

DIGIMAT-AM (Eklemeli İmalat) Modülü Kullanılarak Oluşturulan Parçanın MARC Analizi

HAZIRLAYAN
DOĞUKAN KAYMAK <i>Yapısal Analiz Mühendisi</i>

Tarih: 28/12/2023

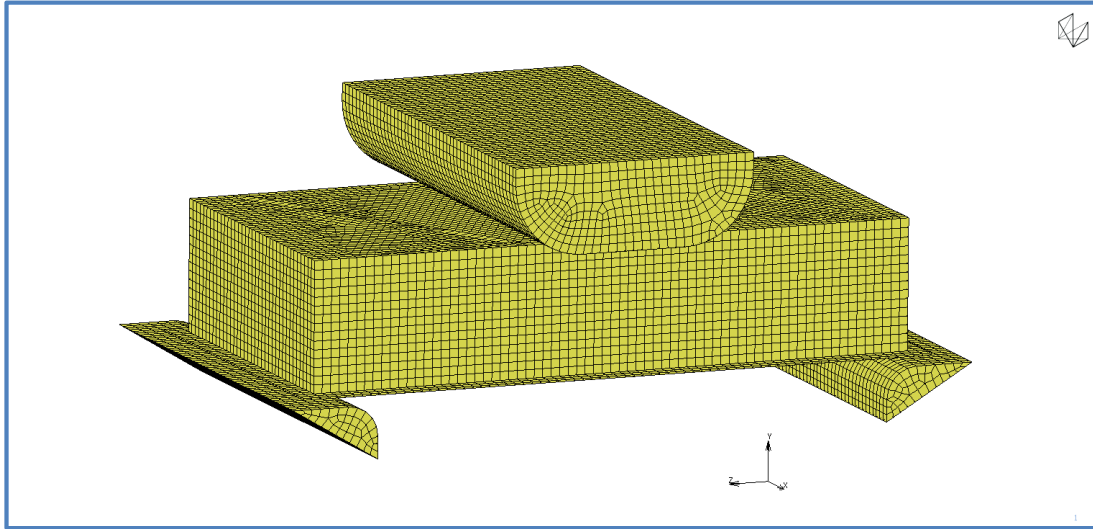
Eklemeli İmalat ve Anizotropi

Eklemeli imalat, parçanın katmanlar halinde oluşturulduğu bir üretim sürecidir. Bu süreç sırasında, her katmanın malzeme özellikleri ve oryantasyonu parçanın anizotropisini etkilemektedir. Katmanlar arasındaki bağlantılar genellikle daha zayıf olabilir, bu da parçanın belirli yönlerde daha güçsüz veya daha dayanıklı olmasına neden olabilir. Tasarım ve işleme parametreleri, anizotropiyi yönetmek için önemlidir ve istenilen mekanik özellikleri elde etmek için dikkatli bir şekilde optimize edilmelidir.

İzotropik bir malzeme, mekanik özellikleri her yönde aynı olan bir malzemeyi temsil etmektedir. Genel olarak, (Sonlu Elaman Analiz) FEA yazılımları, bu tür malzemelerin davranışını modellerken izotropik modelleme yöntemini kullanmaktadır. Ancak, gerçek malzemeler genellikle anizotropik özelliklere sahiptir, bu da tam olarak izotropik bir model kullanmanın yetersiz olduğu anlamına gelmektedir. İşte bu noktada Marc-Digimat eşleştirmesi devreye girmektedir. Digimat, malzeme modellemesi için gelişmiş bir araçtır ve anizotropik malzeme davranışını daha iyi temsil edebilmektedir. Marc-Digimat eşleştirmesi, izotropik bir modelin anizotropik gerçekliği daha iyi yansıtmaya yardımcı olmaktadır. Bu, daha doğru analizlere ve malzeme davranışının daha iyi yansıtılmasına olanak tanımaktadır, bu da ürün tasarımı ve dayanıklılık açısından son derece önemli bir hale gelmektedir.

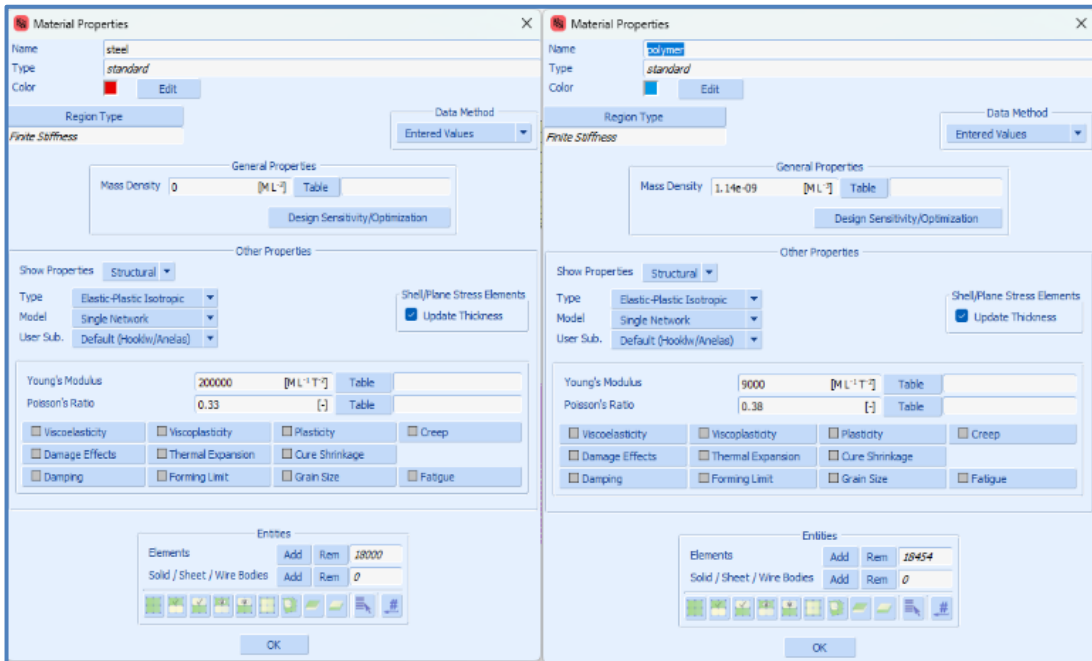
MARC Üzerinde Modelin Oluşturulması

Şekil 1' de görüldüğü üzere yapı 3 boyutlu ağ örgüsü kullanılarak Marc üzerinde model oluşturulmuştur.



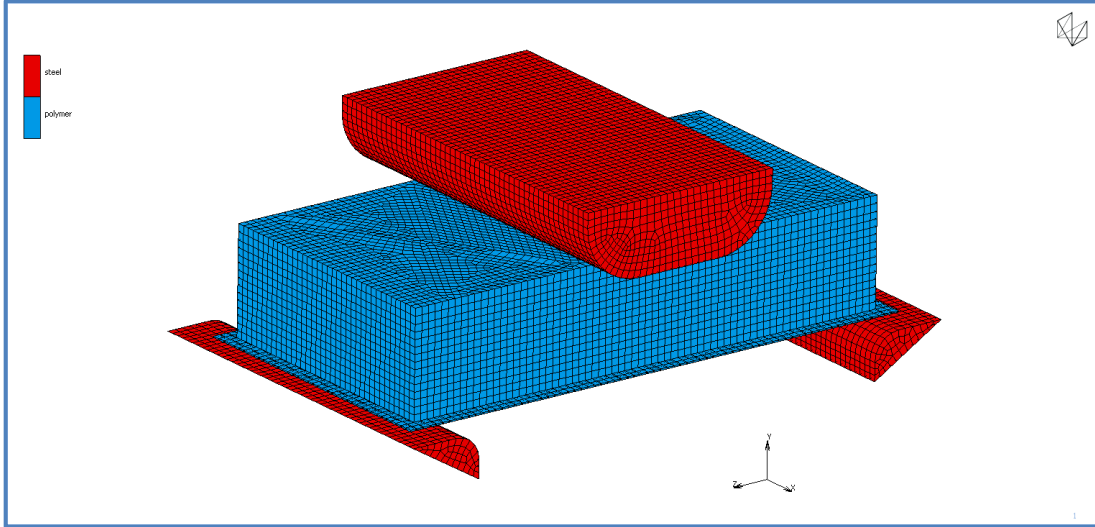
Şekil 1: Marc Arayüzü - Oluşturulan Model.

Model' de görülen kalıplar için farklı, ortadaki parça için farklı bir malzeme modeli oluşturulup ayrı ayrı ataması yapılmıştır. Destekler için bir çelik malzeme kartı, ortadaki parça için bir polimer kartı Şekil 2' deki gibi oluşturulmuştur.



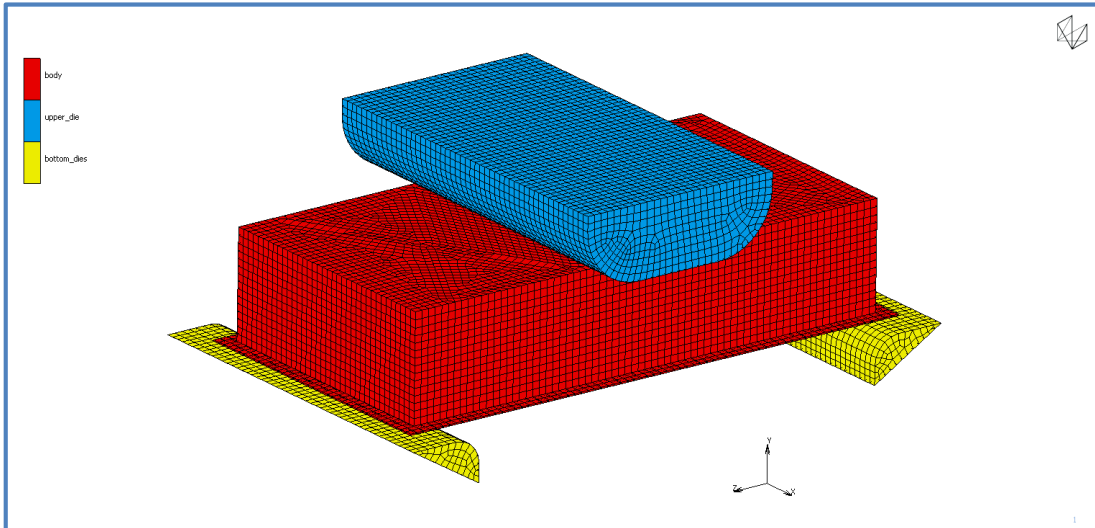
Şekil 2: Marc Arayüzü - Malzeme Kartları

Burada kullanan polimer malzeme tanımlaması, sonrasında eklemeli imalat simülasyonu sırasında kullanılacak olan polimer malzemesine göre yapılmıştır.

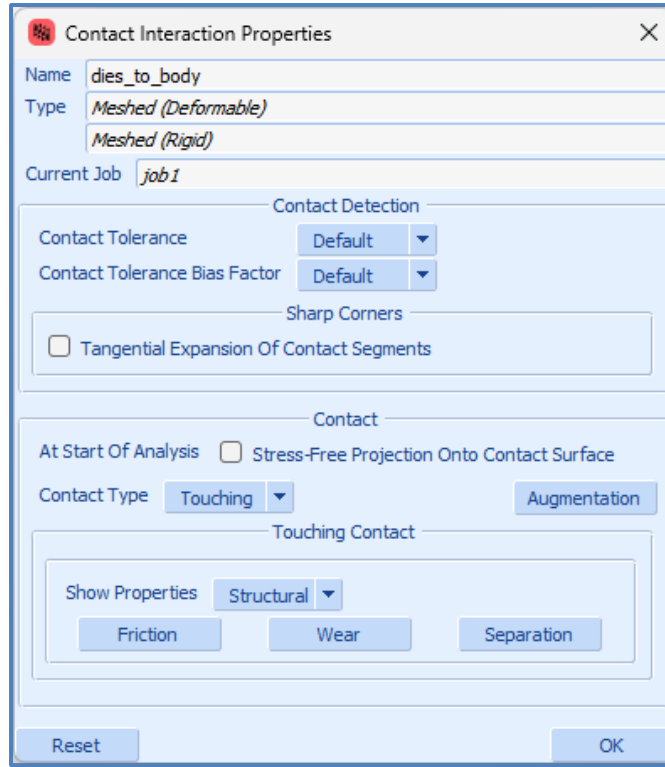


Şekil 3: Marc Arayüzü - Malzeme Ataması.

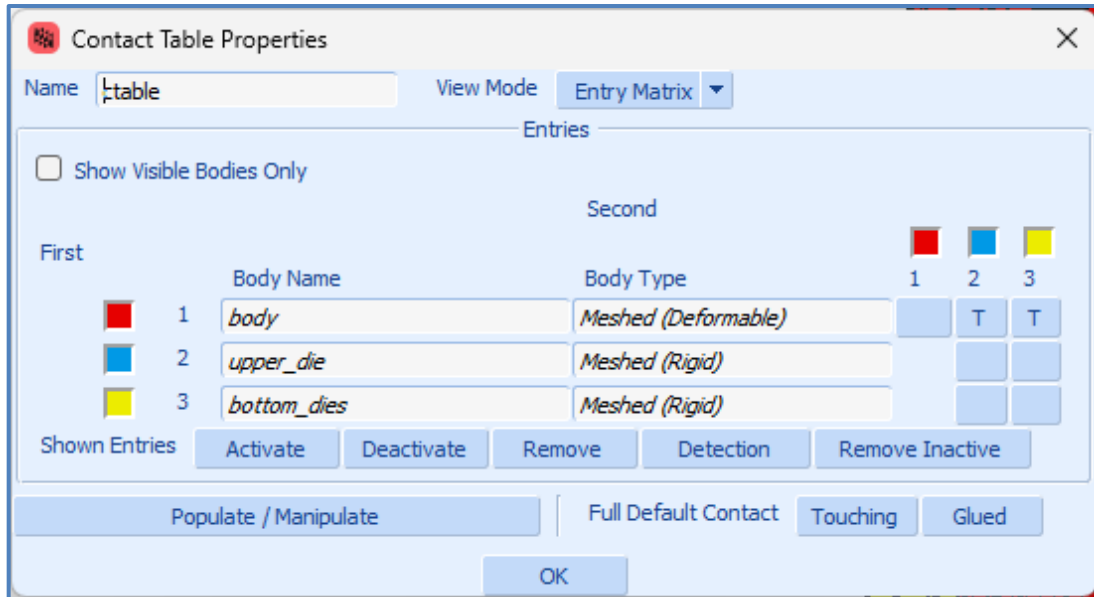
Ardından her parça için ayrı ayrı "Contact Body" ler oluşturulmuş ve Şekil 5 ve Şekil 6' da görüldüğü üzere yapılar arasına "Touching Contact" ataması yapılmıştır.



Şekil 4: Marc Arayüzü - "Contact Body" ler.

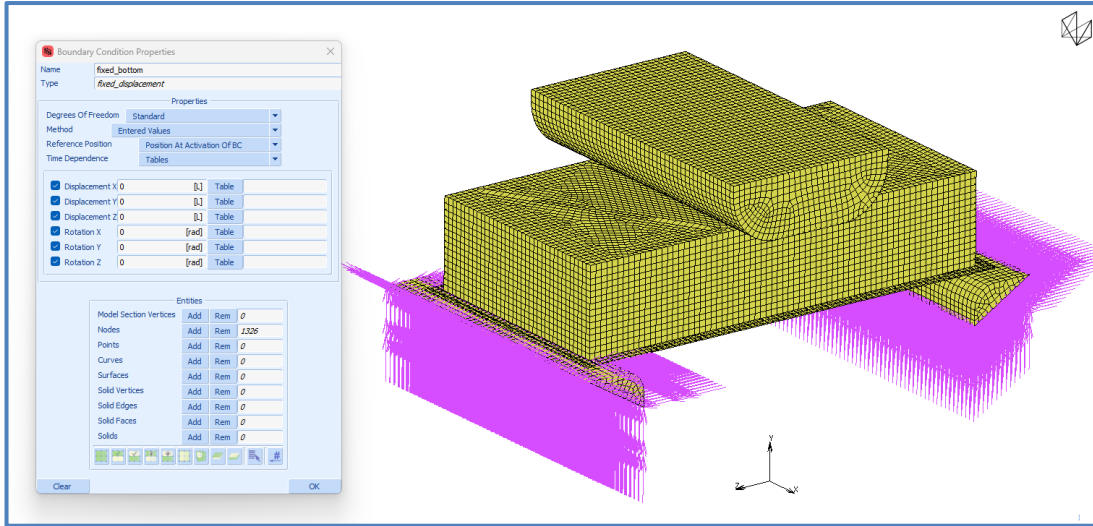


Şekil 5: Marc Arayüzü - "Contact Interaction"



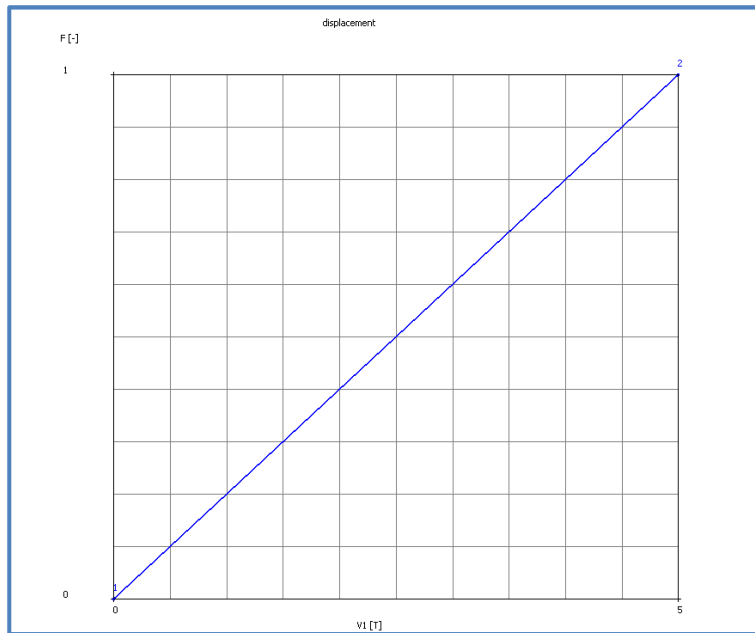
Şekil 6: Marc Arayüzü - "Contact Table"

Ardından, Şekil 7' de görüldüğü üzere modelin alt kısmında bulunan destek yapılarının eğimli duran yüzeyine x, y ve z yönlerinde hem dönme hem de yer değiştirme kısıtlaması uygulanmıştır.

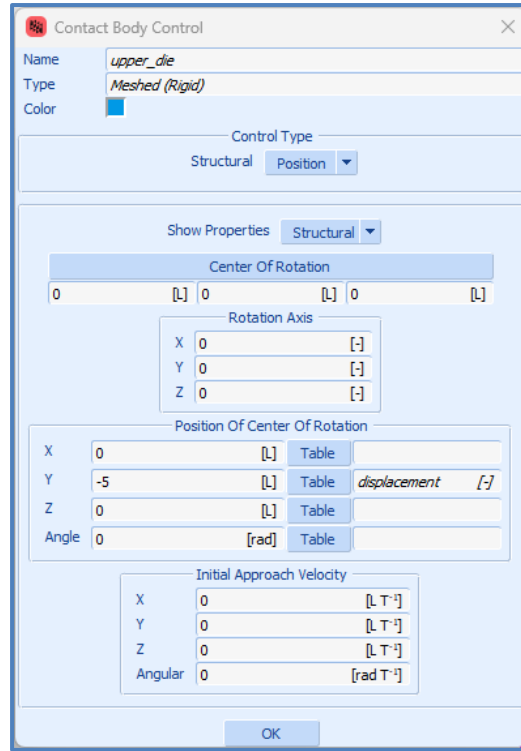


Şekil 7: Marc Arayüzü - Sınır Koşulu

Şekil 4’ te “upper die” için oluşturulan “contact body” kartı kullanılarak üstteki yapıya **Şekil 9’** da görüldüğü üzere **Şekil 8’** deki grafik kullanılarak -y yönünde bir yer değiştirme sınır koşulu uygulanmıştır.

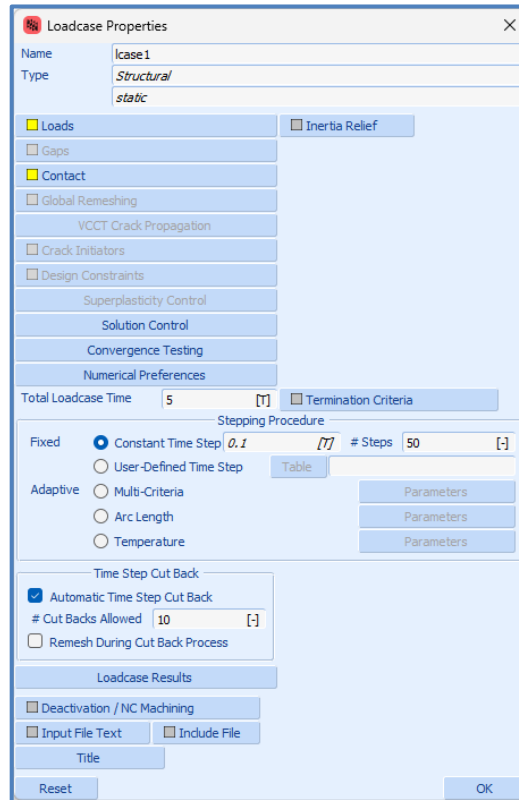


Şekil 8: Marc Arayüzü - Yer değiştirme Grafiği



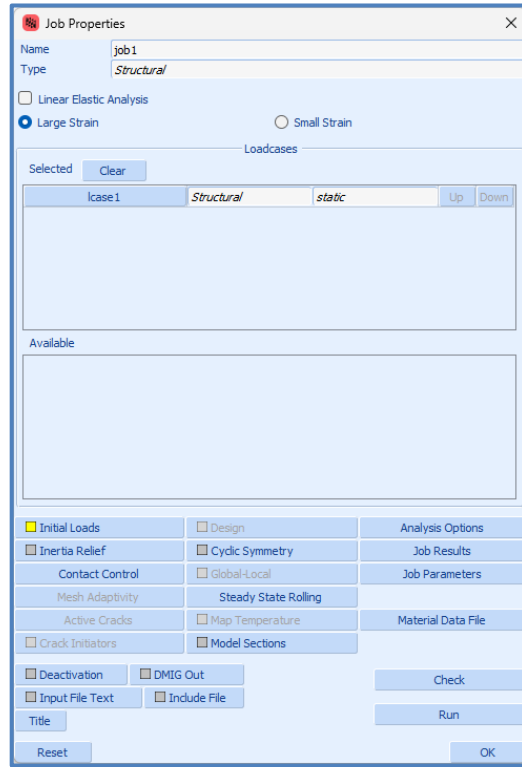
Şekil 9: Marc Arayüzü - "Upper Die" Sınır Koşulu

Bir sonraki adım olarak, bir "static loadcase" **Şekil 10'** da görüldüğü gibi oluşturuldu ve hem sınır koşulları hem de kontak atamaları bu "loadcase" e yapılmıştır. Toplam analiz süresi 5 saniye olarak verilmiş ve analizin 50 adımda çözülmesi istenmiştir.



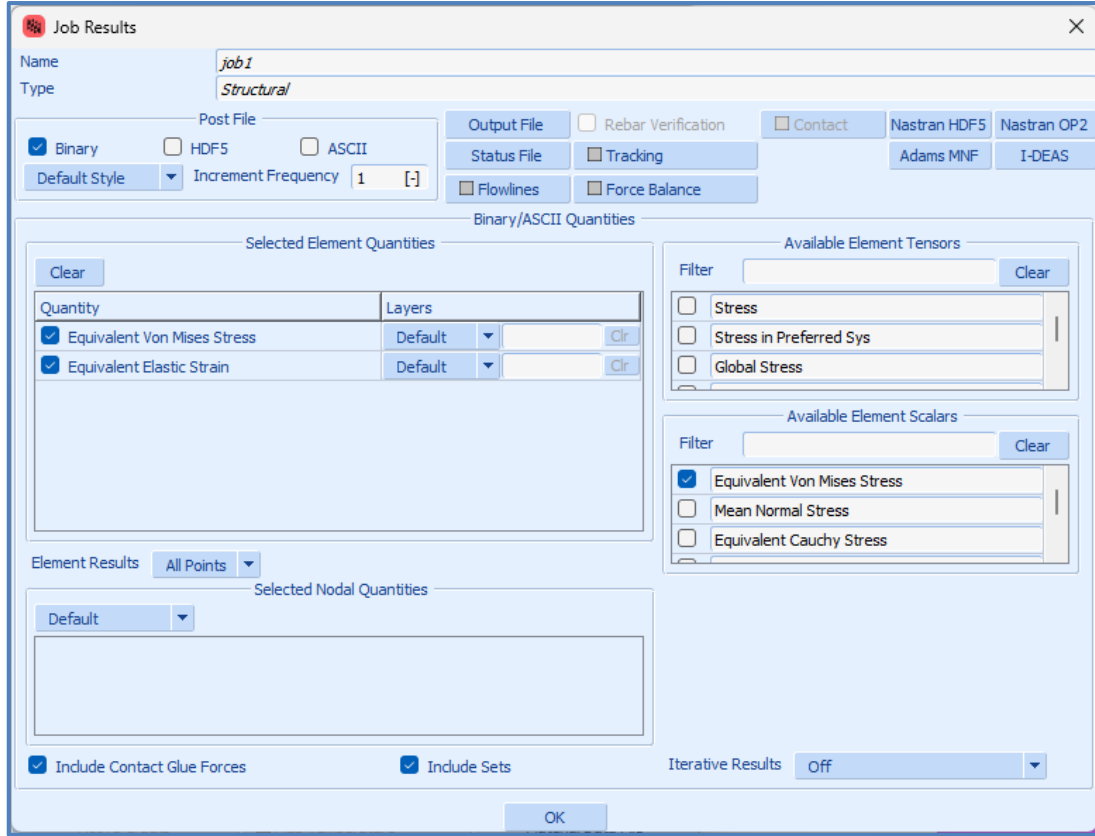
Şekil 10: Marc Arayüzü - "Loadcase"

Ardından, **Şekil 11**' de görülen "Structural Job" oluşturularak gerekli "Initial Loads" ve "Initial Contact" atamaları yapılmıştır.



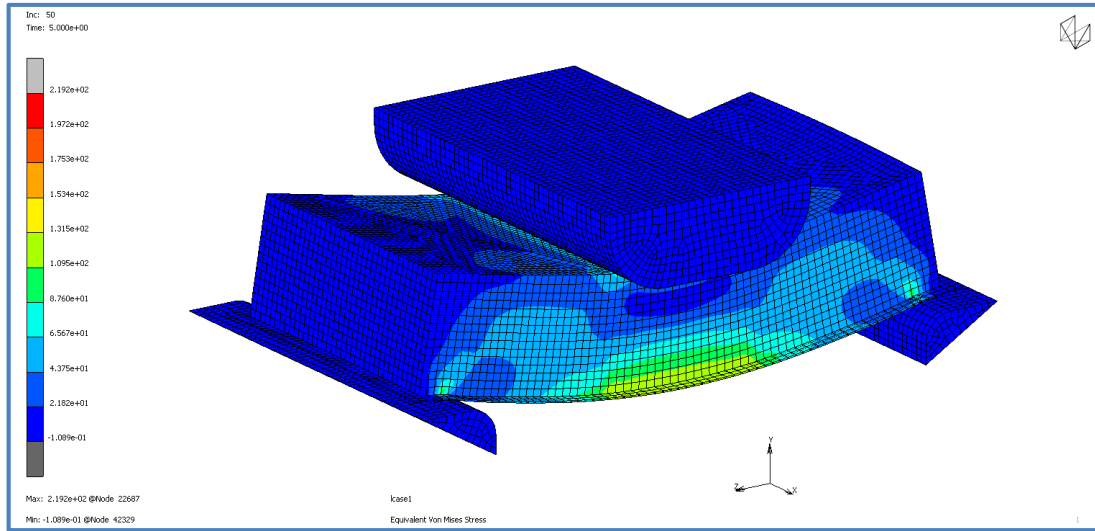
Şekil 11: Marc Arayüzü - "Structural Job"

Son olarak, **Şekil 12**' de görüldüğü üzere analizden "Equivalent Von Mises Stress" ve "Equivalent Elastic Strain" çıktıları istenmiştir.



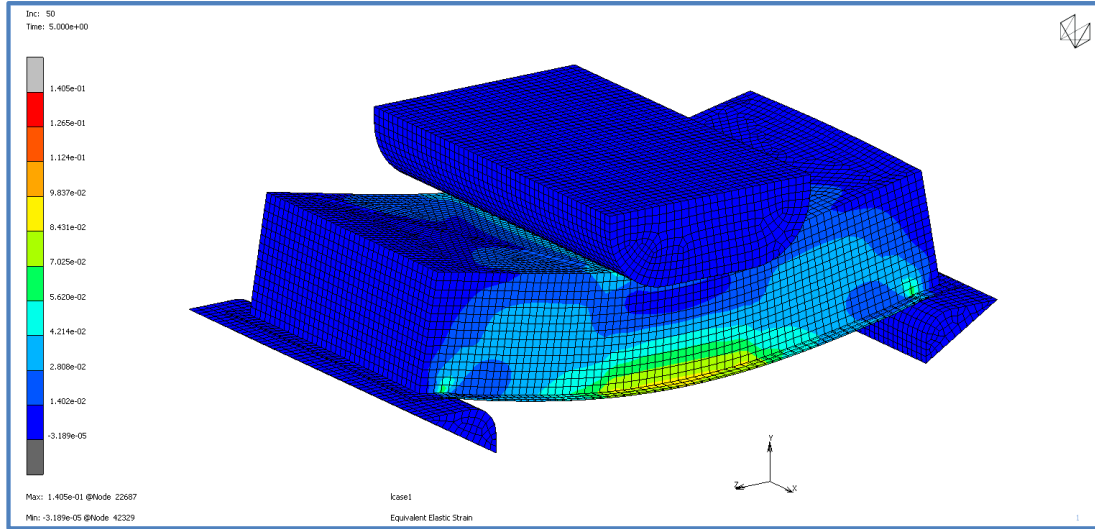
Şekil 12: Marc Arayüzü - Analiz' den İstenilen Çıktılar

Oluşturulan model Marc üzerinde koşturulmuş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 13: Marc Arayüzü - "Equivalent Von Mises Stress" Dağılımı

Şekil 13' te görüldüğü üzere elde edilen maksimum "Equivalent Von Mises Stress" değeri 219.2 MPa' dır.

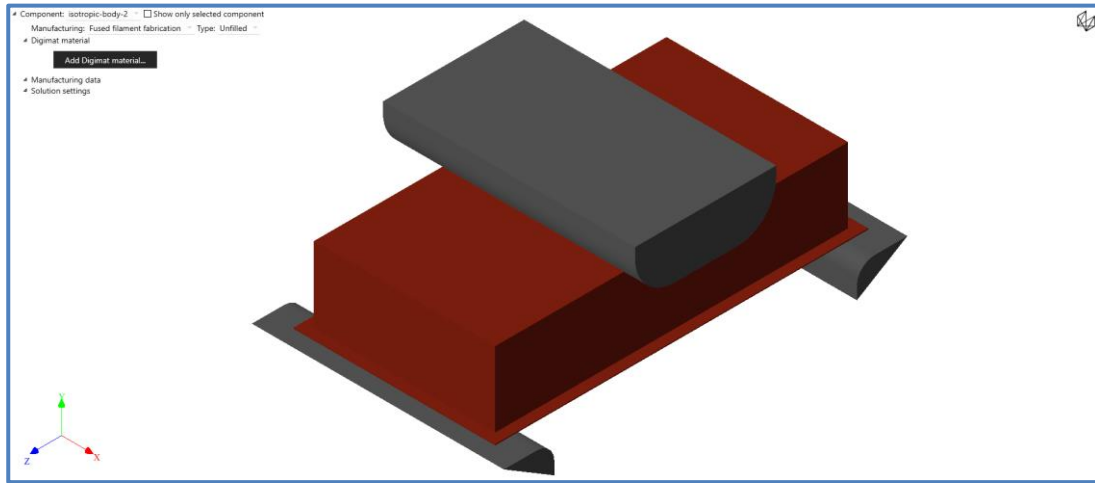


Şekil 14: Marc Arayüzü - "Equivalent Elastic Strain" Dağılımı

Şekil 14' te görüldüğü üzere elde edilen maksimum "Equivalent Elastic Strain" değeri 0.1405' dir.

DIGIMAT-RP ile Malzeme Ataması

İlk olarak Şekil 15' te görüldüğü üzere Marc üzerinde oluşturulan ".dat" uzantılı model dosyası DIGIMAT-RP içerisine aktarılmıştır.



Şekil 15: DIGIMAT-RP Arayüzü - Marc Modeli

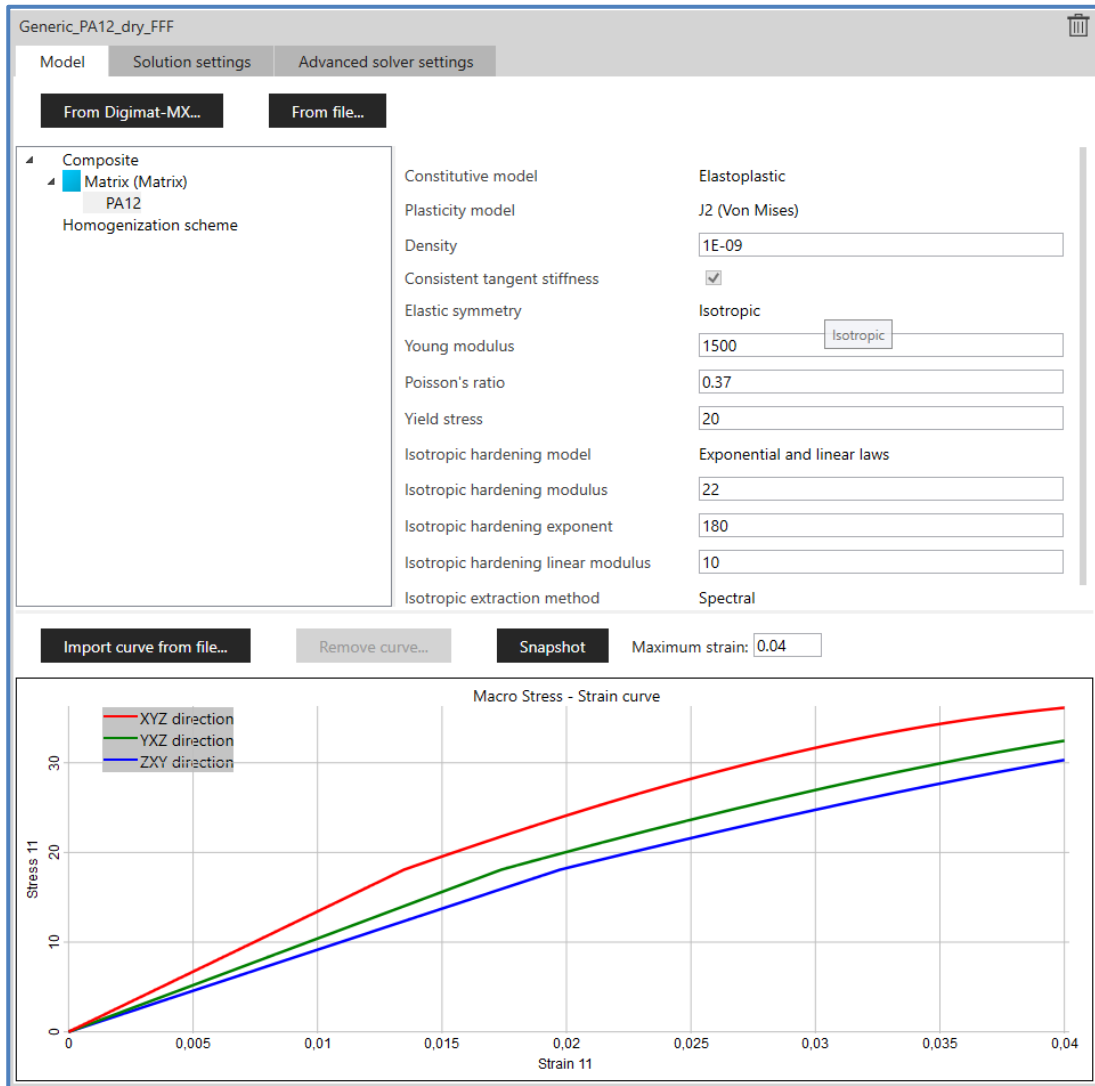
DIGIMAT-RP içerisine model aktarımı yapıldığında, DIGIMAT sizlere bir model ağacı oluşturmaktadır. Bu ağacın içerisinde farklı malzemeler atanmış her parça sıralı bir şekilde bulunmaktadır. Malzemeyi atamak istediğiniz parçayı bu ağaç üzerinden seçtiğinizde ilgili parça kırmızı renge bürünmektedir. Bu sayede, diğer parçaların malzeme özelliklerini değiştirilmeden analize devam edilebilmektedir.

Seçilen parçaya atanmak üzere DIGIMAT-MX veri tabanında bulunan hazır bir malzeme kartı Şekil 16' da görüldüğü gibi DIGIMAT-RP içerisine aktarılmıştır. Veri tabanından çekilen malzeme özellikleri DIGIMAT-AM modülü kullanılarak yapılan Eklemeli İmalat üretim simülasyonunda kullanılan filament malzemesiyle aynı malzeme olarak seçilmiştir.

HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	thermo-elastic	process	★	Pa			
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	elastic	structural	★	MPa	23	0	
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	elastic	structural	★	MPa	23	50	
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	J2_plasticity	structural	★	MPa	23	0	
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	J2_plasticity	structural	★	MPa	23	50	
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	thermo-elastic	process	★	Pa			
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	elastic	structural	★	MPa	23	50	
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	elastic	structural	★	MPa	23	0	
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	J2_plasticity	structural	★	MPa	23	0	
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	J2_plasticity	structural	★	MPa	23	50	
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	thermo-elastic	process	★	Pa			
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	elastic	structural	★	MPa	23	0	
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	J2_plasticity	structural	★	MPa	23	0	
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_PA12	PA12		HEXAGON	thermo-elastic	process	★	Pa			
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_CARBON_FIBER	CF	100%w	HEXAGON	thermo-elastic	process	★	Pa			
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_GLASS_BEAD	GB	100%w	HEXAGON	thermo-elastic	process	★	Pa			
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_GLASS_FIBER	GF	100%w	HEXAGON	thermo-elastic	process	★	Pa			
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_ABS	ABS		HEXAGON	thermo-elastic	process	★	Pa			
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_ABS	ABS		HEXAGON	elastic	structural	★	MPa	23	0	
HEXAGON	HxGN_GENERIC_FFF_ABS	ABS		HEXAGON	J2_plasticity	structural	★	MPa	23	0	

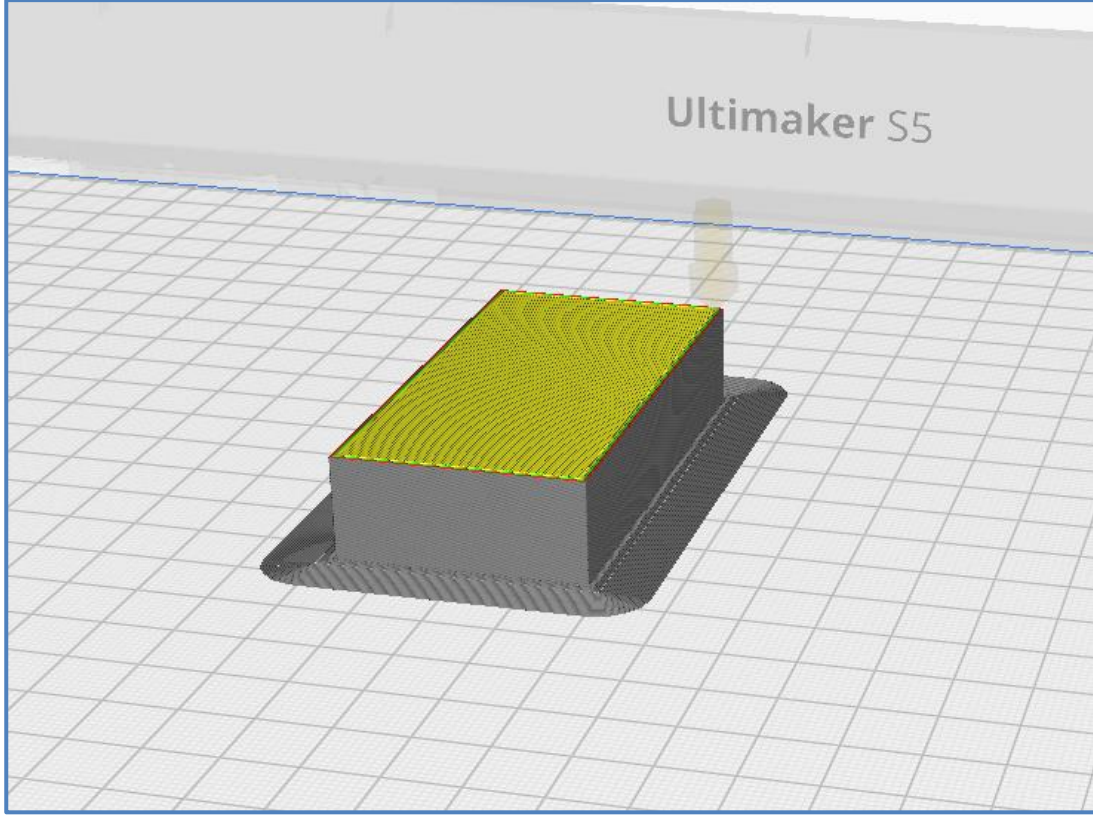
Şekil 16: DIGIMAT-MX Arayüzü - Hazır Malzeme Kartının DIGIMAT-RP'ye Aktarılması

Aktarılan hazır malzeme kartının DIGIMAT-RP içerisindeki görünümü Şekil 17' de paylaşılmıştır.



Şekil 17: DIGIMAT-RP Arayüzü - Aktarılan Hazır Malzeme Kartı

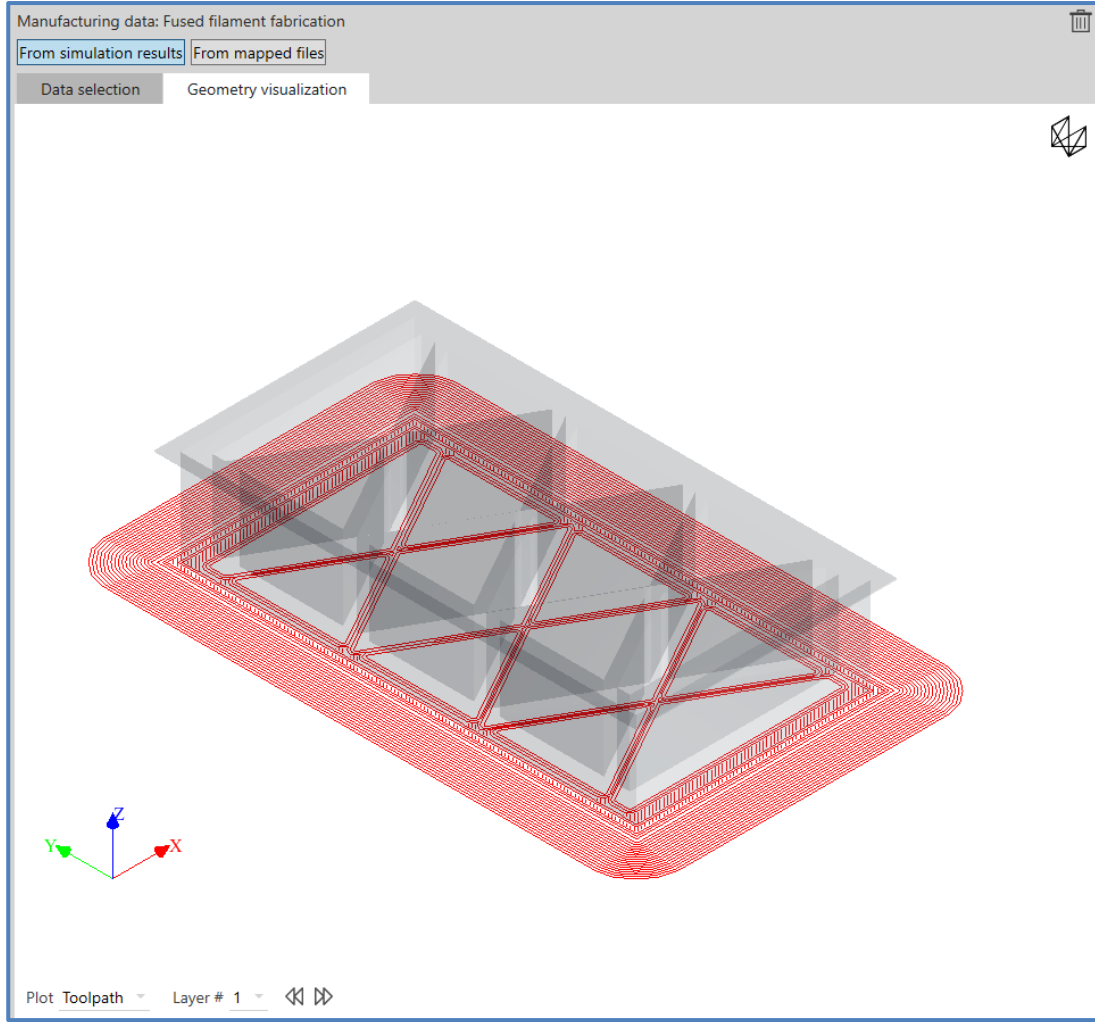
Eklemeli imalat sırasında oluşturulacak modelin 3D yazıcıya aktarılmasını sağlayan koda “G-Code” adı verilmektedir. DIGIMAT-AM modülü de bu kodu kullanarak üretim simülasyonunu gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada **Şekil 18’** de görüldüğü üzere “UltiMaker Cura” programı kullanılarak bu kod oluşturulmuştur.



Şekil 18: UltiMaker Cura Arayüzü - Model İçin G-Code Oluşturma

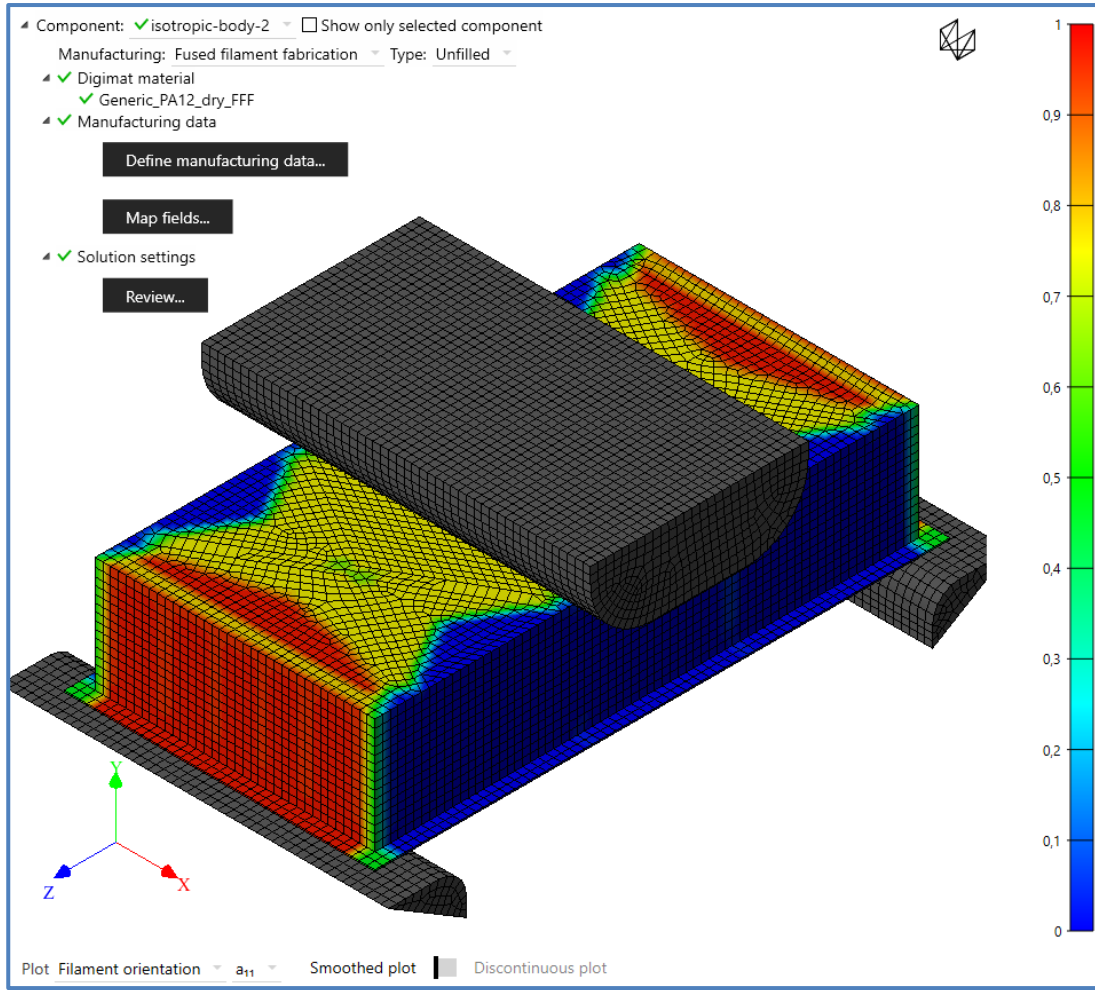
Daha sonrasında bu kod kullanılarak DIGIMAT-AM modülü üzerinden parçanın eklemeli imalat üretim simülasyonu gerçekleştirilmiş ve DIGIMAT-RP içerisine aktarılabacak olan kalıntı gerilim çıktısı alınmıştır.

Hem “G-Code”, hem de kalıntı gerilim verisi asıl modele haritalanmak üzere **Şekil 19’** da görüldüğü üzere DIGIMAT-RP modülüne aktarılmıştır.



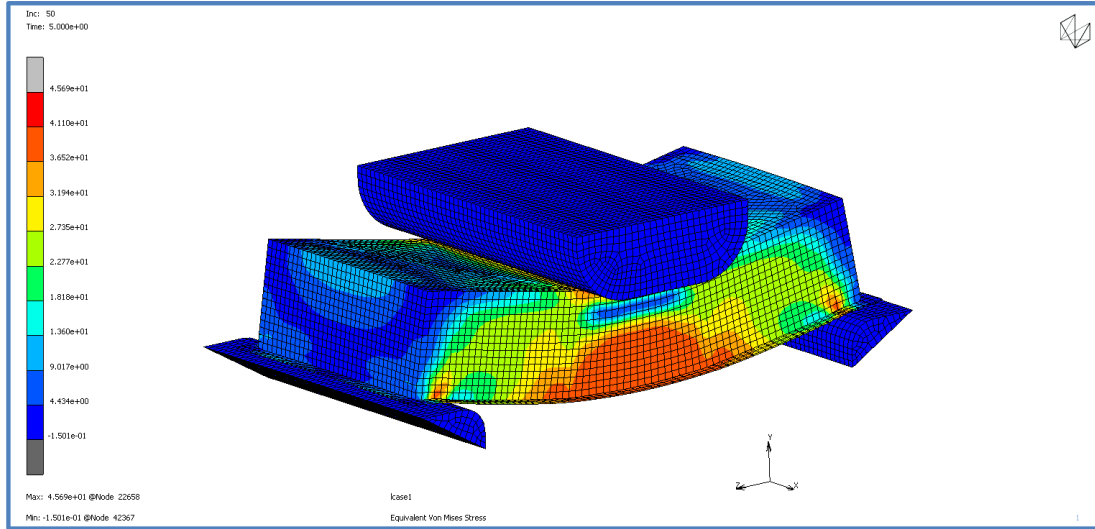
Şekil 19: DIGIMAT-RP Arayüzü - Eklemeli İmalat Çıktılarının Aktarılması

Aktarılan bu veriler model içerisindeki parçaya **Şekil 20'** de görüldüğü üzere haritalanmıştır.



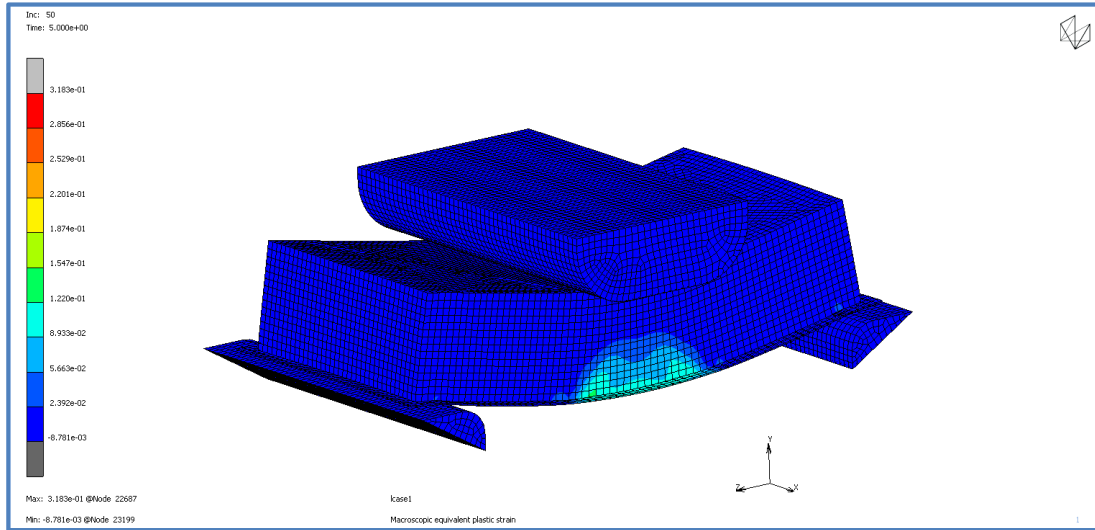
Şekil 20: DIGIMAT-RP Arayüzü - Verilerin Haritalanması

Bu adımdan sonra, “DIGIMAT-MARC Coupling” modeli Marc çözücüsü kullanılarak koşturulmuştur. Çıkan sonuçları aşağıdaki şekillerden inceleyebilirsiniz.



Şekil 21: Marc Arayüzü - "Coupling" Analizi "Equivalent Von Mises Stress" Dağılımı

Şekil 21' de görüldüğü üzere elde edilen maksimum "Equivalent Von Mises Stress" değeri 45.69 MPa' dır.



Şekil 22: Marc Arayüzü - "Coupling" Analizi "Equivalent Elastic Strain" Dağılımı

Şekil 22' de görüldüğü üzere elde edilen maksimum "Equivalent Elastic Strain" değeri 0.2914' dür.

SONUÇ

Hem orijinal Marc analizi çıktıları hem de DIGIMAT-Marc “Coupling” analizi çıktıları incelendiğinde aradaki fark bariz bir şekilde görülmektedir. Orijinal Marc analizinden elde edilen maksimum “Equivalent Von Mises Stress” değeri 219.2 MPa iken aynı değer “Coupling” analizinde 45.69 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde, orijinal Marc analizinden elde edilen maksimum “Equivalent Elastic Strain” değeri 0.1405 iken aynı değer “Coupling” analizin sonucunda 0.2914 olarak elde edilmiştir. Bu bariz farklılığın kaynağı üretimden simülasyonundan alınan ve parça üzerine haritalanan çıktılarıdır. Marc üzerinde malzeme modellemesi yapılırken makro ölçekte bir modelleme yapılmaktadır, DIGIMAT ise mikro mezo ölçekli modellemeden makro ölçekli modellemeye geçmektedir. Özellikle bu tür malzeme modellerinde mezo ölçekli malzeme modellemesinden makro ölçekli modellemeye geçmek daha sağlıklı ve doğru sonuçlar vermektedir. Ayrıca, bu haritalama sayesinde malzeme modeli izotropik davranıştan çıkarılıp anizotropik davranışa geçirilmiş olmaktadır. Bu nedenle, sonuçların görselleri incelendiğinde dağılımlarının da gözle görülebilecek bir şekilde değiştiği gözlemlenmektedir.

Bu çalışma, Sonlu Eleman Analizleri’nde (FEA) kullanılan izotropik malzeme modellerinin sonuçları nasıl değiştirdiğini ve anizotropik malzeme modellemesinin DIGIMAT üzerinden nasıl Marc’ a aktarıldığında sonuçların ne şekilde etkilendiğini anlatılan bir çalışmadır. Her ne kadar bu çalışma Eklemeli İmalat ile üretilmiş bir malzeme modeli için yapılsa da malzemelerin anizotropik davranışının önemini de anlatmaktadır.

REFERANSLAR

1. Digimat 2023.3 Example Manual
2. Anisotropy and heterogeneity of microstructure and mechanical properties in metal additive manufacturing: A critical review – Y. Kok, X.P. Tan, P. Wang, M.L.S. Nai, N.H. Loh, E. Liu, S.B. Tor.
3. Flexural quasi-static and fatigue behaviors of fused filament deposited PA6 and PA12 polymers – S. Terekhina, T. M. Tarasova, S. Egorov, S. Innokentiy