

Tarım Traktörlerinde Direksiyon Simidindeki Titreşimlerin Modal Analizi

Sümeyye Erdem^{1*}, Yusuf Dilay¹ ve Adem Özkan¹

¹Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü /Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Türkiye

^{*}(sumeyyeerdem@kmu.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi

Özet – Tarım alanlarında kullanılan en önemli güç kaynaklarının başında traktörler gelmektedir. Tarımsal faaliyetlerin hemen hemen tamamında traktörlere ve traktörlerin üzerinde bulunan donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla kullanım sırasında traktör üzerinde bir takım statik ve dinamik yüklerin etkisi altında farklı yükler, titreşimler gibi olumsuzluklar meydana gelmektedir. Bu sistemde oluşan olumsuzlukların etkisi ile sürücü operatörüne ergonomik açıdan rahatsızlıklar vermekle birlikte, çalışma verimi ve iş başarısını doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle Traktör için önemli olan direksiyon simidindeki titreşimler, sürücü açısından önem arz etmektedir. Çalışma verimini yükseltmek için direksiyon simidindeki titreşimleri minimize etmek en önemli unsurdur. Bu unsurların kaynaklarını tespit etmek, ortaya çıkarmak hem kullanıcıya hem de üretici firmalara kolaylıklar sağlayacaktır.

Bu çalışmanın amacı traktör tekerleklerinin titreşimini dengeleyerek yük dengesizliğini ortadan kaldırmaktır. Bu amaçla, nesnenin doğal rezonans frekansını hesaplamak için modal analiz yöntemleri kullanılır ve mod şekilleri, test edilen nesnenin animasyonlu geometrisi üzerinde görsel olarak görüntülenir. Modal analiz yöntemleri birçok alanda kullanılmaktadır. Analiz yöntemi ile nesnelerin yapısal dinamikleri, titreşimleri ile bu yüklere karşı ne kadar dayanırlıkları test edilmektedir. Çalışma sırasındaki hataların ortaya konulması ve çalışma koşullarını analiz etmek suretiyle sistemin titreşim yoluyla arızalarını tespit etmek amaçlanmıştır. Sistemlerin ürettiği hataları tanımlamak için spesifik veri eğilimi yanında bu verilerin aynı zamanda sistemin gereksiz titreşimlerini azaltmak için gerekli olan stratejik ölçümlerin yapılmasına yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler – Traktör, Direksiyon Simidi, Titreşim, Modal Analizi, Tarım

I. GİRİŞ

Makinelerin alternatif ya da dairesel hareket yapan kısımlarında, çalışma esnasında titreşim meydana gelmektedir. Oluşan titreşimler hem yatak gibi makine elemanlarını hem de kullanıcıları olumsuz yönde etkilemektedir. Bu titreşimler, çoğunlukla makinelerin çalıştıkları ortamlardan kaynaklanırken, sistemde meydana gelen yük dengesizlikleri de titreşime yol açmaktadır. Bu durum titreşimin genliğine bağlı olarak sistemsel hatalara neden olmaktadır. Makine kullanıcısının verimli çalışabilmesi için oluşan titreşimlerin dengelenmesi gerekmektedir [1,2].

Titreşim dönerek çalışan makinelerde yaygın bir durumdur. Çalışma ortamında dönerek çalışan bir makinede titreşim ve gürültünün olmaması pek

mümkün değildir. Dönerek çalışan makinelerde endüstride büyük bir öneme sahiptir. Alternatif hareketli ve dairesel hareketli makineler meydana gelen titreşimler motor, kasnaklar, dişliler ve rulmanlar gibi makine parçalarının bozulmalarına neden olur. Bu titreşimler genellikle serbest salınım hareketi oluşturmak için, kuvvet uygulandığında üretilir. Herhangi bir çalışma ortamında meydana gelen titreşimler sistemin dönen ve alternatif parçaları için üretilir. Herhangi bir makinenin çalışma durumunu analiz etmek için makine titreşiminin belirlenmesi gerekir. Gereksiz titreşimler makinenin yapısına zarar verebilir. Performans gibi sorunlar yaratabilir. Bu nedenle dönerek çalışan makinelerin çalışma koşulları sürekli yüksek performans için şarttır.

Titreşimlerin oluşmasının birçok nedeni vardır. Genellikle dönerik çalışan makinelerin millerindeki kütlelerin yanlış hizalanması ve dengesizliği nedeni ile oluşur. Bununla birlikte bilyeli rulmanların termal distorsiyonu makine parçaların termal uzaması yapıların hareketli basınç değişiminden kaynaklanan kuvvetlerin oluşması titreşimi meydana getirir. Döner kütlelerin dengesizliği durumunda kütle merkezi zamanla değiştirmekte, buda titreşimi meydana getirmektedir. Sonuç olarak herhangi döner bir sistemin çalışma durumunda sistemlerde titreşim yaygın olarak görülmektedir. Gereksiz titreşimler bile kullanıcılar için küçük yer değiştirmeleri algılayabilirler. Bu nedenle makinelerde titreşim genliğini azaltabilecek döner kütlenin dengelenmesine ihtiyaç vardır.

Diğer taraftan, makine titreşimlerinin frekans, genlik ve faz açılarının belirlenmesi, döner bir sistemin çalışma durumunun farklı yönlerini gösterir. Bu farklı bileşenler tüm sistemin çalışma frekansını belirtir. Döner parçaların aşınmasını, sürtünmesini, dengesizliğini ve gevşekliğini gösterir. Tüm bu faktörler makineler üzerindeki titreşimdeki artışları yansıtır. Beraberinde ekstra yükleri oluşturur. Bu nedenle makine titreşimi herhangi bir çalışma ortamındaki çalışma şartlarını izlemek için kullanılabilir. Ayrıca bu makinelerin uygun bakımına yönelik stratejik kararlara yön verebilir [3,4].

Modal analiz, nesnelerin yapısal dinamiklerini, yapıların ve nesnelerin nasıl titreştiğini ve uygulanan kuvvetlere karşı direncini anlamak için kullanılan analitik bir yöntemdir. Bu yaklaşım kullanılarak tasarlanan ürünler piyasaya sürülmeden önce test edilebilir ve optimize edilebilir. Modal analiz otomotiv, inşaat, havacılık, enerji üretimi, müzik aletleri ve endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok alanda geniş bir uygulama yelpazesinde yaygın olarak kabul edilmektedir. Modal analiz ile bir nesnenin doğal rezonans frekansları ve sönümlenme parametreleri hesaplanabilir ve mod şekilleri, test edilen nesnenin animasyonlu geometrisi üzerinde görselleştirilebilir. Modal parametrelerin, doğal frekansların, sönüm ve mod şekillerinin toplanmasına modal model adı verilir. Doğru modal modeli belirlemek için doğru modal test ölçümlerine dayanan kapsamlı bir modal analiz yapılmalıdır [3].

Modal analiz, uçak şasi parçalarının, rüzgar veya gaz türbini kanatlarının, otomotiv şasisinin ve kuvvetlere maruz kaldığında son derece düşük sönümlenme rezonans frekanslarına sahip olabilecek diğer nesnelerin tasarımını analiz etmek ve doğrulamak için endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son derece kritik, düşük sönümlü rezonans frekansları, çok küçük kuvvetlere ve enerjilere bile güçlü tepkiler üreterek titreşimlere neden olur. Modal analiz, kullanıcıya nesnenin doğal frekansları, sönümlenme parametreleri ve yapısal mod şekilleri hakkında genel bir izlenim sağlayabilir. Bu nedenle kullanıcı, nesneyi uygulanan kuvvetlere daha az duyarlı hale getirecek şekilde değiştirebilir. Örneğin; nesne tasarımı şekil ve kaliteye göre optimize edilebilir [4-8].

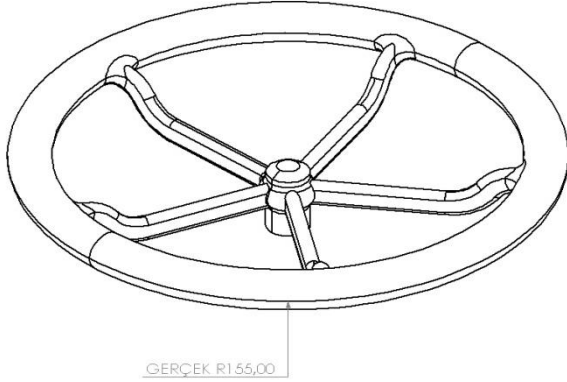
Modal test sırasında keşfedilen sönümlenme özelliklerini kullanarak sonlu eleman analiz modelleri gerçek hayattaki prototiplerle ilişkilendirilebilir. Tasarım optimizasyonu genellikle yakıt ekonomisi ve hafif yapı trendleri gibi günümüzün ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik odak noktasıdır. Bu tür süreçlerde yapının belirli bir optimizasyona nasıl tepki verdiğini bulmak için yapısal dinamik analiz yapılması gerekir. Tarım traktörleri çoğunlukla çok zor koşullarda ve değişken iklim koşullarında çalışır. Teknolojik gelişmeler sayesinde kullanıcı konforu artmış olsa da titreşim tamamen ortadan kaldırılamamıştır. Özellikle çalışma alanında oluşan bu titreşimlere sıklıkla direksiyon ve sürücü koltuğunda rastlandığı söylenebilir. Bu çalışmada bir tarım traktörünün direksiyon simidinde meydana gelen titreşimlerin Modal analiz ile belirlenmesi sağlanmıştır. Bu titreşimlerin sönümlenebilmesi için yapılması gerekenler ve öneriler sonuç kısmında verilmiştir[8].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmayı Araştırma materyalini imalatçı tarafından üretilen traktör direksiyonu oluşturmaktadır. Direksiyonda kullanılan Alüminyum alaşımı malzemesi piyasada yaygın olarak kullanılmakta olup, malzemelerin bazı teknik özellikleri Tablo 1’de, direksiyonun teknik ölçüleri ise, Şekil 1’de verilmiştir.

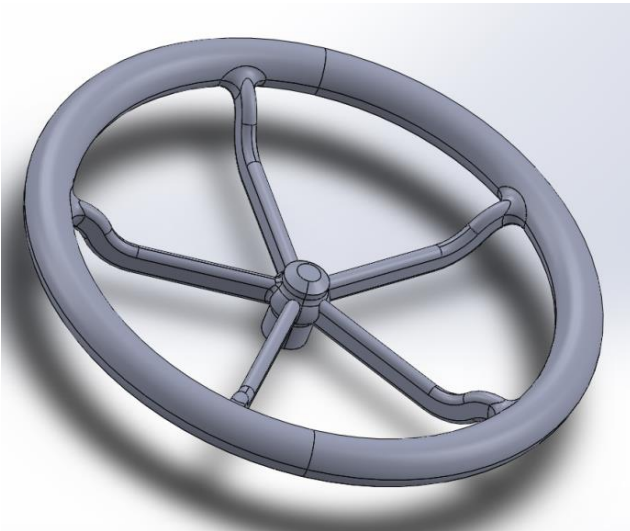
Tablo 1. Traktör direksiyonunun malzeme özellikleri

TRAKTÖR DİREKSİYONU (Alüminyum Alaşımı)	
Elastiklik Modülü	71 GPa
Akma Mukavemeti	280 MPa
Poisson Oranı	0,33
Yoğunluk	2770 kg/m ³



Şekil 1. Traktör direksiyonunun 3 boyutlu katı modeli

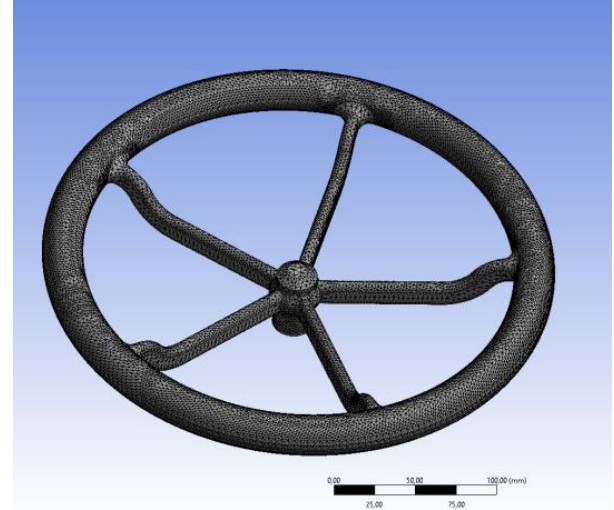
Direksiyonun, Solidworks yazılımı ile katı modellemesi yapılmıştır (Şekil 2). Daha sonra direksiyon üzerinde meydana gelen destekler, sonlu elemanlar paket yazılımı olan Ansys Workbench ile çalışma ortamlarındaki çalışma simülasyonları elde edilmiştir. Yapılan analiz üç boyutlu lineer statik olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen modal analiz sonuçları Ansys Workbench paket yazılımının çıktıları olarak verilmiştir. Direksiyonun çalışması, uygulama koşulları için değerlendirilmiş ve simüle edilmiştir.



Şekil 2. Direksiyonun katı model çizimleri

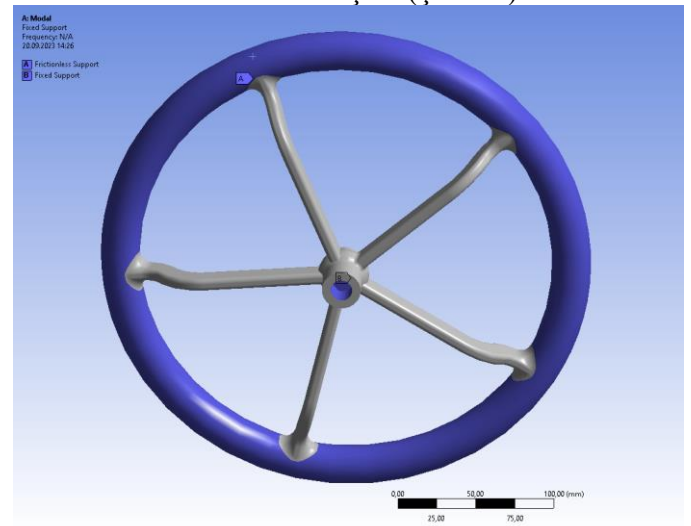
Sonlu elemanlar metodu ile simülasyon ortamında yapılan analiz sürecinin ilk basamağında, traktör direksiyon modeline ilişkin meshleme, bir başka deyişle modelin en uygun

küçük parçalara ayrılması işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Direksiyonun sonlu elemanlar yapısının oluşturulmasında, Ansys Workbench yazılımının “meshing” fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Direksiyon için 117.405 toplam eleman sayısı ve 204.993 toplam düğüm sayısı elde edilmiştir.



Şekil 3. Traktör direksiyon modelinin sonlu elemanlar yapısı

Direksiyonun bağlantı kısmı sabit tutulup, direksiyonun simit hareketinde sadece teğetsel ve eksenel harekete izin verilmiştir. (Şekil 4).



Şekil 4. Sınır şartları tanımlanması

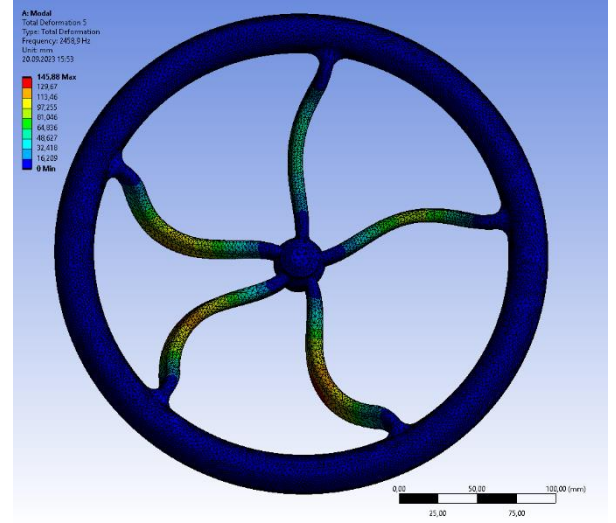
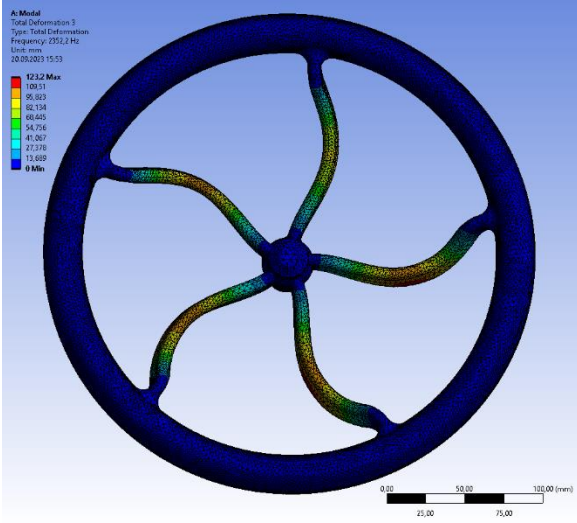
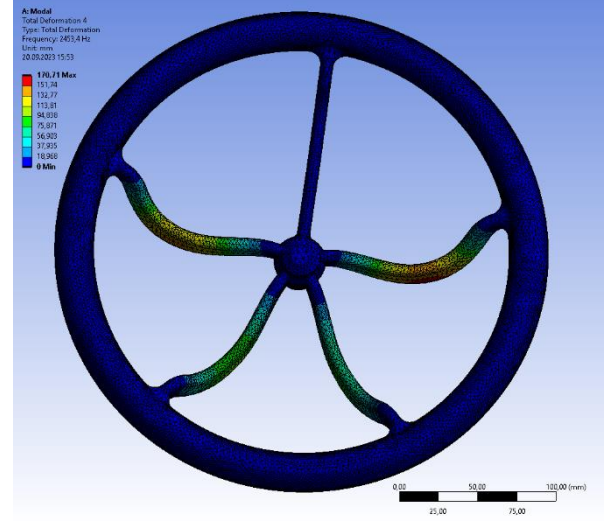
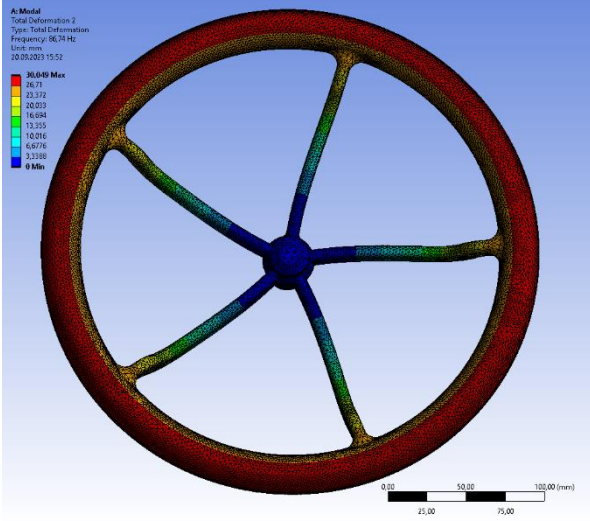
III. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

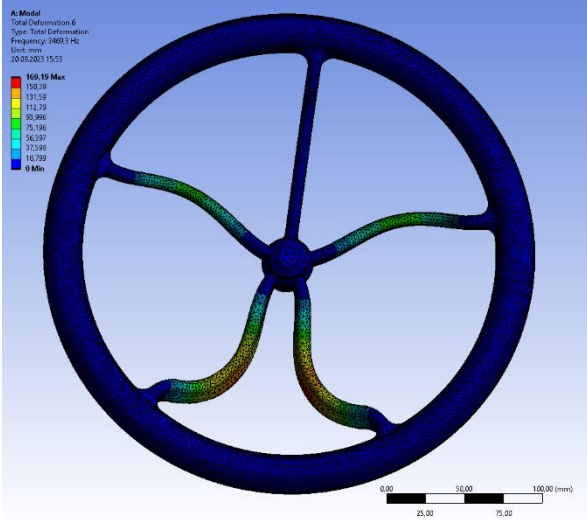
Araştırma kapsamında ele alınan direksiyon simidinin ANSYS Workbench programında modal analizi yapılmış ve 10 adet doğal frekans değerleri

elde edilmiştir. Bu frekans değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

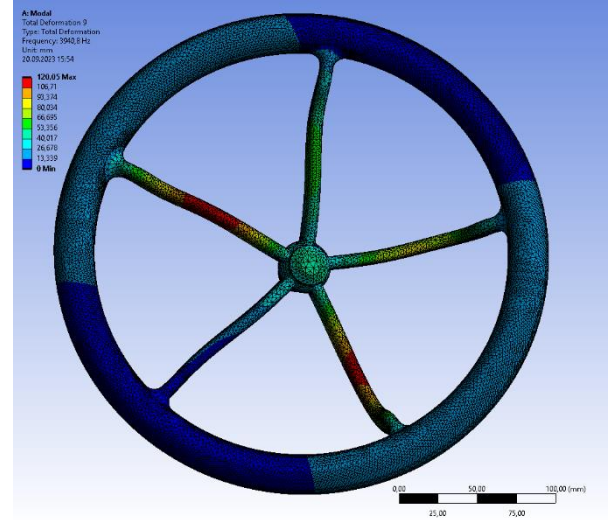
Tablo 2. Traktör direksiyon simidinde serbest titreşim durumunda elde edilen doğal frekans değerleri

Mod	Mod 1	Mod 2	Mod 3	Mod 4	Mod 5	Mod 6	Mod 7	Mod 8	Mod 9	Mod 10
Frekans (Hz)	86,74	2352,2	2453,4	2458,9	2469,3	2487,9	3939,1	3940,8	4092,7	5159,5

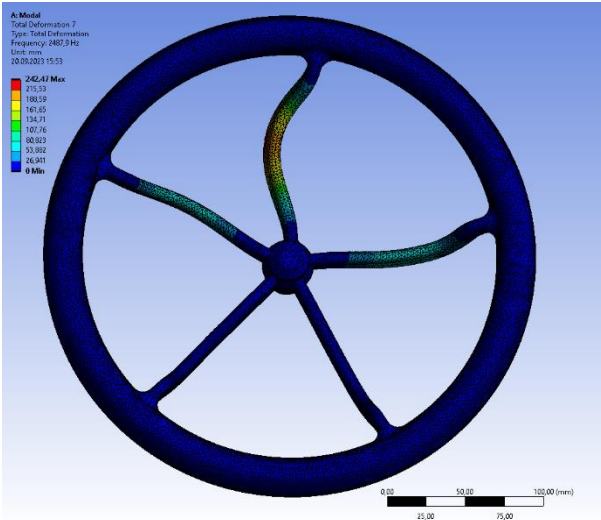




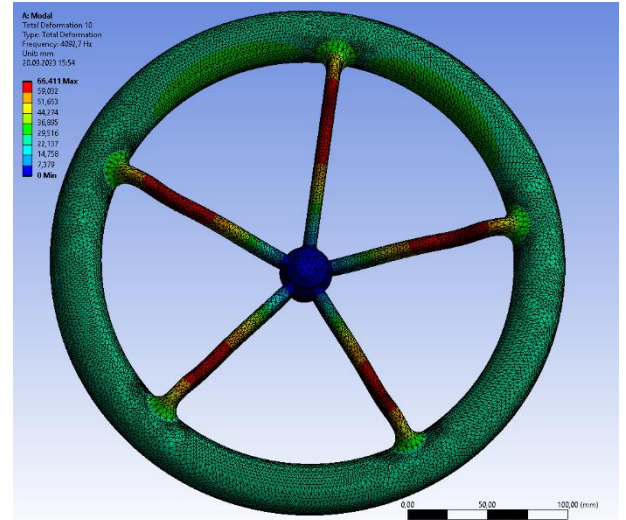
Şekil 9. 2469,3 Hz'de mod 5.



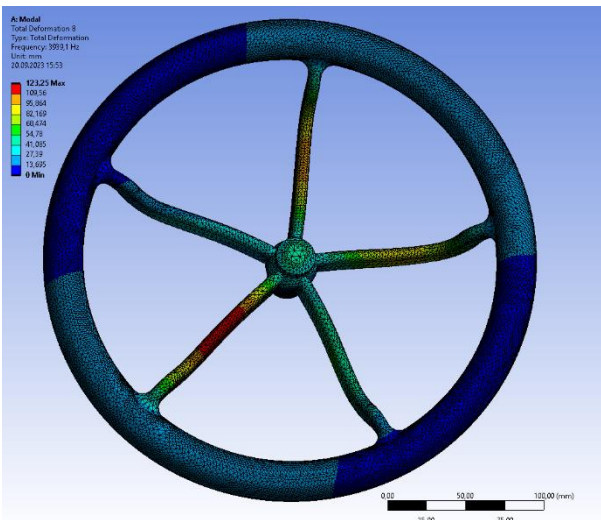
Şekil 12. 3940,8 Hz'de mod 8.



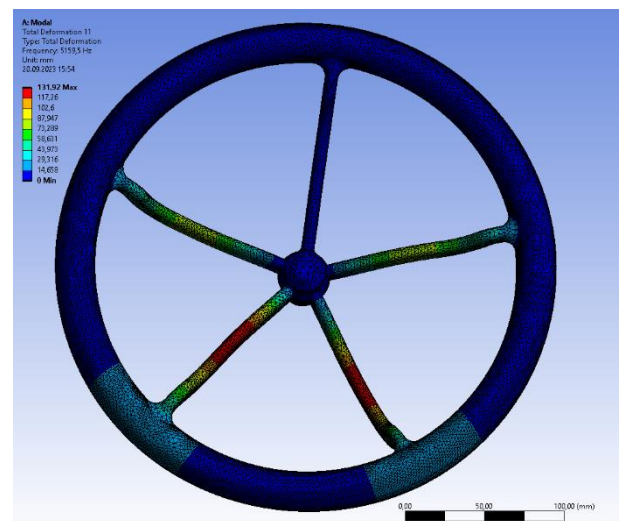
Şekil 10. 2487,9 Hz'de mod 6.



Şekil 13. Hz'de mod 9.



Şekil 11. 3939,1 Hz'de mod 7.



Şekil 14. 5159,5 Hz'de mod 10.

Sistemde herhangi bir sönümlleme elemanı bulunmamaktadır. Bu nedenle çözüm aşamasında yapılacak analiz ve sınır koşulları belirlenir. Bu kapsamda modellenen traktör direksiyonunun “ANSYS Workbench” yardımıyla modal analizi yapılmıştır.

IV. SONUÇLAR

Çalışmada elde edilen frekans verileri Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’den de görüleceği gibi 10 farklı modda frekans değerleri bulunmuştur. Bu çalışma ile, çalışan makinenin boyutları, çalışma koşulları, motorun sürüş frekansı ve mekanik aksamlar dikkate alınarak gerekli frekans aralığını kapsayan yapıcı değerlere ulaşılabilir [8].

Tablo 2’deki yönlendirme modelinde frekans aralığının yeterince uzak olduğu görülmektedir. Mekanik bileşenlerden ve yol koşullarından elde edilen sürüş frekansları, direksiyon ve insan sağlığı

açısından tehlikelidir, bu konu ile ilgili üzerinde çalışılması ihtiyacı doğmaktadır.

Traktör direksiyonlarının titreşim analizi bu sorunun çözümüne yönelik önemli bir adım olmasına rağmen, direksiyon dışındaki faktörlere yönelik araştırmaların devam etmesi gerekmektedir. Bilgisayar ortamında yazılım paket programları kullanılarak gerçekleştirilen titreşim analizi uygulamalarında veya benzeri mühendislik problemlerinde sonlu elemanlar yönteminin etkin bir şekilde kullanıldığı söylenebilir.

Hesaplamanın bilimsel ilkelerini anlamamanın yanı sıra, uygulayıcılar bilgisayarları fiziksel senaryoları hesaplamak için de kullanabilirler. Ayrıca çevreye doğru bir şekilde aktarılmaları gerekir. Gelecek çalışmalarda yol koşullarından alınan temel sinyaller kullanılarak sistemin tamamı modellenilebilir ve çözümler ortaya çıkarılarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Sengirgin, İ.Yuksel, E. Erzan, G. Sefkat ve M.N. Siren, “*Pasif ve Yarı Aktif Suspansiyon Sistemlerinin Titreşim Yalıtımı Performasyonunun İncelenmesi*”, 9. Uluslararası Makine Tasarımı ve İmalat Kongresi. 13-15 Eylül 2000. ODTU, Ankara.
- [2] A. Guney, “*Tekerlek Askı Sistemlerinin Tasıt Titreşimine Etkisi*” Doktora Tezi, İTÜ Fen Bil. Enst. 1986.
- [3] Rmc (2023) “Modal Analiz Nedir?” [Online]. Available: <https://rmc.com.tr/modal-analiz-nedir/>
- [4] Correction of stiffness and mass matrices utilizing simulated measured modal data, Applied Mathematical Modelling 33 2723-2729, 2009.
- [5] C. Demir, “*Altı Tekerlekli Bir Taşıtın Titreşim Modeli*” Mühendislik ve Tabii Bilimler Dergisi, 3(129 – 143), 2004.
- [6] E. M, Elbeheiry, D. C. Karnopp, “*Optimal Control of Vehicle Random Vibration with Constrained Suspension Deflection*” Journal Sound and Vibration, 189(5): 547 – 560, 1996.
- [7] Elbeheiry, E. M., & Karnopp, D. C.. “*Optimal Control of Vehicle Random Vibration with Constrained Suspension Deflection*. Journal of sound and vibration, 189(5), 547-564,1996.
- [8] Şimşek, A. *Bir İş Makinası Kabininin Modal Analizi* (Doctoral dissertation), Sakarya Üniversitesi (Turkey), 2010.