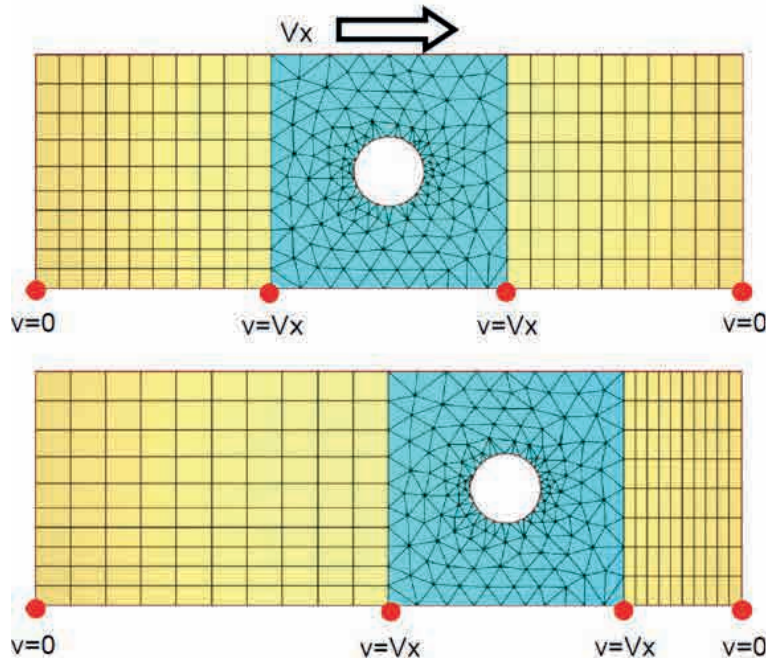


TEKNİK DOKÜMAN



Cradle CFD

Bu teknik yazıda MSC Cradle CFD yazılımı ile tek eksenli hareket yapan parçalar için hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonunun nasıl gerçekleştirileceği detaylı bir şekilde gösterilmektedir ve pistonlu kompresör modeli ile konu örneklendirilmektedir.



BiAS
MÜHENDİSLİK



HEXAGON

Authorised Hexagon reseller

Cradle CFD ile Tek Eksenli Hareket Simülasyonları

Hazırlayan
Önder YILMAZ Kıdemli Uzman CFD Uygulama Mühendisi

Tarih: 30/07/2025

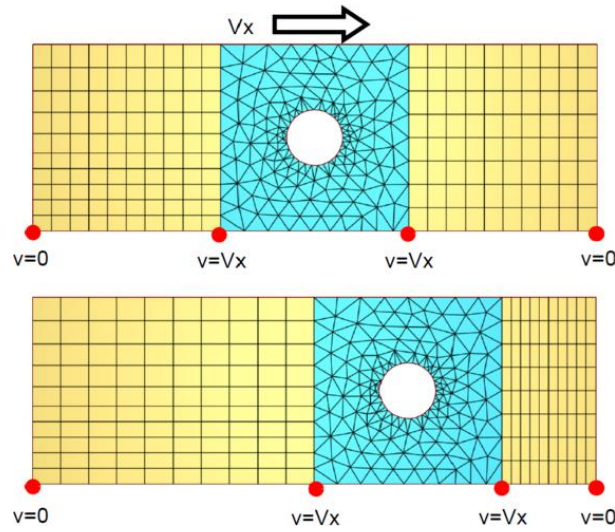
Mühendislik uygulamalarının birçoğunda hareketli parçalar bulunmaktadır. Tek hareket serbestlik derecesine sahip, bir eksenle hareket eden parçalar mühendislik uygulamalarında yaygındır. İçten yanmalı motorlardaki piston hareketi, hidrolik sistemlerdeki silindir hareketi veya pozitif deplasmanlı pompa ve kompresörlerdeki piston-rot hareketleri yaygın örneklerdir. Hareketli parçaların Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizlerinde ağ yapısı hareket boyunca uygun şekilde yenilenmelidir. Ağ yapısının yenilenmesi farklı yöntemler ile yapılabilmektedir. Ağ yapısı belirli aralıklar ile sıfırdan oluşturulması bir çözüm olsa da işlemci maliyeti yüksektir. Başlangıçtaki ağ yapısının uygun şekilde deformasyonu ile ağ yapısının yenilenmesi çok daha etkin bir çözümdür. Cradle CFD, “LDC (Linear Displacement Combination) Morphing” (Doğrusal Yer Değiştirme Kombinasyonlu Şekil Değiştirme) hareket tipi modeli ile ağ yapısının yenilenmesi konusunda oldukça etkin bir çözüm sunmaktadır.

1. GİRİŞ

Tek eksenli hareketlerde deplasman değerleri oldukça yüksek olabilir. Bu tip durumlarda ağ yapısının kalitesinin bozulmaması ve elemanlar arası girişimin oluşmaması kritiktir.

“LDC Morphing” modeli, ağ yapısındaki her bir elemanı hareket yönünde eşit oranda genişletip daraltmaktadır. “LDC Morphing” ağ yapısı deformasyon modeli yapısal ve yapısal olmayan ağlar ile çalışabilmektedir. Piston hareketi gibi yüksek deplasman yapan geometriler için “Sürülmüş Ağ” (Sweep Mesh) yapısı en uygun ağ tipidir. Sürülmüş ağ kullanıcı tarafından istenilen genişleme oranında tanımlanabilmektedir. Sürülmüş ağ ile oluşturulan ağ, hareket yönünde paralel olarak sorunsuz bir şekilde genişletilip daraltılabilmektedir. Elemanların sadece hareket yönündeki boyları değişmektedir. Ağ yapısı her bir çözüm aralığında tanımlı harekete bağlı olarak deforme edilir, işlemci yükü oluşturmaz. Cradle CFD “LDC Morphing” ağ deformasyon yönteminde hareket kullanıcı girdisi, katı cisim çözüm sonucu veya ilişkili olduğu hücrelerin hareketi ile tanımlanabilir. Hareketli parçanın her iki yönünde de çözüm yapılabilir. Yazılımın çözüm yöntemlerinin tümü ile çalışabilmektedir.

Cradle CFD’de “LDC Morphing” Mekanizması

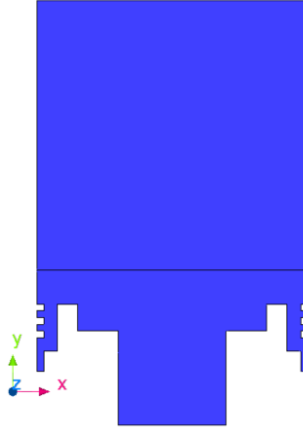


Şekil 1: “LDC Morphing” ağ yapısı deformasyon örneği.

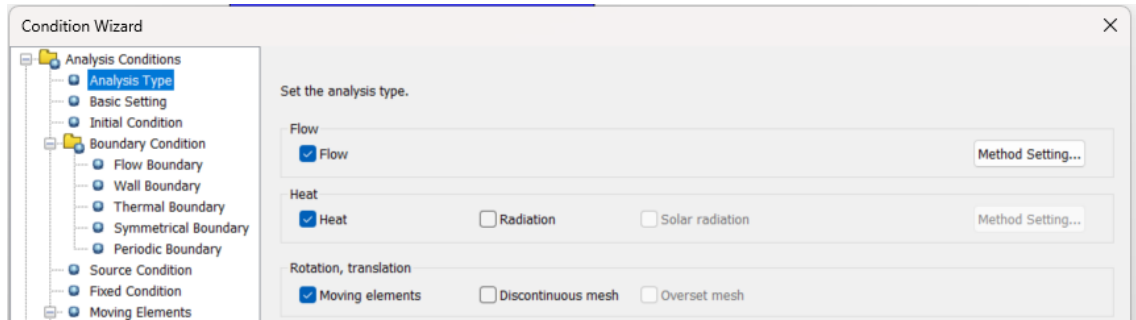
Şekil 1 incelendiğinde dairenin bulunduğu turkuaz çözüm alanı hareketin tanımlandığı alandır. Turkuaz renkli çözüm alanındaki elemanların tümü tanımlı hareketi takip eder ve ağ yapısı elemanlarında herhangi bir deformasyon oluşmaz. Hareketin tanımlı olduğu çözüm alanına (turkuaz renkli çözüm alanı) komşu olan sağ ve sol çözüm alanlarında “LDC Morphing” ile ağ deformasyonu uygulanır. $v=0$ ve $v=V_x$ ’ler çözüm alanı sınırlarındaki ağ eleman hızlarını tanımlamaktadır. Hızın sıfır olduğu çözüm alanı yüzeylerindeki ağ elemanlarında deformasyon oluşmaz. Sarı renkli hareketli çözüm alanında hareketin yönüne bağlı olarak ağ elemanlarının hareket yönündeki boyutlarında eşit oranda artma ve azalma oluşur.

Cradle CFD’de “LDC Morphing” model kurulumu aşamaları

Aşağıda Şekil 2’den başlayarak Şekil 11’e kadar “LDC Morphing” analiz kurum aşamalarındaki gerekli ekran görüntüleri paylaşılmıştır. Görselleri paylaşılan örnek çalışmada katı olarak tanımlanmış bir kompresör pistonu ve bu pistonun üstündeki silindir hacmi analize dahil edilmiştir. İlgili menü seçimleri bu modeli kapsayacak şekilde yapılmıştır. Benzer şekilde farklı geometriler de benzer mantık ile modellenebilir. Piston üstü silindir hacmi ile aynı modelleme mantığı kurgulanarak pistonun altındaki silindir hacmi de analize dahil edilebilir.

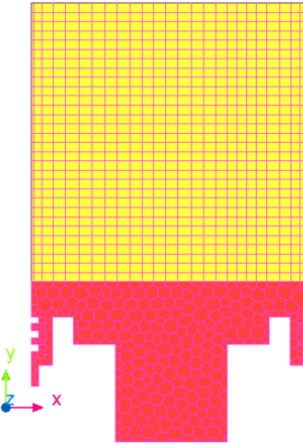


Şekil 2: 2B modelin istenilen hareket eksenine paralel olarak konumlandırılması.

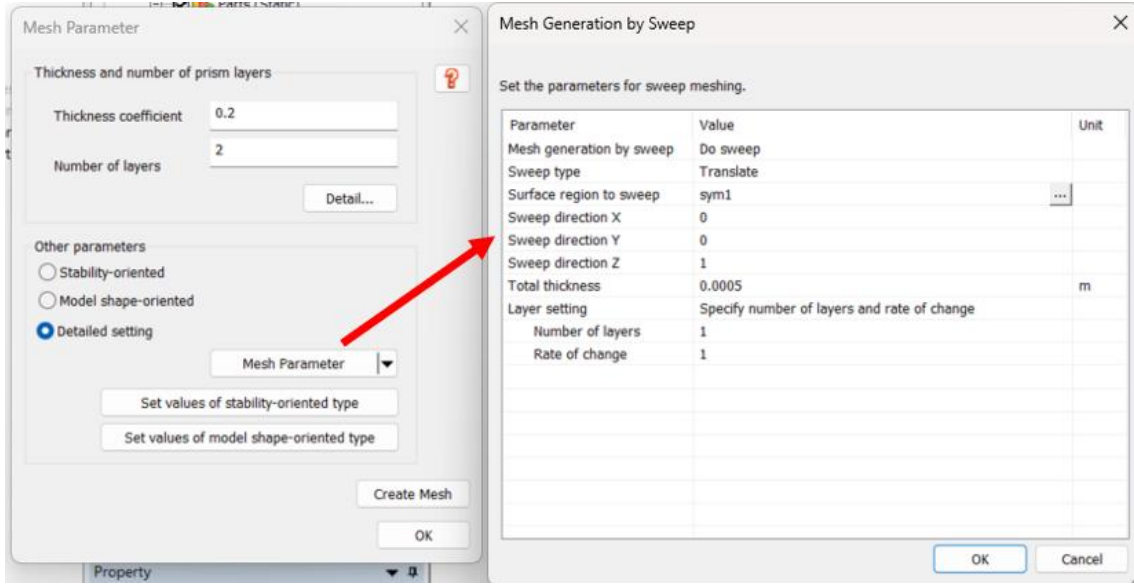


Şekil 3: “Moving Elements” özelliği aktif edilir.

“Condition Wizard→Rotation, translation→Moving elements” seçimi yapılır.

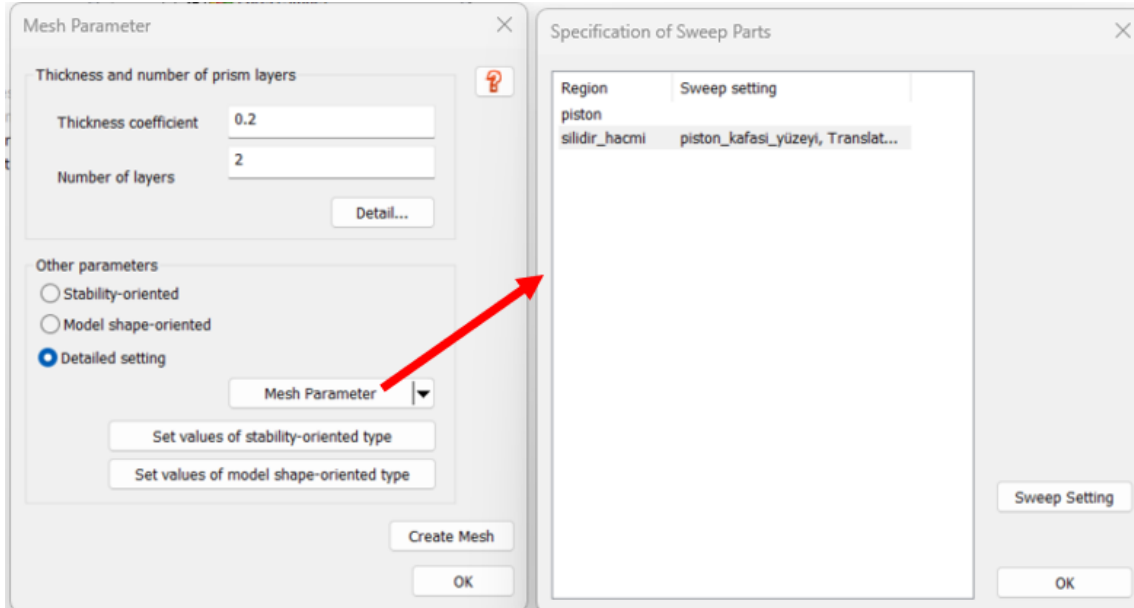


Şekil 4: Hareketli çözüm alanına hareket eksenı boyunca Sürülmüş Ağ tipinde ağ atılır.



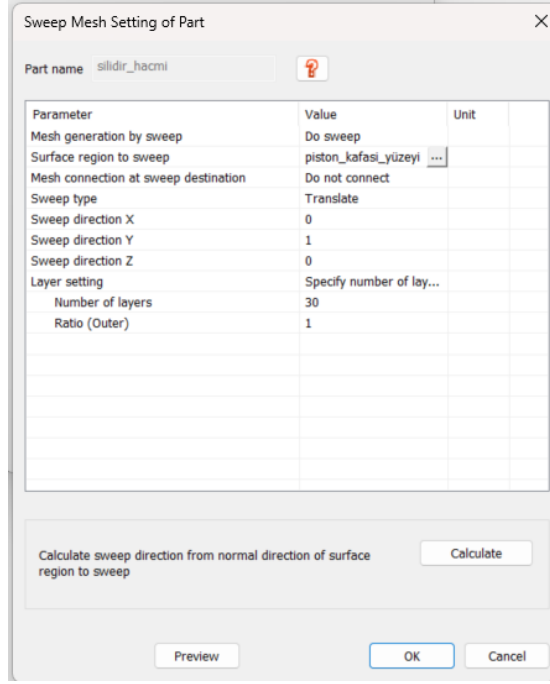
Şekil 5: Katı malzeme piston için Sürülmüş Ağ tipinde ağ atılır.

“Mesh Parameter→ Other parameters→ Detailed setting→ Mesh Parameter→ Generation of All Mesh by Sweep” seçimi yapılır.

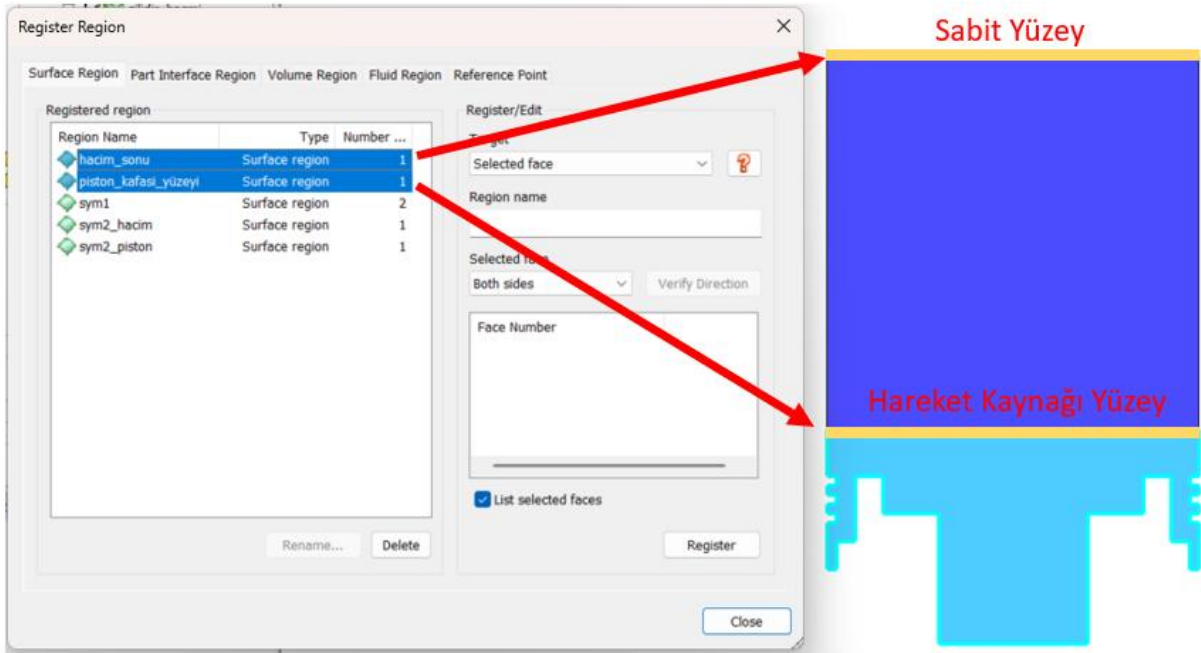


Şekil 6: Hareketli çözüm alanı olan silindir hacmine Sürülmüş Ağ tipinde ağ atılır.

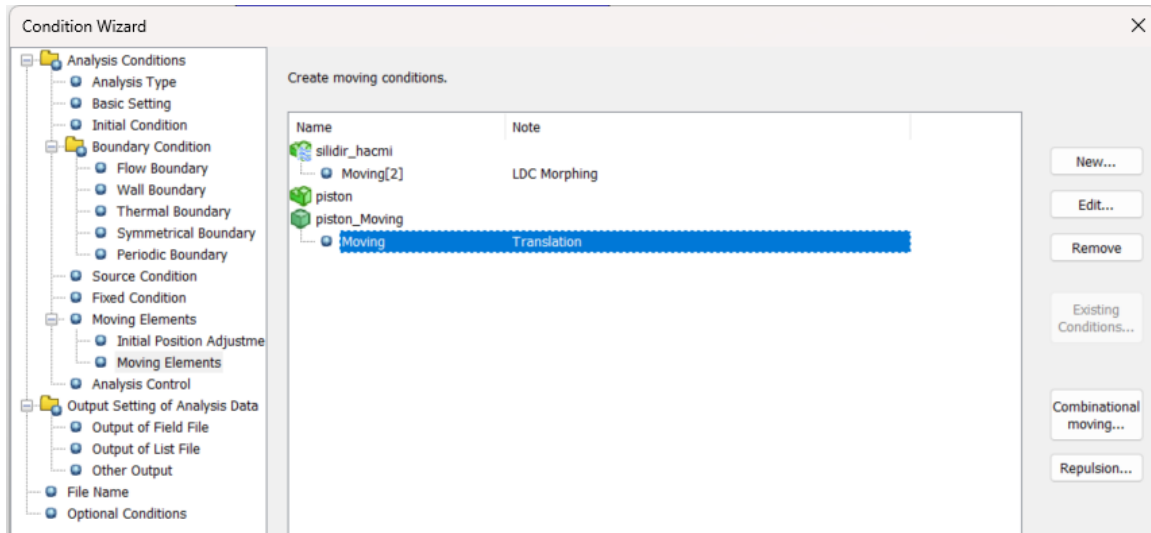
“Mesh Parameter→ Other parameters→ Detailed setting→ Mesh Parameter→ Specification of Part For Sweep Mesh” seçimi yapılır.



Şekil 7: Hareketli çözüm alanına Sürülmüş Ağ tipinde atılan ağın detayları.

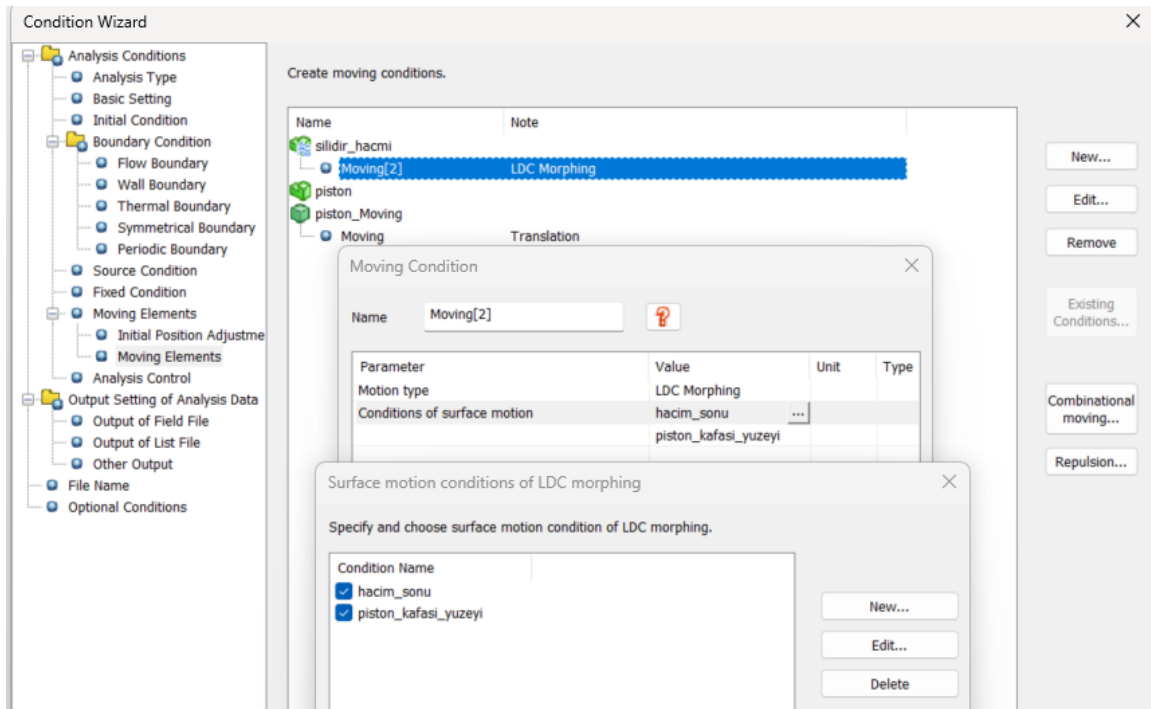


Şekil 8: Hareket kaynağı yüzeyin ve sabit yüzeyin “Register Region” menüsünden tanımlanması.



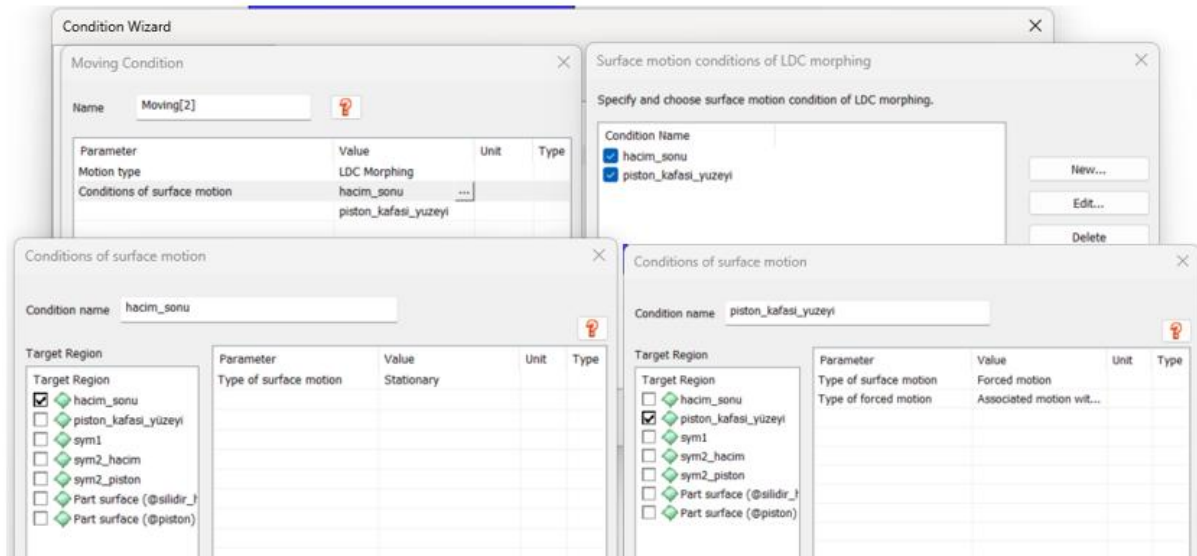
Şekil 9: Hareketin kaynağı olan çözüm alanına ilgili hareketin tanımlanması.

“Condition Wizard→ Moving Elements→ piston_Moving→New→Motion type→Translation” seçimi yapılır.



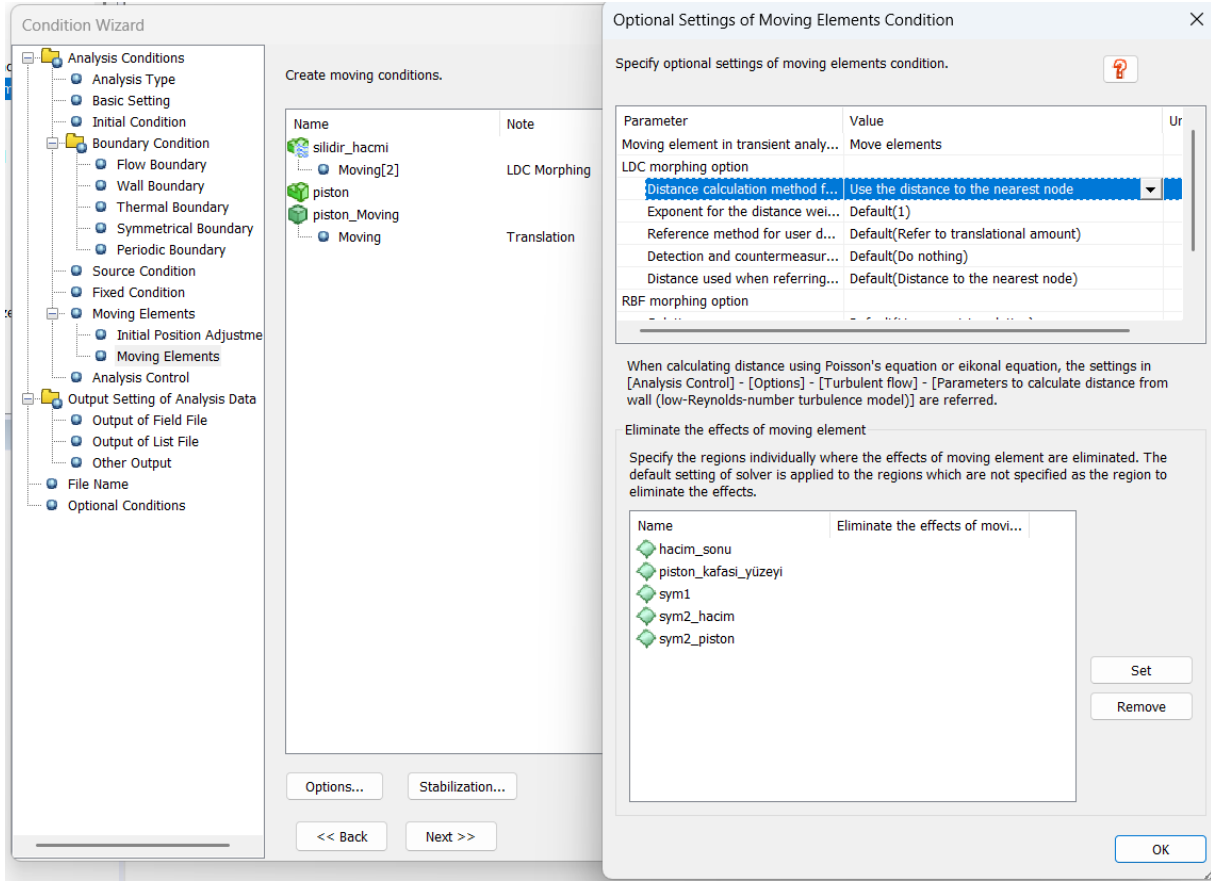
Şekil 10: Hareketli çözüm alanına “LDC Morphing” tanımlanması.

“Condition Wizard→ Moving Elements→ silindir_hacmi→New→ Motion type→LDC Morphing” seçimi yapılır.



Şekil 11: LDC Morphing menüsünde hareketli ve sabit yüzeylerin tanımlanması.

Şekil 11’de menü resimleri paylaşılan LDC yüzeylerin tanımlanması kritiktir. Hareket kaynağı olan piston kafası yüzeyi için “Type of surface motion” kısmına “Forced motion” seçilir. “Type of forced motion” seçeneği için ise “Associated motion with other motion of element condition” seçilir. Sabit yüzey olan hacim sonu yüzeyi için “Type of surface motion” kısmına “Stationary” seçimi yapılır.

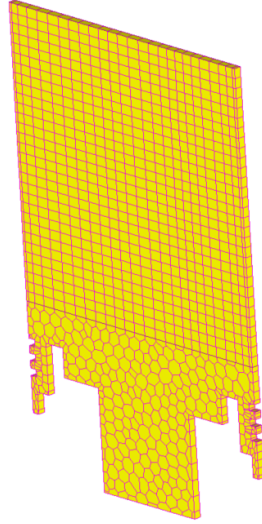


Şekil 12: “LDC Morphing” hareket seçeneğinin ayarlanması.

“Condition Wizard → Moving Elements → Options → Parameters → LDC morphing option → Distance calculation method for stationary or rigid body motion → Use the distance to the nearest node” seçimi yapılır. Bu ayar ağ elemanlarının birbirleri arasında girişim yapmasını önlemektedir.

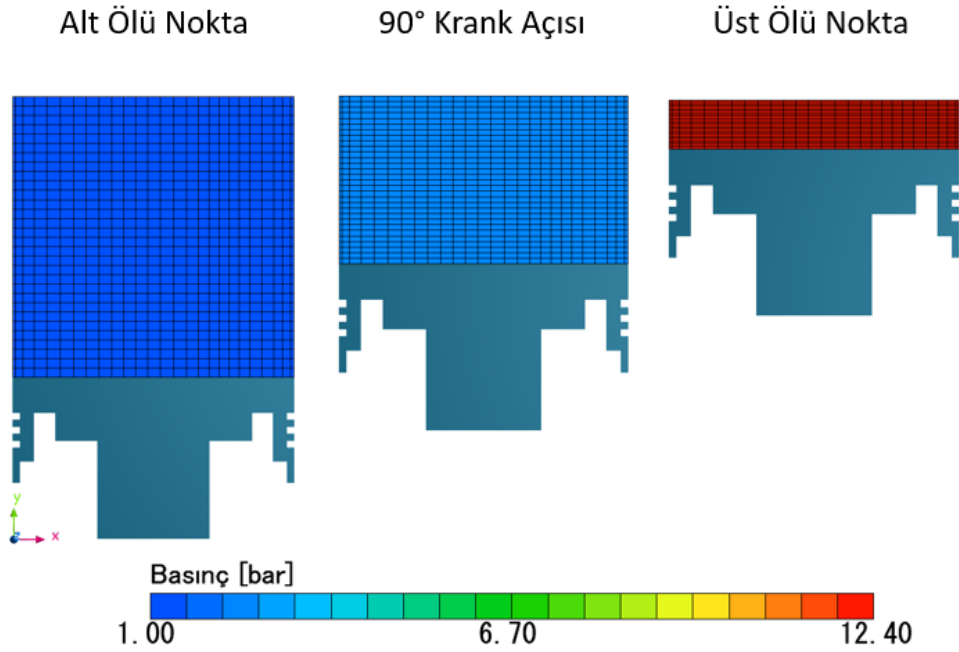
2. ÖRNEK ANALİZ ÇALIŞMASI

Cradle CFD yazılımı ile örnek bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada pistonlu kompresör geometrisinden 2B akış geometrisi Cradle CFD “Prepare part” kısmında oluşturulmuştur. Benzer şekilde istenirse 2B geometri yerine eksenel simetrik model de kullanılabilir. 2B geometri ve eksenel simetrik modeller, görece az ağ elemanı içerdiği için çözümü hızlandırır. Analizde katı ile gaz çözüm alanı arasındaki ısı transferi aktif edilmemiştir. Piston çapı 10 cm’dir. Piston hızları alt ve üst ölü noktada 0m/s, 90° ve 270° krank açılarında 0.75 m/s doğrusal rampalı değer olarak girilmiştir. Piston katı malzemesi olarak alüminyum, akışkan olarak sıkıştırılabilir ideal gaz seçilmiştir. Analiz zamana bağlı olarak 2.22E-4 s zaman aralıklarında koşturulmuştur. Analiz toplam çözüm süresi 8.88E-2’dir.

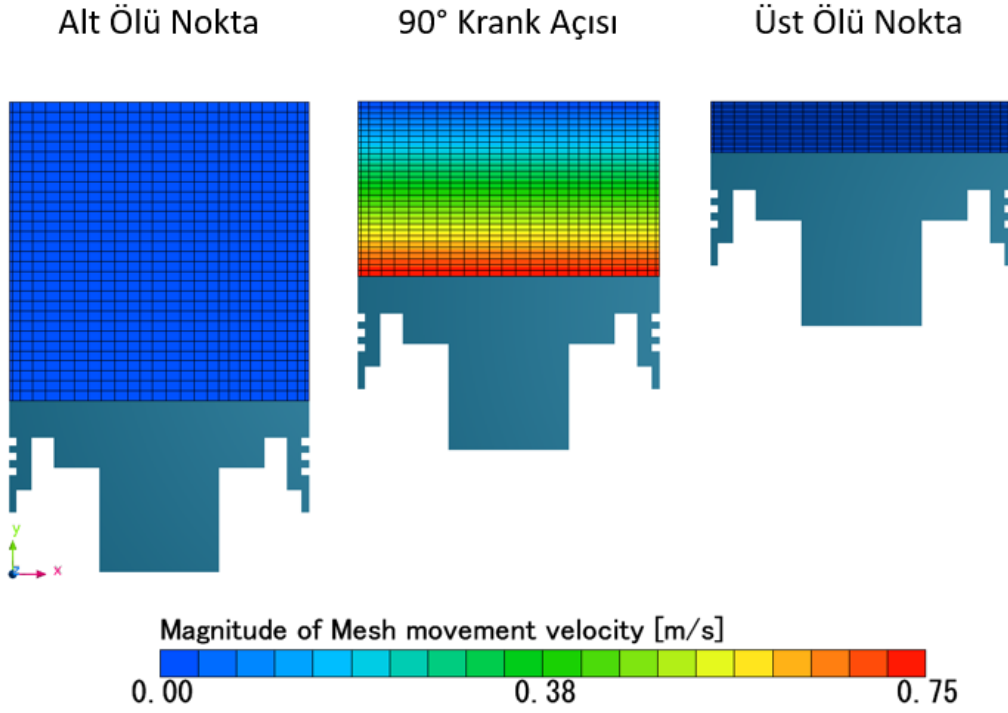


Şekil 13: Simülasyonda kullanılan 2B Sürülmüş Ağ ile oluşturulmuş model.

Analiz sonucunda piston hareketi sorunsuz olarak modellenmiştir. Piston alt ölü noktada iken başlayan analiz pistonun tekrar alt ölü noktaya gelerek 1 periyodu tamamlaması ile sonlanmıştır. Silindir hacmindeki ağ elemanları piston üst ölü noktaya giderken sorunsuz bir şekilde daralmıştır. Sürülmüş Ağ elemanlarının paralel yapısı korunmuştur. Üst ölü noktadan tekrar alt ölü noktaya doğru inerken de benzer şekilde elemanlar sorunsuz olarak genişlemiştir. Şekil 14’de sıkışma sonrası artan basınç görseli verilmiştir. Silindir hacminde artan sıkıştırma oranı ile paralelinde basınç artışı görülmektedir.

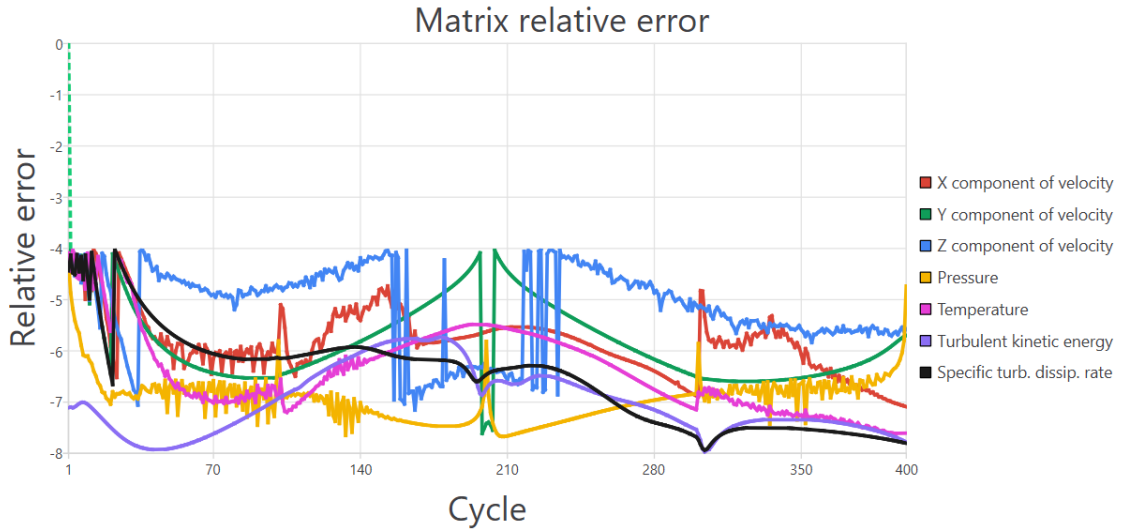


Şekil 14: Piston konumuna bağlı statik basınç değişimi.



Şekil 15: Piston konumuna bağlı hareketli hacim ağ elemanlarının hız değişimi.

Şekil 15’de ise piston hareketine bağlı olarak hareket eden silindir hacmindeki ağ elemanlarının hızı gösterilmiştir. Piston kafasından, silindir kafasına doğru hız doğrusal olarak en yüksek değerden en düşük değere inmektedir. Zaman bağlı gerçekleştirilen analizin yakınsama değerleri Şekil 16’da gösterilmiştir. Yeterli yakınsama kabul değeri olarak 10E-4 mertebesi seçilmiştir.



Şekil 16: Zamana bağlı simülasyonun yakınsama değerleri.

3. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Cradle CFD yazılımı tek eksenli hareketli parçaların simülasyonlarında hızlı ve etkin bir çözüm sunmaktadır. Sürülmüş Ağ yapısı ve “LDC Morphing” modeli birlikte kullanılarak hızlı ve düşük ağ eleman sayılı simülasyonlar yapılabilmektedir. Çözüm hacmi simülasyon isterlerine bağlı olarak 2B, periyodik dilim veya 3B tam model olabilir. İçten yanmalı motorlar, pistonlu kompresörler, pistonlu pompalar, hidrolik güç silindirleri, amortisörler ve silah sanayisinde mermi atış simülasyonları gibi birçok alandan Cradle CFD yazılımı kullanılarak analizler gerçekleştirilebilir.

4. REFERANSLAR

- Cradle CFD 2024.2 scFlow User’s Guide Anlysis Method
- Cradle CFD 2024.2 scFlow User’s Guide Exercise