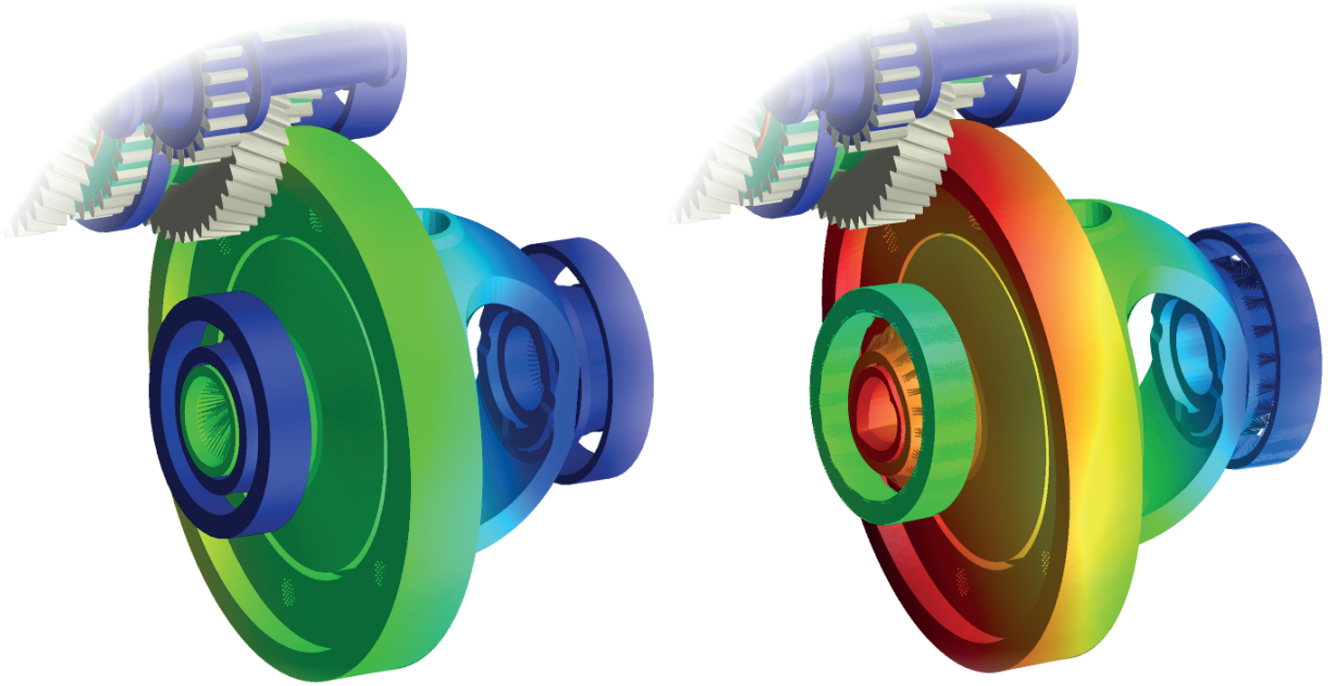


TEKNİK DOKÜMAN



Romax

Bu teknik yazıda, Romax yazılımında esnek iç ve dış rulman bileziklerinin nasıl modellenebileceği, bu yaklaşımın sistem seviyesindeki yapısal davranış üzerindeki etkileri ve dikkat edilmesi gereken teknik detaylar ele alınmaktadır.



BIAS
MÜHENDİSLİK

+



HEXAGON

Authorised Hexagon reseller

ROMAX İLE ESNEK RULMAN ANALİZLERİ

HAZIRLAYAN
Eren Morgil Kıdemli Mekanik Simülasyon Mühendisi

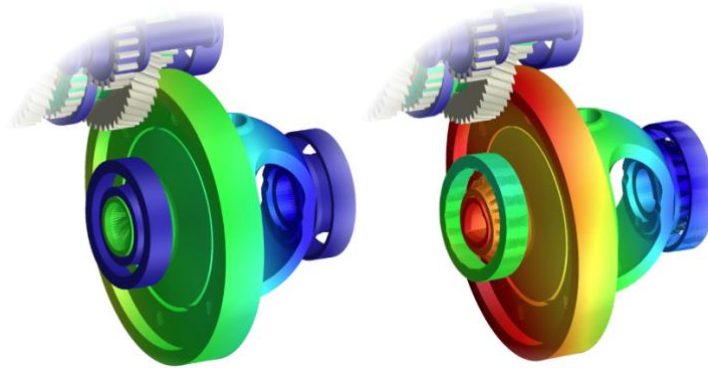
Tarih: 21/05/2025

1. GİRİŞ

Romax yazılımında kullanılan rulmanlar, çoğunlukla bileziklerin rijit olduğu varsayımıyla analiz edilmektedir. Bu yaklaşım, yalnızca mil ve/veya dış muhafaza (housing) deformasyonlarından kaynaklanan bilezikler arası hizalama hataları ile yuvarlanma elemanları ve bilezikler arasındaki lokal temas deformasyonlarının dikkate alınmasını içermektedir. Pek çok uygulama için bu varsayım geçerli olsa da bazı özel durumlarda bilezik esnekliğinin modele dahil edilmesi gerekebilir. Bu durumlar aşağıda sıralanmıştır:

- Dar kesitli (thin-section) rulmanların kullanıldığı sistemler,
- Aşırı yüklere maruz bırakılan rulmanlar,
- Esnek yapılara monte edilen rulmanlar,
- Yüksek ön yük (preload) uygulanan sistemler,
- Eksenel yük taşıyan rulmanlar.

Bu gibi durumlarda rijit bilezik varsayımının geçerliliğini yitirdiği ve performans tahminlerinde hatalara neden olabileceği gözlemlenebilmektedir.



Şekil 1 – Rijit Rulman (Sol) ve Esnek Rulman (Sağ) Modellerinin Karşılaştırılması

2. ROMAX'TA RULMAN BİLEZİKLERİNİN ESNEKLİĞİ

Romax yazılımında rijit rulman bileziklerinin yanı sıra, esnek bilezik modelleme seçenekleri de sunulmaktadır. Bu kapsamda iki farklı yöntem kullanılabilir: 1D ve 3D (tam FE, yani tam esnek).

2.1. 1B Esnek Rulman Bileziği

Rulmanın yüzey bağlantılarının hangi bileşenlere yapılacağını tanımlanarak, rulman aracılığıyla eksenel yük transferi sağlanabilir. Bu durum, rijit bileziklerde mümkün değildir.

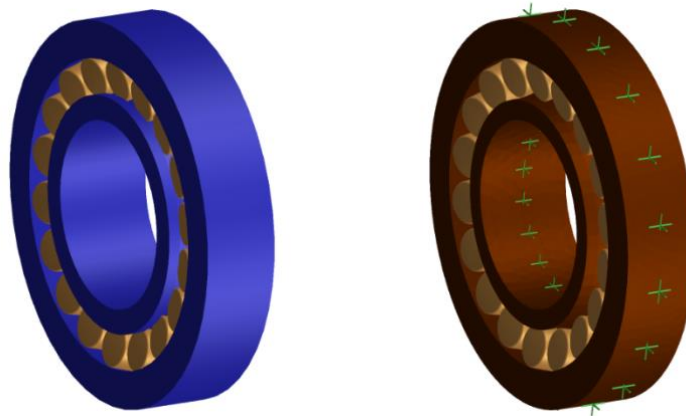
Bu yüzey bağlantıları, herhangi bir mil, gövdeye veya başka bir rulmana yapılabilir. 1B rulman modeli, Romax'ın tüm temel modülleriyle kullanılabilirken, 3B esnek rulman bileziklerinde yalnızca bir eksenel konumda ve yalnızca monte edildiği mil veya gövdeyle bağlantı yapılabilmektedir.

2.2. 3B Esnek Rulman Bileziği

3B rulman bileziği modeli, Romax Technology tarafından geliştirilen hibrit bir simülasyon yaklaşımıdır. Analitik yöntemler ile sonlu eleman (FE) analizlerinin birleştirildiği bu yaklaşım sayesinde, hesaplama maliyeti ciddi biçimde artmadan bilezik esnekliği modele dahil edilebilmektedir.

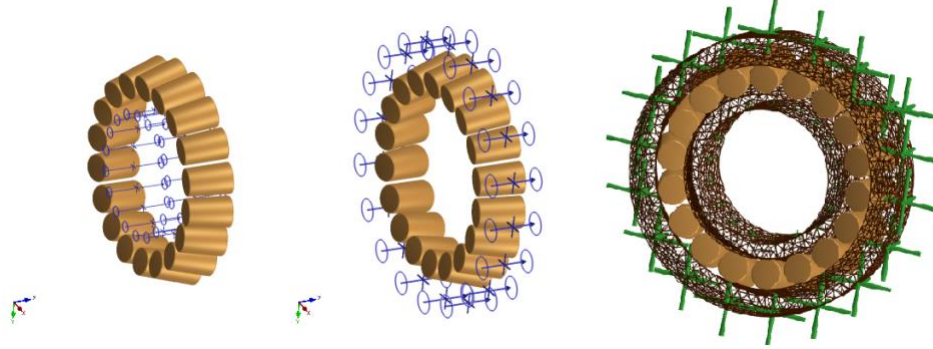
Bir rulman 3B esnek hâle getirildiğinde yazılım tarafından otomatik olarak:

- Rulman bileziğine ait ağ yapısı (mesh) oluşturulmakta,
- Rulman elemanları ile bilezikler arasındaki bağlantılar tanımlanmakta,
- Bilezik ile mil/muhafaza arasındaki bağlantılar kurulmaktadır.



Şekil 2 – Temsili Rijit Rulman (Sol) ve Esnek Rulman (Sağ) Görseli

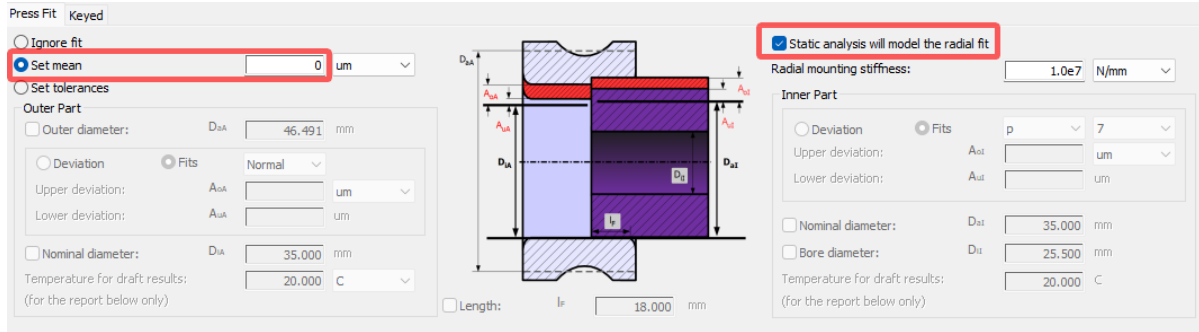
Rijit rulmanların aksine, 3B esnek rulmanlarda her bir eleman ve bağlantı için ayrı düğümler (condensation nodes) oluşturulmaktadır. Mil ve muhafazaya tek bir düğümlle bağlanan rijit yatakların aksine, 3B esnek rulmanlarda sisteme her bağlantı (mil ve/veya muhafaza) için eleman başına bir düğüm (condensation nodes) tanımlanmaktadır. Ayrıca, modelde bir muhafaza tanımlı değilse, dış bilezik esnek olarak modellenememektedir.



Şekil 3 – İç ve Dış Bilezik İçin Bağlantı Düğümlerinin Gösterimi

2.2.1. İç ve Dış Bilezik İçin Montaj Seçeneklerinin Değiştirilmesi

Mil, muhafaza ve rulman bileziklerinin tam esnekliğinin hesaba katıldığı durumlarda, bu bileşenlerde meydana gelen şekil değişiklikleri (ovalizasyon gibi) farklı davranışlara yol açabilmektedir. Bu etkiler, rijit bilezik kullanımı durumunda genellikle modellenemediğinden radyal montaj tipi “Fixed with clearance” olarak ayarlanması önerilmektedir. [i]

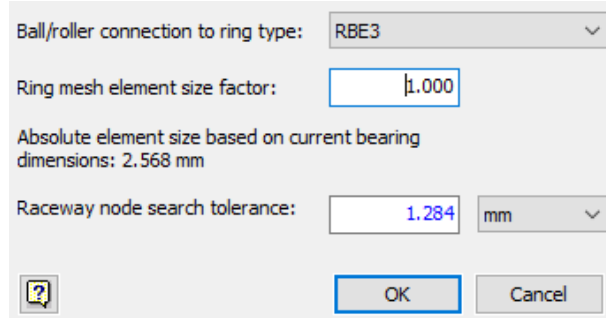


Şekil 4 – Rulman Modelleri İçin İç Bilezik Montaj Detayları

2.2.2. Rulman Bilezikleri İçin Ağ Detayları

Bileziklerin ağ yapısı ve rulman elemanlarıyla olan bağlantıları Romax tarafından otomatik olarak oluşturulmaktadır. Gerek görülmesi hâlinde bu yapı “Bearing Ring Mesh Details” penceresi aracılığıyla özelleştirilebilir. Bağlantılar için RBE2 ve RBE3 gibi eleman türleri kullanılabilir.

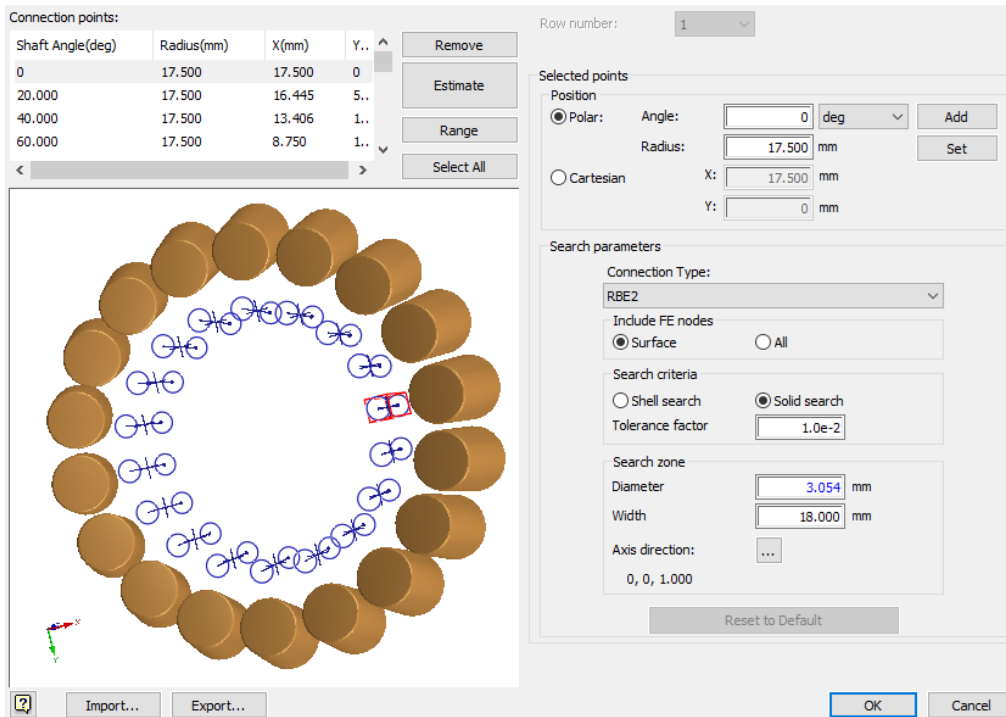
Ağın detay seviyesini değiştirmek için “Ring mesh element size factor” parametresi kullanılabilir. Bu ayarların varsayılan olarak bırakılması tavsiye edilmektedir. [i]



Şekil 5 – Rulman Bilezikleri İçin Ağ Seçenekleri

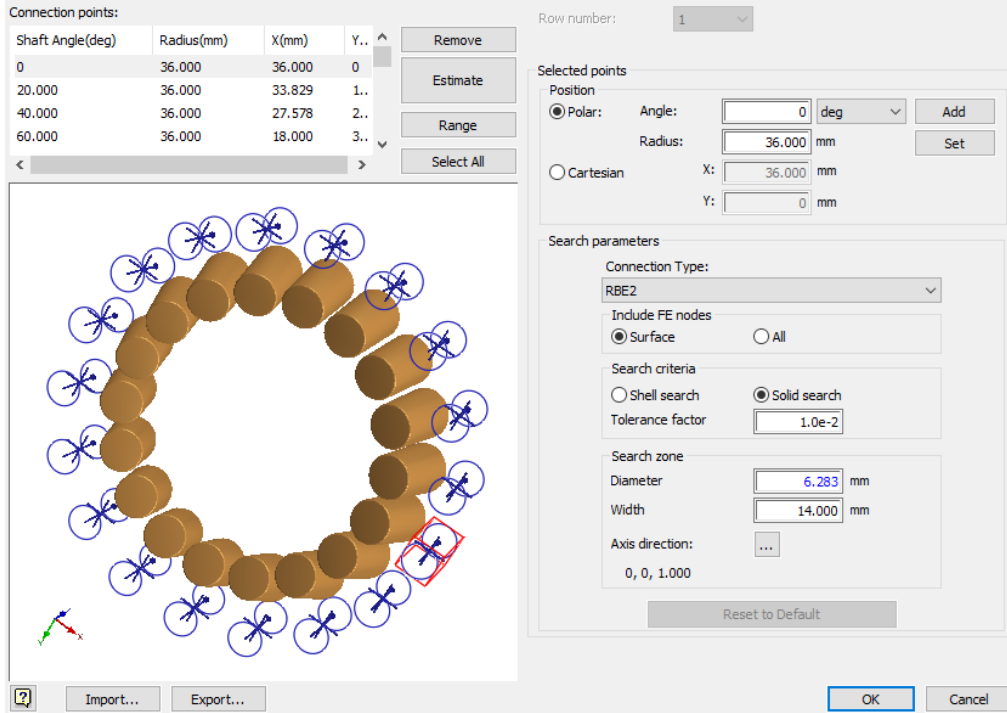
2.2.3. Bağlantı Düzümlerinin Radyal Konumunun Değiştirilmesi

Bilezik ile mil/gövde arasındaki bağlantılar da otomatik olarak oluşturulmaktadır ve “Inner Mounting/Outer Mounting → Connection Node Radial Positions” seçeneği ile düğüm konumu, düğüm sayısı ve bağlantı elemanları için tarama alanı gibi ayarlar değiştirilebilmektedir. Romax tarafından otomatik tanımlanan değerlerin kullanılması önerilmektedir. [i]



Shaft Angle(deg)	Radius(mm)	X(mm)	Y..
0	17.500	17.500	0
20.000	17.500	16.445	5..
40.000	17.500	13.406	1..
60.000	17.500	8.750	1..

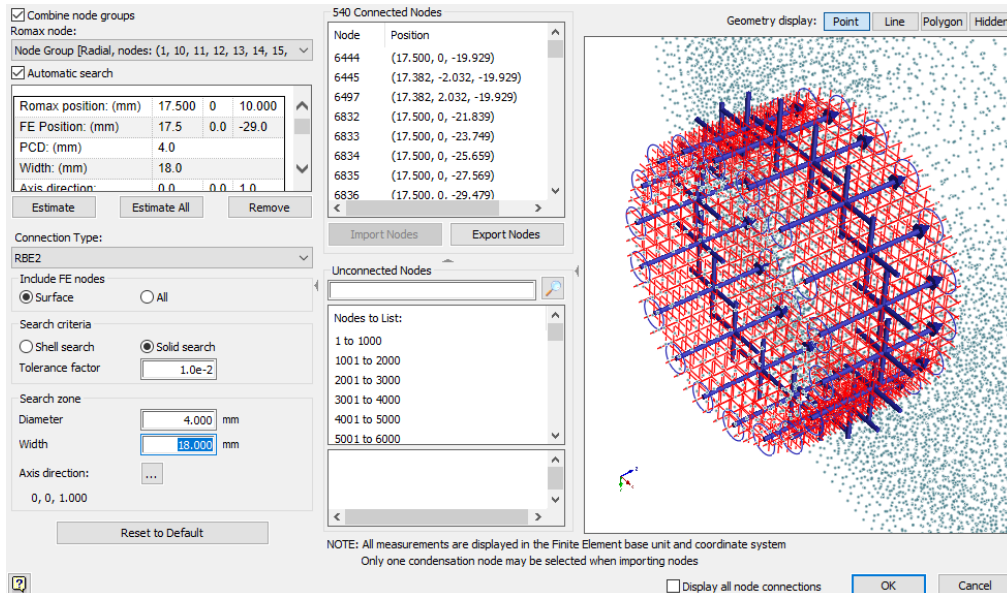
Şekil 6 – Örnek Bir İç Bilezik İçin Bağlantı Düzümlerinin Gösterimi



Şekil 7 – Örnek Bir Dış Bilezik İçin Bağlantı Düğümlerinin Gösterimi

2.2.4. İç ve Dış Bilezik Düğüm Bağlantılarını Kontrol Etme

Tüm ayarlamalar tamamlandıktan sonra, mil ve gövde üzerindeki düğüm bağlantıları “Modelling → FE → Edit Node Connections” seçeneği ile kontrol edilebilmektedir. Yeterli olmayan bağlantı seçenekleri, analiz sırasında yakınsama sorunlarına ve analiz hatalarına yol açabilmektedir.

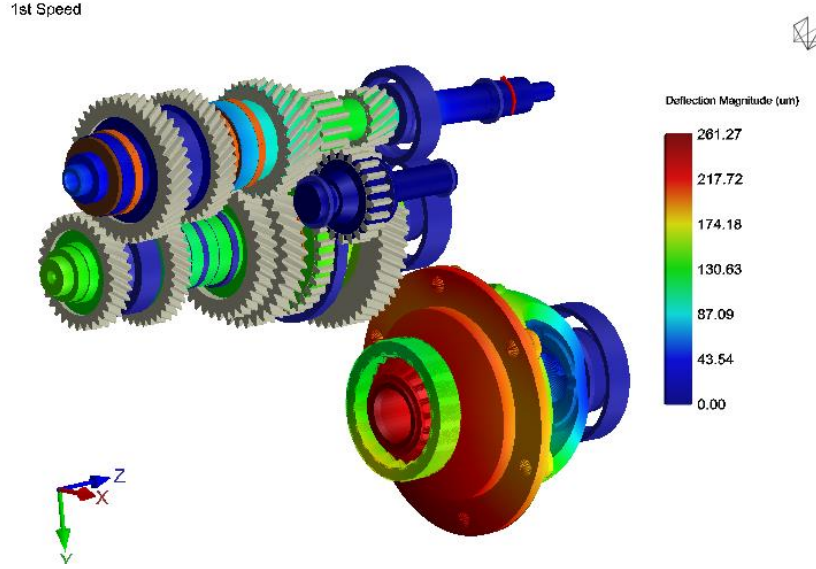


Şekil 8 – Bağlantı Düğümeleri İçin Arama Kriterlerinin Tanımlanması

3. ESNEK RULMAN ANALİZ SONUÇLARI

İleri rulman analizleriyle beraber; sistem ve komponent bazlı sehim, statik analiz sonuçları, esnek bilezik sonuçları, ömür hesapları, eleman bazlı yük hesaplamaları gibi sonuçlar incelenebilmektedir.

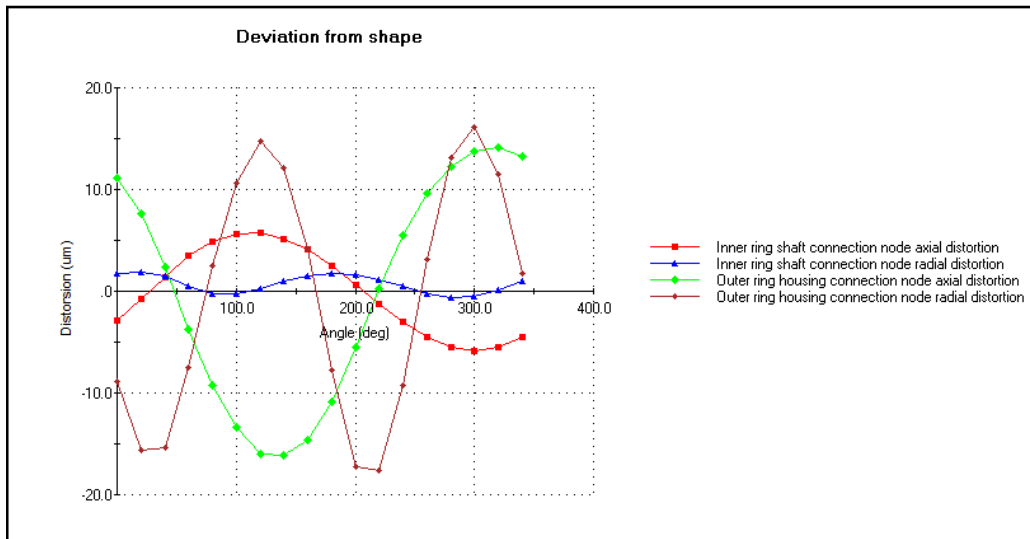
Örnek bir modelde gerçekleştirilen analizlerde, sistemdeki tüm sonlu eleman modellerinin dahil edilerek hesaplanan sehim sonuçları Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 9 – Sonlu Eleman Modelleri Etkisindeki Sehim Sonuçları

“Flexible Ring Results” ile esnek rulman için iç ve dış bileziklerin hem eksenel hem de radyal bozulmaları incelenebilmektedir. Şekil 10'da örnek bir sonuç grafiği gösterilmektedir.

Brg Diff Shaft LH [1st Speed]



Şekil 10 – Esnek Bilezik Modelleri İçin Örnek Bir Bozulma Grafiği

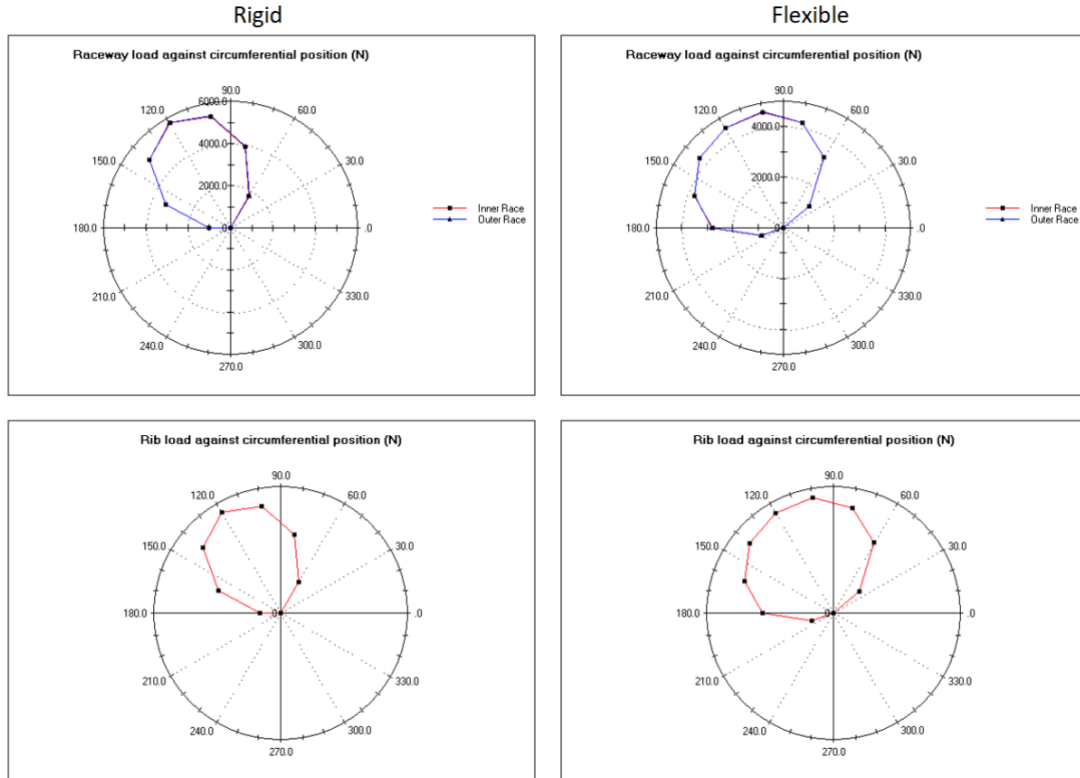
ISO/TS 16281 standardına göre yapılan rulman ömrü hesaplamasında, esnek rulmanın ömrü, rijit bilezikli rulmanlara kıyasla yaklaşık 1.6 kat daha uzun çıkmaktadır. Bu fark; çeşitli etkenlerle beraber özellikle bilezik deformasyonları sayesinde yuvarlanma elemanları arasında yük dağılımının daha düzgün olmasından kaynaklanmaktadır. İlgili rulman ömrü sonuçları Tablo 1’de gösterilmektedir.

Standart bazlı sonuçlarda, her standardın varsayımları ve yaklaşımları farklı olduğundan sonuçlara olan etki de farklılık gösterecektir. Rulman performansı üzerindeki bilezik esnekliği etkisi, ISO/TS 16281 standardı için ISO 281 standardına göre çok daha belirgin olabilmektedir.

Tablo 1 - Rulman Ömrü Detay Sonuçları

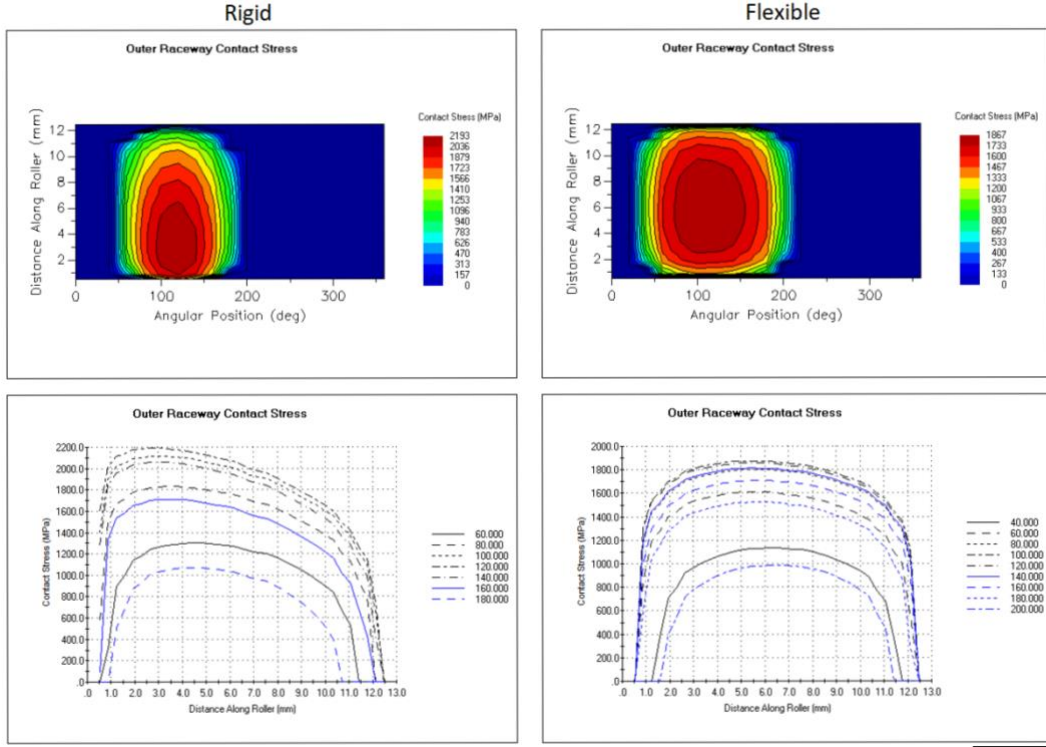
Rulman Ömrü Sonuçları		Rijit Bilezik	Esnek Bilezik
Modified life: (hrs)	ISO 281: (hrs)	342.7	339.4
	ISO/TS 16281 Basic: (hrs)	638.3	1053.9
Damage: (%)	ISO 281: (%)	2.0	2.1
	ISO/TS 16281 Basic: (%)	1.1	0.7

Şekil 11’de, her iki rulman türündeki eleman yükleri karşılaştırılmıştır. Esnek rulman, yuvarlanma elemanları arasında daha dengeli bir yük dağılımı sağlamaktadır. Bu durum aynı zamanda nervür (rib) yüklerine de yansımaktadır.



Şekil 11 – Örnek Bir Rijit ve Esnek Rulman Modeli İçin Eleman Bazlı Sonuçlar

Temas gerilmesine dair sonuçlar Şekil 12’de gösterilmektedir. Rijit rulmanlardaki temas gerilmeleri, esnek rulmanlara kıyasla bir miktar daha yüksek hesaplanmaktadır. Ayrıca, yuvarlanma elemanı boyunca temas gerilmeleri, esnek rulmanda daha düzgün dağıldığı görülmektedir. Bu hesaplamanın doğruluğu, yuvarlanma elemanlarında profil düzeltmesi yapılırken büyük önem taşımaktadır.



Şekil 12 – Örnek Bir Rijit ve Esnek Rulman Modeli İçin Temas Gerilme Sonuçları

4. REFERANSLAR

- i. Romax Advanced Tutorial Packs – B2: Flexible Bearing Analysis
- ii. Romax Online Help Documentation
- iii. Hexagon – Nexus Documentation Center