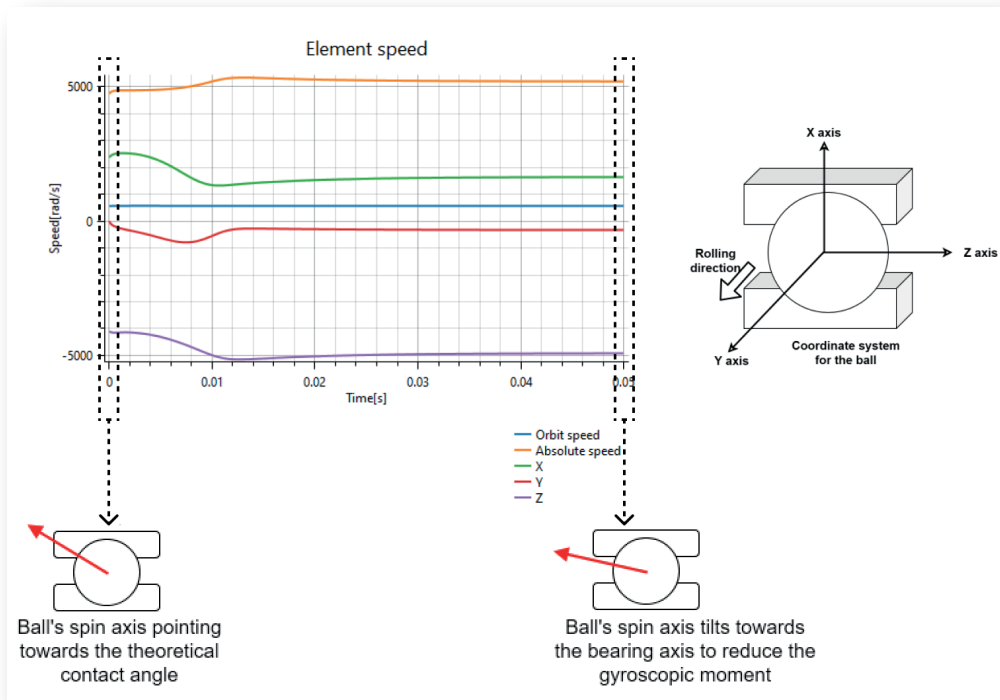


TEKNİK DOKÜMAN



Bu yazımızda; Romax içerisindeki rulman dinamiği analizlerinde, rulman elemanlarının kayarak ilerlemesinden kaynaklı oluşan arızalar tanıtılmıştır.



ROMAX İLE RULMAN DİNAMİĞİ ÇALIŞMALARI

HAZIRLAYAN

Eren Morgil
Mekanik Simülasyon
Mühendisi

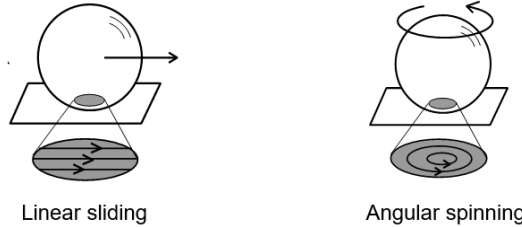
Tarih: 11/09/2024

1. GİRİŞ

Rulman dinamiği analizleri zamana bağlı gerçekleştirilen analizlerdir. Romax içerisindeki rulman dinamiği analizlerinde, rulman elemanlarının kayarak ilerlemesinden kaynaklı davranışı incelenebilmektedir.

1.1. Rulmanlarda Sıvama Aşınması (Skidding) Nedir ve Neden Önemlidir?

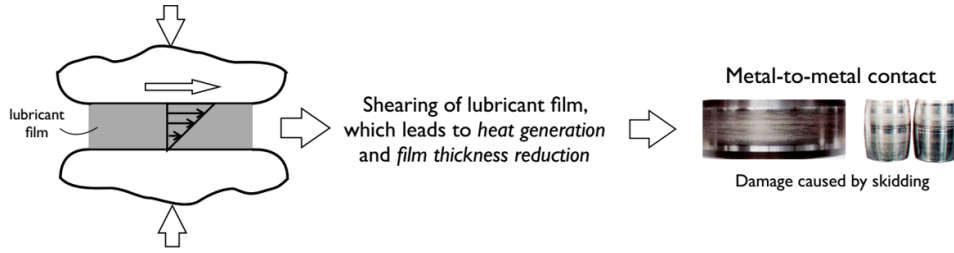
Rulmanlarda sıvama aşınmaları, yuvarlanma elemanlarının (rolling elements) bilezik kanalları (raceways) üzerinde kaymasıyla gözlemlenebilmektedir. Yuvarlanma elemanları ve bilezik kanalları arasındaki çekiş (traction) kuvvetleri, viskoz sürüklenme (drag) ve atalet kuvvetlerinin üstesinden gelmek için yeterli olmadığında kayarak ilerlemesinden kaynaklı aşınma meydana gelmektedir. Doğrusal kayma (sliding) veya açısal dönme (spinning) nedeniyle olabilmektedir.



Şekil 1 - Skidding

Rulmanlarda kaymadan kaynaklı, yağlayıcı ısıarak viskozitesinde azalma meydana gelebilmektedir. Viskozitenin azalması, film kalınlığını azaltarak yağlayıcının kesmesine (shearing) sebep olabilmektedir. Film kalınlığının azalmasıyla metal-metal teması oluşarak sıvama aşınması

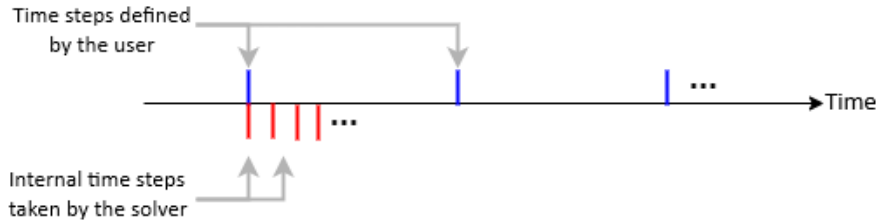
hasarına yol açabilmektedir. Bu nedenle rulmanların yorulma ömrüne ulaşmadan çok daha önce hasara uğrayarak arıza verebilmektedir. Şekil 2’de metal-metal teması sonucu oluşan hasarı görüntüleyebilmektedir.



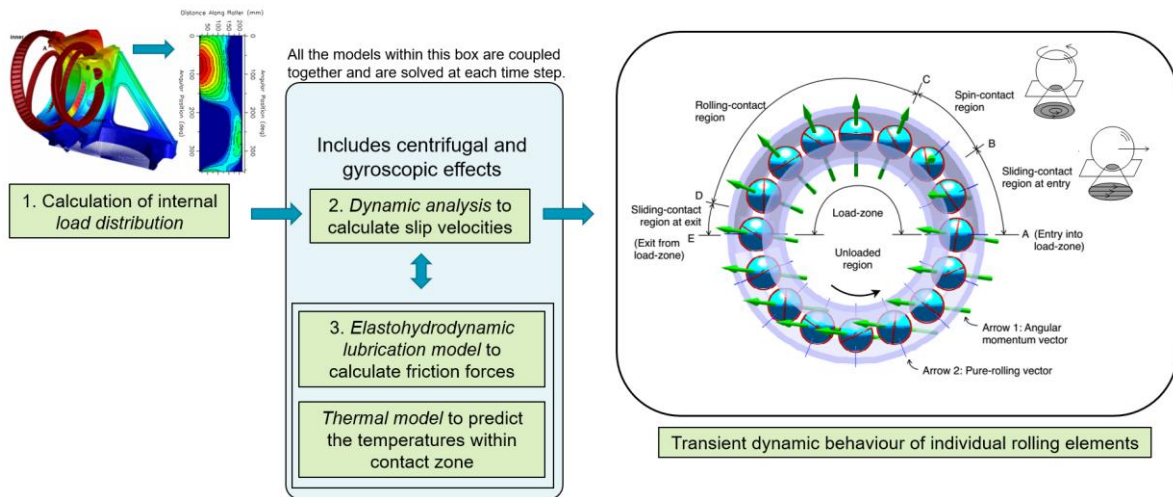
Şekil 2 – Rulmanın İç Bileziğinde Metal-Metal Temasından Kaynaklı Aşınma Hasarı

2. ROMAX’IN RULMAN DİNAMİĞİ HESAPLAMA YAKLAŞIMI

Rulman dinamiği çalışmalarında, zaman alanında (time domain) analizler gerçekleştirilebilmektedir. Gerçekleştirilecek dinamik analizin parametreleri (analiz süresi ve zaman adımı) kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir. Romax, çözüm sırasında oluşabilecek yakınsama sorunlarını önleyebilmek için çözücünün, zaman adımını manipüle edebilmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 3’te de görülebileceği gibi kullanıcı tarafından belirlenen zaman adımının dışında yakınsama sorunun başladığı aralık için Romax, zaman adımını daha küçük aralıklara bölerek çözüm gerçekleştirebilmektedir.



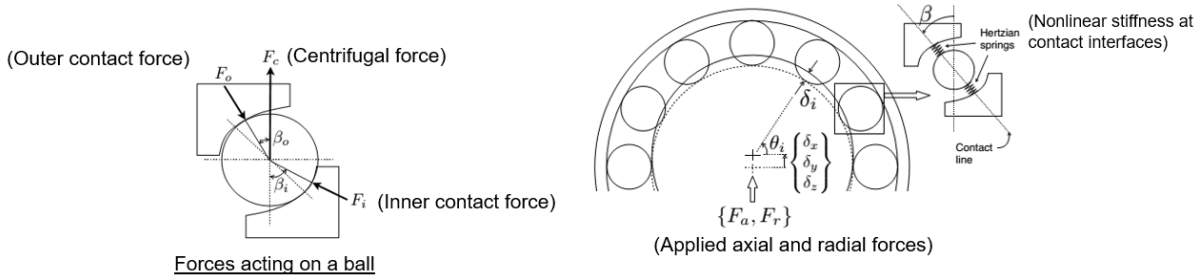
Şekil 3 – Romax’ın Zaman Adımı Manipülasyonu



Şekil 4 - Romax’ın Rulman Dinamiği Hesaplama Yaklaşımı

2.1. İç Yük Dağılımının Hesaplanması

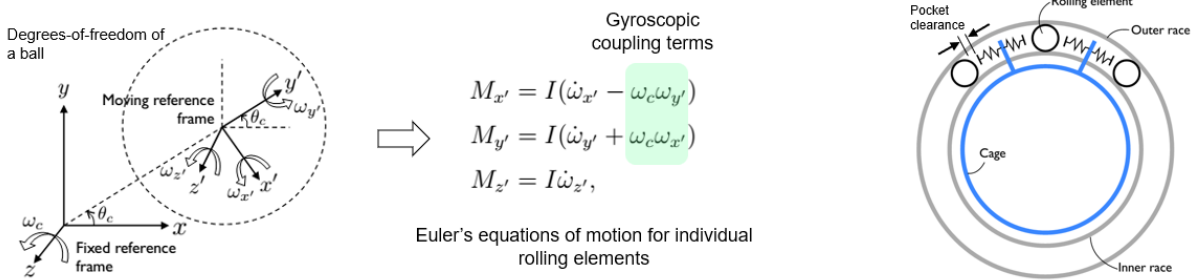
- Bir rulman içindeki her bir yuvarlanma elemanı altı serbestlik derecesine sahiptir.
- İç yük dağılımı hesaplanırken aşağıdakiler dikkate alınmaktadır:
 - Sistem sehimi (deflection)
 - İç boşluklar (internal clearances)
 - Yüksek hızlı uygulamalar için merkezkaç etkileri
 - Kontak yüzeylerinde doğrusal olmayan direngenlik
 - İç ve dış bilezik kanallarının deformasyonu



Şekil 5 – Rulman İç Yük Dağılımı

2.2. Dinamik Rulman Modeli

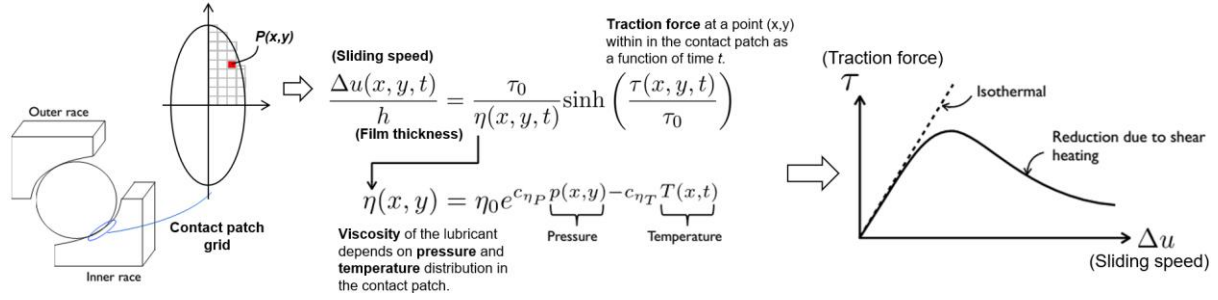
- Rulmanın zaman düzlemindeki çoklu cisim dinamiği modelidir.
- Dinamik model, yüksek hızlı merkezkaç ve jiroskopik etkileri içermektedir.
- Rulmanda bulunan kafes yapısını içermektedir.
- Kafes cep (pocket) boşluğunu dikkate alarak yuvarlanma elemanları ile kafes yapısı arasındaki sürtünme ve kontak kuvvetlerini hesaplamaktadır.
- Kafes yapıları altı serbestlik derecesine sahiptir. Kafes cepleri tam küre veya silindirik şekilde olabilmektedir.



Şekil 6 – Dinamik Rulman Modeli

2.3. Elastohidrodinamik (EHD) Yağlama Modeli

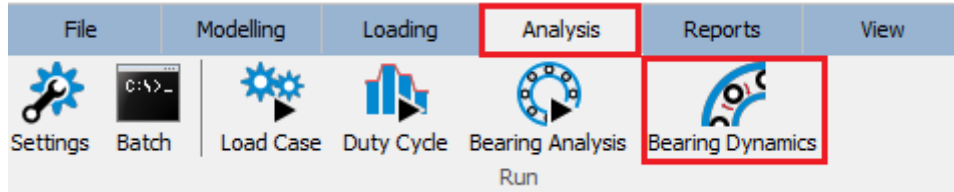
- Her bir zaman adımında çekiş (traction) kuvvetlerini hesaplamak için Newtonian olmayan EHD modeli kullanılmaktadır.
- Model, kontak alanındaki kayma hızı, basınç ve sıcaklık değişimlerini dikkate almaktadır. Bu parametrelerin her biri de zamanla değişmektedir.



Şekil 7 – Elastohidrodinamik Yağlama Modeli

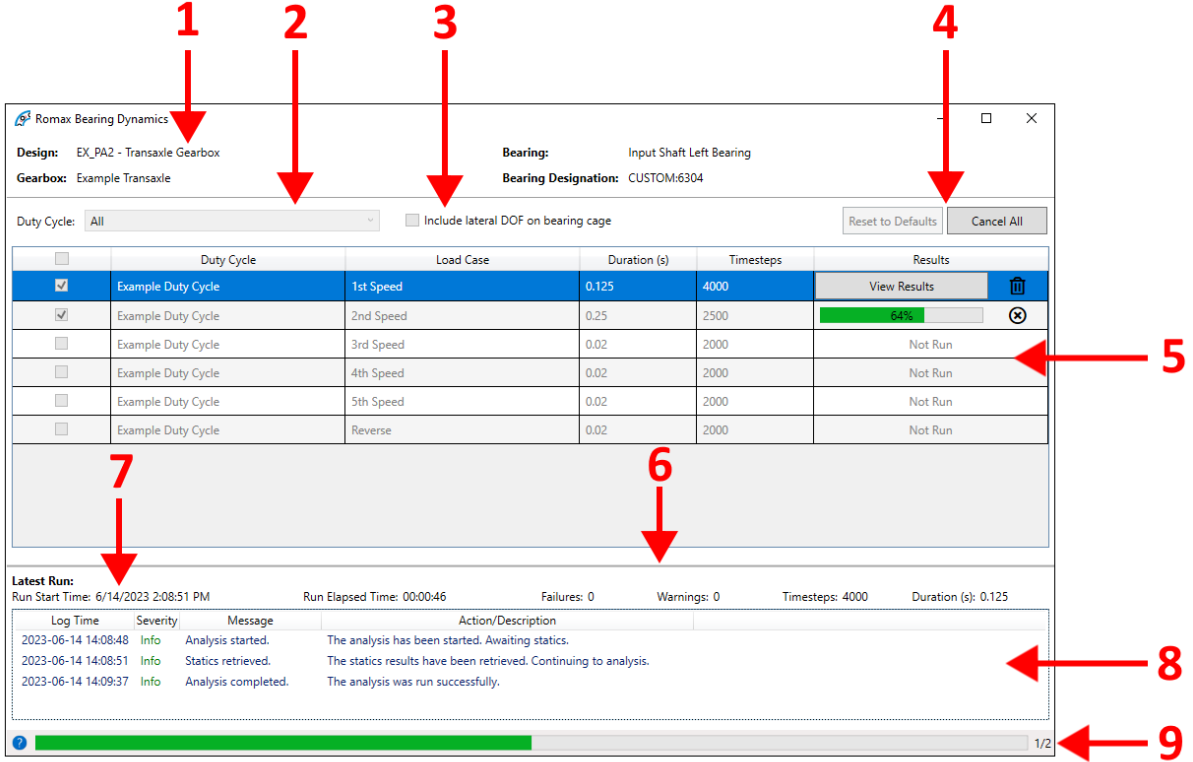
3. “BEARING DYNAMICS” PENCERESİNİN TANITILMASI

Rulman dinamiği analizlerinin gerçekleştirilebilmesi için “Romax Spin (BG-01)” ve “Bearing Dynamics (BG-03)” lisanslarına ihtiyaç duyulmaktadır. Rulman dinamiği çalışmaları için sırasıyla – Analysis → Bearing Dynamics – seçeneği ile dinamik analiz süreci başlatılabilmektedir.



Şekil 8 – Romax Arayüzünde Rulman Dinamiği Seçeneği

3.1. Analiz Penceresinin Tanıtılması



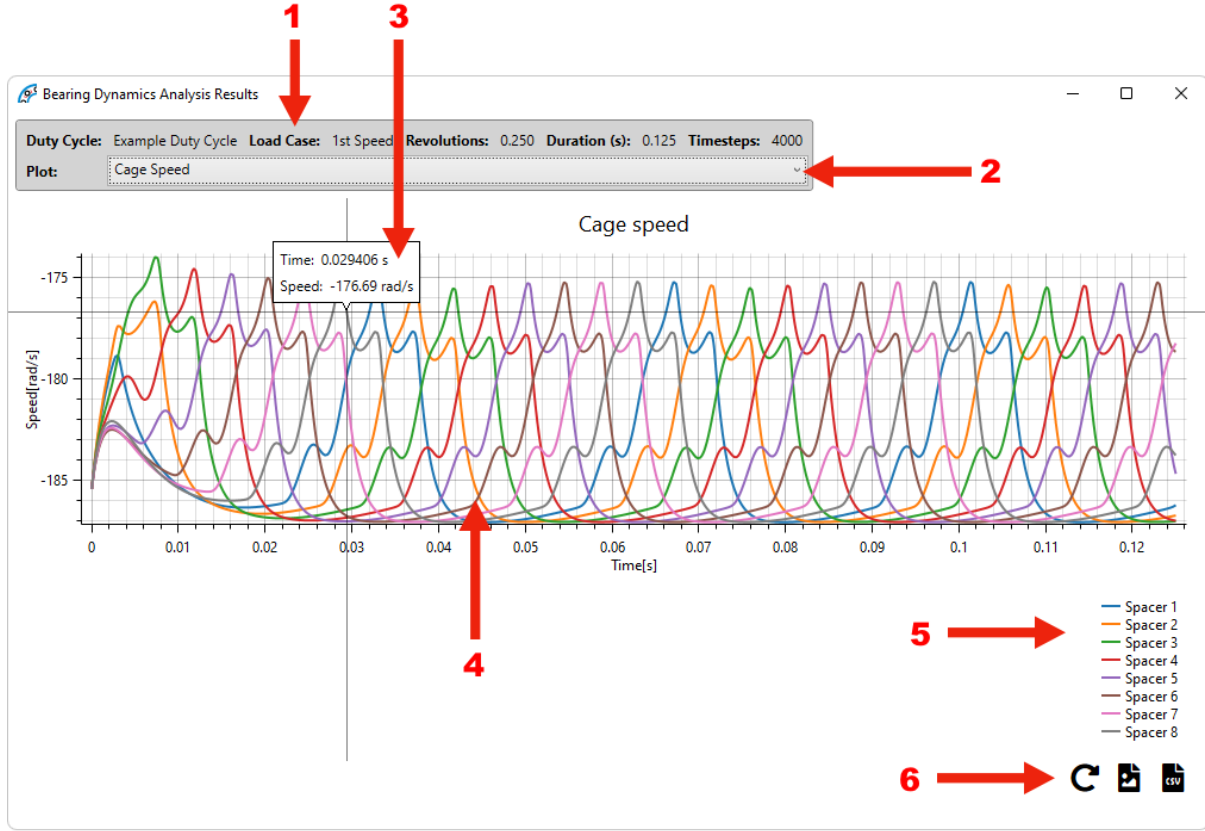
Şekil 9 – Rulman Dinamiği Analiz Penceresi

Şekil 9’dan yararlanılarak analiz penceresi aşağıdaki gibi açıklanabilir:

1. Tasarım, dişli kutusu modeli ve rulman hakkında bilgilendirme bölümü
2. Analizde kullanılacak görev çevriminin seçilmesi ve filtreleme işlemleri
3. Kafes yapısının serbestlik derecesini değiştirmek için kullanılan bir seçenektir. Bu özellik sadece belirli rulmanlar için desteklenmektedir.
4. Seçilen yük durumları için rulman dinamiği analizinin başlatılması, devam eden analizlerin iptal edilmesi ve analiz girdilerini varsayılan ayarlara geri getirme seçenekleri
5. Belirli bir görev çevrimi altındaki yükleme durumlarının listesi
6. Yükleme durumlarının listesini (5) ve seçilen yükleme durumu için gerçekleştirilen son analizin ayrıntılarını (7) içerir
7. Tamamlanan son analizin detaylarını içeren bölüm
8. Tamamlanan son analizden gelen bilgi mesajları
9. Analizlerin gidişatını takip edebilmek için ilerleme çubuğu

Belirli bir yükleme durumuna göre analizler gerçekleştirildikten sonra “View Results” seçeneğiyle birlikte sonuçların incelenebileceği bir pencere açılabilir.

3.2. Sonuç Penceresinin Tanıtılması



Şekil 10 – Rulman Dinamiği Sonuç Penceresi

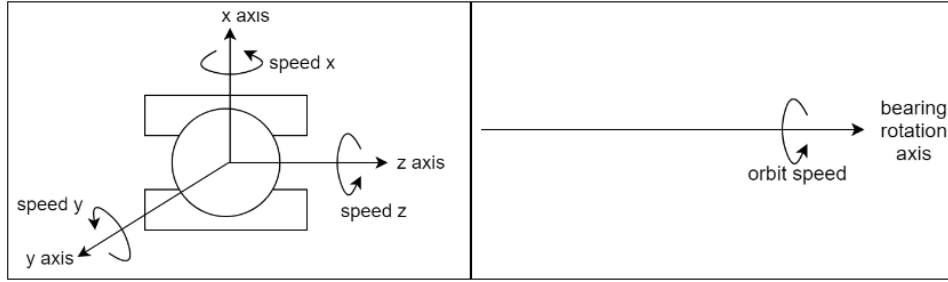
Şekil 10'dan yararlanılarak sonuç penceresi aşağıdaki gibi açıklanabilir:

1. Tamamlanan analizle alakalı bilgilendirme bölümü
2. Grafik olarak çizdirilecek sonuçların seçilebildiği alan
3. Grafik üzerinden ayrıntılı değer okuma seçeneği
4. Çizdirilen grafik bölümü
5. Gösterge bölümü
6. Ek grafik seçenekleri

3.3. Grafik Türlerinin Tanıtılması

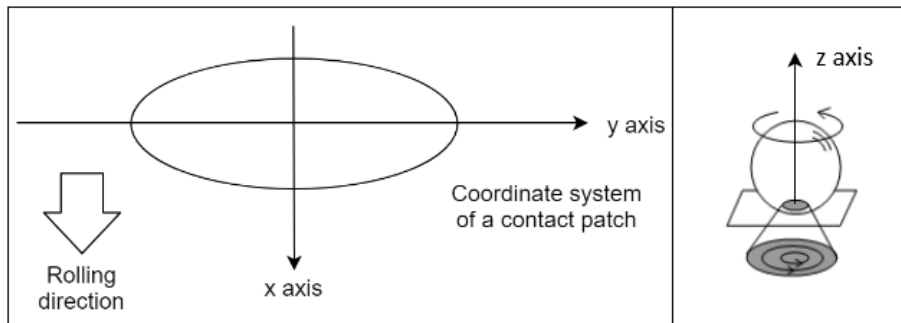
Zamana bağlı çizdirilen sonuçlarda;

- **Raceway Load Distribution:** Yuvarlanma elemanları ve bilezik kanalları arasındaki yük dağılımını göstermektedir.
- **Cage Speed:** Kafesin dönme hızının zamana göre değişimini göstermektedir.
- **Element Speed:** Her bir rulman elemanı için kendi referans koordinatındaki (Şekil 11) açısal hız değişimini göstermektedir.



Şekil 11 - Rulman Elemanının Referans Koordinatı

- **Cage Force:** Farklı rulman elemanları ve kafes sütunları (cage pillars) arasındaki kontak kuvvetini göstermektedir.
- **Element Orbit Angle:** Yuvarlanma elemanın, rulmanın X eksenine ile arasındaki açıyı göstermektedir.
- **Cage Rotation Angle:** Tek gövdeli kafes yapılarında, kafesin rulman eksenine etrafındaki dönüş açısını göstermektedir. Birden fazla ara halkaya (spacer) sahip kafes yapılarında, her bir ara halkanın rulman eksenine etrafındaki dönüş açısını göstermektedir.
- **Slip Velocity:** Her bir rulman elemanı için kayma hızının zamana bağlı değişimini göstermektedir.
- **Spin Speed:** Her bir yuvarlanma elemanın, kontak bölgesindeki Z eksenine ile arasındaki açısal hızını göstermektedir.



Şekil 12 - Rulman Elemanının Kontak Bölgesindeki Referans Eksenleri

- **Combined Slip Speed Distribution:** Her bir rulman elemanı için seçilen zaman adımlarında, kayma hızının kontak bölgesi üzerinde nasıl dağıldığını göstermektedir.
- **Linear Speed Slip Distribution:** Rulman elemanlarının Z eksenindeki dönüşünü dahil etmeden yalnızca doğrusal hız farkının neden olduğu kayma hızını göstermektedir.
- **Angular Slip Speed Distribution:** Rulman elemanlarının doğrusal hız farkını dahil etmeden yalnızca rulman elemanının dönüşünden kaynaklı oluşabilecek kayma hızını göstermektedir.
- **PV Factor Distribution:** Her bir rulman elemanı için seçilen zaman adımlarında, PV (Pressure-Velocity) faktörünün kontak bölgesi üzerinde nasıl dağıldığını göstermektedir. PV faktörünün yüksek değerleri rulmanda savrulma (skidding) hasarı olasılığını arttırabilmektedir.
- **Maximum PV Factor:** Kontak bölgesi üzerindeki PV faktörünün maksimum değerinin zamana bağlı değişimini göstermektedir.
- **Heat Generated:** Kontak bölgesinde hesaplanan toplam ısıyı ve zamana bağlı değişimini göstermektedir.
- **Cage Trajectory:** Kafesin kütle merkezinin izlediği yörüngeyi veya takip ettiği yolu, zamana bağlı olarak incelenmesini sağlamaktadır.

4. REFERANS

- i. Romax Online Help Documentation
- ii. Hexagon – Nexus Documentation Center
- iii. BD1 – Bearing Dynamics Tutorial Documentation
- iv. Hexagon MI Romax Spin Bearing Dynamics Overview Presentation
- v. TIMKEN – Bearing Damage Analysis Guide