

## Volan Balans Dengesizliğinin Traktör Titreşimine Etkisinin Colormap ve Order Analizi ile Tespit Edilmesi

Mikayil Taşkın<sup>1\*</sup>, Özgür Akbıyık<sup>1</sup> ve Özlem Güneği<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NVH Ekibi, Ürün Doğrulama Grubu, Türk Traktör Fabrikası, ANKARA, 06560, Türkiye

### Özet

Seri üretim traktörleri üzerinde ilk fark 1500-2000 devir arası belirgin bir sallama ve rahatsız edici bir salgi durumu gözlemlenmiştir. Bu titreşimin görüldüğü ve görülmediği 2 traktör üzerinde karşılaştırma yapmaya başlanmıştır. Titreşimin meydana geldiği durumda traktör olduğu yerde, herhangi bir komponent devrede ya da değil fark etmeksizin, devir taraması yapıldığında belirgin olarak hissedildiği ortaya çıkmıştır. Devir taraması yapıldığında ortaya çıkmasından yola çıkarak colormap ve order analizi ile sonuca gidebileceğimiz fikri tarafımızda oluşmuştur. Traktörler üzerinde 2 adet titreşim sensörü ve 2 adet takometre traktör gövdesi üzerinde konumlandırılmış ve veri toplanmıştır. Yapılan çalışmada 1. Order üzerinde bir titreşim farklılığının olduğu görülmüştür. Motorla aynı order üzerinde çalışan parçalar tasarım ekibiyle birlikte çalışılarak listelenmiştir. Komponent bazlı harita çıkarılmıştır. Bu listede, salgiyı yaratacak kütleyle sahip ve deneyimlerimize dayanarak yoğunlaştığımız parçalar olmuştur. Bu parçalar krank kasnağı, krank mili, volan ve baskı balatadan oluşmaktadır. Tasarım ekibi tarafından ilgili parçalardan volanın üretici firmasının yakın zamanda değiştirilerek A-Volan'a geçildiği ve önceden B-Volan olarak üretildiği belirtilmiştir. Traktörler üzerinde titreşimin görüldüğü ve görülmediği farklılığı bu şekilde açıklığa kavuşturmuştur. Çalışma yapılan 16 traktör üzerinde olduğu yerde, herhangi bir viteste ya da herhangi bir sistemin çalışıp çalışmamasından bağımsız olarak devir taraması sırasında veri toplayarak karşılaştırma yapmaya karar verilmiştir. Devir saati ve titreşim sonuçları analiz edildiği zaman net bir şekilde farkı gözlemlenmeye başlamıştır. Bu çalışma ilgili verilerin işlenerek aynı zamanda fiziki olarak karşılaştırılarak titreşim kaynağının belirlenmesini içermektedir.

*Anahtar Kelimeler:* Colormap; NVH; Order Analizi; Titreşim; Traktör; Volan.

<http://dx.doi.org/10.29228/pastech.89425>

## Detection of the Effect of Flywheel Imbalance on Tractor Vibration Using Colormap and Order Analysis

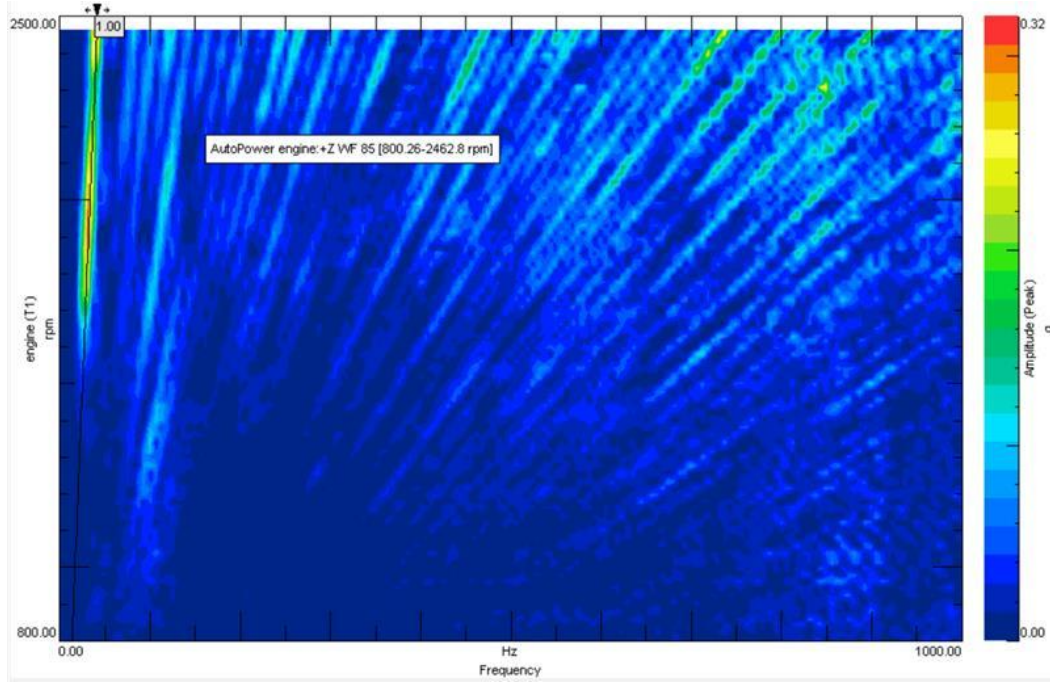
### Abstract

A noticeable vibration and disturbing oscillation were observed between 1500–2000 RPM on serial production tractors. A comparative study was initiated on two tractors that one exhibiting the vibration and one not. It was found that the vibration was clearly felt during RPM sweep tests, regardless of whether any components were active or inactive, and even when the tractor was stationary. Based on the fact that the vibration emerged during RPM sweeps, we hypothesized that colormap and order analysis could lead us to the root cause. Two accelerometers and two tachometers were mounted on the tractor body to collect data. The analysis revealed a difference in vibration at the 1st order. Components operating at the same order as the engine were listed in collaboration with the design team. A component-based vibration map was created, focusing on parts with sufficient mass to cause oscillation, based on our experience. These parts included the crank pulley, crankshaft, flywheel, and clutch pack. The design team indicated that the flywheel manufacturer had recently changed from B-Flywheel to A-Flywheel. This change explained the difference between tractors with and without the vibration issue. A total of 16 tractors were tested, collecting data during RPM sweeps regardless of gear position or system activity. The analysis of RPM and vibration data revealed a clear distinction. This study involves post processing the collected data and physically comparing components to identify the source of the vibration.

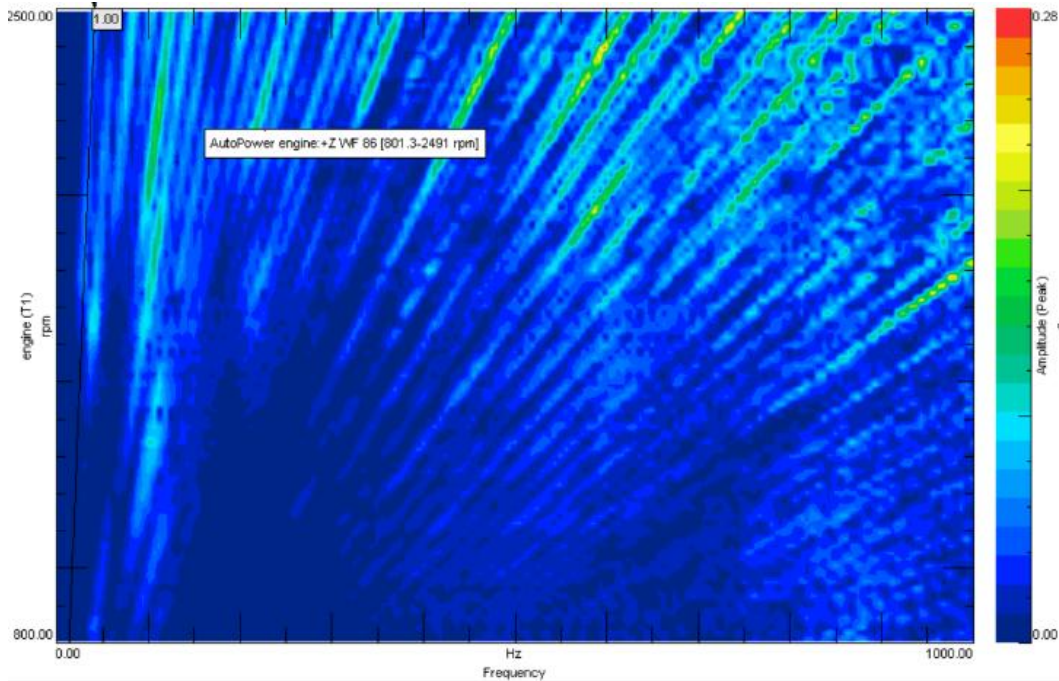
*Keywords:* Colormap; NVH; Order Analysis; Vibration; Tractor; Flywheel.

## 1. Giriş

Bu çalışmada fiziki olarak hissedilen operatörü rahatsız eden bir salgıya sahip traktördeki titreşimin sebebinin bulunması amaçlanmıştır. Bu etkinin oluştuğu çalışma koşulları tespit edildiğinde traktörün herhangi bir vitesten hareketten ya da operasyondan bağımsız yalnızca devir taramasında her koşulda meydana geldiği tespit edilmiştir. Şanzıman bağlantısından bağımsız bir salgı olduğu için motor üzerinden toplanan ivme ve takometre verileri aynı anda analiz edilerek titreşimin kaynağı tespit edilmiştir.



Şekil 1. A-Volan Colormap



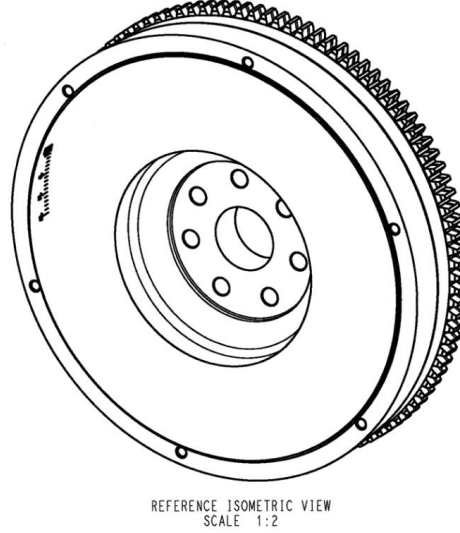
Şekil 2. B-Volan Colormap

Yukardaki grafikler motor üzerinden alınan ivme ve takometre verileriyle oluşturulmuş colormap grafikleri gözükmemektedir. Şekil 1 tarafta olan grafik A-Volan 1. Order'da salgının oluştuğunu göstermektedir. Şekil 2 ise B-Volan 1.Order'da salgının oluşmadığı sonucu göstermektedir.

## 2. Volan Tasarımı ve Balans Farkı Alınması

### 2.1. Volan

Volan, içten yanmalı motorlarda krank miline bağlı olarak çalışan, dönme hareketini düzenleyen ve motorun sürekliliğini sağlayan kritik bir bileşendir. Volan tasarımı, motorun performansı, titreşim seviyesi ve dayanıklılığı üzerinde doğrudan etkilidir. Bu çalışmada, volan tasarımının temel prensipleri ile balans farkı alınmasının neden gerekli olduğu teknik olarak ele alınmaktadır.



Şekil 3. Volan (Flywheel)

Motor sistemlerinde volan, döngüsel tork dalgalanmalarını sönmüleyerek çıkışın daha düzgün ve kararlı olmasını sağlar. Bu işlevi sayesinde motorun performansını artırırken, titreşim ve gürültü seviyelerini de azaltır. Volanın bu kritik rolü, tasarım sürecinde çeşitli parametrelerin dikkatle ele alınmasını gerektirir. Volanın kütlesi ve bu kütle döne eksenine göre dağılımı, sistemin atalet momentini belirler [1]. Atalet momenti, motorun ani hız değişimlerine karşı gösterdiği direnç üzerinde doğrudan etkilidir. Yüksek atalet momentine sahip bir volan, tork dalgalanmalarını daha etkin biçimde sönmüleyerek motorun daha stabil çalışmasına katkı sağlar. Malzeme seçimi de volan tasarımında önemli bir yer tutar. Genellikle dökme demir ve çelik alaşımlar tercih edilir; çünkü bu malzemeler hem yüksek yoğunluk hem de yeterli mekanik dayanım sunar. Malzemenin fiziksel özellikleri, volanın dayanıklılığını ve balans performansını doğrudan etkiler. Özellikle yüksek devirli uygulamalarda, malzemenin balans üzerindeki etkisi daha belirgin hale gelir. Volanın geometrik yapısı, titreşim davranışını ve sistemin genel dinamik karakteristiğini şekillendirir. Disk tipi, halka tipi veya segmentli volanlar farklı uygulama ihtiyaçlarına göre tercih edilebilir. Geometrik simetri ve kütle dağılımı, volanın balansını ve titreşim seviyesini doğrudan etkileyen unsurlardır. Yüksek devirde dönen volan gibi parçaların balansı, sistemin titreşim seviyesini belirleyen en kritik faktörlerden biridir. Balans farkı, volanın kütle merkezinin dönme ekseninden sapmasıyla ortaya çıkar. Bu sapma, dönme sırasında düzensiz kuvvetlerin oluşmasına ve titreşimlerin artmasına neden olur [2]. Dolayısıyla, hassas üretim toleransları ve balans ayarları hem sistem güvenliği hem de performans açısından büyük önem taşır.

### 2.2. Balanssızlık Türleri

- Statik Balanssızlık: Kütle merkezi dönme ekseninden sapmıştır, ancak eksen boyunca düzgün dağılmıştır.
- Dinamik Balanssızlık: Kütle dağılımı hem eksen boyunca hem de çevresel olarak dengesizdir. Bu durum daha karmaşık titreşimlere neden olur [3].

### 2.3. Balans Alım Süreci

- Balans Makinesi Kullanımı: Volan, özel balans makinelerinde döndürülerek dengesizlik noktaları tespit edilir.
- Ağırlık Ekleme/Çıkarma: Dengesizliğin giderilmesi için belirli noktalara malzeme eklenir veya çıkarılır.
- CNC ile Hassas İşleme: Özellikle yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda, balans farkı CNC tezgâhlarında işlenerek giderilir [4].

#### 2.4. Volan Balanssızlığının Sonuçları

- Titreşim Artışı: Dengesiz volan, motor ve şasiye yüksek frekanslı titreşimler iletir.
- Yatak Aşınması: Krank mili yataklarında erken aşınma ve arıza riski artar.
- NVH Problemleri: Gürültü, titreşim ve sertlik (Noise, Vibration, Harshness) seviyeleri yükselir.
- Performans Kaybı: Motorun verimli çalışması engellenir, yakıt tüketimi artabilir [5].

Volan tasarımı, sadece motorun mekanik sürekliliği için değil, aynı zamanda sistemin genel titreşim karakteristiği açısından da kritik öneme sahiptir. Balans farkı alınmadan kullanılan volanlar hem performans hem de dayanıklılık açısından ciddi sorunlara yol açabilir. Bu nedenle, her volan üretim sürecinde hassas balans kontrolü yapılmalı ve tasarım aşamasında atalet momenti, malzeme ve geometri gibi faktörler dikkatle değerlendirilmelidir [6].



Şekil 4. B-Volan



Şekil 5. A-Volan

Şekil 5'te görüldüğü gibi açılmayan büyük balans boşlukları salgının meydana gelmesine sebep olmuştur. Ağırlık eklemecikarım yöntemiyle yapılan balans alım süreci başarısız olmuş ve traktörde aşırı seviyede salgı olmasına sebep olmuştur.

### 3. Test ve Analiz

Yapılan çalışmada aynı özellikte 16 farklı traktör kullanılmıştır. Bu traktörlerden 13 tanesi olduğu yerde, veri toplama sistemi, 1 ivme sensörü ve 1 takometre ile hızlı kurulum ile ölçüm alınarak, 1 tanesi demonte ve değişim yapılarak, 1 tanesi 600 saat tarlada çalışarak ve 1 tanesi fabrikada 600 saat kuyruk mili üzerinden yüke bindirilerek ölçümleri tamamlanmıştır. Alınan ölçümlerin doğru sonuca varması için marş dinamosu üzerinden volan dişlisinin markası gözlemlenerek fiziki teyit ve aldığımız ivme değerleri veri işleme yazılımı kullanılarak hesaplanan order ve colormap analizleri ile statik kontroller yapılmıştır [7].

Denklem (1) FFT, DFT algoritmasının hızlı bir versiyonudur. DFT'nin temel formülü şöyledir:

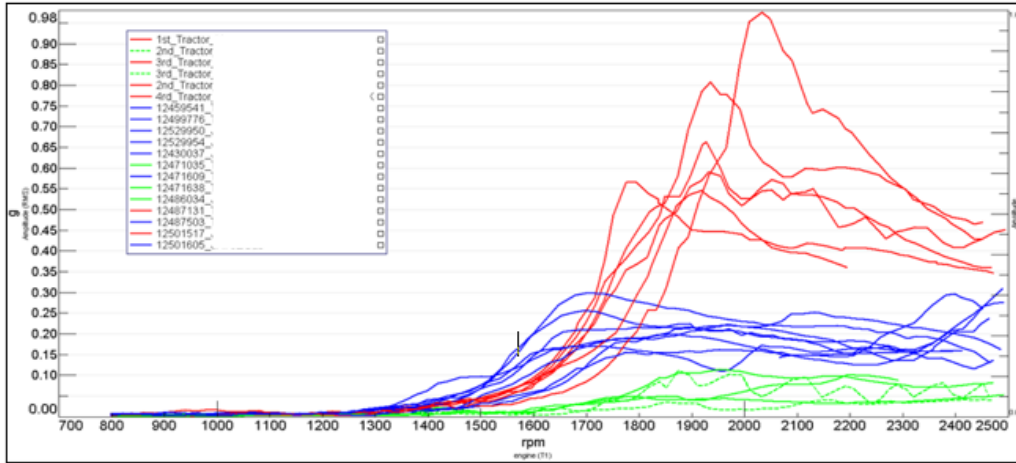
$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad (1)$$

Burada  $X_k$  Frekans domenindeki k. bileşen,  $X_n$  Zaman domenindeki n. örnek, N Toplam örnek sayısı, j Sanal birim (imaginary unit),  $e^{-j\frac{2\pi}{N}kn}$  Kompleks dönüşüm faktörü.

Denklem (2) Order analizi için temel dönüşüm şu şekildedir [8].

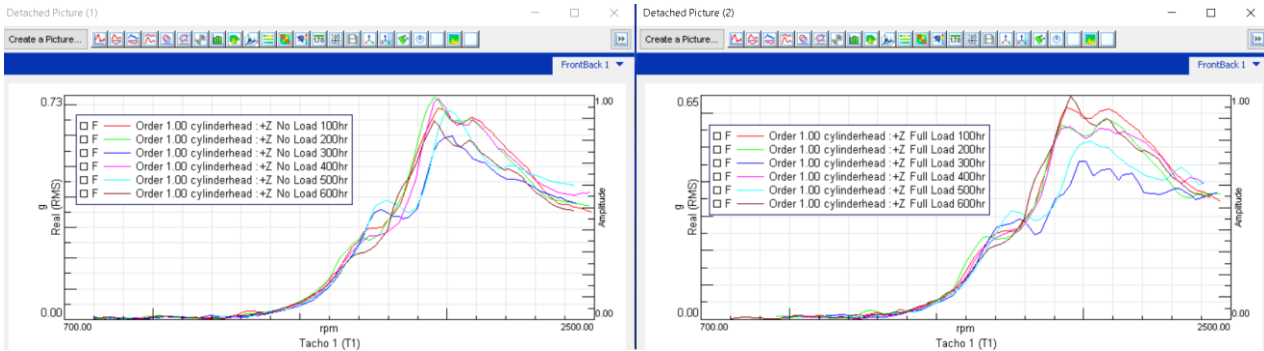
$$Order = \frac{f_{component}}{f_{rotor}} \quad (2)$$

$f_{component}$  FFT ile elde edilen titreşim bileşeninin frekansı (Hz),  $f_{rotor}$  Rotorun dönme frekansı (Hz) Zamana bağlı değişimin gözlemlenmesi için tarlada ve fabrikada çalıştırılan traktörleri 100 saatte bir ölçülmüştür. Order analizleri karşılaştırılarak kontrol edilmiştir.



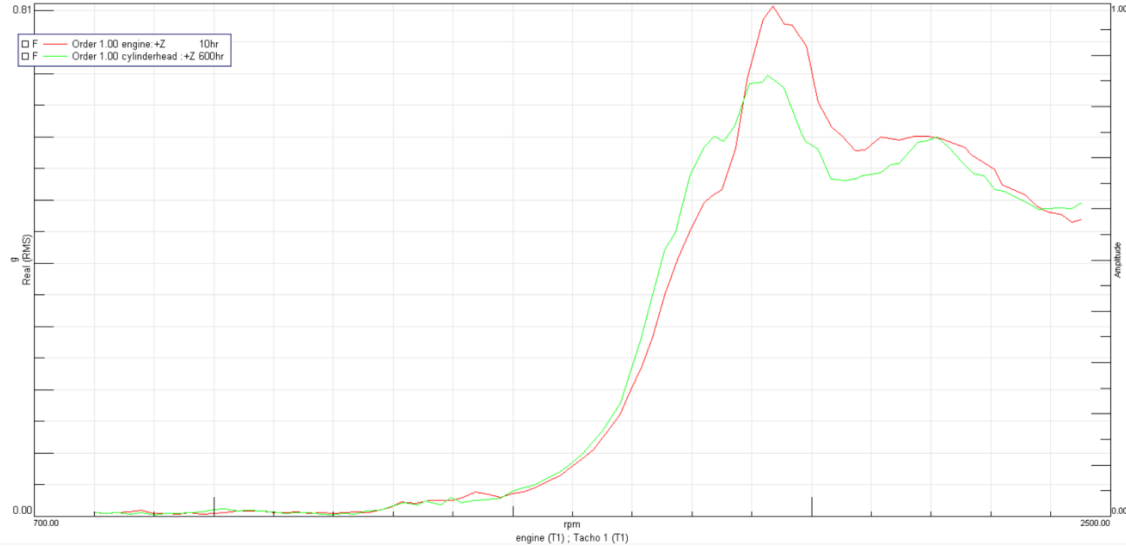
Şekil 6. 16 Traktöre Ait Order Grafiği

Yukardaki grafikte ivme ve takometre ölçümü yapılan 17 traktör için order analizi grafiği görülmektedir. Grafiğin sol tarafında etki eden ivme değeri ve aşağı tarafında motor devri görülmektedir. Grafik bize motor devrine bağlı ivme değişimini göstermektedir. Kırmızı renkli çizgiler A-Volan ve aşırı kötü salgiya sahip olan traktörleri, mavi renkli çizgiler A-Volan ve kötü salgiya sahip traktörleri ve yeşil çizgiler B-Volan ve salgiısı normal olan traktörleri göstermektedir. Burada bazı traktörlerde tek değişenin volan olduğu analiz sonuçları da eklenmiştir. Örnek olarak 2nd traktör olarak belirtilen verilerde A-Volan salgiısının B-Volan salgiısından çok daha kötü durumda olduğu görülmüştür.



Şekil 7. Dinamometrede Çalıştırılan Traktörün 6 Farklı Saatteki Yüksüz ve Yüklü Order Grafikleri

Yukardaki grafiklerde fabrika içerisinde dinamometrede ve PTO kısmından motor yükü oluşturulan traktöre ait test ve analiz sonuçlarını göstermektedir. Bu testte traktör 600 saat boyunca dinamometrede değişken yük aralıklarıyla çalıştırılmıştır. Traktörde aşırı kötü salgiya sahip A-Volan bulunmaktadır. Test boyunca 100 saatte bir traktörden ivme ve takometre verisi toplanmıştır ve order analizi ile karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda traktörde mevcut salgının artarak daha kötüye gitmediği, ölçüm metodu kaynaklı ufak farklılıklar bulunmasına rağmen aynı salgının devam ettiği görülmüştür [9].



Şekil 8. Tarlada Çalıştırılan Traktörün Order Grafiği

Yukardaki grafikte tarlada 600 saat çalıştırılan traktöre ait ivme ve takometre verilerinin order analiz grafiği gösterilmektedir. Yapılan teste traktörden aşırı salınlı A-Volan ile tarla öncesinde veri toplanmış kırmızı çizgi ve tarla testi sonunda yeniden veri toplanmış ve analiz edilmiş yeşil çizgi ile gösterilmektedir. Yapılan test sonucunda giderek kötüleşen bir durum görülmemiştir.

#### 4. Sonuçlar

Sonuç olarak en net bilinmesi gereken 3 silindirli motorlarda bir denge balansının olmamasıdır ve buradaki dengesizliğin volan üzerindeki balans boşluklarıyla oluşturulduğudur. Dönen parçaların eylemsizlik momenti ağırlığı ile ilişkili olduğundan buradaki eylemsizliği yaratan en ağır parça volan olduğu belirlenmiştir. 3 silindirli motorların volanları üretilirken önce balansı alınıp balanssız hale getirilir daha sonrasında teknik resimde belirlendiği noktadan 4. silindir ağırlığı farkı yaratmak için tekrar balans dengesizliği yaratılır. Böylelikle traktör çalışırken volan üzerindeki dengesizlik sanki bir silindir gibi davranış gösterir ve balans dengesizliğini engeller. Bu parçanın civata deliklerinden 2 tanesi birbirlerine eşit mesafede üretilmez bu şekilde bu volanı başka bir açıda takmanız engellenir. Bu şekilde yalnızca 4. Bir silindir dengesi sağlayacak konumda takılır. Yapılan çalışmada üretilen A-Volanlarda balans dengesizliği oluşturacak delikler olmadığı için traktörün 1500-2000 devirlerde belirgin bir balans dengesizliği oluşturduğu tespit edilmiştir. A-Volanların içerisinde daha kötü salınlıya sahip ve daha iyi salınlıya sahip olarak ayırdığımız 2 farklı grupta volanlar olduğu belirlenmiştir. Buradaki fark, balans farklılıklarının her zaman birbiriyle örtüşmemesiyle açıklanabilir. B-Volanlardaki delikler balans dengesizliğine uygun üretilmesi sonucunda herhangi bir salınlı oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Zamana bağlı çalışma yaptığımız traktörlerde zamana bağlı titreşimin azalması ya da artması gibi bir durum gözlemlenmemiştir. Demonte edilen parçalar incelendiğinde açık ve net bir şekilde zarar görmüş ve etrafındaki diğer komponentlere herhangi bir hasar verdiği 600 saat içerisinde görülmemiştir. Traktörlerde kullanılan ve dönen en ağır parçalardan biri olan volanın balansının ne kadar önemli olduğu, bu balans deliklerinin uygun üretilmediğinde net bir şekilde hissedilen salınlıya neden olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan ivme, takometre ve veri toplama cihazları ile order analizi ve colormap grafiğinin sonuca ulaşırken çok büyük yardımı olduğunu, konu hakkında netlik ve açıklık oluşturduğu görülmüştür.

#### Teşekkür

Bu çalışma test verilerinin elde edilmesinde kaynak sağlayan Türk Traktör Fabrikası A.Ş.'ye teşekkür ederiz.

#### Terimlendirme

FFT	Fast Fourier Transform
PTO	Power Take Off
DFT	Discrete Fourier Transform

#### Kaynaklar

- [1] Ewins, D. J. (2010). Control of vibration and resonance in aero engines and rotating machinery—An overview. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 87(9), 504–510. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2010.06.007>
- [2] Svendsen, M. N., Krenk, S., & Høgsberg, J. (2011). Resonant vibration control of rotating beams. *Journal of Sound and Vibration*,

- 330(9), 1877–1890. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2010.11.019>
- [3] Uslugil, Y. (2014). Dizel motorlarında çift kütleli volan kullanımı ve ilk çalıştırma gürültüsüne etkilerinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [4] Gülseven, H. C., & Özdemir, V. (t.y.). Design and analysis of four cylinder diesel engine balancer. [Yayın bilgisi eksik]
- [5] Gürsel, M. (2008). Mekanik sistemlerin balanslanması. Tesisat Dergisi, (156), Aralık.
- [6] Güney, A., & Özlü, F. (2000). Motorlu taşıt gürültüsü ve azaltma yöntemleri. Mühendis ve Makina, 41, 22–29.
- [7] Siemens PLM Software. (t.y.). Simcenter Testlab. <https://plm.sw.siemens.com/en-US/simcenter/physical-testing/testlab/>
- [8] Siemens Community. (t.y.). Order tracking: Fixed sampling versus synchronous sampling. <https://community.sw.siemens.com/s/article/order-tracking-fixed-sampling-versus-synchronous-sampling>
- [9] ResearchGate. (t.y.). Motor Devir ve Yükünün Titreşim ve Gürültü Emisyonuna Olan Etkisinin İncelenmesi. [https://www.researchgate.net/publication/325820657\\_Motor\\_Devir\\_ve\\_Yukunun\\_Titresim\\_ve\\_Gurultu\\_Emisyonuna\\_Olan\\_Etkisini\\_n\\_Incelenmesi](https://www.researchgate.net/publication/325820657_Motor_Devir_ve_Yukunun_Titresim_ve_Gurultu_Emisyonuna_Olan_Etkisini_n_Incelenmesi)