

Marc ile Adaptive Remeshing

Hazırlayan
Resul Demir Lider Yapısal Analiz Mühendisi

Tarih: 25/08/2022

Giriş

Adaptive remeshing, Marc'ta analiz sırasında sonlu eleman modelinin bir kısmını veya tamamını otomatik olarak yeniden oluşturmak için kullanılan bir araçtır. Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen doğrusal olmayan simülasyonlar karmaşıklaştıkça, standart çözücülerin üstesinden gelmekte zorlandıkları aşırı eleman deformasyonlarıyla karşılaşılır. Adaptive remeshing, doğruluğu az sonuçlar, elemanların formlarının aşırı derece bozulması nedeniyle yapılan analizlerin yakınsama problemiyle karşılaşılıp sonlandırılması ve istenmeyen kontak penetrasyonu gibi aşırı eleman bozulmalarıyla ilişkili birçok sorunu önlemek için kullanılabilir. Bir analizin ilerlemesi sırasında gerektiği kadar sıklıkta otomatik olarak yeniden ağ oluşturmak için belirleyici faktörler olarak çeşitli kriterler belirlenebilir. Yapılan analizler esnasında Marc'ın otomatik olarak yeniden ağ oluşturmasına izin verilerek, simülasyon normalde olabileceği noktanın çok ötesine geçer.

Adaptive remeshing, yüksek düzeyde deformasyon içeren özellikle üretim simülasyonları, sızdırmazlık uygulamaları ve metal şekillendirme uygulamalarında kullanılmaktadır. İmalat simülasyonunda amaç, parçanın başlangıçtaki basit şeklinden, son karmaşık şekle deforme etmektir. Adaptive remeshing kullanılmadığı takdirde, üretilecek parçanın nihai şeklini elde etmek neredeyse imkansızdır. Bu tür simülasyonlarda, analiz sırasında nihai şekle ulaşmak için birçok adaptive remeshing döngüsünün kullanılması gerekebilir. Adaptive remeshing, kontak analizlerinde de sıklıkça kullanılmaktadır. İki yapının belli bir yük altında temas ettiği bazı bölgelerde keskin dönüşler, fazla eğimli yüzeyler olabilir, bu tarz simülasyon ortamında zorluklar yaratabilecek durumlarda adaptive remeshing seçeneği ile oluşabilecek temas kayıpları, iki yapı arasında gerçekleşebilecek penetrasyonlar önlenilmektedir.

Adaptive remeshing özelliği ne zaman kullanılmalıdır?

Analiz esnasında lokal olarak stress veya strain gradyanlarının yüksek olması durumunda adaptive remeshing kullanılmalıdır. Ön işleme adımı sırasında yüksek strain veya stress değerlerinin nerede meydana gelebileceği bilinmiyorsa, local adaptive remeshing seçeneğini kullanmak, bu bölgelerde gerekli olan daha sık sonlu eleman yoğunluğunu yazılım yardımı ile otomatik olarak oluşturma imkanı sağlar ve daha doğru bir sonuç alınmasını sağlar.

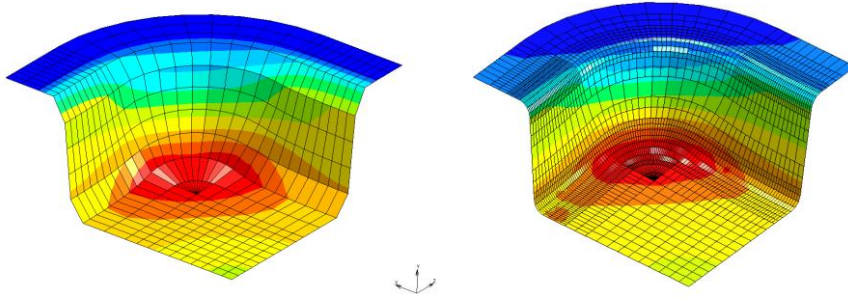


Figure 1: Adaptive Remeshing Karşılaştırmalı Örnek

İkinci kullanım alanı, analiz esnasında yüksek eleman bozulmalarının olduğu bölgelerdir. Yüksek seviyede deformasyon ve bozulmalarla, analiz sonucunda elde edilen değerlerde doğruluk seviyesinde sapmalar görülebilir ve ayrıca eleman kenarlarının iç açılarının yüksek seviyelere çıkması ve formlarının bozulup ters dönmesi doğrusal olmayan analizler esnasında sıkça karşılaşılan yakınsama problemlerine sebep olabilir. Bu noktada, tek çözüm sonlu eleman ağını değiştirmektir. Adaptive remeshing, bu sonlu eleman ağını otomatik olarak değiştirmeye ve bu yeni ağ ile analize devam etmeye olanak sağlar.

Çatlak oluşumu veya ilerlemesi gibi hasar modellemesi içerisinde barındıran simülasyonlarda adaptive remeshing kullanılabilir.

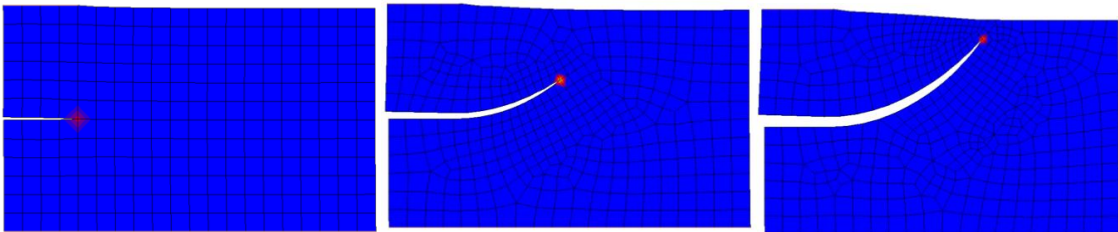


Figure 2: Çatlak Oluşumu ve İlerlemesi Esnasında Adaptive Remeshing Kullanılması

Bir diğerk kullanım alanı, iki yapının temas bölgelerindeki keskin dönüşlerin olması durumunda temas bölgelerinde yaşanan eleman penetrasyonları, temas kaçıklığı gibi sorunları ortadan kaldırmak amacıyla kullanılabilir.

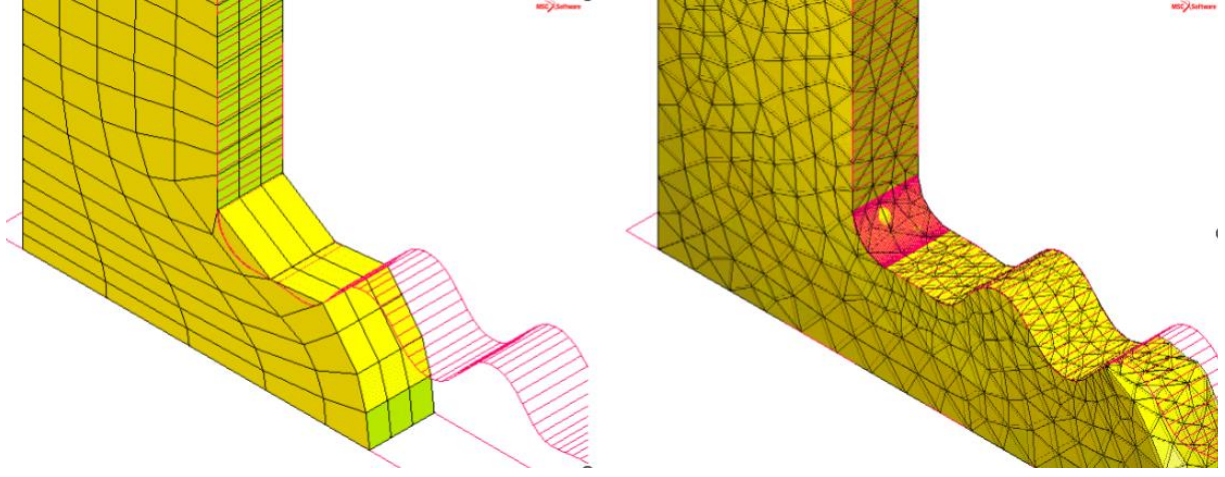


Figure 3: Kontakt Analizlerinde Adaptive Remeshing Kullanımı

Özet olarak, sonlu eleman ağının değiştirilmesinin analiz doğruluğuna fayda sağlayacağı bütün analizlerde adaptive remeshing özelliği kullanılabilir.

Marc içerisinde bulunan adaptive remeshing seçenekleri

Modelde kullanılan orijinal sonlu eleman ağ üzerinde yapılan herhangi bir değişiklik, remeshing olarak tanımlanabilir. Bu değişiklikler manuel veya otomatik olabilir. Manuel yaklaşım kullanıldığında, analizin son adımında veya analizin başarısız bir şekilde tamamlandığı adımda analiz yeniden başlatılarak analize devam etmek için sonlu eleman ağında gerekli değişiklikler yapılmaktadır. Değişikliklerin yalnızca bir veya belki iki kez yapılması gerekiyorsa, manuel yöntem makul olabilir, ancak birden çok kez sonlu eleman ağ oluşturulması gerekirse çok fazla zaman ve çaba alacaktır.

Öte yandan, otomatik yaklaşımda, program belirli kriterlere göre sonlu eleman ağının ne zaman değiştirileceğine karar verir. Sonlu eleman ağ değişiklikleri, kullanıcı için otomatik tasarruf süresidir. İki tür remeshing seçeneği kullanılmaktadır - local ve global. Local adaptive remeshing prosedüründe, eleman bazında yalnızca küçük, lokal bölgelerde değişiklikler yapılır. Bir eleman remeshing kriterini karşılırsa, eleman daha sonra daha küçük elemanlara bölünür.

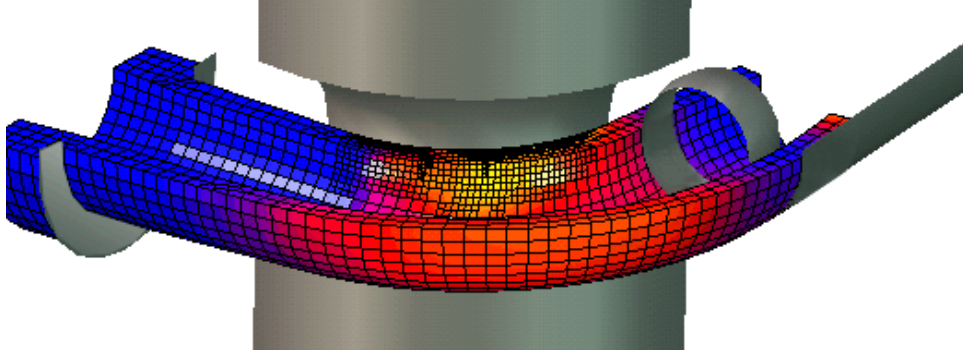


Figure 4: Local Adaptif Remeshing Örneği

Bu yaklaşımın aksine, global adaptive remeshing, orijinal sonlu eleman ağını daha kaliteli bir ağ ile değiştirerek tüm yapının sonlu eleman ağı örgüsünü değiştirir. Marc'ta, global remeshing, analiz içerisinde kontak bodylere bağlıdır. Bu nedenle, model içerisinde bulunan herhangi bir parça için global remeshing özelliği kullanılmak isteniyorsa, bunun kontak body olarak tanımlanması gerekir. Marc, hem manuel hem de otomatik remeshing ve ayrıca local ve global remeshing imkanı sağlar.

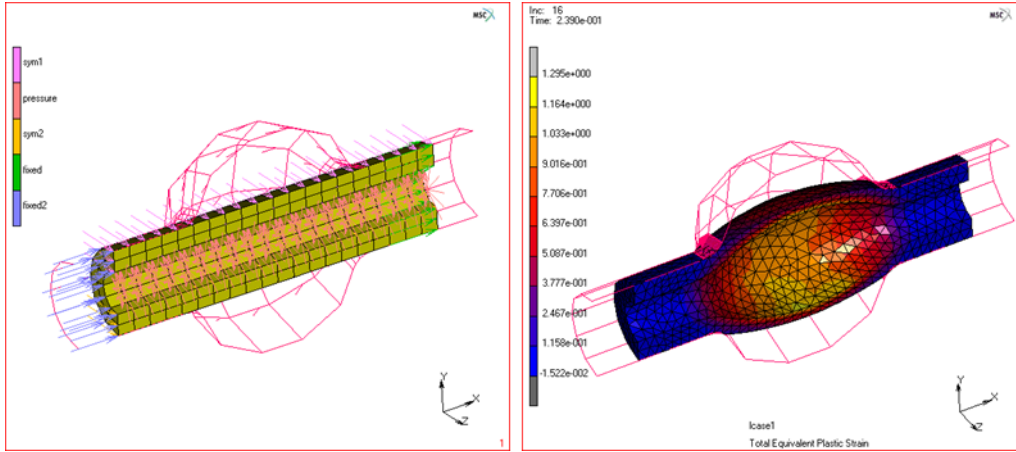


Figure 5: Global Adaptif Remeshing Örneği

Local Adaptive Remeshing

Local adaptive remeshing seçeneği esnasında eleman özelinde daha küçük eleman elde etmek adına bölmeler gerçekleştirilir daha sonra bu küçük elemanlar arasındaki yük aktarımı sağlanarak analizler gerçekleştirilir. Aşağıdaki görselde bir adet quad eleman için local adaptive remeshing örneği gösterilmiştir.

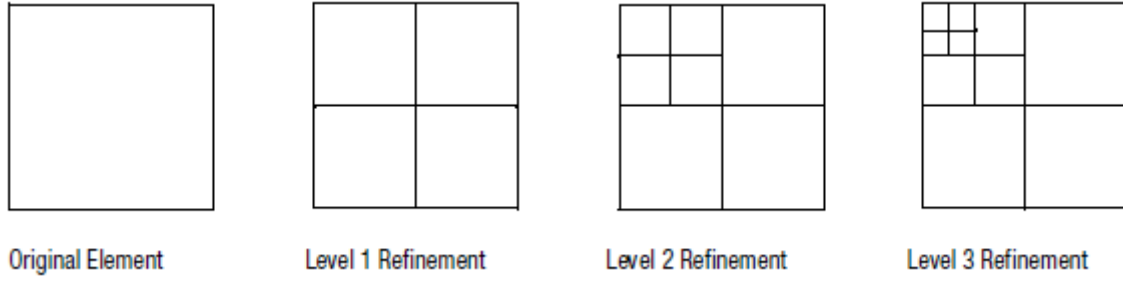


Figure 6: Quad Eleman için Gerçekleşen Local Adaptive Remeshing Prosesi

Remeshing gerçekleştiğinde, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi sonlu eleman ağında süreksizlikler oluşmaktadır.

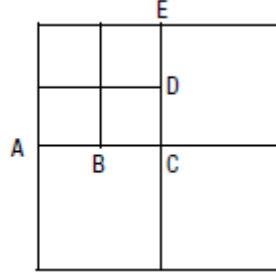


Figure 7: Adaptive Remeshing Sonrası Eleman Düğüm Noktası Bağlantı Detayı

Burada oluşan süreksizlikten kaynaklı analiz sonuçlarında uyumluluğu sağlamak için, B düğüm noktası, A ve C düğüm noktalarına etkin bir şekilde bağlanır ve D düğüm noktası, C ve E düğüm noktalarına etkin bir şekilde bağlanır. Bu bağlama işlemi gerçekleşirken, diğer kullanıcı tanımlı bağlantılar veya kontaklarla herhangi bir şekilde karışıklık ortaya çıkmaz.

Marc içerisinde bulunan local adaptive remeshing kriterleri aşağıdaki görselde paylaşılmıştır.

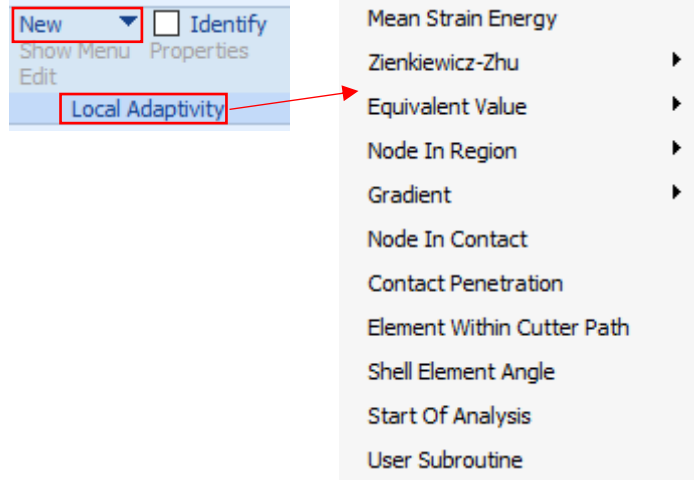


Figure 8: Local Adaptive Remeshing Seçenekleri

Mean Strain Energy Methodu: Elemanın strain enerjisi, seçilen bir eleman grubundaki ortalama strain enerjisinden belirli bir faktörün çarpımından büyükse, eleman remesh edilir.

Zienkiewicz-Zhu (Z-Z) Methodu: Analizler esnasında elemanlar üzerinde oluşan stress ve strain değerleri alınarak Zienkiewicz-Zhu formulleri yardımıyla error hesaplaması gerçekleştirilir, belirlenen error seviyesi üzerine çıkılması durumunda remesh seçeneği devreye girer ve eleman ağında lokal anlamda güncelleme gerçekleşir.



Figure 9: Zienkiewicz-Zhu Method Seçenekleri

Equivalent Values Methodu: Bu yöntemde eşdeğer von Mises stress, eşdeğer strain, eşdeğer plastik strain veya eşdeğer creep strain değerleri belirlenen relative veya absolute değerlere geçmesi sonucunda eleman ağında güncelleme gerçekleşir.

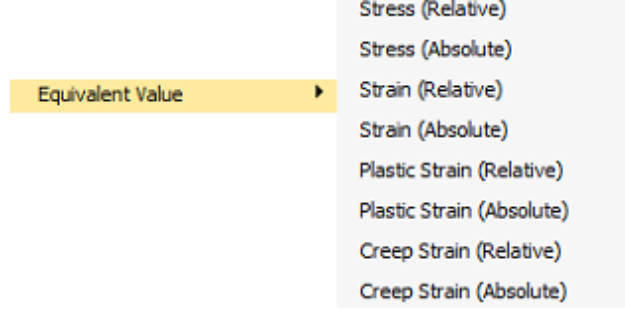


Figure 10: Equivalent Value Method Seçenekleri

Gradient Methodu: Elemandaki belirlenen gradyan değeri, analiz esnasında maksimum gradyanın belirli bir fraksiyonundan büyükse, remeshing işlemi gerçekleşir. Isı transferi, difüzyon, electrostatic ve magnetostatic analizlerde bu kriter kullanılabilir.

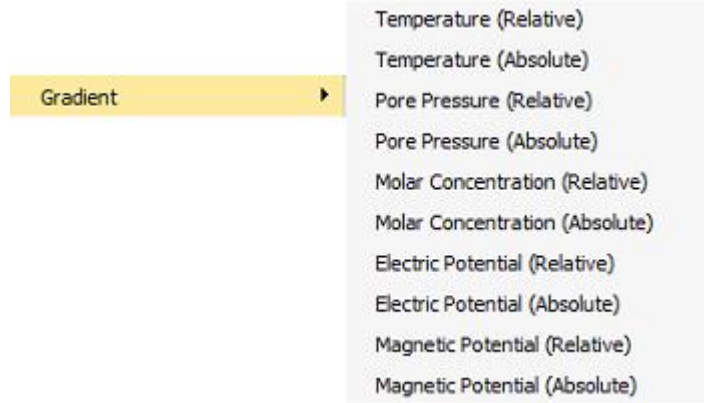


Figure 11: Gradient Method Seçenekleri

Node Within A Box, Cylinder, or Sphere Methodu: Bir eleman, sırasıyla belirtilen kutu, silindir veya kürenin içine giriyorsa remesh gerçekleşir. Remesh işlemi sonrası elde edilen güncel sonlu eleman ağının düğüm noktaları analiz esnasında belirlenen kutunun dışına çıkarsa, elemanlar isteğe bağlı olarak tekrardan bir bütün haline getirilebilir.

Nodes In Contact Methodu: Bir elemanın düğüm noktalarından biri yeni bir kontak koşuluyla ilişkilmesi halinde remeshing işlemi gerçekleşir. Örnek olarak, esnek olarak modellenen bir yapının belli bir yüklem altında rijit bir parçayla karşılaşması halinde ilgili temas bölgelerinde eleman ağı güncellemesi gerçekleşir.

Contact Penetration Methodu: Elemanın düğüm noktası, belirli bir kontak mesafesinde başka bir kontak parçası içerisine girişimde bulunur ise eleman ağı güncellenir.

Global Adaptive Remeshing

Local adaptive remeshing seçeneğinin aksine global adaptive remeshing seçeneğinde bütün bir parça özelinde ağ güncellemesi gerçekleştirir. Global remeshing seçeneği kontak body tanımlamaları üzerinden çalışmaktadır, o yüzden herhangi bir temas ilişkisi olmasa bile remeshing gerçekleştirilecek her parça bir kontak body tanımlanmalıdır. Marc içerisinde bulunan global remeshing seçenekleri aşağıdaki şekilde paylaşılmıştır.

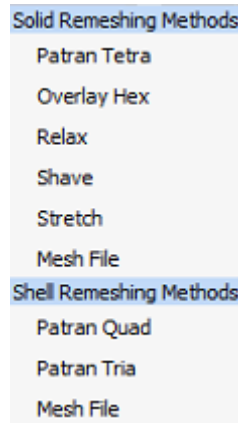


Figure 12: Global Remeshing Seçenekleri

Global remeshing seçeneği model içerisinde bulunan eleman tiplerine göre tanımlanabilir. İlgili seçenekler altında belirlenen strain değerleri, kontak penetrasyonları için remeshing seçeneği devreye girebilir. Her bir analiz adımında bu işlem gerçekleştirilebilir veya belirlenen adımlarda gerçekleştirilebilir. İstenilmesi halinde eleman tipi de otomatik olarak güncellenebilir.

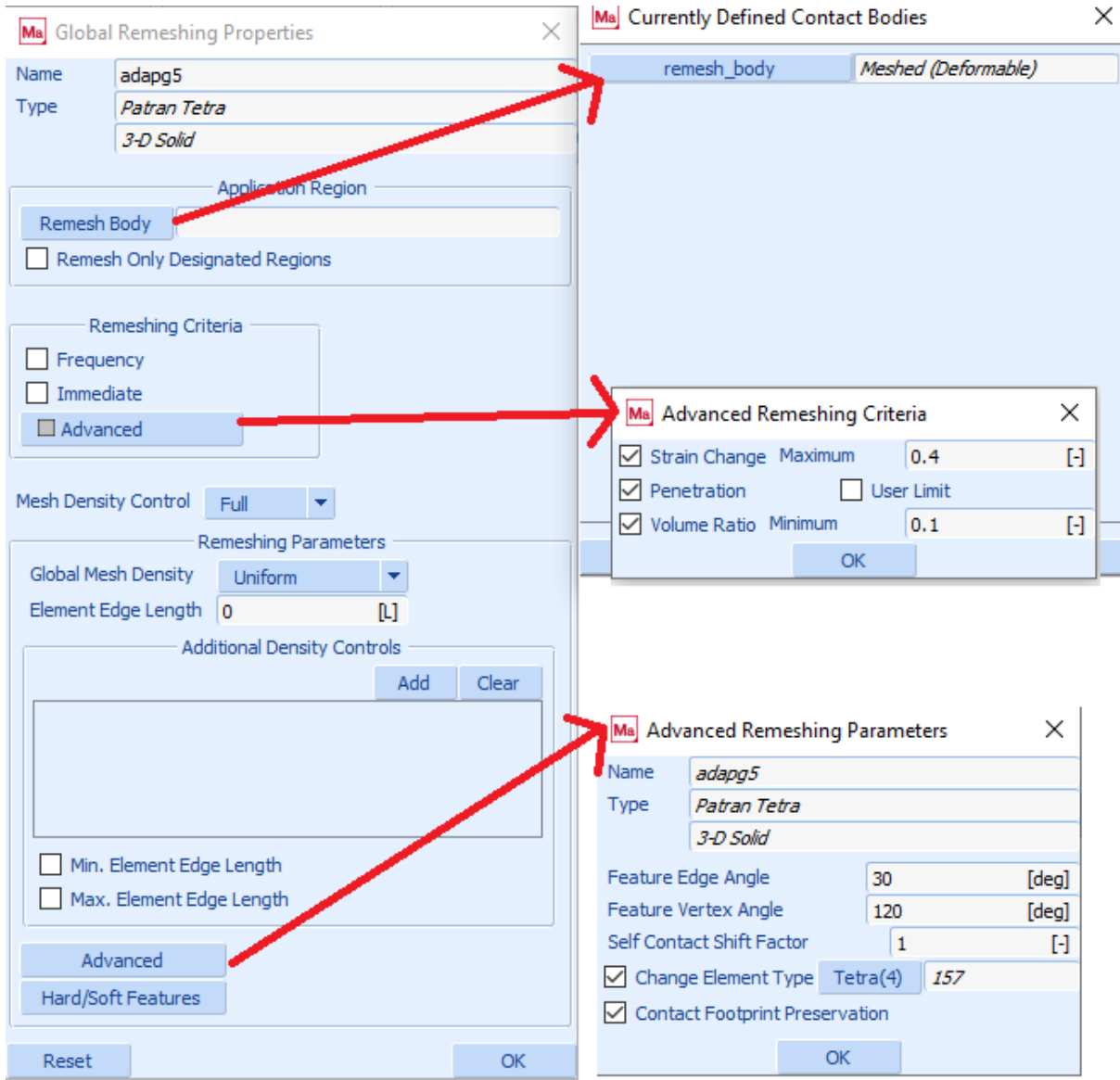


Figure 13: Global Remeshing Seçenekleri

Marc içerisinde desteklenen özellikler ve kısıtlamalar

- **Analiz Tipleri:** Mekanik analiz, termal-mekanik, termal joule mekanik ve elektrostatik-yapısal birleştirilmiş analiz desteklenir.
- **Eleman Tipleri:** İki boyutlu düşük dereceli üçgen (tria) ve dörtgen (quad) eleman türleri desteklenir. Üç boyutluda, düşük ve yüksek dereceli dört yüzlü (tetrahedral) elemanlar, düşük dereceli altı yüzlü (hexahedral) elemanlar desteklenir. Beş yüzlü (pentahedral) ve piramit (pyramid) elemanlar global remeshing seçeneğinde kullanılamaz.
- **Kontak Analizleri:** Global remeshing işlemi gerçekleştirilecek parça esnek kontak body olarak modelde bulunmalıdır. Kontak tanımlamaları, sınır koşulları dahil, yeniden oluşturulan sonlu eleman ağı üzerinde yeniden hesaplanır ve güncellenir. Herhangi bir kontak body içerisinde tanımlanmayan sonlu eleman ağı bu yöntemde kullanılamaz. Rijit-Esnik, Esnek-Esnik kontak analizleri desteklenmektedir.
- **Sınır ve Yük Koşulları:** Sınır ve yük koşulları, yeniden ağ oluşturma işleminden sonra yeni ağa aktarılır. Bu yük ve sınır koşulları sabit yer değiştirme, dağıtılmış veya noktasal yük, akı ve akımdır.
- Local adaptive remeshing seçeneği global remeshing seçeneğiyle beraber kullanılamaz.

Referanslar

- I. Marc 2022.2 Volume A: Theory and User Information
- II. Simacademy Webinar: When a Good Mesh is Not Enough