

M2 ve M3 KATAGORİSİ YOLCU TAŞITLARININ MOTOR HAREKET AKTARMA ORGANLARINDA OLUŞAN TİTREŞİM - GÜRÜLTÜ PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜMLERİ

M.Murat Küçümen^{*}, Cüneyt Üzüm^{*}, Alper Altın^{*}

^{*} HEXAGON STUDIO, KOCAELİ

ÖZET

Bu çalışmada, enine yerleştirilmiş motor ve buna bağlı olarak uzun aktarma organları yapısına sahip olan yolcu taşıtlarında, motor hareketleri sırasında meydana gelen sarsıntıların minimum düzeye indirilmesi amacı ile yürütülen çalışmalardan hidrolik kaplin çalışması incelenmektedir. Ani motor tepkilerinin güç ünitesi ve aktarma organları dâhilinde titreşim ve gürültü oluşturması nedeni ile oluşan yolcu konfor kayıplarının ortadan kaldırılması amacıyla tasarlanan hidrolik kaplin çözümü avantajları ve kullanım şartları ifade edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Hidrolik Kaplin, Damper Etkisi, Yolcu Konforu

VIBRATION AND NOISE ISSUES WITH RELATED SOLUTIONS ON DRIVELINE FOR M2 AND M3 CLASS PASSENGER VEHICLES

ABSTRACT

In this study, design and operating conditions of hydraulic coupling mechanisms are investigated in terms of minimizing the vibrations occur during engine reactions for vehicles with long drivetrain path and transversal engine mounting structure. It has been focused on the advantages and application conditions of hydraulic couplings designed in order to compensate vibrations and noises as a result of sudden engine reactions which effects on overall passenger comfort.

Keywords: Hydraulic Coupling, Damping Effect, Passenger Comfort

1. GİRİŞ

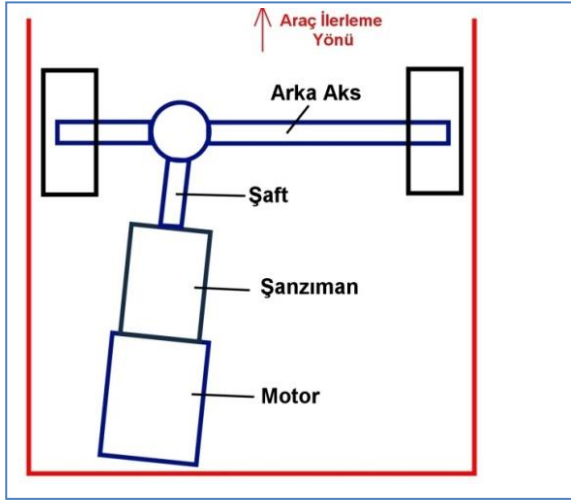
Günümüzde motor yerleşimi arkada olan yolcu taşıtlarında, yolcu kapasitesi artışı amacı ile benimsenen enine motor yerleşimine sahip araçlarda motordan tekerleklere kadar olan hareket iletimi, motoru boyuna yerleşime sahip araçlardakine kıyasla daha uzun bir rotadan geçmek durumundadır. Bunun başlıca sebebi motor ve şanzıman akuplesinden çıkan dönme hareket yönünün araç arka dingil diferansiyeline iletilebilmesi için bir dizi yön değişikliğine gerek duymasıdır. Bu yön değişiklikleri esnasında hareket iletimi patikası uzamakta ve bu patika dâhilindeki aktarma organları burulmaları ve açılı redüktör gibi kullanılan ek komponentler nedeni ile istenmeyen enerji birikimleri oluşmaktadır. Biriken bu enerji yay etkisi gerçekleştirerek, motor ani hareketleri esnasında

şanzıman ve aktarma organları dâhilinde sarsıntı ve mekanik gürültülere neden olabilmektedir. Özellikle aracın kalkışı ve yavaşlaması esnasında ani ve kısa süreli gaz pedalı hareketleri ile şanzıman ve açılı dişli kutusu dâhilindeki parçalar sürücü ve yolcu konforunu negatif etkileyecek titreşim ve ses oluşturabilmektedir. Bu olumsuz etkinin ortadan kaldırılabilmesi amacıyla hareket aktarma organları dâhilinde komponentlerden servis edilebilirliği en kolay olan parçalar üzerinde yoğunlaşmak kaydıyla sönümleme etkisi gerçekleştirebilecek modifikasyonlar üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen etkin sonucun hidrolik damper etkisi oluşturan kaplin mekanizması olduğuna karar verilmiş ve ilgili doğrulama çalışmalarına bu doğrultuda devam edilmiştir.

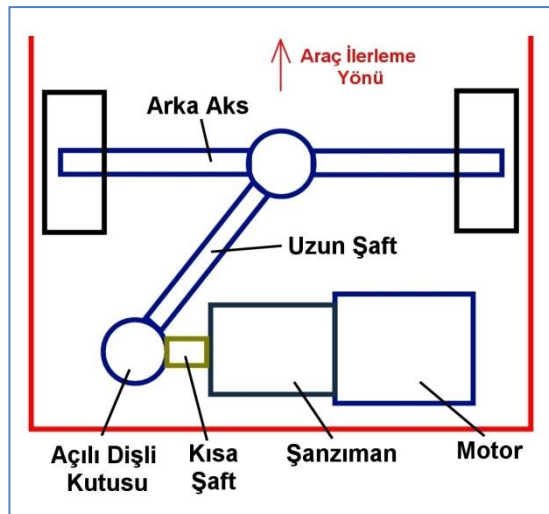
2. MOTOR YERLEŞİM ÇEŞİTLERİ

Yolcu taşıtlarında dikine motor yerleşimi yerine enine motor yerleşimi uygulaması ile motor odası hacmi küçültülebilmekte ve bu sayede arka aks, araç arkasına doğru kaydırılabildiğinden araçtaki koltuk sayısında artış sağlanabilmektedir.

Enine motor yerleşiminin araç motor odası hacmindeki avantajına karşın motor aktarma organları komponentlerinin çeşit ve uzunluğunu arttırması gibi dezavantajları da vardır .Bu durum konfor problemleri oluşturabilmektedir. Şekil 1’de görülen dikine motor yerleşiminde hareket, şanzımandan diferansiyele sadece bir kısa şaft sayesinde iletirken, Şekil 2’de görülen enine motor yerleşiminde hareket şanzımandan diferansiyele bir kısa şaft, hareket yönünü değiştiren bir açılı dişli kutusu ve bir uzun şaft olmak üzere toplamda üç ayrı komponent kullanılarak iletilebilmektedir. Bu durum burulma enerjisinin birikmesine neden olmaktadır.



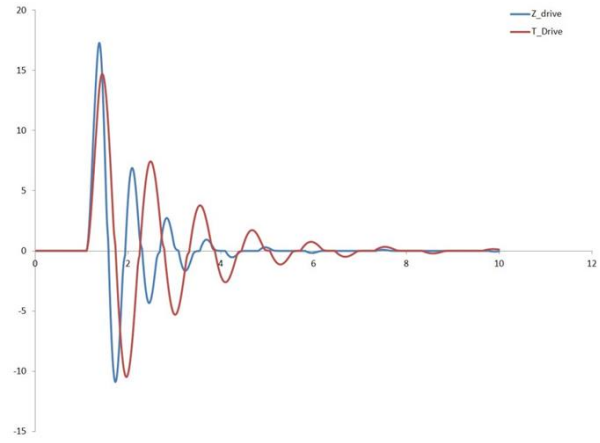
Şekil 1. T Drive Yapısında Dikine Motor Yerleşimi



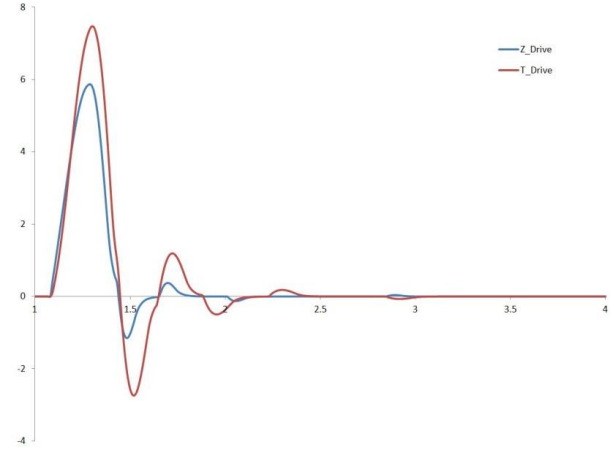
Şekil 2. Z Dive Yapısında Enine Motor Yerleşimi

3. MOTOR YERLEŞİM YÖNTEMİNE GÖRE ARKA AKS MİLİ BURULMA DEĞERLERİ

Dikine motor yerleşimi ile elde edilen T-drive pozisyonu ve enine motor yerleşimi ile elde Z-drive pozisyonu için yapılan bilgisayar simülasyonlarında arka aks dahilindeki millerde (half-shaft) oluşan burulma değerleri karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre T-drive kullanılmış modelde frekans ve genlik değeri azalırken salınım süresinin arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 3, Şekil 4).



Şekil 3. 1.Vites Arka Aks Mili Burulma Değerleri



Şekil 4. 3.Vites Arka Aks Mili Burulma Değerleri

4. AKTARMA ORGANLARINDA DAMPER / KAPLİN KULLANIMI VE AVANTAJLARI

Aktarma organları kaynaklı gürültü ve titreşim olumsuzluklarını ortadan kaldırmak için birden çok yöntem kullanılabilir. Bu yöntemlerden en basit olanı motor kalibrasyonu üzerinde modifikasyonlar gerçekleştirilerek gaz pedalı filtrasyonu sağlamak ve bu sayede ani gaz pedalı hareketlerinde motorun tepkisini yavaşlatarak sarsıntı ve gürültü oluşumunu engellemektir. Ancak bu modifikasyonlar sınırlı düzeyde

uygulanabilmektedir. Çünkü yüksek parametrelerde gerçekleştirilen modifikasyonlarda motorun yakıt tüketim stratejisi değiştirildiği için aracın yakıt tüketim değerleri hedeflenen değerlerin üzerine çıkabilmekte ve müşteri beklentilerini karşılamamaktadır. Titreşim ve gürültü problemlerinin çözümü adına motor kalibrasyonu modifikasyonu dışında uygulanabilecek en etkin ve düşük maliyetli yöntem, aktarma organları dâhilinde mekanik veya hidrolik damperler kullanmaktır.

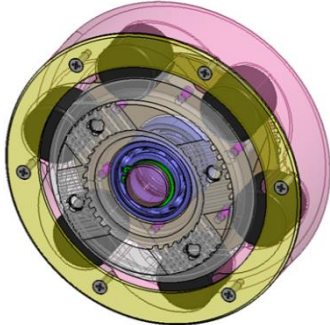
Kullanılacak damper mekanizmasının temel özellikleri aşağıdaki gibi listelenebilir:

- Mekanizma minimum maliyette ve ağırlıkta olmalıdır.
- Mekanizma dâhilindeki komponentler aracın maksimum tork değerlerine dayanıklı olmalıdır ve minimum parça değişimi gerektirmelidir.
- Mekanizma kendinden kilitli yapıya sahip olmalıdır. Bu sayede istenilen sönümlenme etkisi sonrasında mekanizma kilitlenerek aracın tüm torkunu diferansiyele aktarılmasını sağlanabilmelidir.
- Mekanizma kolaylıkla servis edilebilir olmalıdır. Aracın periyodik bakımlarında görsel ve fiziksel kontrolleri yapılabilmeli, gerekli durumlarda sökölüp takılabilmelidir.

5. MEKANİK DAMPER MEKANİZMALARI

Mekanik damper mekanizmaları, aktarma organlarına ek olarak monte edilebilen, parça bütünlüğünde herhangi bir akışkan kullanılmadan, çeşitli şekil ve malzeme yapılarındaki plastik ve metal parçaların oluşturduğu mekanizmalardır. Yapı itibarıyla hidrolik ve pnömatik damper mekanizmalarına göre daha sabit ve sadedir. Ancak göreceli olarak daha az dayanıma sahiptirler ve buna bağlı olarak daha sık bakım gereklidir.

Esnek mekanik damper mekanizmasına örnek olarak Şekil 5'te görülen torsiyonel kaplin mekanizması gösterilebilir. Bu mekanizma dâhilinde çalışan silindirik kauçuk parçaların sertlik değerleri ve malzemeleri özellikleri, kullanım yerine göre önem arz etmektedir.

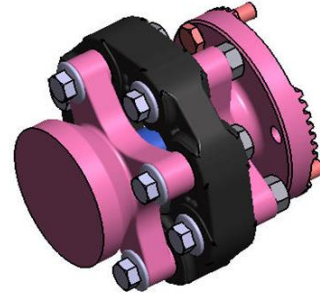


Şekil 5. Esnek Mekanik Damper Mekanizma Örneği

Plastik parçalar aktarma organlarında meydana gelen titreşimleri sönümleyecek kadar esnek ve aynı zamanda aracın anlık pik tork etkilerinde ve yüksek motor odası sıcaklıklarında yapısal bütünlüğünü koruyacak kadar da dayanıklı olmalıdır. Bu iki şartı aynı plastik aksam

üzerinde toplayabilmek iddialı bir hedeftir ve bu nedenle plastik malzeme içeren kaplinlerin bakım periyodları çok kısa olmaktadır. Bu müşteri tarafında istenmeyen bir olgudur.

Şekil 6'da görülen mekanik kaplin mekanizması ise son derecede basit tasarım bütünlüğüne sahiptir ve esnekliği son derecede kısıtlıdır. Tek parça plastik komponent kullanımı mekanizma dayanıklılığını artırmaktadır. Ancak sert malzeme yapısındaki bu parça istenilen sönümlenme açısını karşılamadığı için sönümlenme etkisi düşüktür. Mekanizma rijit bağlantı eğilimi göstermektedir.



Şekil 6. Rijit Mekanik Damper Mekanizma Örneği

6. HİDROLİK DAMPER MEKANİZMALARI

Yapısal bütünlüğünde akışkan sıvı bulduran ve sönümlenme etkisinin bu akışkanın mekanizma haznelerindeki hareketi ile elde edildiği damper mekanizmalarıdır. Mekanik damper mekanizmalarına nispeten daha karmaşık tasarımsal öğelere sahip olmasına karşın, kullanılan malzemeler itibarıyla daha uzun ömürlü ve dayanıklıdır. Mekanizmada kullanılan akışkan, değişik vizkozitelerdeki yağlardır. Mekanizmanın sönümlenme etkisinin ayarlanabilmesi adına yağ vizkozitesinde değişiklikler yapılabilmektedir. Bu sayede mekanizmada tasarımsal değişiklikler yapılmadan, sadece yağ değişimi ile mekanizma tepkilerinde değişiklik elde edilebilmektedir.

Arkadan çekişli yolcu taşıtlarında kullanılan hidrolik kaplin mekanizmaları kendinden kilitli yapıya sahip olmalıdır. Bunun manası, mekanizmanın sönümlenme işlemini tamamlanması sonrasında dönme hareketini kayıpsız olarak iletmeye devam etmesi gerekliliğidir. Bu şartın sağlanmaması durumunda sistem gereksiz miktarda dönme hareketi sağlayarak aracın ilerlemesi veya yavaşlaması hareketleri çok fazla geciktirecek ve sürüş karakteristiğini olumsuz etkileyecektir.

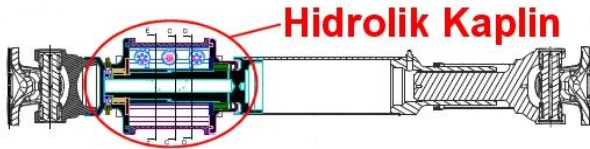
Günümüzde kilitsiz hidrolik kaplin mekanizmaları 4×4 araçlarda ön aks ve arka aks arasındaki hareket ve torkun senkronize edilmesinde kullanılmaktadır. Bu mekanizmalar, çoklu yaprak disk serisi arasındaki akışkanın dönme hareketi ile sıkıştırılması ve bu sayede hareketin iletilmesi prensibine dayalı çalışmaktadır. Belirli bir dönme turu sonrası mekanik bir kilitlenme bulunmadığından bu mekanizma tek akstan çekişli araçlarda sönümlenme elemanı olarak kullanılmaya uygun değildir. Şekil 7'deki mekanizma kilitsiz hidrolik kaplin

örneğidir.



Şekil 7. Kilitless Hidrolik Kaplin Örneği

Hidrolik kaplin mekanizmaları, açılı dişli kutusu ve diferansiyel gibi statik mekanizmalara akuple çalışabildikleri gibi, kardan milleri gibi hareketli parçalara da entegre edilebilmektedir. Karsan şaftlara entegre kaplin mekanizmalarının avantajı; kaplin ile birlikte gelen ek ağırlığın şaftın iki ucuna da dağıtılabilesidir. Diferansiyel veya açılı dişli kutularına monte edilen kaplinler, kendi ağırlıklarını diferansiyel veya açılı dişli kutusu üzerine bindirdiklerinden, diferansiyel üretici onaylarından ve dikkatli bir dayanıklılık açısından doğrulama yapılması gerekmektedir. Ayrıca kardan miline entegre kaplinler montaj ve servis edilebilirlik açısından çok daha avantajlıdır. Araçta, kardan mili değişimi gibi basit bir montaj operasyonu sayesinde araca sönümleme karakteristiği kazandırılmış olmaktadır. Şekil 8’de kardan miline entegre bir hidrolik kaplin örneği verilmiştir.



Şekil 8. Kardan Miline Entegre Hidrolik Kaplin

Kardan miline entegre hidrolik kaplinlerin diferansiyel monte edilen kaplinlere göre yegane dezavantajı yüksek başlangıç maliyetleridir. Mekanizmanın standart kardan miline akuplasyonu ve işlemin seri imalatı, nispeten yüksek ön yatırım maliyeti getirmektedir. Kaplinli kardan mili kullanımının maliyet açısından dezavantajının minimum düzeye çekilebilmesi adına ilk yatırım maliyetlerinin kompanse edilebilmesi için yüksek adetlerde üretilmesi gereklidir.

7. HİDROLİK DAMPER MEKANİZMALARI YORULMA ANALİZ AŞAMALARI

Kardan miline entegre hidrolik kaplin mekanizmalarının bilgisayar destekli doğrulama aşamalarının tümünde kardan mili dayanım değerleri baz

alınarak parametreler belirlenmektedir. Tablo 1’deki yorulma senaryoları kardan mili tedarikçi firmasından alınan bilgiler baz alınarak kabul edilmiştir.

Tablo 1. Yorulma Senaryoları ve Hedef Ömür (Çevrim)

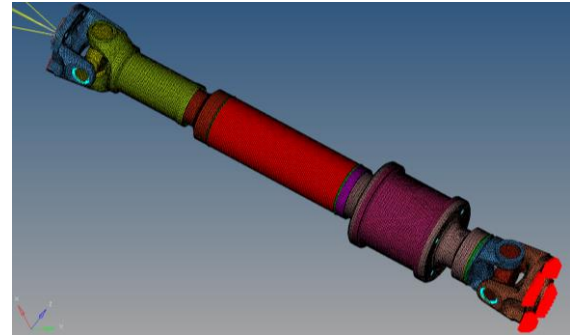
Senaryo	Tork (Nm)	Hedef Ömür (Tekrar)
Senaryo 1 (Uni-Directional)	Yüksek Tork	Düşük Çevrim
Senaryo 2 (Fully Reversed)	Orta Tork	Orta Çevrim
Senaryo 3 (Fully Reversed)	Düşük Tork	Yüksek Çevrim

Senaryo 1; tek yönlü yüksek tork durumunun, düşük çevrimde belirlenen tekrarı tamamlaması hedeflenmektedir.

Senaryo 2; tam tersinir yükleme orta tork durumunun, orta çevrimde belirlenen tekrarı tamamlaması hedeflenmektedir.

Senaryo 3; tam tersinir yükleme düşük tork durumunun, yüksek çevrimde belirlenen tekrarı tamamlaması hedeflenmektedir.

Bu senaryoların analizlerinin yürütülebilmesi için kaplin entegre kardan milinin tasarım modelinden faydalanılarak sonlu elemanlar modeli ve sınır şartları oluşturulur. Bu sonlu elemanlar modeline, mukavemete etkisi olmayan parçalar dâhil edilmemektedir. Bu sadeleştirme işlemi, analiz sonuçlarına etki etmezken analiz sürelerini kısaltmakta ve çeşitli analiz sonuçlarından elde edilen veri tutarlılığı sağlamaktadır. Bu sayede çeşitli senaryoların karşılaştırılması basitleşmektedir. Şekil 9’da görülen sonlu elemanlar modelinde her renk farklı parça modelini göstermektedir.



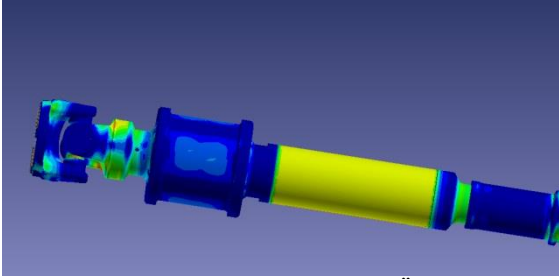
Şekil 9. Kardan Mili – Hidrolik Kaplin Sonlu Elemanlar Modeli

Analiz aşamasında kullanılan model dâhilindeki parçaların malzeme, sertlik ve kopma dayanımı değerleri belirlenerek analiz ortamına veri olarak girilmektedir.

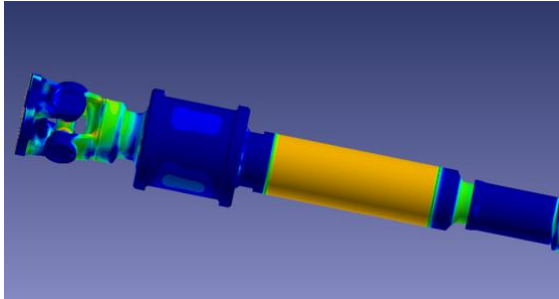
Viscous coupling yorulma analizi; yüksek yorulma çevrimi (High Cycle Fatigue) için daha iyi sonuçlar veren S-N (Stress-Life) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Gerilme kombinasyon metodu olarak Signed von Mises Metodu, ortalama gerilme düzeltme metodu olarak da

Goodman Metodu kullanılmıştır. Yüzey sertliği ve kalitesi çatlak başlangıcında oldukça etkili olduğundan bu parametreler de dikkate alınmıştır.

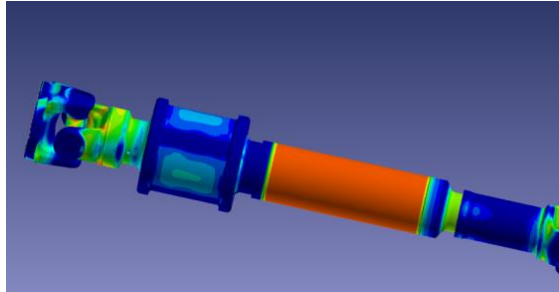
Viscous coupling yorulma analizi sonuçlarında, senaryo durumlarına göre oluşan ömür dağılımı Şekil 10, 11 ve 12'de gösterilmektedir.



Şekil 10. Senaryo 1 Durumunda Öngörülen Hasar Dağılımı



Şekil 11. Senaryo 2 Durumunda Öngörülen Hasar Dağılımı



Şekil 12. Senaryo 3 Durumunda Öngörülen Hasar Dağılımı

Kardan milinin sonlu elemanlar modeline yapılan yorulma analizleri ışığında, ayrı ayrı numunelere yapılacak olan yorulma testlerinden başarı ile geçeceği sonucu elde edilmektedir.

8. HİDROLİK DAMPER MEKANİZMALARI TEST VE VALİDASYON AŞAMALARI

Hidrolik kaplin analiz sonuçlarının ardından mekanizmanın valide edilebilmesi amacı ile düzenlenen mekanik testler;

- Bench Testi
- Yol Testi sırası ile gerçekleştirilir.

Bench testinde hidrolik silindir ve test fikstürü kullanılarak mekanizma çevrim ömür testine tabi tutulmuştur. Şekil 13'de test düzeneği görülmektedir.



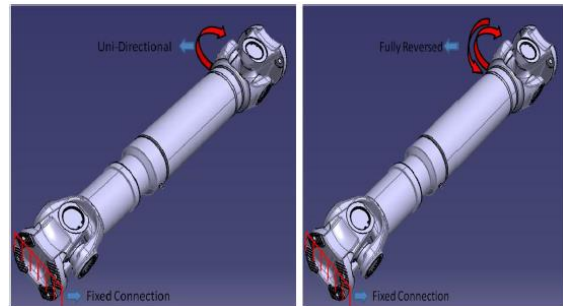
Şekil 13. Test Fikstürü

Mekanik yorulma testi başlatılmadan önce test numunesi belirlenen tasarım pozisyonuna getirilir. Test, kardan mili test prosedürü esas alınarak gerçekleştirilir. Prosedüre göre test yükleme şartı tablo 2'te olduğu gibidir.

Tablo 2. Mekanik Test Yükleme Şartları

Test Adı	Test Koşulu	Frekans
Tek Yönlü Zorlama	B50	1Hz
İki Yönlü Zorlama	Tf	1Hz
İki Yönlü Zorlama	1,5xTf	1Hz

Bench testi esnasında her bir çevrimde yeni shaft kullanılması gerekirken tek bir shaft üzerinde Tek yönlü zorlama (B50) ve çift yönlü zorlama(1,5xTf) testleri gerçekleştirilmiştir. 1,5xTf testinde kırılan shaft rotor bölgesi değiştirilerek test tekrar edilmiştir. Test çevrimi sırasında, Şekil 14'de shaft üzerine uygulanan moment görülmektedir.



Şekil 14. Test Cycle Hareketleri

Bench testleri sonrasında belirlenen hareket tekrarları ile mekanizma ve shaft bütünlüğündeki deformasyonlar ve olumsuzluklar incelenmektedir. Elde edilen test sonuçlarına göre mekanizma üzerinde tasarımsal modifikasyonlar gerçekleştirilmiş ve bench testleri tekrarlanmıştır.

Araç gerçek kullanım koşulları baz alınarak, belirlenen ağırlıkta hedeflenen km'de yoltestleri yapılmıştır. Bu süreç esnasında otoyol, şehir içi ve ağır trafik şartları olmak üzere değişik yol profilleri kullanılmıştır. Araç yol kat ederken, belirli kilometrelerde araç bakıma alınarak mekanizmanın fiziksel kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Periyodik bakımlarda mekanizmada yağ kaçağının olup olmadığının kontrol edilmesi çok önemlidir. Bunun için yağ miktarı tam olan kardan mili entegre hidrolik kaplin mekanizmasının ağırlığı ölçülerek kaydedilmiştir. Periyodik bakım esnasında kardan mili çıkartılarak tartılmış ve aradaki ağırlık farkı gözlenmiştir. Bu sayede mekanizma keçelerinin dayanıklılığı doğrulanmıştır.

9. SONUÇLAR

Bu çalışmada yolcu taşıtlarında ani motor tepkilerinde motor aktarma organları dâhilindeki hareketli parçalardan kaynaklanan titreşimlerin ve gürültülerin sebepleri ve çözüm yolları irdelenmiştir. Yapılan çalışmalar ve testler sonrasında aracın ömrü boyunca en etkin sönümleme kapasitesini en az bakım gereksinimleri ile sağlayacak olan sistemin hidrolik kaplin mekanizmaları olduğu sonucuna varılmıştır. Gerekli tasarım ve doğrulama adımları izlenerek oluşturulan mekanizma sayesinde aracın sürüş karakteristiği değiştirilmeden yumuşak kalkış ve yavaşlama etkileri elde edilebilmekte ve sürücü-yolcu konforu artırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Fenton J., Handbook of Automotive Powertrains and Chassis Design.
2. Reimpell J., Stoll H., The Automotive Chassis Engineering Principles.
3. Altair Engineering Inc., (2011), “**Altair OPTISTRUCT**”, AltairHyperworks, 1820 Big Beaver Rd Troy, MI 48083 USA
4. NCODE DesignLife User Guide Supported Platforms 310 NC-DL 9.00.092
5. NCODE DesignLife Fatigue Theory Guide HBM - nCode 26555 Evergreen Road - Suite 700 - Southfield, MI 48076 - USA