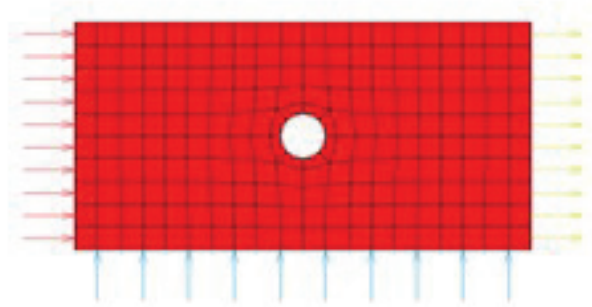
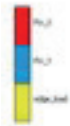


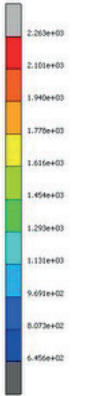
# TEKNİK DOKÜMAN



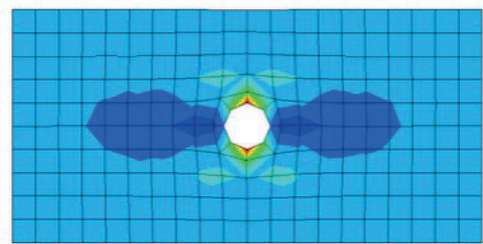
Marc /Mentat



Job: 10  
Time: 1.000e+00



Max: 2.263e+03 @Node 67  
Min: 6.456e+02 @Node 226



Case3  
Equivalent von Mises Stress

**BIAS**  
MÜHENDİSLİK

+



**HEXAGON**

Authorized Hexagon reseller

# Marc ile “Adaptive Mesh” Simülasyonları

Hazırlayan
Betül ABLAY Yapısal Analiz Mühendisi

Tarih: 27/06/2025

Çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılan elastomer parçalar, ince cidarlı metaller, temas bölgeleri ve çatlak oluşumuna açık geometriler üzerinde yüksek deformasyon ve gerilme yığılmalarına rastlanabilmektedir. Bu tür durumlarda, çözüm doğruluğunu artırmak ve ağ bozulmalarını (distorsion) önlemek amacıyla yalnızca sabit ağ kullanımı yeterli olmayabilir. Simülasyon sürecinde, elemanların otomatik olarak yeniden oluşturulması (remeshing) ile ağın kalitesinin korunması büyük önem taşır. Bu nedenle, üretim ve test aşamasına geçilmeden önce, tasarım geliştirme sürecinde adaptif ağ gibi gelişmiş analiz yöntemlerinin kullanılması önerilir. Bu teknik yazıda, MSC Marc/Mentat yazılımında yer alan “Adaptive Mesh” özelliğinin nasıl çalıştığı ve doğrusal olmayan analizlerde nasıl uygulandığı incelenmektedir.

## 1. GİRİŞ

Adaptif ağ yapı oluşturma, çözüm süreci boyunca ağ yapısının otomatik olarak yeniden oluşturulması işlemidir. Amaç, çözüm kalitesini artırmak için eleman boyutlarını ve şekillerini bölgesel olarak optimize etmektir.

Marc/Mentat yazılımı, ileri düzey malzeme modelleri ve doğrusal olmayan analiz yetenekleri ile birlikte adaptif ağ yapı oluşturma özelliğini entegre bir şekilde sunar. Bu özellik sayesinde, özellikle yüksek deformasyon içeren problemler analiz edilirken kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan ağ kendini optimize etmektedir.

### Marc'ta “Adaptive Meshing” Mekanizması

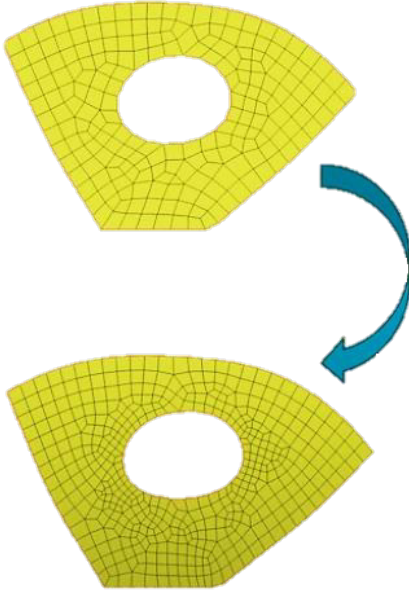
Marc analiz sürecinde, aşağıdaki kriterlere bağlı olarak adaptif ağ oluşturmaya tetikleyebilir:

- Gerilme veya şekil değiştirme gradyanı (örneğin  $\nabla\sigma$  yüksekse)
- Temas bölgesindeki geometri değişimi
- Malzeme modeline bağlı yerel yumuşama
- Ağ bozulması (distorsiyon) limitlerinin aşılması

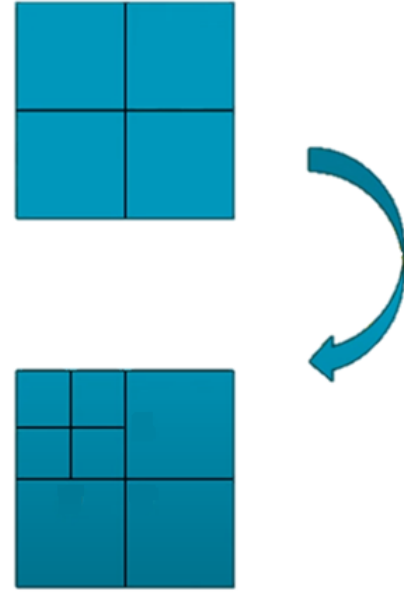
Çözüm sırasında belirli bir adımda bu kriterler kontrol edilir. Kritik bölgelerde çözüm doğruluğunu artırmak için ağ yoğunlaştırılır; önemsiz alanlarda ise eleman boyutları artırılarak çözüm süresi optimize edilir.

Marc/Mentat içerisinde “Adaptive Mesh” uygulamalarını gerçekleştirmenin birden fazla yöntemi bulunmaktadır. Marc/Mentat yazılımında “Global Remeshing Criteria” ve “Local Adaptivity” olmak üzere iki farklı seçenek mevcuttur.

“Global Remeshing”, analiz sırasında tüm modelde yeniden ağ oluşturulması işlemidir. Bu işlem özellikle çok büyük şekil değişimlerinde elemanların bozulmasını (distortion) önlemek amacıyla yapılır. “Local remeshing” ise, sadece belirli bir bölgedeki ağın analiz sırasında otomatik olarak iyileştirilmesi veya yeniden oluşturulmasıdır. Bu bölge genellikle yüksek gerinim (strain), çatlak ucu veya temas noktası gibi kritik yerlerdir.



Görsel 1: “Global Adaptif Remeshing” Örneği



Görsel 2: “Lokal Adaptif Remeshing” Örneği

### **“Global Remeshing” :**

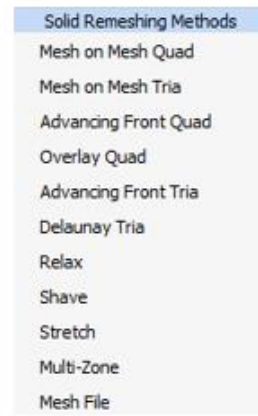
“Global Remeshing” işlemi, Marc içerisinde yapıların birbiriyle etkileşime girmesi (contact body) üzerinden çalışmaktadır. Bu nedenle, modelde herhangi bir temas ilişkisi olmasa dahi yeniden ağ yapı oluşturma (remeshing) uygulanacak her parça için bir temas tanımlaması yapılmalıdır.

Marc/Mentat yazılımında bulunan “global remeshing” seçenekleri aşağıda Görsel 3 ve Görsel 4’te belirtilmiştir. Bu seçenekler, modelde kullanılan eleman tiplerine bağlı olarak tanımlanabilir. İlgili seçenekler altında belirlenen gerinim değerleri veya temastan kaynaklı nüfuz etme durumları (contact penetration), yeniden ağ yapı oluşturma işlemi tetikleyebilir.

Bu seçenekler, “adaptive mesh” işlemi sırasında yeni ağın nasıl oluşturulacağını belirler. Her biri farklı bir ağ üretim tekniği kullanır ve geometrinin karmaşıklığına, çözüm ihtiyaçlarına göre farklı avantajlar sağlamaktadır.

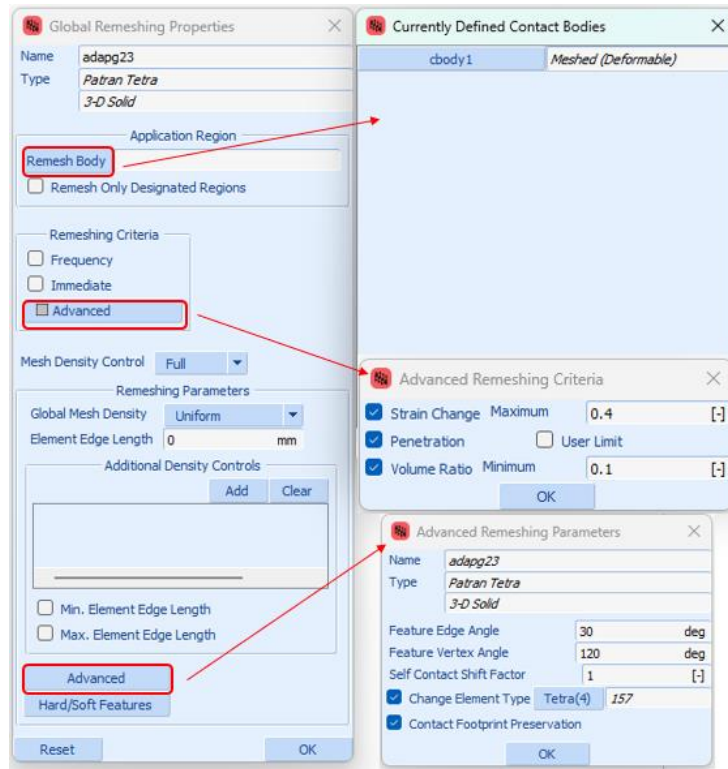


Görsel 3: 3D Modellerde "Global Remeshing Criteria" Seçenekleri



Görsel 4: 2D ve Axisymmetric "Global Remeshing Criteria" Seçenekleri

Yeniden ağ yapı oluşturma işlemi her çözüm adımında otomatik olarak uygulanabileceği gibi, kullanıcı tarafından belirlenen adımlarda da gerçekleştirilmesi sağlanabilir. İstenirse, analiz sırasında kullanılan eleman tipleri de sistem tarafından otomatik olarak güncellenebilir.

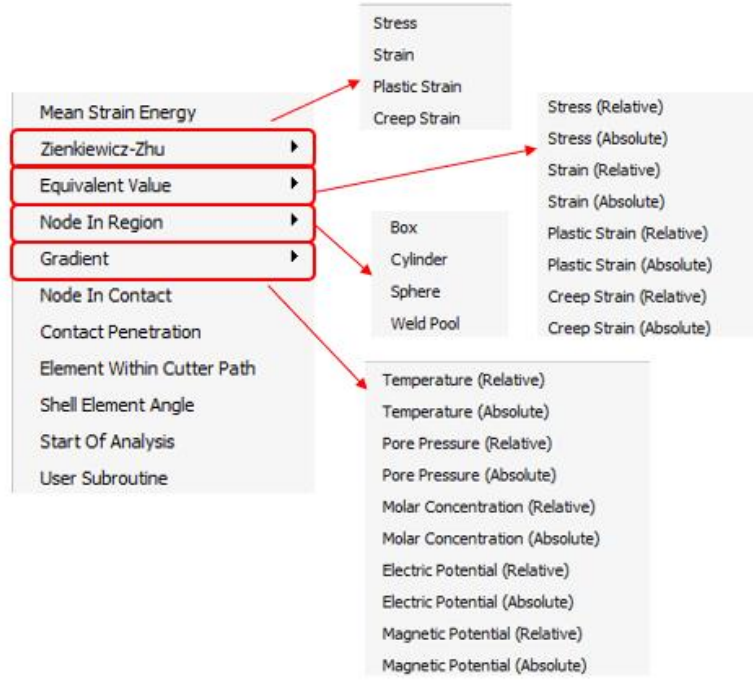


Görsel 5: "Global Remeshing" – Patran Tetra Yönteminin Seçenekleri

### “Local Remeshing” :

Marc/Mentat yazılımında “Local Remeshing”, yalnızca modelin belirli bölgelerinde, çözüm sırasında ihtiyaç duyuldukça ağ yapısının otomatik olarak iyileştirilmesini sağlayan bir teknolojidir. Bu yöntem özellikle çatlak ucu, yüksek gerinim alanları, temas yüzeyleri veya lokal deformasyonların yoğunlaştığı bölgelerde kullanılır. Sistem, kullanıcı tarafından belirlenen gerinim, eleman bozulması (distorsion), gerilme gradyanı veya benzeri ölçütleri izleyerek yalnızca ilgili bölgede yeniden ağ yapı oluşturulması gerçekleştirir; böylece hem çözüm doğruluğu artırılır hem de tüm modeli yeniden ağ yapısının oluşturulmasının getirdiği hesaplama yükü ortadan kaldırılır.

“Remeshing” işlemi sırasında, sınır koşulları ve geçmiş çözüm değişkenleri (örneğin plastik şekil değiştirme, sıcaklık, vs.) yeni ağ yapısına aktarılır ve analiz sürekliliği korunur. “Local remeshing” sayesinde, karmaşık geometrilere hassasiyetin kritik olduğu yerel bölgelerde daha yüksek çözünürlük elde edilirken, genel modelde gereksiz yoğunlukta ağ yapı kullanılmasına gerek kalmamaktadır.

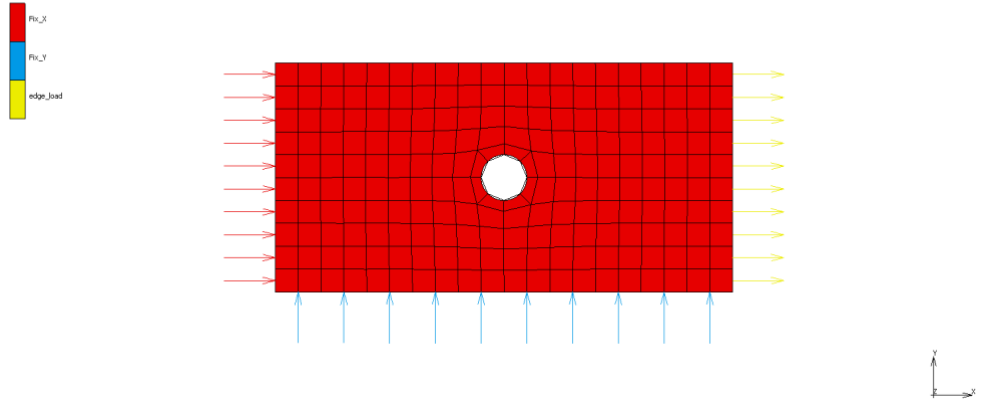


Görsel 6: “Local Adaptivity” Yönteminin Seçenekleri

## 2. ÖRNEK ANALİZ ÇALIŞMASI

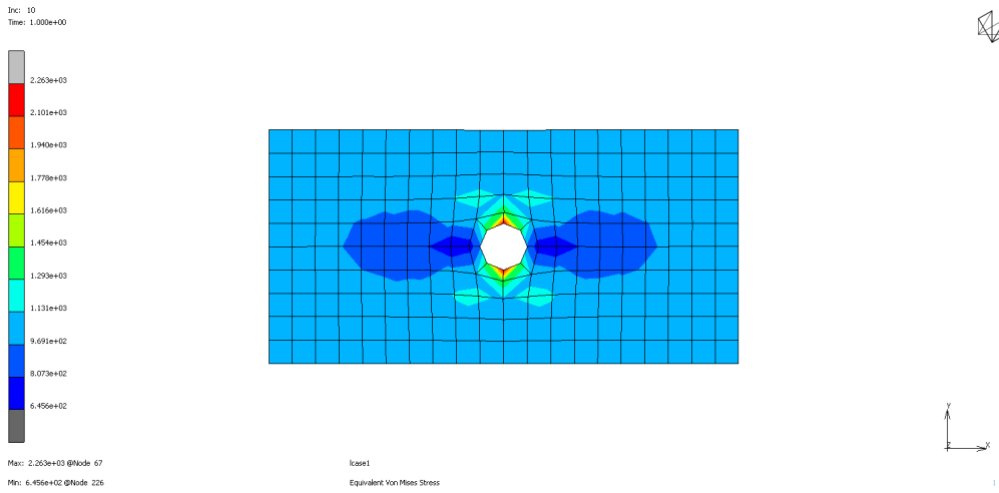
Bu bölümde MSC Marc/Mentat kullanılarak gerçekleştirilen örnek bir simülasyondan bahsedilmektedir. Yapılan çalışma ile Marc/Mentat'ın "Adaptive Mesh" kabiliyetinin gösterilmesi hedeflenmiştir.

Örnek olarak, bir 'Global Remeshing' analizi sunulmuştur. Model, ortasında delik bulunan bir plakadan oluşmaktadır. İki boyutlu bir analiz yapıldığından, Marc/Mentat arayüzünde analiz tipi düzlemsel (planar) olarak belirlenmiştir. Modelin sınır ve yükleme koşulları Görsel 7'de gösterilmektedir.



Görsel 7: Simülasyonlarda Kullanılan Model

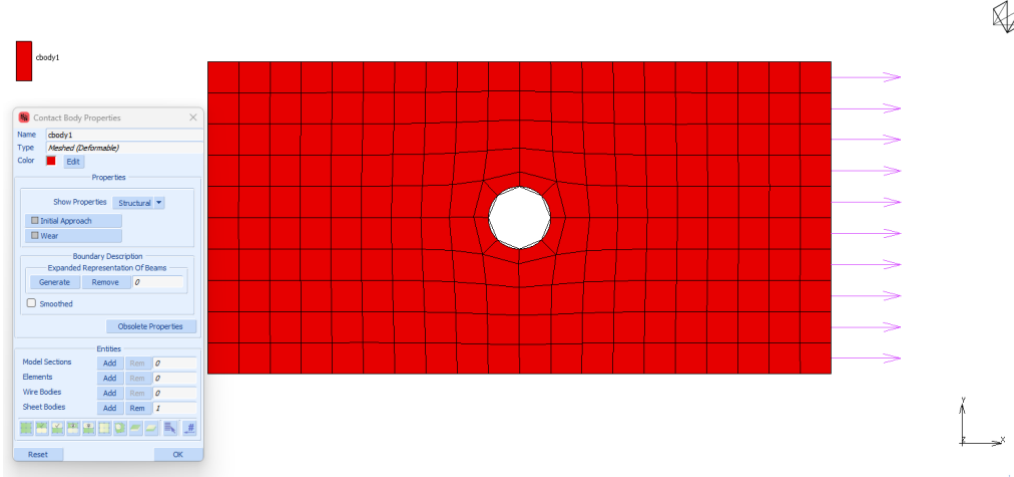
Analizde kullanılan malzeme, elastisite modülü 200,000 MPa ve Poisson oranı 0.3 olan elastik-plastik izotropik bir malzemedir. Plaka, sol kenarından X yönünde ve alt kenarından Y yönünde kısıtlanmıştır. Sağ kenarına ise 1000 MPa büyüklüğünde bir yük uygulanmıştır. İlk aşamada, 'Global Remeshing' özelliği devreye alınmadan Von Mises gerilme değerleri incelenmiş; elde edilen sonuçlara göre gerektiğinde global adaptif ağ iyileştirmesi uygulanmıştır.



Görsel 8: "Global Remeshing" Uygulanmamış Modelin Von Mises Gerilme Sonuçları

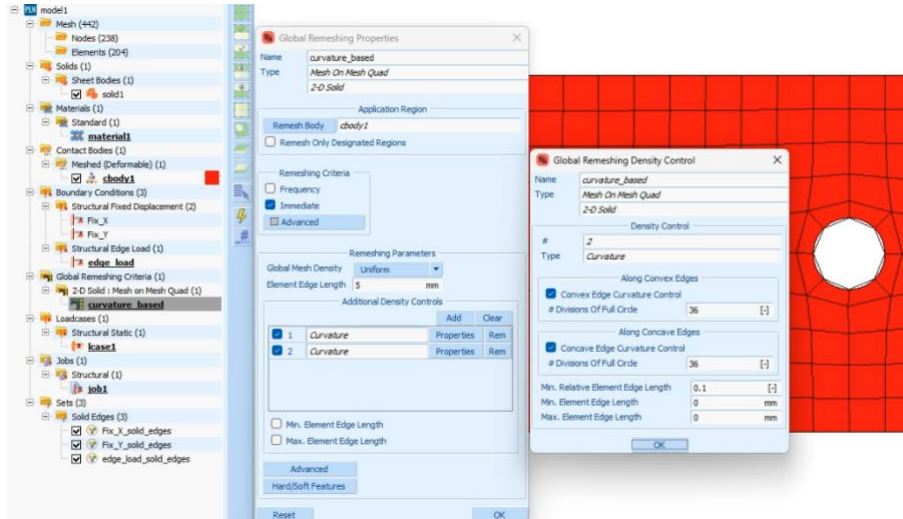
Von Mises gerilme değerlerine bakıldığında, delik çevresinde gerilme konsantrasyonu olduğu görülmektedir. Delik çevresinde daha ince ağ kullanmadığımız için geometri çok zayıf temsil edilmektedir. Bunu önlemek adına, bu çalışmada modele “Global Remeshing” tanımlanmaktadır.

“Global Remeshing” Marc/Mentat içerisinde “contact body” tanımlamaları üzerinden çalışmaktadır. Bu nedenle bu modelde temas gövdesi olmasa da bir temas bölgesi tanımlanmaktadır.



Görsel 9: “Global Remeshing” Uygulanacak Modelin Kontak Body Tanımlaması

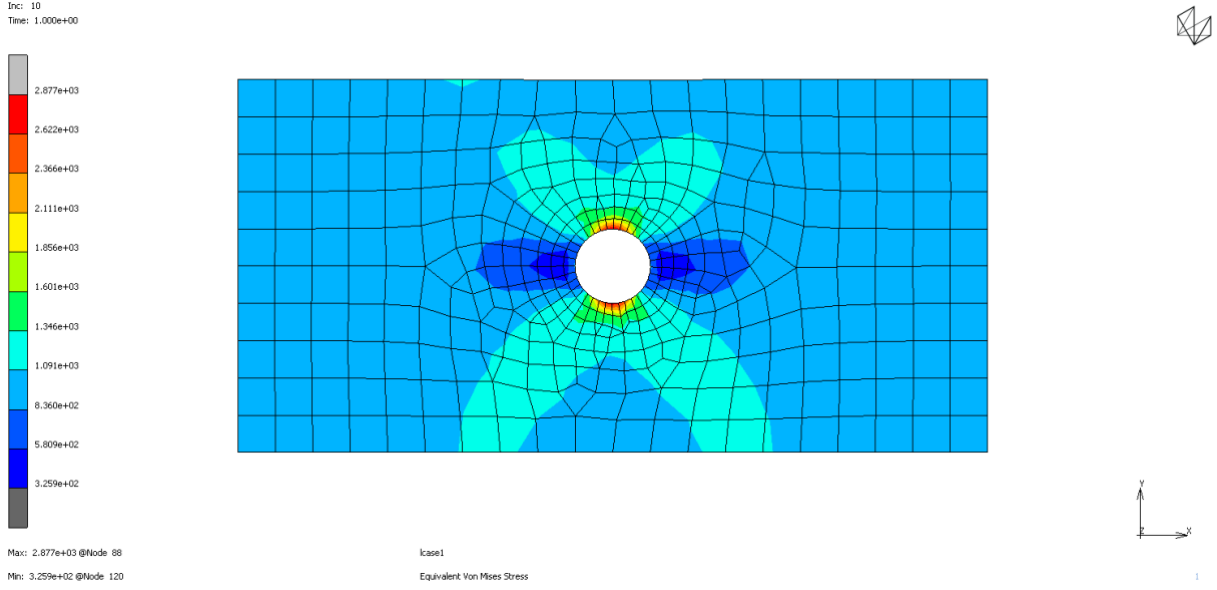
Marc/Mentat arayüzünde “Global Remeshing Criteria” sekmesinden hangi elemanla yeniden ağ yapı ataması gerçekleştirilecekse seçilmektedir. Bu modelde “quad” eleman üzerinden gidilmektedir. “Mesh On Mesh Quad” sekmesinden “Immediate” ve “Curvature” seçeneği aktif edilir. “Immediate”, “remeshing” işleminin çözüm sırasında belirlenen ölçüt sağlandığı anda, yani gecikmeksizin yapılmasını sağlamaktadır. “Curvature” ise, geometri üzerindeki eğriliklere bağlı olarak ağ yoğunluğunu artırır. Yüzey eğriliği fazla olan bölgelerde daha küçük ve hassas elemanlar oluşturmaktadır. Her iki özellik birlikte kullanıldığında, hem çözüm kararlılığı hem de çözüm doğruluğu artırılmış olur.



Görsel 10: “Global Remeshing” Seçeneği İle Uygulanan Özellikler



'Global Remeshing' kriterinin analizde etkin hale getirilebilmesi için ilgili ayarın yük senaryosu (Loadcase) sekmesi altında aktif edilmesi gerekmektedir. Analiz tamamlandıktan sonra Görsel 11 incelendiğinde, delik çevresindeki ağ yapısının önceki ağ yapısına kıyasla eğriliği daha hassas bir şekilde temsil ettiği gözlemlenmektedir. Bu sayede modelde elde edilen Von Mises gerilme değerlerinin doğruluğu artmış, sonuçlar daha güvenilir hale gelmiştir.



Görsel 11: "Global Remeshing" Uygulanmış Modelin Von Mises Gerilim Sonuçları

### 3. REFERANSLAR

- Marc 2024.2 Volume A: Theory and User Information
- Marc 2024.2 User's Guide