

Linear Gap Elements Kullanımı

HAZIRLAYAN

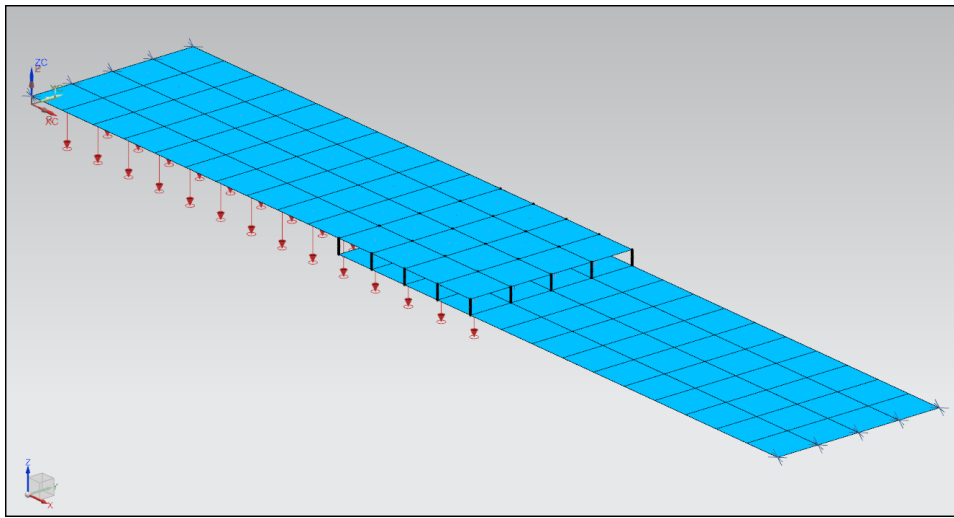
Doğukan Alkan
CAE Uygulama Mühendisi

Tarih : 09 / 11 / 2023

Bu teknik yazı, Nastran yazılımının kullanımı aracılığıyla, Linear Gap elemanlarının kullanımı, modellenmesi ve analizlerinin yürütülmesini kapsamaktadır. Linear Gap içeren analizlerin simüle edilmesiyle, bu analizlerden elde edilen kazanımların aktarılması hedeflenmektedir.

1. Giriş

Nastran, yapısal analizlerin ve mühendislik tasarımlarının yapılması için yaygın olarak kullanılan bir sonlu elemanlar analiz yazılımıdır. Linear Gap elemanlar ise, bu yazılımın içinde kullanılan bir bağlantı elemanı türüdür ve özellikle civata delikleri, boşluklar, temas noktaları ve birleşim yerlerinin modellenmesi gereken yapısal analizlerde kritik bir rol oynarlar. Linear Gap Eleman, yapısal bağlantı noktaları arasındaki boşluğu ve temasın etkilerini modellemek için kullanılmaktadır. Bu elemanlar, malzeme bağlantısının sertlik katsayısını, sürtünme katsayısını ve temas noktasındaki yer değiştirme ilişkilerini tanımlamak için kullanılır. Bu sayede, iki parça arasındaki temasın ve boşluğun etkileri doğru bir şekilde hesaplanmaktadır.



Figür 1 — Linear Gap Elemanların Modellenmesini Gösteren Model

Nastran kullanılarak bu elemanlar, çeşitli mühendislik senaryolarında değerlendirilebilir ve yapısal analizlerin sonuçları iyileştirilebilmektedir. Bu elemanlar, genellikle karmaşık montajlar ve parça birleşimlerinin modellenmesinde kritik bir rol oynar ve mühendislerin gerçek dünya problemlerini başarıyla ele almalarına yardımcı olmaktadır. Bu yazı, arkaplandaki teoriyi açıklayacak ve verimli bir kullanım için örnek üzerinden açıklama yapacaktır.

2. Linear Gap Elemanlar

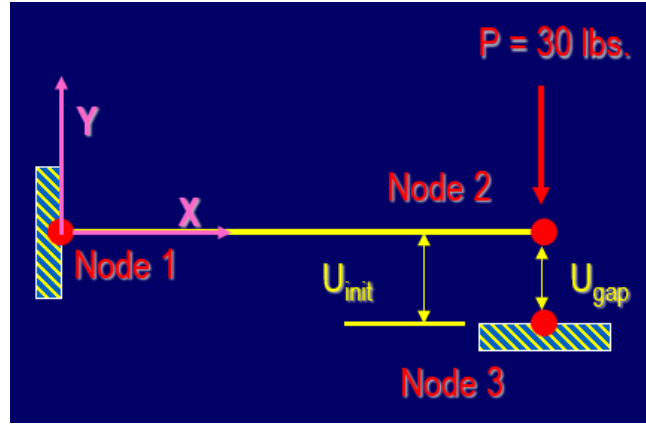
2.1. Linear Gap Eleman Tarihçesi

Sonlu eleman analizi, ilk olarak 1940'lı yıllarda geliştirilmeye başlandı ve o zamandan bu yana sürekli olarak geliştirildi. İlk başlarda, yapıların davranışının daha basit modellerle analiz edilmesine odaklanıldı, ancak zamanla daha karmaşık yapılar ve montajlar modellenmeye başlandı. Bu karmaşık yapılar içindeki boşlukların ve temas noktalarının doğru bir şekilde modellenmesi gerekliliği, Linear Gap Elements'in doğuşuna yol açmıştır. Bu elemanlar, sonlu eleman analizlerinin başlangıcından itibaren yapısal mühendislik problemlerine çözüm getirmek amacıyla tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

Nastran yazılımına ilk olarak 2000'li yılların başlarında eklenen Linear Gap metodolojisi, bu elemanların kullanılabilir olmasını sağlamıştır. Özellikle Nastran V70.5 linear statik (SOL101) çözümü ile birlikte, Linear Gap Element kullanımı artmıştır. Daha önceki çalışmalarda, "temp rod" çözümü ile Linear Gap Eleman, sonlu eleman analizi alanında karmaşık yapıların doğru bir şekilde modellenmesini mümkün kılan önemli bir gelişme olarak kabul edilmektedir. Bu gelişmeler, yapısal mühendislerin daha karmaşık analizler yapmasına ve daha kesin sonuçlar elde etmesine olanak sağlamaktadır.

2.2. Linear Gap Eleman Nedir?

Linear Gap, en temel haliyle bir kontak elemanı olarak düşünülebilmektedir. Bu elemanlar, SOL 106'daki doğrusal olmayan gap elemanlarına (CGAP) bir alternatif sağlamaktadır. DOF'tan DOF'a boşlukları inital opening ile bağlar. SOL 101 ile birlikte kullanılmaya başlanmasıyla, Uçakların yapısal analizi için kullanılabilirliği arttırılmıştır. Çoğu uçak gövdesi yapısı, çeşitli parçaları birbirine bağlayan bağlantı parçalarının yanı sıra kaplamaları, direkleri, çerçeveleri ve kirişleri içermektedir. Bu teknik ile modelleme de kolaylık sağlanmıştır. İsminden de anlaşılacağı üzere linear elemanlardır. Bu nedenle, sürtünme etkilerini, large displacements etkilerini ve material non-linearity özelliklerini içermez.



Figür 2 — Linear Gap Eleman için Uygulama Diyagramı

2.3. Linear Gap Eleman Üstünlükleri

Linear Gap Eleman, eski yaklaşımların en iyi yönlerini daha az karmaşıklık ve daha hızlı çözüm süreleriyle birleştirme amacını taşımaktadır. Temelde, bu araç, "temp rod" adı verilen eski bir yöntemin yaptığını gerçekleştirir, ancak çubuklar veya yaylar yerine Multiple Point Constraints (MPC) kullanır ve kapatma/açma yinelemelerini otomatik olarak gerçekleştirir. Dolayısıyla, en iyi senaryoda bile Linear Gap Elemanın hala doğrusal bir çözüm olduğunu akılda tutmak önemlidir. Nastran yazılımında, SOL 101 analizi Linear Gap Eleman ile en verimli bir şekilde çalışır. Bu analiz türü, büyük sonlu eleman ağlarına sahip modellerin çözülmesi için uygundur. Özellikle topuk-topuk etkileşimleri, delik yataklama, köprü destekleri, yük dağıtımı ve temasların birbirine bağlanma süreçleri gibi senaryolarda sıkça kullanılır. Linear Gap Element, non-linear yöntemlere göre daha verimli sonuçlar sağlar. Ayrıca, SOL 106'daki CGAP elemanının sertlik katsayısından kaynaklanan Penalty Factor sorunu Linear Gap Element ile ortadan kaldırılır. Farklı yükleme senaryolarını tek bir analizle çözebilir. Ancak, Linear Gap Element'in en belirgin eksikliği, free body'lerle çalışamamasıdır. Rijit cisim modlarını bulmak için INREL ve SUPORT kartlarının kullanılması gerekir ve bu kartlar CDITER kartı ile çıkarılır. Inertial relief içeren modellerde ise Linear Gap Element kullanılmaz.

2.4. Linear Gap Eleman Arkaplanındaki Hesaplamalar

Linear Gap Elemanlar, modeldeki boşlukları tanımlamak için Multi-Point Constraints (MPCs) kullanılarak, SOL 101'de uygulanır. MPC'ler kullanıldığından gap'lerde stiffness yoktur; bitişik node'lar kullanıcının belirlediği serbestlik derecelerinde "kaynaklıdır" veya "serbesttir". Linear Gap yalnızca temas veya sıkıştırma kuvvetlerini sağlar. Uygulama nedeniyle sürtünme mevcut değildir, ancak büyük bir problem verimli bir şekilde çözülebilir. MPC'ler, SOL 101'de yerleşik yinelemeli bir teknikle karşılanır. Çözüm, MPC'lerin nüfuzu olmadığında (gap deflection $\geq 0,0$) ve çekme kuvvetleri olmadığında yakınsamaktadır. Oluşturulan Linear Gap Elemanlar, bdf'e PARAM,CDITER,n (Constrained Displacement ITERation) kartıyla yazılmaktadır. Buradaki n sayısı; talep edilen maksimum itersasyon sayısını temsil etmektedir. Çözücü, modeldeki tüm boşluklar çözülene kadar itersasyon yapar. İki itersasyon arasında boşluk durumunda değişiklik olmadığı kabul edilmektedir.



Figür 3 — MPC Tanımlamasında Kullanılacak A ve B Node

Öte yandan, kısıtlama iki cisim arasındaki bağıl hareketi temsil ediyorsa, bu bağıl hareketin serbestlik derecesini tanımlamak için MPC denklemlerine ihtiyaç vardır ve bu daha sonra negatif olmayan bir yer değiştirmeye sahip olacak şekilde sınırlandırılır. MPC tanımlaması için, X yönündeki 0.05 mm'lik Initial Opening ile ayrılan A ve B node'ları göz önüne alınabilir. Gap'in yer değiştirmesi şu şekilde tanımlanır;

$$Ux_{gap} = Ux_A - Ux_B + Ux_{initial} \quad \text{Denklem (1)}$$

Terimler bir MPC denklemine uyacak şekilde yeniden düzenlenirse;

$$Ux_{gap} - Ux_A + Ux_B - Ux_{initial} = 0 \quad \text{Denklem (2)}$$

A noktası = 84 ID numaralı node ve B noktası = 21 ID numaralı node atandığında, bu boşluğu tanımlamak için NASTRAN toplu veri girişleri Figür 3'te gösterilmiştir.

```

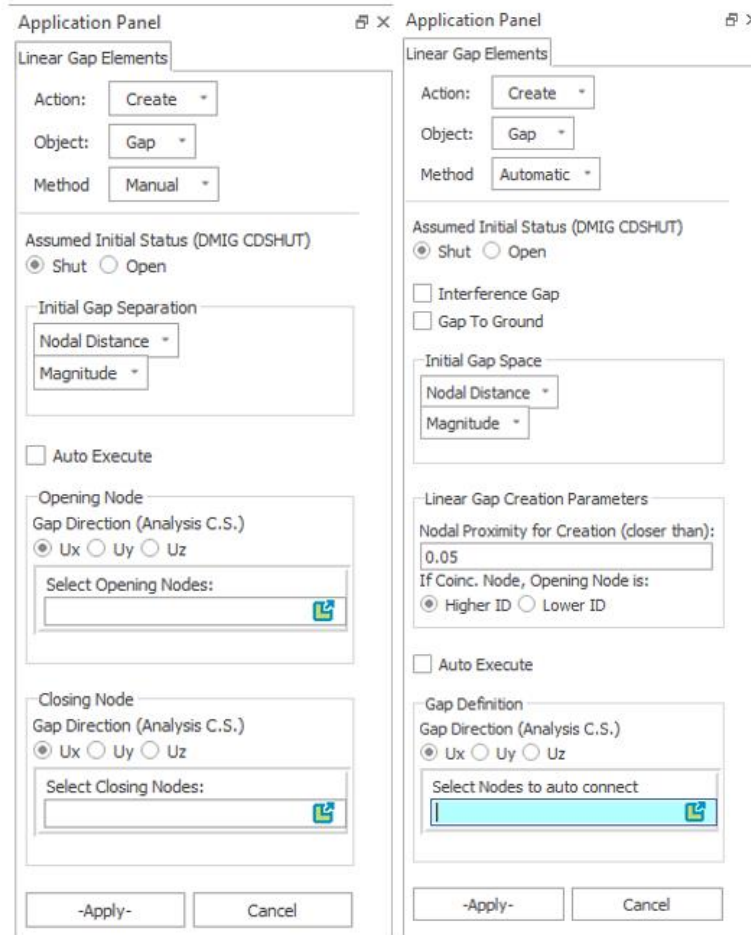
Şgap between grid 84 dof 1 and grid 21 dof 1 init opening = 0.05
SPOINT 10001 10002
SUPORT 10001 0
SPC 101106 10002 0 0.050000
MPC 101106 21 1 1. 84 1 -1.
      10001 0 1. 10002 0 -1.
    
```

Figür 4 — BDF'te Linear Gap Tanımlaması

Figür 4'teki ifadeler sırasıyla şu şekilde açıklanmaktadır. Gap Opening'i tanımlamak için SPOINT 10001 kullanılır. SUPORT kartı, SPOINT 10001'i Nastran R-set'ine yerleştirir. SPONIT 10002 inital gap değeri olarak kabul edilir. Burada 0.05 mm'yi temsil etmektedir.

3. Patran'da Linear Gap Eleman Menüsü

Patran; MPC denklemlerinin formülasyonunda kullanılacak nodeları, grafiksel olarak seçerek Linear Gap Elemanleri oluşturmak için uygun bir yöntem sağlar. Patran'da Linear Gap elemanlar, klasik menülerden farklı bir alanda bulunmaktadır. Eski bir yaklaşım olduğu için Contact kısımlarında değil, Patran Utilities araçlarında bulunmaktadır. Bu araca erişmek için, Patran arayüzünde, Utilities→Applications→Linear Gaps yolunun izlenmesi gerekir. Linear Gaps Eleman oluşturmak için Patran'da 2 yöntem bulunmaktadır. Manuel olarak nodeları seçmek ve Otomatik olarak yakınlık mesafesine göre eşleşecek node grubu seçmek. Her iki yöntem için de oluşturma formu Figür 5'te gösterilmiştir. Bu menüden Linear Gap Eleman'ler oluşturma, görüntüleme, silme, doğrulama ve analiz girdisi oluşturma işlemleri yapılabilmektedir. Oluşturulan Linear Gap Elemanler, Patran database dosyasında saklanmaktadır. Ayrıca session dosyası yardımıyla da oluşturulabilmektedir.



Figür 5 — Linear Gap Uygulama Menüleri

3.1. Manuel Metot ile Oluşturma

Varsayılan olarak Node 1, MPC denklemindeki bağımsız node olur ve Denklem 2'deki gibi yazılır. Bu metotda kullanıcı, önce hangi nodeu seçmesi gerektiğini belirlemelidir. Non-coincident olan nodelar için, seçilen dofta daha yüksek koordinat değerine sahip olan node olmalıdır. Dikkat edilmesi gereken nokta uyumluluğu sağlamak için program tarafından herhangi bir kontrol yapılmamaktadır.

3.2. Otomatik Metot ile Oluşturma

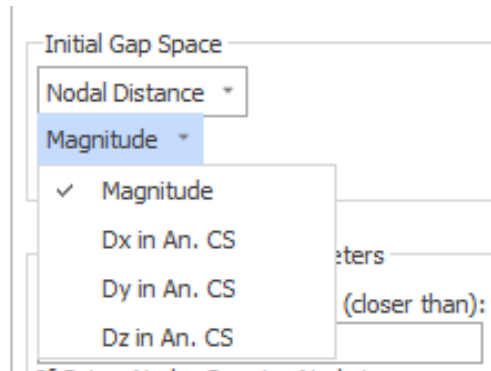
Patran'ın sağladığı çok daha verimli bir araç olan Otomatik metot kullanılarak, yakınlık yoluyla Linear Gap oluşturmaktır. Burada bir node grubu, diğer bir node grubu ile karşılaştırılır. Node'lar belirli bir tolerans içerisindeyse, aralarında Linear Gap oluşturulur. Patran, node koordinatlarına dayalı olarak MPC denklemini otomatik olarak belirleyecektir. Linear Gap Eleman oluşturmak için, sıklıkla tercih edilmektedir. Tolerans değeri dahilinde olan nodelar kullanılarak oluşturulabilmektedir.

3.3. Initial Gap Space Kısmı

Bu kısımda farklı seçenekler sunulmaktadır. Bunlar; Nodal Distance, Separation Distance ve Touching formlarıdır. Touch formu ile nadiren karşılaşılmaktadır. Oluşturma formları, initial gap opening değerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemlere izin vermektedir. Nodal olarak otomatik olarak hesaplanabilir veya kullanıcı tanımlı değer yazılabilmektedir.

3.3.1. Nodal Distance Formu

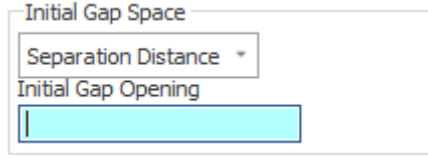
Nodal Distance, initial openingte kullanılacak iki node arasındaki mesafenin büyüklüğünü hesaplayacaktır. Bu form, Katı (solid) modeller için kullanışlıdır ancak gerçek Linear Gap, node mesafesinden farklı olabileceğinden plaka (shell) veya kiriş (beam) modelleri için dikkatli kullanılmalıdır. Nodal Distance'ın alt ayarlarında; Magnitude (büyüklük) veya magnitude nodelarından birinin, analiz koordinat sistemlerinden birine yansıtılması kullanılabilmektedir.



Figür 6 — Initial Gap Space/Nodal Distance Menüü

3.3.2. Seperation Distance Formu

Seperation Distance, kullanıcının inital gap mesafesini manuel olarak belirlmesine olanak tanımaktadır. Kullanıcı bir Linear Gap Elementi modifiye etmek istediğinde, basitçe yeni initial opening değerleriyle aynı node grubu için yeniden oluşturabilmektedir.



Figür 7 — Initial Gap Space/Seperation Distance Menüsü

3.4. Assumed Initial Status (DMIG CDSHUT) Kısmı

Linear Gap Eleman'ların başlangıç konumları; Kapalı (Shut) veya Açık (Open) olarak belirtilebilmektedir. Vektör belirtilmezse, Nastran'da varsayılan olarak, tüm Gapler Kapalı olarak gelir. Gaplerden herhangi biri Açık komut ile oluşturulmuşsa, uygun DMIG CDSHUT girişi bdf'e yazılmaktadır. Başlangıç konumunun dikkatli seçilmesi çözüm yineleme süresini büyük ölçüde arttırmaktadır. Nastran, Open ve Shut durumunu belirlemek için, Iterative çözücü kullanır. Açık/Kapalı durumunun belirtilmesi başlangıç vektörünü de belirtir.



Figür 8 — Initial Status menüsü

3.5. Opening ve Closing Node Kısmı

Bu parametrelerle yalnızca, Manuel metot ile oluşturma seçeneğinde karşılaşılmaktadır. Her Linear Gap Eleman için MPC yazıldığından, MPC'yi doğru bir şekilde tanımlamak için dof'un belirtilmesi gerekir. Patran kullanıcıya yardımcı olmak amacıyla, ilk node grubu seçildiğinde analiz koordinat sisteminde (yer değiştirme koordinat sistemi) yönü belirten bir ok çizer. Analiz koordinat sistemi yönü, nodeun analiz koordinat çerçevesi kullanılarak hesaplanır. Dikdörtgen, silindirik ve küresel koordinat sistemlerinin tümü ile uygun şekilde görüntülenmektedir. "Auto Execute" seçeneği ise, hızlı bir oluşturma için Opening Node ve Closing Node arasında otomatik olarak geçiş yapacaktır. Output Requests olarak Case Control kısmında mutlaka MPC FORCES istenmelidir.

Auto Execute

Opening Node
Gap Direction (Analysis C.S.)
 Ux Uy Uz

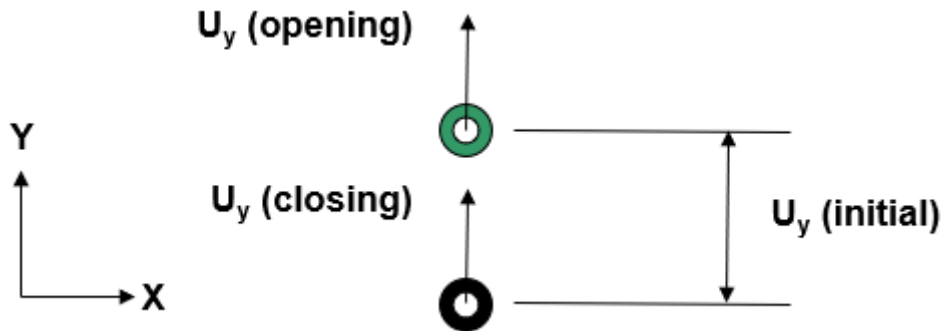
Select Opening Nodes:

Closing Node
Gap Direction (Analysis C.S.)
 Ux Uy Uz

Select Closing Nodes:

Figür 9 — Opening ve Closing Node Menüsü

Opening ve Closing nodeleri bir örnek üzerinden açıklamak gerekirse; masanın üzerinde duran bir kitap gibi düşünülebilir. Yukarı yön +Z olmak üzere, kitaptaki pozitif yerdeğiştirme boşluğu Açmaktadır. Yukarı yön +Z olmak üzere; masadaki pozitif yerdeğiştirme boşluğu Kapatmaktadır. Bu örnek için basit şema Figür 10'da verilmiştir.



Figür 10 — Opening ve Closing Node Şeması

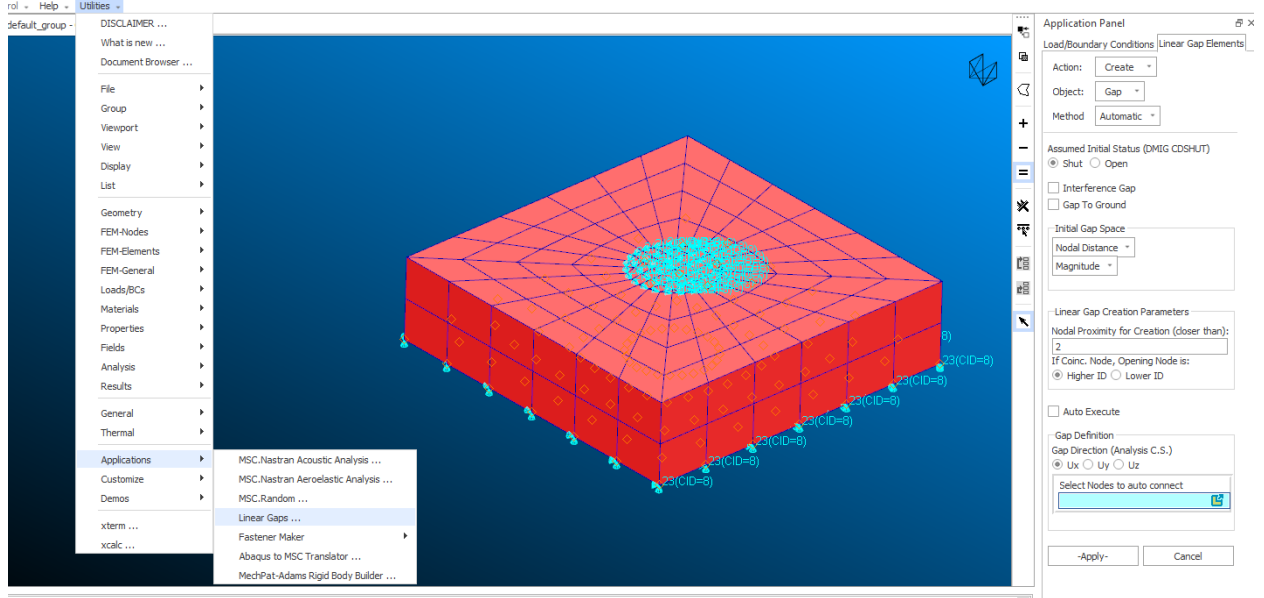
Opening Node : $U_{y\text{opening}}$ Pozitif yerdeğiştirmesi boşluğu açacaktır.

Closing Node : $U_{y\text{closing}}$ Pozitif yerdeğiştirmesi boşluğu kapatacaktır.

Initial Opening : $U_{y\text{initial}}$ İki node arasında başlangıç durumunda bulunan genişlik

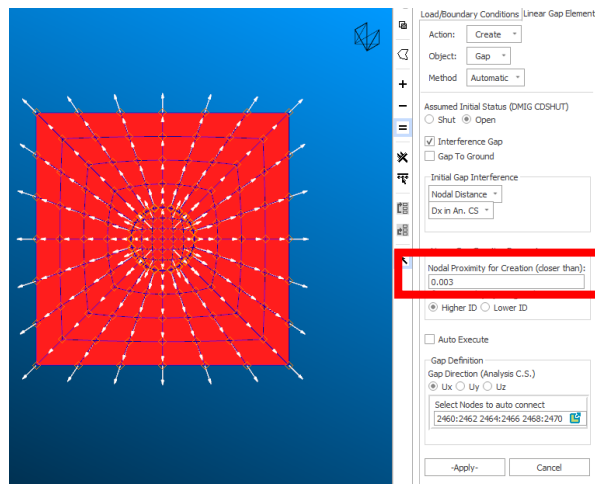
4. Patran'da Linear Gap Eleman Örnek Çalışması

Linear gap elemanların kullanımı ile ilgili tüm bilgiler, önceki bölümlerde aktarıldı. Şimdi bu durumların tamamı kullanılarak, Linear Gap eleman tanımlanacaktır. Patran'da adım adım Linear Gap Eleman eklemek için; Utilities → Applications → Linear Gaps yolunun izlenmesi gerekir. Örneği yapılacak olan model, Figür 11'de verilmiştir.



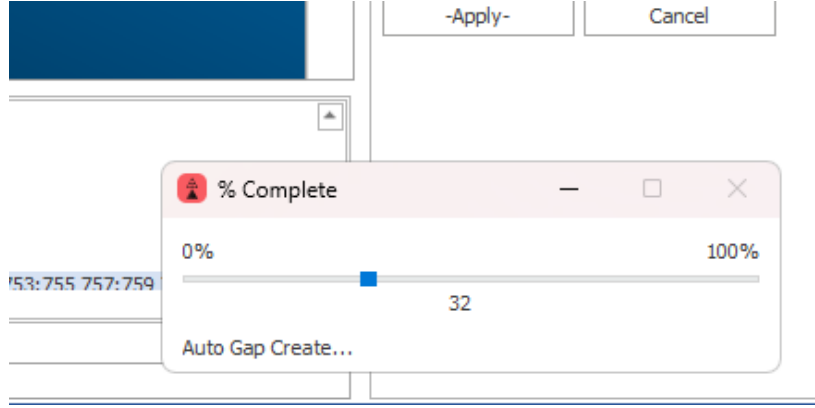
Figür 11 — Linear Gap eleman tanımlamasında kullanılacak model

Model geometrik olarak bir mil ve housingten oluşmaktadır. Modelde bulunan Housing (civatayı saran parça), alt tarafından ve 6 DOF'tan sabitlenmiştir. Yükleme olarak, milin alt yüzeyinin orta kısmından dummy bir kuvvet etki etmektedir.



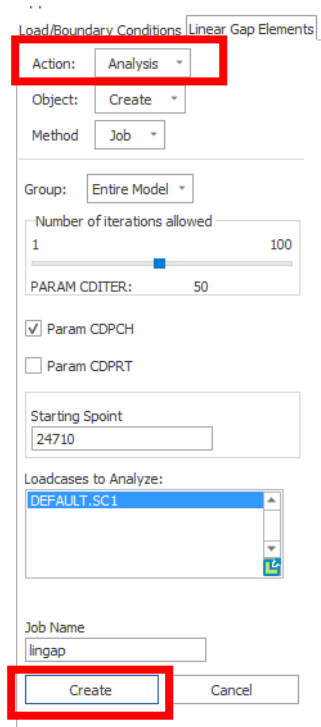
Figür 12 — Linear Gap eleman tanımlanmasındaki yardımcı vektörler

Linear Gap tanımlaması için, bu örnekte Automatic metodu kullanılarak, tanımlama yapılacaktır. Başlangıç vektörünün belirtilmesinden dolayı, Initial Status durumu Open konumundadır. Interference Gap seçenğinin aktif edilmesinin sebebi ise, dummy kuvvetin, sabitlenecek olan yüzey ile aynı düzlemde olmasıdır. Nodal proximity değeri, defaultta geldiği gibi 0.003 olarak kullanılabilir. Böylece, bu değerden büyük olan boşluklarda, Linear Gap eklenmesi sağlanır. Modeldeki tüm nodelar seçilerek, Apply butonuna tıklanır.



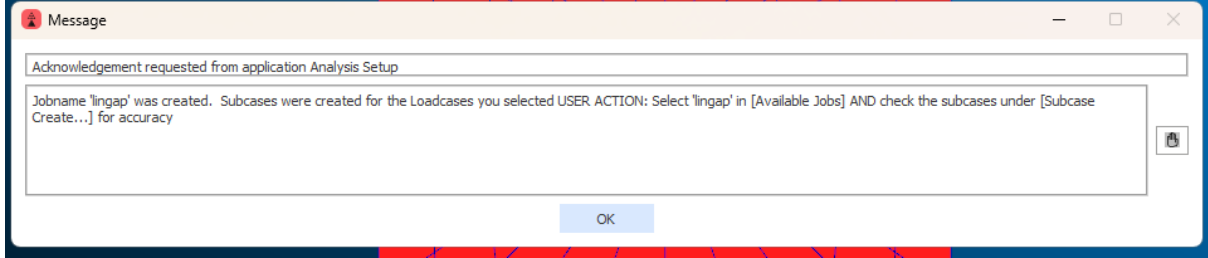
Figür 13 — Patran'ın otomatik Linear Gap Eleman eklemesi

Linear Gap elemanlar, Patran tarafından nodelar arasında otomatik olarak Figür 13'teki gibi oluşturulmaktadır. İşlem bittiğinde 72 adet Linear Gap eleman mevcut olmaktadır. Bunun sebebi, alt ve üst yüzeyde toplam 72 adet nodeun kontağa girmesidir.



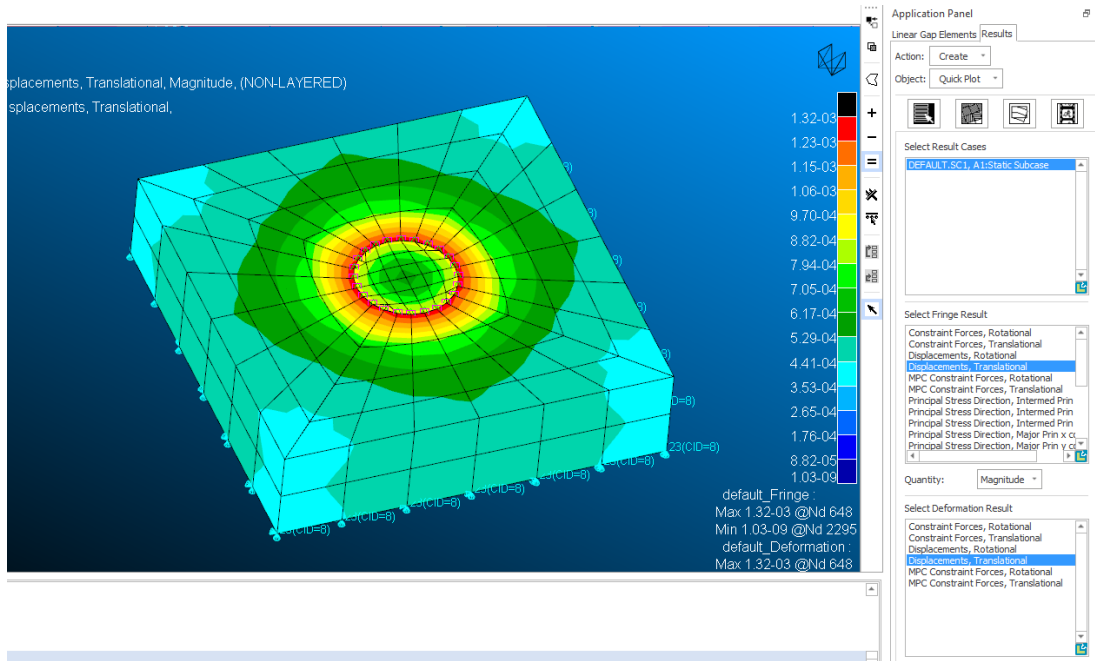
Figür 14 — Linear gap elemanların Job'a gönderilmesi

Linear Gap elemanın oluşturulmasının ardından, bu elemanları dahil eden bir Loadcase'in çözüm olarak Nastran tarafından çözülmesi gereklidir. Figür 14'te gösterildiği gibi Action butonu, "Analysis" olarak değiştirilir. Job name kısmına, isim yazıldıktan sonra "Create" ile yeni bir analiz oluşturulur. Analizin oluşturulduğuna dair, Patran tarafından bilgi mesajı ekranda gözükmetedir.



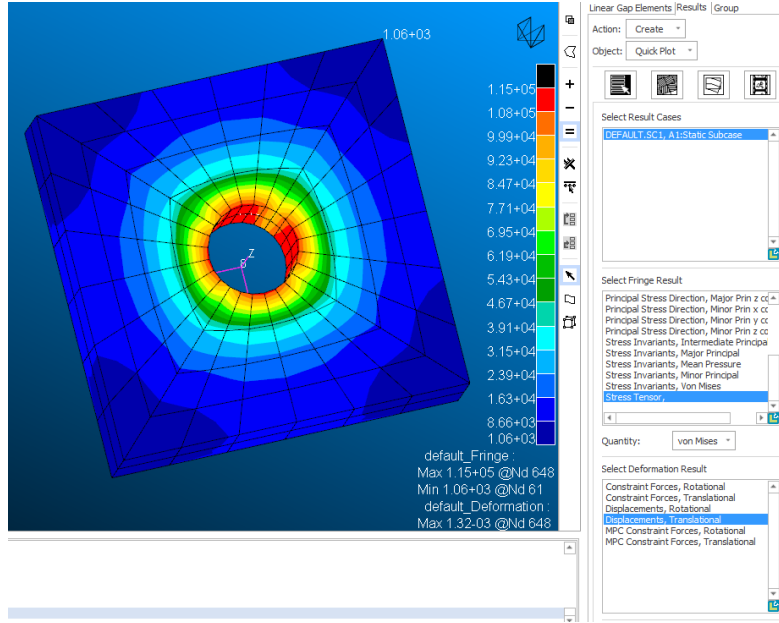
Figür 15 — Patran bilgi penceresi

Bir sonraki adımda doğru Subcase seçimi yapılarak analiz, Nastran'a gönderilir. Çözüm tamamlandıktan sonra, post dosyasını import etmek için, Access Results kısmından .xdb dosyası seçilir.



Figür 16 — Yerdeğiştirme sonuçları

Post-process ekranında model için yerdeğiştirme sonuçları Figür 16'da gözlenmektedir. Kontak bölgesindeki yoğun deplasman kırmızı skala ile temsil edilmektedir. Figür 17'de ise civatanın gizlendiği ve kontak bölgesinde hesaplanan gerilme dağılımı gösterilmektedir.



Figür 17 — Kontak Bölgesindeki Stress Dağılımı

5. Referanslar

- I. PATRAN 2023.2
- II. MSC Nastran 2023.2 Quick Reference Guide
- III. MSC Nastran 2020 - Online Help
- IV. MSC Lunch-n-Learn Series Using Linear Contact in MSC Nastran
- V. Linear Gap New Capability Seminar