

TEKNİK DOKÜMAN

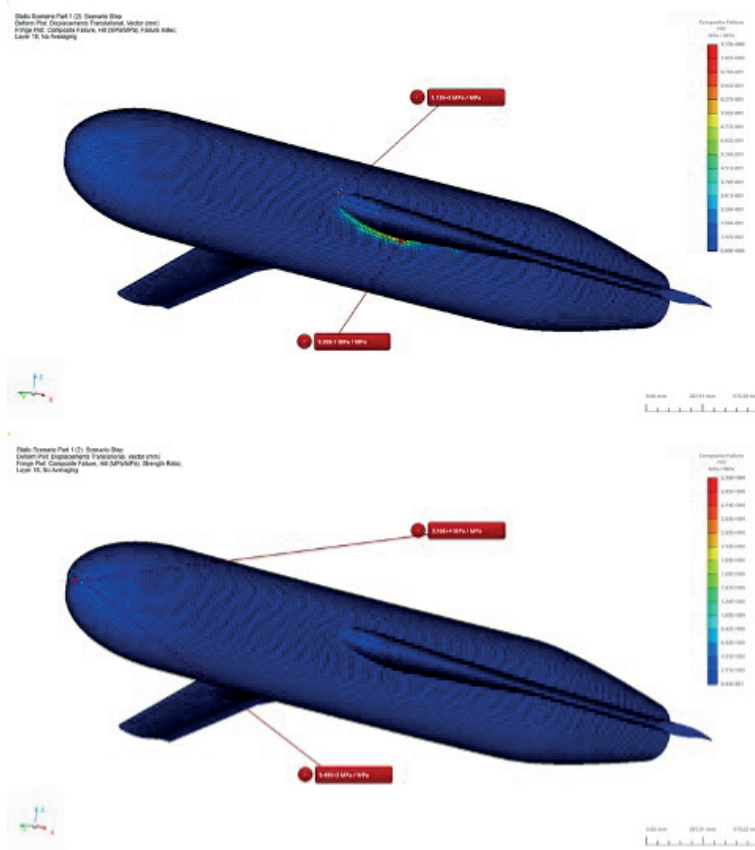


MSC Apex



MSC Nastran

Bu teknik yazıda, MSC Apex'te kompozit analiz ve basınç haritalandırma süreçlerinin nasıl gerçekleştirildiği detaylı bir şekilde incelenmektedir.



BIAS
MÜHENDİSLİK



HEXAGON

Authorised Hexagon reseller

MSC Apex'te Kompozit Analizi ve Basınç Haritalandırma

HAZIRLAYAN
Betül ABLAY <i>CAE Yapısal Analiz Mühendisi</i>

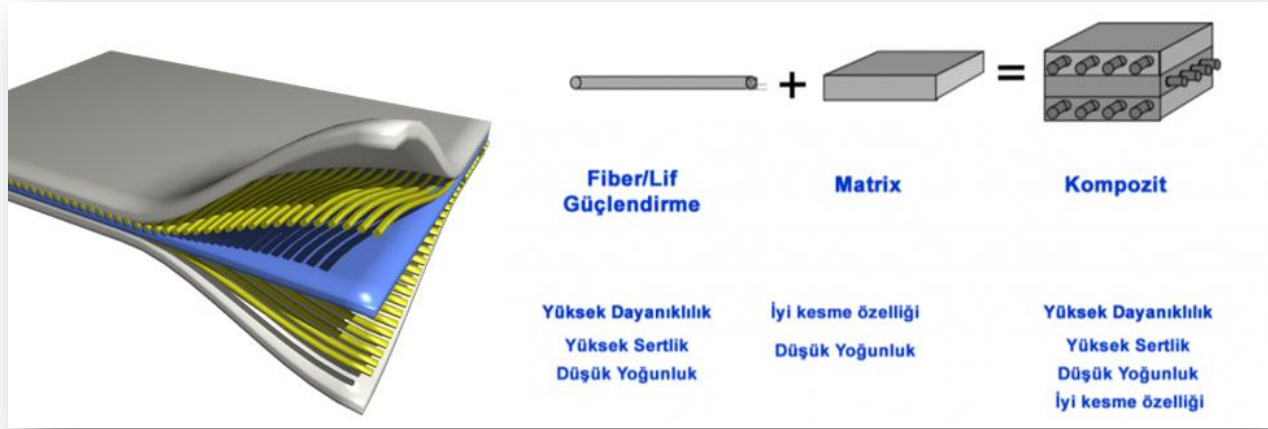
Yayın Tarihi: 09.04.2025

MSC Apex, mühendislik simülasyonları için güçlü bir platform sunarak, yapıların performansını detaylı bir şekilde analiz etmeyi mümkün kılmaktadır. Özellikle yapıların dayanıklılığını ve performansını test etmek için geniş bir analiz yelpazesi sunmaktadır. Kompozit analiz ve basınç haritalandırma, özellikle yüksek dayanıklılık ve düşük ağırlık gerektiren malzeme tasarımlarında kritik öneme sahiptir. Kompozit malzemelerin analizi, farklı katmanların (ply) özelliklerini ve yönelimlerini dikkate alarak, yapının davranışını doğru bir şekilde modellemeyi amaçlamaktadır. Basınç haritalandırma ise, bir yapının üzerinde uygulanan basınçların nasıl dağıldığını görselleştirerek mühendislerin tasarımlarının güvenliğini ve verimliliğini değerlendirmelerini sağlamaktadır. MSC Apex, kompozit malzeme analizlerinden basınç haritalandırma analizlerine kadar geniş bir yelpazede çözümler sunarak, mühendislerin doğru ve güvenilir sonuçlara ulaşmalarına olanak tanımaktadır. Bu yazıda, MSC Apex'te kompozit analiz ve basınç haritalandırma süreçlerinin nasıl gerçekleştirildiği detaylı bir şekilde incelenmektedir.

1. Kompozit Analiz Nedir?

Kompozit malzemeler, iki ya da daha fazla farklı malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Bu malzemeler genellikle farklı mekanik özelliklere sahip olduklarından, birlikte kullanıldıklarında her bir bileşenin avantajlarından faydalanılır. Kompozit analiz, bu tür malzemelerin çeşitli yükler altındaki davranışlarını incelemek için yapılan simülasyonları ifade etmektedir. Kompozit malzemeler, uçak kanatları, otomobil parçaları ve rüzgâr türbinleri gibi birçok endüstriyel uygulama için yaygın olarak kullanılmaktadır.

MSC Apex'te kompozit analiz yaparken, malzeme özelliklerini doğru bir şekilde tanımlanması oldukça önemlidir. Yazılım, her bir kompozit katmanın malzeme özelliklerini ve yönelimlerini dikkate alarak yapısal analizler yapar. Ayrıca, farklı yükleme koşulları ve çevresel faktörler altında kompozit malzemenin nasıl davranacağını simüle eder.



Görsel 1: Kompozit Malzeme İçeriği

1.1. MSC Apex'te Kompozit Analiz

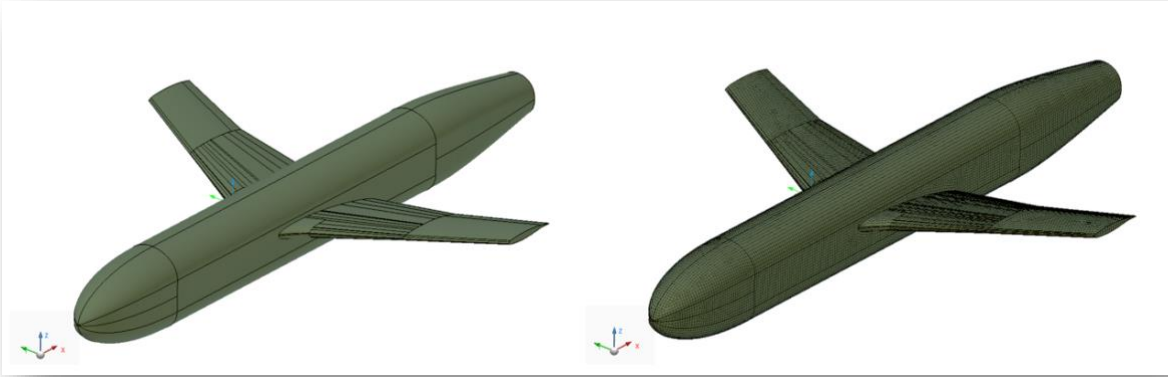
MSC Apex, özellikle kompozit malzemelerin analizinde güçlü araçlar sunan bir simülasyon yazılımıdır. Kompozit analizleri, malzeme katmanlarının (ply) özelliklerini dikkate alarak yapıların davranışlarını doğru şekilde simüle etmeyi amaçlamaktadır.

Kompozit analizlerinde doğru ve güvenilir sonuçlar elde edebilmek için bir dizi önemli faktöre dikkat edilmesi gerekmektedir. Kompozit malzemeler, birden fazla katman (ply) ve her katmanın farklı özelliklere sahip olduğu heterojen malzemelerdir. Aşağıda, örnek olarak iki boyutlu kanat-gövde bağlantı modelinin kompozit analizi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken detaylar ve MSC Apex arayüzünde kullanabileceğiniz araçlar ele alınmaktadır.

1.1.1. Model Hazırlığı

Elinizde var olan bir ".bdf" (Bulk Data File) ya da CAD yazılımından dışarı aktardığınız modelinizi MSC Apex'e içeri aktararak analiz için kullanılabilir. MSC Apex, ".bdf" formatını destekler ve modeli içe aktardıktan sonra üzerinde değişiklik yapmanıza olanak tanımaktadır. Ayrıca, simüle etmek istediğiniz yapısal modelinizi kendiniz oluşturabilmektesiniz.

İçeri aktarılan geometri incelendikten sonra hatalı ve gereksiz parçalar MSC Apex arayüzünde temizlenebilmektedir. Ardından sonlu elemanlar ağı (mesh) oluşturulmaktadır. Çok ince veya düzensiz bir mesh, çözüm doğruluğunu azaltabilir. Kompozit malzemelerin analizlerinde katmanlar arası geçiş bölgeleri, yüksek deformasyon bölgeleri gibi özelliklerin dikkatlice ele alınması gerekmektedir. Mesh, her katmanın (ply) ince yapısını doğru bir şekilde modelleyecek şekilde oluşturulmalıdır.



Görsel 2: NASA Wing-Fuselage Junction Yüzey ve Sonlu Elemanlar Ağı Modeli

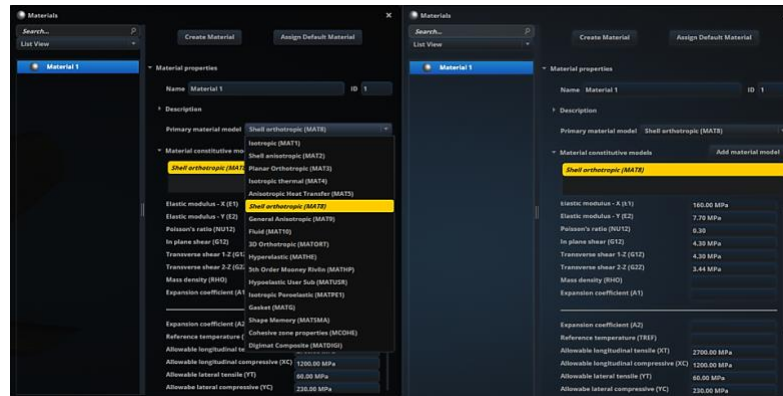
1.1.2. Malzeme Tanımlama

MSC Apex malzeme davranışlarını daha doğru şekilde simüle etmek için kullanılan çeşitli kompozit malzeme modellerini içermektedir. Bu modellerin bazıları şunlardır:

- **İzotropik Malzemeler:** Tüm yönlerde aynı mekanik özelliklere sahiptir.
- **Ortotropik Malzemeler:** Birbirine dik üç yönde farklı mekanik özelliklere sahiptir.
- **Anizotropik Malzemeler:** Her yönde tamamen farklı mekanik özelliklere sahip olarak modellenir.

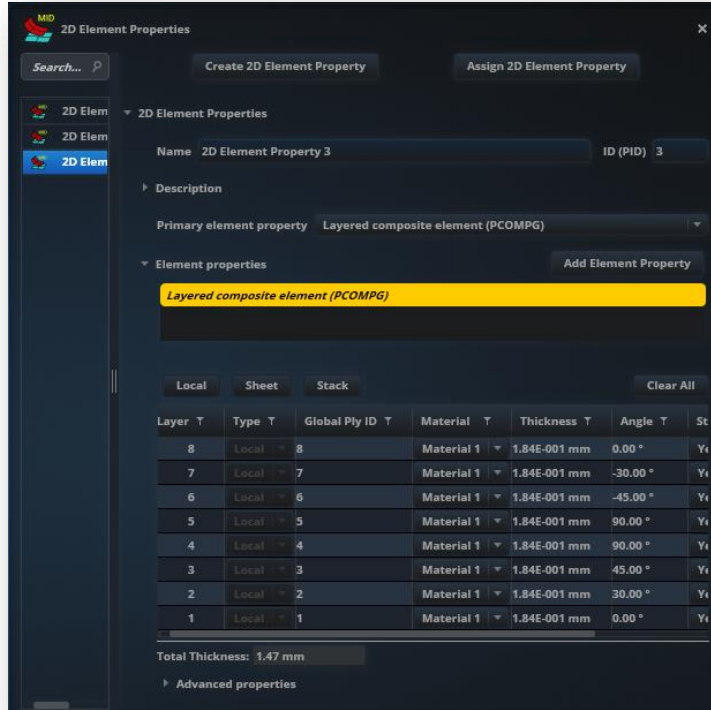
Kompozit malzemelerin özellikleri her katman için tanımlanmalıdır. MSC Apex'te malzeme kartlarında, elastik modülleri, Poisson oranı, yoğunluk ve diğer fiziksel özellikler belirlenebilmektedir.

MSC Apex arayüzünde "Materials" kısmından malzeme modeli tanımlanarak, malzemenin mekanik özellikleri oluşturulabilmektedir. Aşağıda iki boyutlu kanat-gövde bağlantı modelinin kompozit analizi yapılırken tanımlanan ortotropik malzeme özellikleri yer almaktadır. Hasara bakılacaksa "Failure" kriterinin tanımlanması yapılabilmektedir (Attribution Tools --> Panel --> Advanced Properties --> Failure Criteria).



Görsel 3: MSC Apex Arayüzünde Ortotropik Malzeme Modeli ve Mekanik Özellikleri

İki boyutlu örnek modelimizde MSC Apex arayüzünde “Panels- Ply Property”den katmanların iki boyutlu özellikleri oluşturulup, ilgili bölgelere atanmaktadır. İstenirse “2D Element Properties” sekmesinden PCOMPG kartı kullanılarak malzeme, fiber yönelimi ve kalınlık değerleri girilerek eleman özellikleri oluşturulabilmektedir.



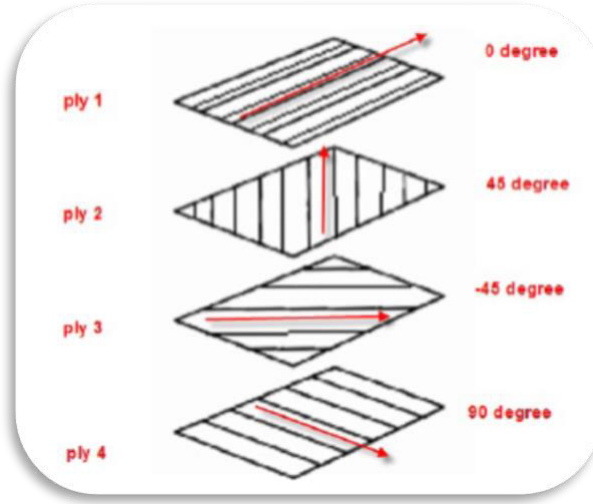
Görsel 4: MSC Apex Arayüzünde “2D Element Properties” Sekmesi

Kompozit yapı tanımlaması yapmadan önce “Material Orientation Field” aracı kullanarak, malzeme yönünü doğrudan modelinize uygulamanız gerekmektedir. Malzemenin hangi yönlere doğru hizalanacağını belirlemek için malzeme yönünü koordinat ile belirlemek gerekir ve hizalanacak bölge seçilmelidir. MSC Apex arayüzünde, malzeme yönü referansı için “Coordinate System” aracı kullanılarak bir koordinat ataması yapılabilmektedir.

1.1.3. Kompozit Yapı Tanımlaması

Kompozit malzemelerin analizi, her bir katmanın (ply) özelliklerinin dikkate alınmasıyla yapılır. Bu malzemeler, farklı yönelimlerde yerleştirilmiş katmanlardan (ply) oluşur ve her bir katman, kompozit malzemenin genel davranışını etkiler. MSC Apex, bu katmanları modelleyebilmenizi sağlayan bir dizi özellik sunmaktadır.

Kompozit malzemeler genellikle "ply" olarak adlandırılan ince katmanlardan oluşur. Her katman, farklı malzeme özelliklerine ve yönelimlerine sahip olabilmektedir. MSC Apex, bu katmanları kolayca tanımlamanıza ve modellemenize imkân vermektedir.



Görsel 5: Dört Katmandan (Ply) Oluşan Laminar Model

Her bir katman, malzeme türü (örneğin, karbon fiber, cam elyafı, vb.), kalınlık, yönelim (örneğin, 0°, 90°, ±45°) ve diğer mekanik özellikler ile tanımlanmaktadır.

Kompozit malzemelerin en kritik özelliklerinden biri, katmanların (ply) yönelimleridir. Her bir katmanın yönelimi, malzemenin mekanik davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Yönelim, kompozit malzemenin taşıyacağı yüklerin hangi doğrultuda daha iyi karşılanacağını belirlemektedir.

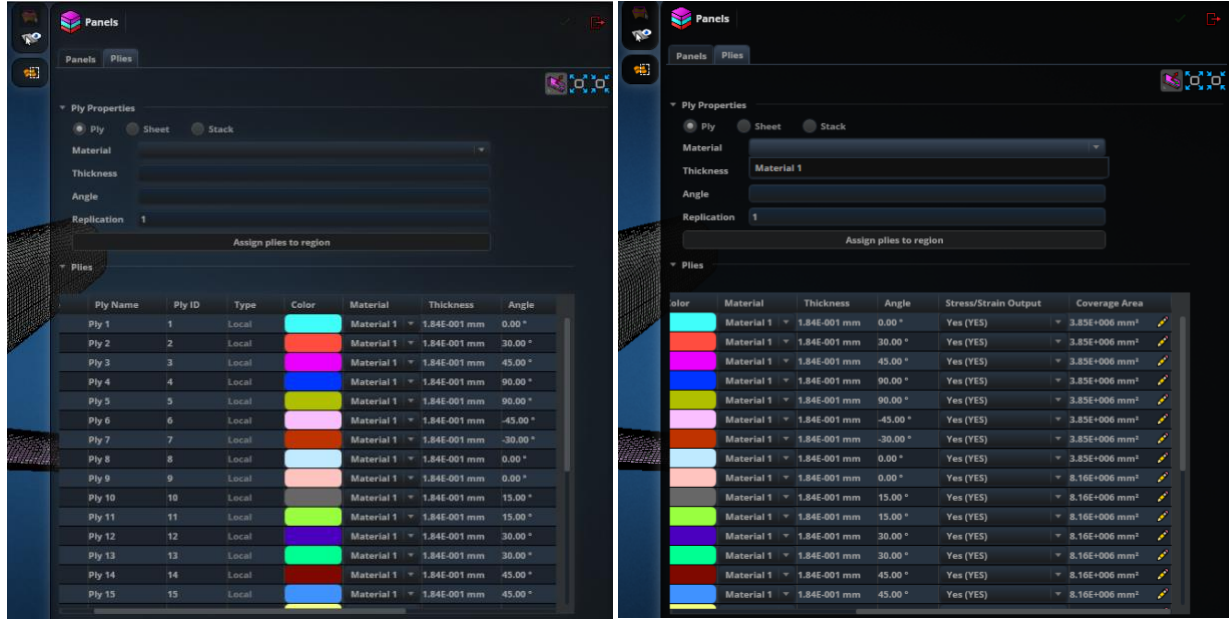
Fiber yönündeki dayanım fiberin çekme/basma direncine bağlıyken, dik yöndeki dayanım büyük ölçüde matrisin taşıma kapasitesine bağlıdır. Bu nedenle, fiber yönündeki yüklere karşı dayanım yüksekken, fiber yönüne dik yüklere karşı dayanım düşüktür.

Katmanların yerleşimi ve yönelimleri, kompozit malzemenin dayanımını, rijitliğini ve genel performansını doğrudan etkiler.

Her katmanın kalınlığı da, kompozit malzemenin genel kalınlığı ve mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Genellikle her katmanın kalınlığı homojen olarak belirlenir, ancak farklı kalınlıklar kullanılarak malzeme tasarımı özelleştirilebilmektedir. Çok ince katmanlar, katmanlar arası etkileşimi daha hassas hale getirebilir, çok kalın katmanlar ise farklı malzeme özelliklerine sahip olabilir.

MSC Apex arayüzü üzerinden bir katman eklerken şu adımlar takip edilir:

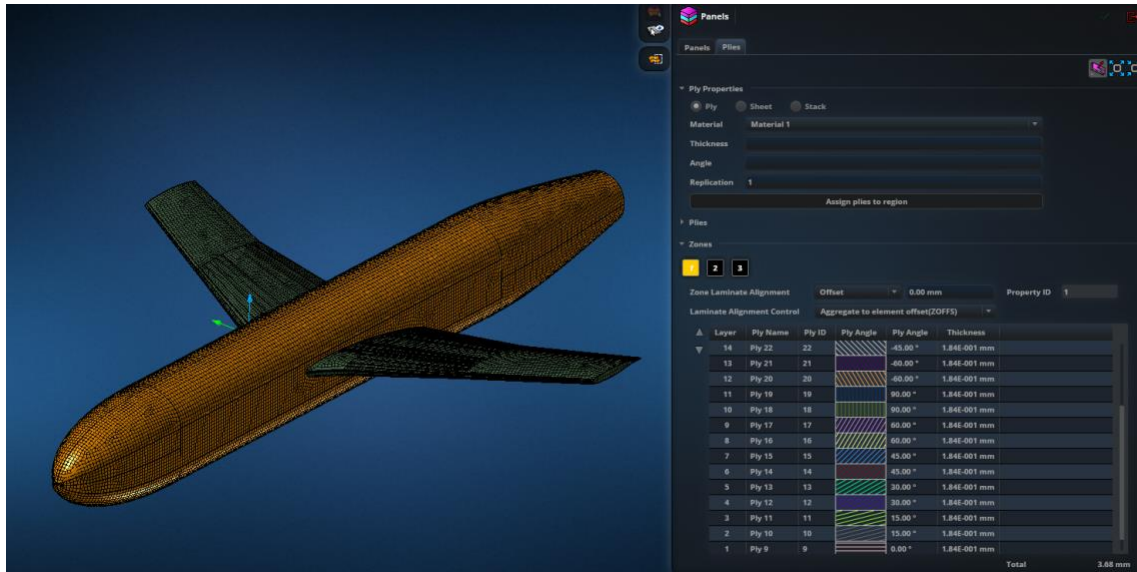
1. **Malzeme Seçimi:** Kullanılacak malzeme (örneğin karbon fiber) seçilmektedir.
2. **Kalınlık ve Yönelim Belirleme:** Her bir katman için kalınlık ve yönelim belirlenmektedir.
3. **Katman Yığılması (Layup):** Katmanlar istenen sayıda ve düzenle üst üste yerleştirilmektedir.



Görsel 6: MSC Apex Arayüzünde “Panel” Sekmesinde Katmanların (Plies) Gösterimi

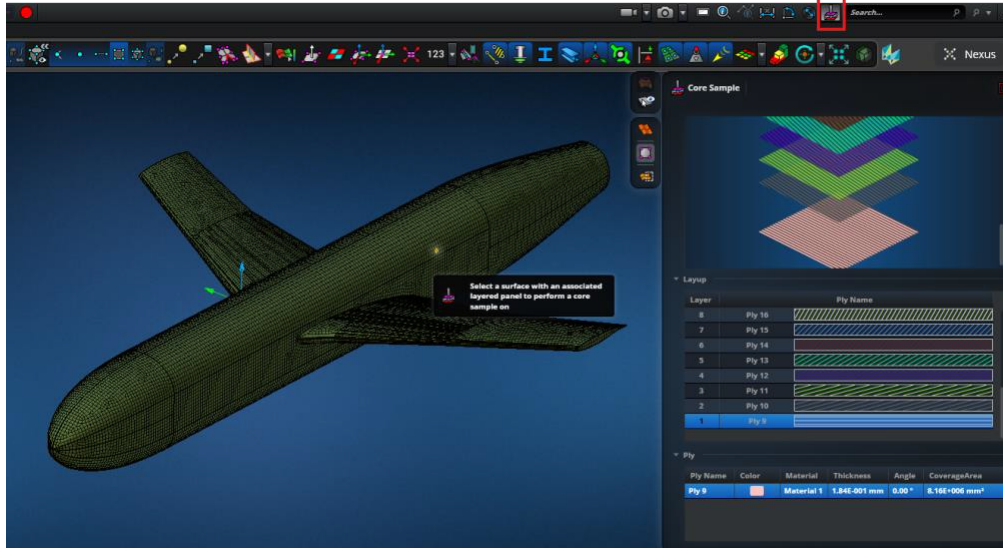
Ek olarak, modelinizde farklı bölgelere, istenen sayıda ve düzenle üst üste katman oluşturulabilmektedir. MSC Apex'te modelinizde atamış olduğunuz bölgelerdeki katmanları ise “Zones” kısmından görüntülenebilmektedir.

“Zone”, kompozit malzemelerin katman yapılarının tanımlandığı bir özelliktir. Burada, "zone" bir katman bölgesi olarak kullanılabilir ve her bir ply'in konumunu, yönelimini ve malzeme özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.



Görsel 7: MSC Apex Arayüzünde “Panel” Sekmesinde “Zones”

Kompozit yığılmalar (Layup), kompozit yapılarının üretiminde kullanılan ve katmanların düzenli bir şekilde üst üste yerleştirilmesi işlemine denmektedir. MSC Apex arayüzünde “Core Sample” aracını kullanarak modelinizde yüzey ya da iki boyutlu mesh bazlı incelemek istediğiniz kısmın, kompozit yığılmalarına bakılabilmektedir.

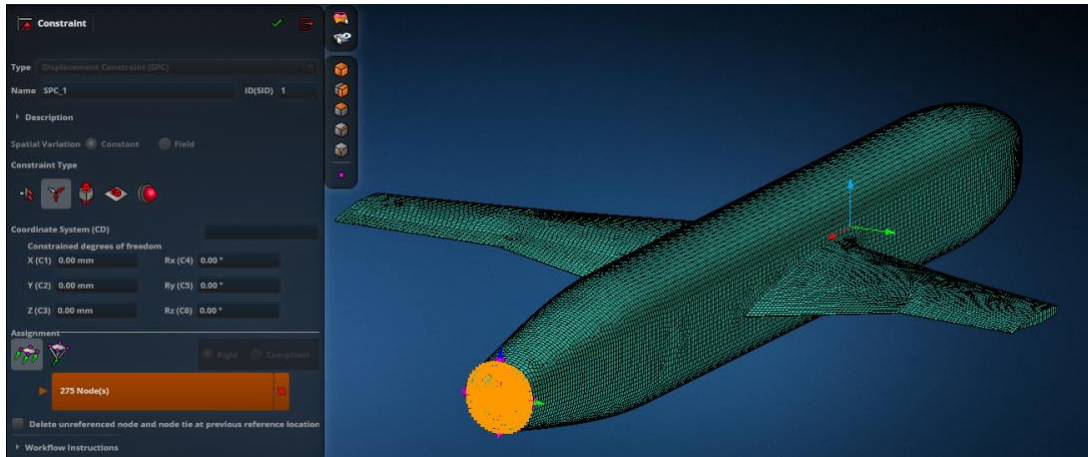


Görsel 8: MSC Apex Arayüzünde “Core Sample” Aracı

1.1.4. Yük ve Sınır Koşullarının Tanımlaması

Kompozit malzemelerin analizi sırasında uygulanan yükler ve sınır koşulları, yapının davranışını doğru bir şekilde yansıtmalıdır. Farklı yük türleri (baskı, çekme, kesme, eğilme) ve sınır koşulları (sabit noktalar, serbest uçlar) doğru bir şekilde tanımlanmalıdır. Yükleme koşullarına göre, malzemenin katmanları farklı şekilde tepki verebilmektedir ve bu da analiz sonucunu etkilemektedir.

İki boyutlu kanat-gövde bağlantı modelinin arka yüzeyi 6 yönden kısıtlandırılmaktadır. Yük olarak ise, CFD analizinde elde edilen basınç “Map Spatial Load” aracı kullanılarak yapıya uygulanmaktadır.

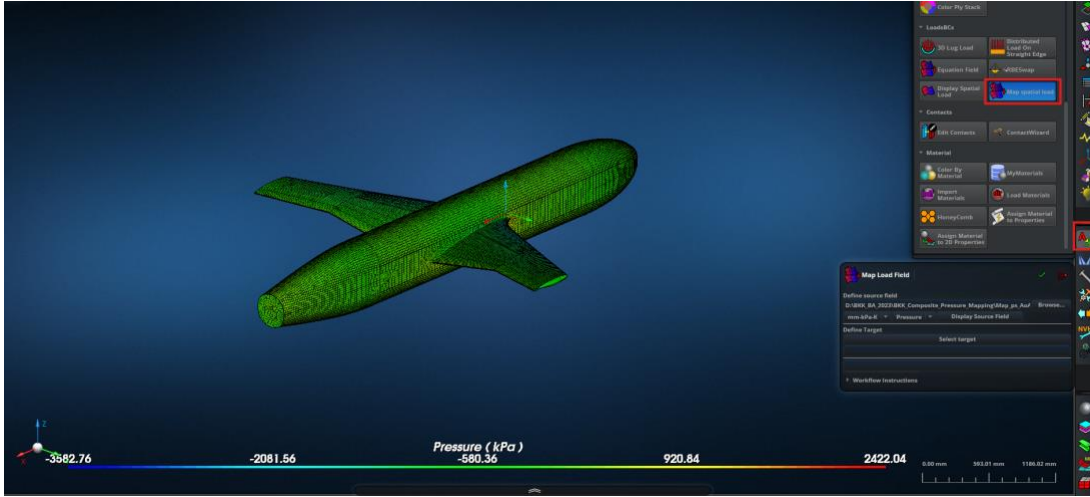


Görsel 9: Kanat-Gövde Bağlantı Modelinin Sınır Koşulları

Basınç Haritalandırma Nedir?

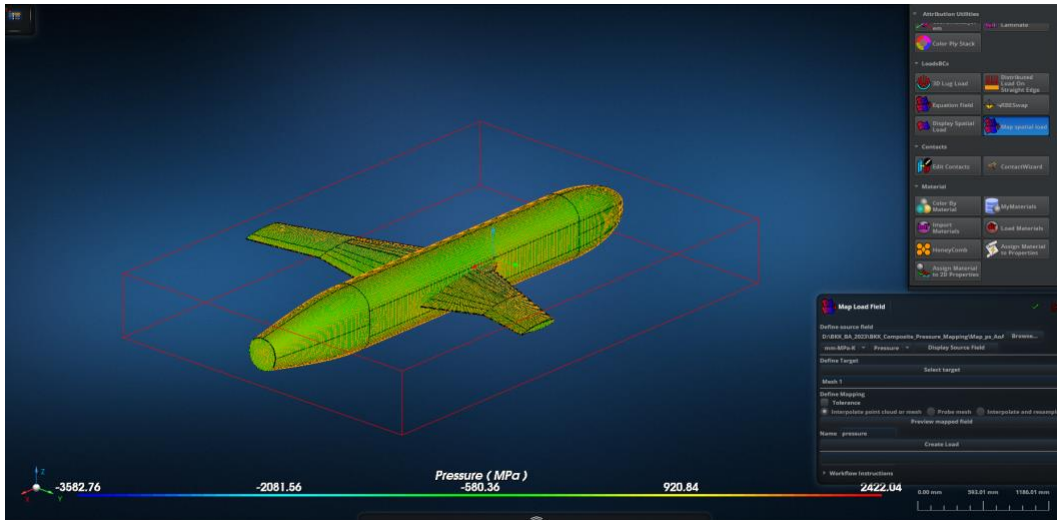
Basınç haritalandırma, bir yapının üzerinde uygulanan kuvvetlerin etkisini görselleştiren bir tekniktir. Bu yöntem, özellikle aerodinamik tasarımlarda, otomotiv mühendisliğinde ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. MSC Apex, kullanıcıların analiz sonuçlarını görsel olarak anlamalarına yardımcı olmak için basınç dağılımlarını haritalandırma yeteneğine sahiptir. “Map Spatial Load” aracı ile basınç haritalandırma yapılabilmektedir.

“Map Spatial Load” aracına girildiğinde CFD analizi sonucunda gelen basınç “.xml” dosyasının tanımlanması gerekmektedir. Haritalandırma esnasında seçilen basınç birimi ile CFD analizi sonucunda elde edilen basınç biriminin aynı olması gerekmektedir.



Görsel 10: MSC Apex Arayüzünde “Map Load Field” Aracı

MSC Apex’te “Map Load Field” aracında birim ve “.xml” basınç dosyasını aktardıktan sonra “Select Target” tıklanarak modele yük aktarımı yapılabilmektedir.

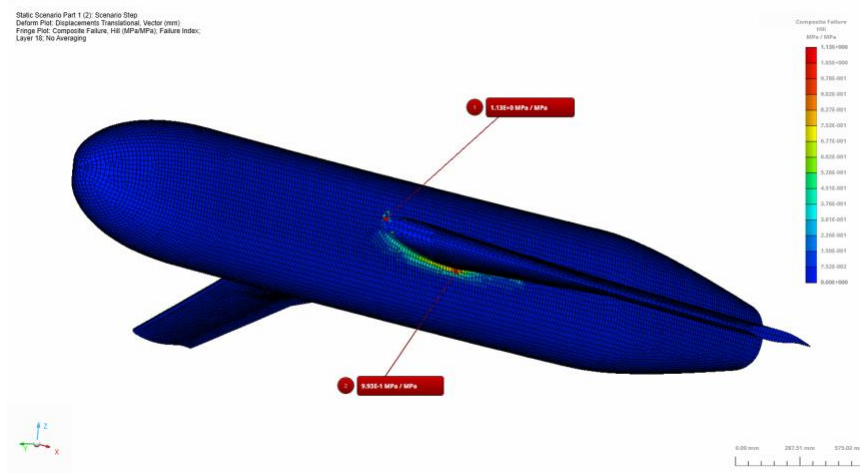


Görsel 11: MSC Apex Arayüzünde “Map Load Field” Aracında Haritalandırılacak Bölgenin Ön Gösterimi

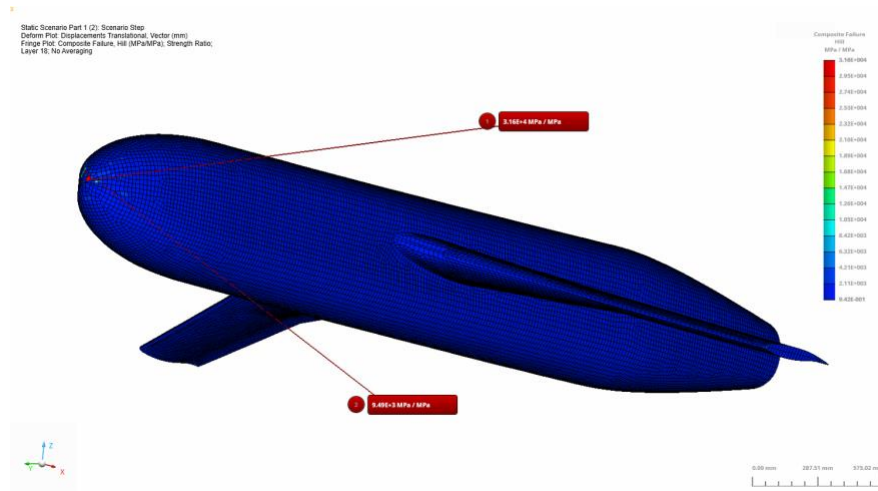
1.1.5. Analiz Sonuçlarının İncelenmesi

Analiz sonuçları incelenerek, kompozit malzemenin dayanıklılığı, güvenliği ve performansı değerlendirilmektedir. Gerekirse modeldeki katman yerleşimi, malzeme özellikleri veya yükleme koşulları üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir.

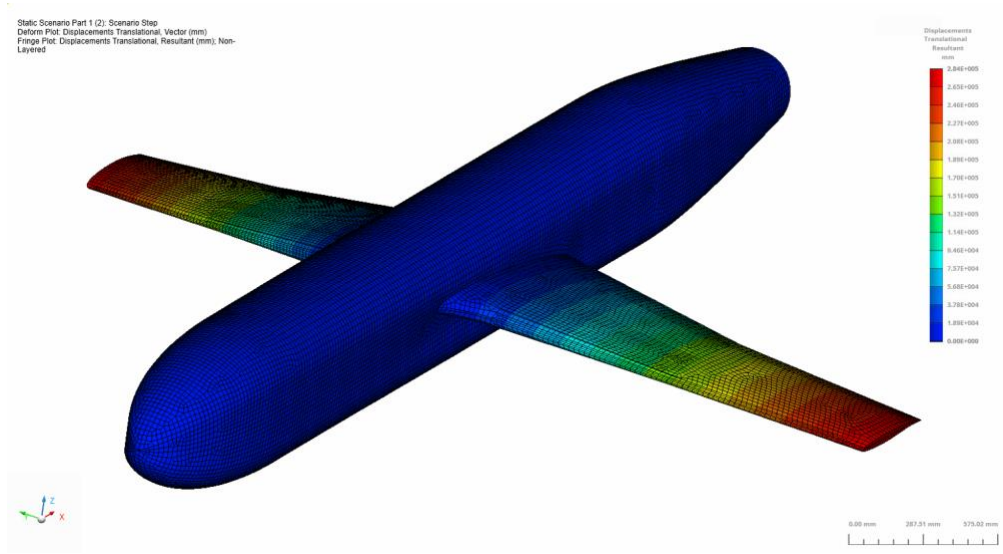
Ayrıca, kompozit laminatlar için güvenlik değerlendirmesi yapılırken, malzemenin çeşitli yükleme koşulları altındaki kırılma indeksi (failure index), kırılma kriterleri (Tsai-Wu, Tsai-Hill, Hoffman vb.) kullanılarak incelenir. Bu kriterler, kırılma indeksi ve mukavemet oranı (strength ratio) gibi parametreler birleştirilerek değerlendirilebilir. MSC Apex programı kullanıcılara kırılma kriterlerini uygulama imkânı vermektedir.



Görsel 12: Kanat-Gövde Bağlantı Modelinde Örnek Bir Katman (18. Katman) için Kırılma İndeksi (Hill) Sonuçları



Görsel 13: Kanat-Gövde Bağlantı Modelinde Örnek Bir Katman (18. Katman) için Mukavemet Oranı (Hill) Sonuçları



Görsel 14: Kanat-Gövde Bağlantı Modelinin Öteleme Yer Değiştirme Sonuçları

2. REFERANSLAR

- MSC Nastran 2024.1 Quick Reference Guide
- Kegerise, M., Neuhart, D., & Rumsey, C. (2017). Turbulence Measurements on a Wing-Fuselage Junction Model for CFD Validation. NASA Langley Research Center