1 milyon km hedef için toplanarak hesaplanmıştır.

Tablo 2 Tasarım Ömrü Boyunca Toplam Potansiyel Hasar Değerleri

Vektör No	Vektör	Toplam Pot. Hasar
1	(1, 0)	0.2313
2	(0.9848, 0.1736)	0.2651
3	(0.9397, 0.342)	0.2820
4	(0.866, 0.5)	0.2782
5	(0.766, 0.6428)	0.2540
6	(0.6428, 0.766)	0.2144
7	(0.5, 0.866)	0.1669
8	(0.342, 0.9397)	0.1198
9	(0.1736, 0.9848)	0.0804
10	(0, 1)	0.0522
11	(-0.1736, 0.9848)	0.0357
12	(-0.342, 0.9397)	0.0288
13	(-0.5, 0.866)	0.0309
14	(-0.6428, 0.766)	0.0426
15	(-0.766, 0.6428)	0.0648
16	(-0.866, 0.5)	0.0981
17	(-0.9397, 0.342)	0.1403
18	(-0.9848, 0.1736)	0.1872
19	(-1, 0)	0.2313

Toplam potansiyel hasar değeri, yapı üzerinde farklı noktalar için, parçanın belirlenen hedef tasarım ömrü boyunca maruz kaldığı kuvvetler etkisindeki farklı noktalarındaki ömür karşılaştırılması olarak düşünülebilir.

Yapıya, test sisteminde uygulanacak aday test kuvvetlerinden hesaplanacak olan on dokuz vektörün hasarlarının, Tablo 2 ile belirtilen toplam potansiyel hasar değerleri ile yakın olması gerekmektedir. Yol verisi ile oluşturulan sentetik test verisinin potansiyel hasarlarının, farklı vektörler (yapı üzerindeki farklı yerler) için benzer olması, başarılı bir şekilde yol verisinin simüle edildiği anlamına gelmektedir.

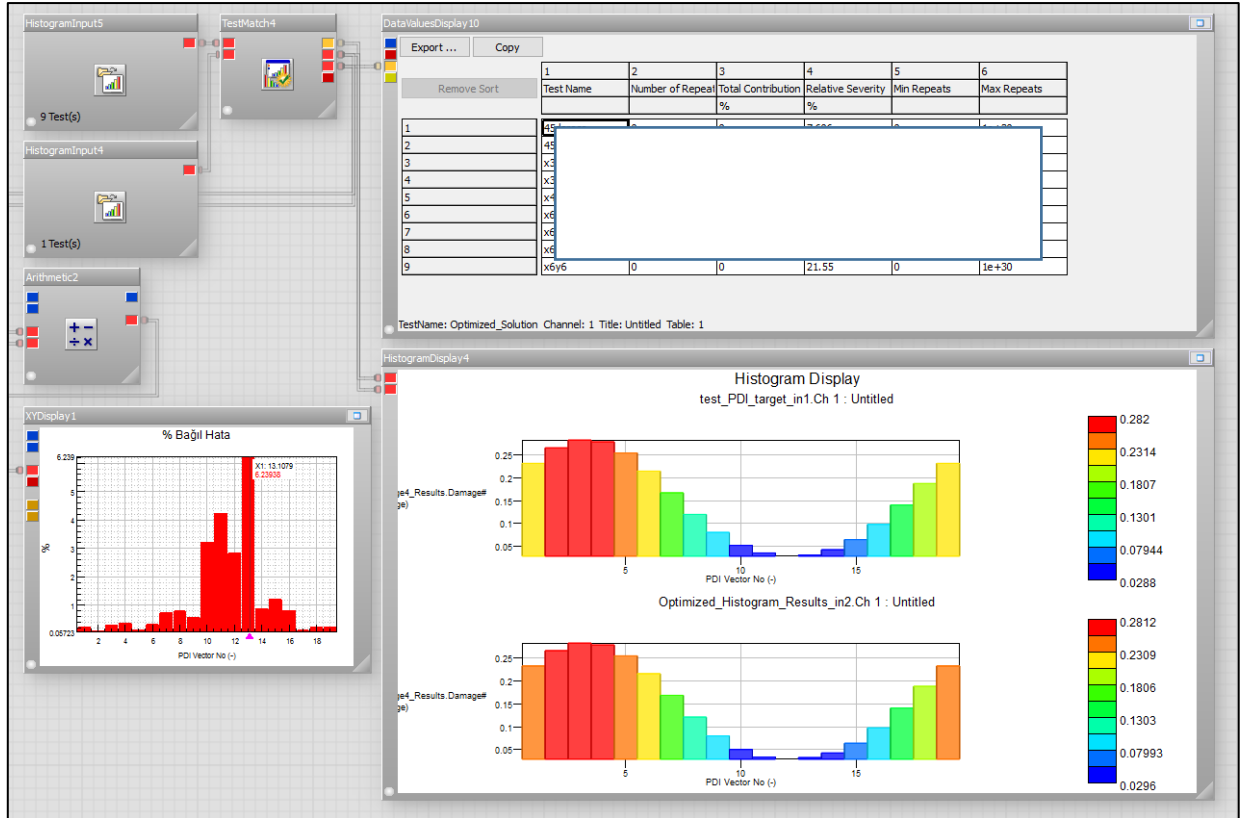
4.3. Test Verilerinin Oluşturulması

Hidrolik test sisteminin, iki eksende çalabileceği üzere test verileri nCode yazılımında yapılan çeşitli denemeler ile oluşturulmuştur.

Öncelikle, farklı senaryolar için hesaplanan kuvvet değerleri zaman düzleminde ve “From – To Rainflow” diyagramları üzerinden incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, yapıya x ve y yönünde farklı senaryolarda en fazla 7 – 8 kN kuvvet geldiği gözlenmiştir. Frenleme durumunda bas – bırak şeklinde gelen bu kuvvet, kasis geçişi durumunda darbe şeklinde gelmektedir.

Bu doğrultuda, öncelikle çeşitli genliklerde ve kombinasyonlarda x ve y yönlerinde sinüs şeklinde kuvvetler oluşturulmuş ve bu kuvvetlerin yol verisi ile her noktada eş hasarı yaratması için kaçar adet uygulanması gerektiği nCode yazılımı ile “Optimized Testing” modülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Şekil 5’te oluşturulan test kuvvetlerinin kaçar adet ve hangi kombinasyonlar ile uygulanacağını tespit için oluşturulan nCode akış şeması gösterilmektedir.



Şekil 5 Test datası sentezinde kullanılan nCode akış şeması

Tablo 3’te oluşturulmuş olan test kuvvetleri ve aracın ömrü boyunca alacağı hasarı simüle etmek için kullanılacak tekrar sayıları gösterilmektedir.

Tablo 3 Oluşturulan test kuvvetleri ve tekrar sayıları

No	Test Verisi	Tekrar Sayısı	Toplam Hasara Katkısı [%]
1	45derece_6kN	#DEĞER#	#DEĞER#
2	45derece_p90	#DEĞER#	#DEĞER#
3	x3p90y6	#DEĞER#	#DEĞER#
4	x3y6	#DEĞER#	#DEĞER#
5	x4_5y3	#DEĞER#	#DEĞER#
6	x6p90y3	#DEĞER#	#DEĞER#
7	x6p90y6	#DEĞER#	#DEĞER#
8	x6y3	#DEĞER#	#DEĞER#
9	x6y6	#DEĞER#	#DEĞER#

(Oluşturulan test kuvvetleri ve tekrar sayıları firma içi bilgi gizliliği arz ettiğinden tabloda verilmemiştir.)

Tablo 4'te test verileri ile yol verilerinin toplam potansiyel hasar karşılaştırılması on dokuz nokta için verilmektedir.

Tablo 4 Test verileri ile yol verilerinin toplam potansiyel hasar karşılaştırılması

Vektör No	Vektör	Yol Verisi	Test Verisi	% Bağıl Hata
		Toplam Hasar	Toplam Hasar	
1	(1, 0)	0.2313	0.2317	0.18%
2	(0.9848, 0.1736)	0.2651	0.2649	0.07%
3	(0.9397, 0.342)	0.2820	0.2812	0.29%
4	(0.866, 0.5)	0.2782	0.2772	0.35%
5	(0.766, 0.6428)	0.2540	0.2537	0.12%
6	(0.6428, 0.766)	0.2144	0.2149	0.26%
7	(0.5, 0.866)	0.1669	0.1680	0.67%
8	(0.342, 0.9397)	0.1198	0.1207	0.73%
9	(0.1736, 0.9848)	0.0804	0.0800	0.55%
10	(0, 1)	0.0522	0.0506	3.21%
11	(-0.1736, 0.9848)	0.0357	0.0342	4.24%
12	(-0.342, 0.9397)	0.0288	0.0296	2.75%
13	(-0.5, 0.866)	0.0309	0.0329	6.21%
14	(-0.6428, 0.766)	0.0426	0.0429	0.81%
15	(-0.766, 0.6428)	0.0648	0.0640	1.22%
16	(-0.866, 0.5)	0.0981	0.0973	0.79%
17	(-0.9397, 0.342)	0.1403	0.1404	0.03%
18	(-0.9848, 0.1736)	0.1872	0.1875	0.16%
19	(-1, 0)	0.2313	0.2317	0.18%

Yol verileri ile bu yüklemeyi simüle edecek olan test yüklemelerinin yapı üzerinde on dokuz ayrı konum için bağıl hata karşılaştırılması gösterilmektedir. Sentezlenen test verisi, yol verisini iyi bir şekilde temsil etmektedir denilebilir.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan çalışma sonucunda, ticari bir araçta kullanılan ön salıncak koluna gelen kuvvetler kalibrasyon ölçümleri ile tespit edilmiştir. Aracın ön görülen kullanım şartlarında toplanan veriler, hedef kullanım oranlarına göre ekstrapole edilerek yük spektrumu oluşturulmuştur.

İki eksenli olarak çalışma boyunca salıncak koluna etkiyen kuvvetlerden yorulma dayanımına, yapı üzerindeki noktaları temsil eden vektörler ile “Potential Damage Index” Yöntemi ile geçilmiştir. Yapı üzerinde on dokuz adet noktanın, yük spektrumu sonucunda hesaplanan potansiyel hasarı ile yol verilerinin “From – to Rainflow” diyagramları incelenerek tahmin edilen rasgele yükleme biçimleri ile optimize edilmesi sonrasında, testte kullanılacak, belirtilen on dokuz noktada eş hasarı oluşturacak kuvvet verileri ve tekrar sayıları belirlenmiştir.

Yapılan tekil yüklemeler ile statik tasarım sürecine girdiler elde edilmiş ve hâlihazırda uygulanan yorulma test şartnamelerindeki kuvvet değerlerinin mertebeleri doğrulanmıştır denilebilir.

Yapı üzerinde en büyük hasarı yaratan etkiler fren yüklemeleri ve kasis/çukur geçişleridir denilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] nCode Reference Manual
- [2] Teknorot Design Guide