

SCRIPT KODLAMA İLE NEWTONSAL OLMAYAN AKIŞKANIN NÜMERİK MODELLENMESİ

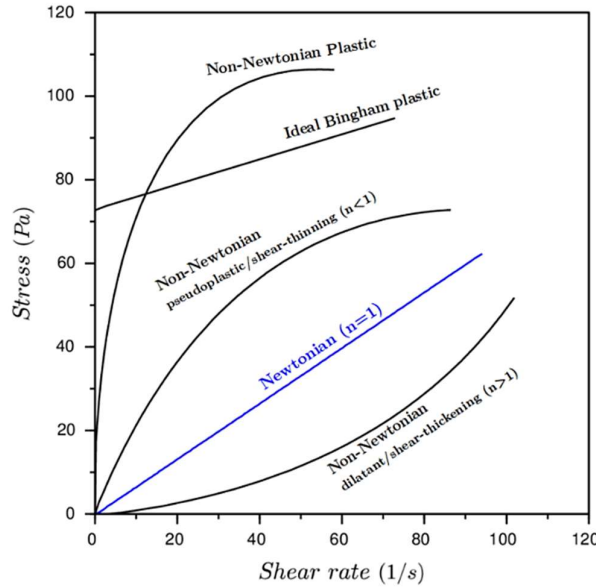
PREPARED BY	EDITED\CHECKED BY
Aykut Atabay Stajyer Mühendis	Güven Nergiz CFD Mühendisi

27/07/2022

Newtonsal Olmayan Akışkanlar

Genel olarak, tipik akışkanlar viskoz özelliklere sahiptir. Viskozite, sıvıların deformasyon hareketine karşı dirençli bir kuvvet oluşturur. Bu direnç kuvveti kesme (Shear Velocity) hızıyla orantılı olduğunda, akışkanlar Newtonsal olarak adlandırılır (Şekil 1). Bu tür sıvıların viskozitesi, orantı sabitine karşılık gelir. Su ve hava, iyi bilinen Newtonsal akışkanlardandır. Newton özelliğine sahip olmayan birçok akışkanın da mevcut olduğuna dikkat edilmelidir. Bu tür akışkanlara Newtonsal Olmayan (Non-Newtonian) Akışkanlar denir. Şurup, mürekkepler ve gres, iyi bilinen Newtonsal olmayan akışkanlardır. Bu yazımızda, Newtonsal olmayan bir akışkanın özellikleri Script kodlama ile Cradle CFD yazılımında kullanılmıştır. Newtonsal olmayan özelliği simüle etmek için viskozite, hız değişiminin bir fonksiyonu olarak tanımlanır.

Classification of NonNewtonian Fluids



Şekil 1. Akışkan Tipleri için Shear Stress- Shear Rate Grafiği

Newtonsal olmayan akışkanların 3 ana tipi kısaca şunlardır:

Shear Thinning

Shear Thinning davranışı kayma hızındaki artışla sıvının viskozitesindeki azalma olarak tanımlanır. Ketçap, oje, silikon yağı ve kremşanti bu davranışı gösteren maddelerdendir.

Dilatan veya Shear Thickening

Dilatan ya da Shear Thickening davranışı, Shear Thinning davranışının tersi olarak tanımlanır. Bu durum kayma hızındaki artışla birlikte akışkan viskozitesinde bir artış anlamına gelir, dolayısıyla kalınlaşan akışkanlar olarak da adlandırılmaktadır. Yoğunlaştırıcı veya Dilatan'ın yaygın bir örneği, sudaki bir mısır nişastası çözeltisidir.

Visko-Plastik Sıvılar

Bu tür davranış için, akışkanın akması veya deforme olması için aşılması gereken, "Akma Gerilimi" adı verilen bir minimum stres eşiği vardır. Dış gerilim değeri akma gerilimi değerinden düşükse, visko-plastik akışkan malzeme elastik olarak deforme olmaktadır (sert bir gövde gibi). Dış gerilim değeri akma gerilimi değerinden daha büyük olduğunda, gerilim ve gerinim oranı arasındaki ilişki doğrusal olabilir veya olmayabilir.

Newtonsal Olmayan Modeller

Newtonsal olmayan akışkanların kayma gerilimi ve kayma hızı arasındaki ilişkiyi tanımlayan mevcut matematiksel modeller aşağıdaki gibidir:

1. Power Law Modeli

Bu model, genelleştirilmiş bir model türüdür. Viskozite ν ve gerinim hızı $\dot{\gamma}$ için temel bir ilişki verir. Bu modelde, viskozite değeri bir alt sınır değeri ν_{min} ve bir üst sınır değeri ν_{max} ile sınırlandırılabilir.

İlişki şu şekilde verilir:

$$\nu = k * \dot{\gamma}^{(n-1)} \quad (1)$$

Burada,

k akış tutarlılık indeksidir [m^2/s],

$\dot{\gamma}$ kayma gerinimi oranıdır [s^{-1}],

n akış davranış indeksidir.

Akış davranışı endeksine göre, n :

$0 < n < 1$ ise: Akışkan yalancı plastik veya kayma incelmesi davranışı gösterir. Burada daha küçük bir n değeri, daha yüksek derecede kesme incelmesi anlamına gelmektedir.

$n=1$ ise: Akışkan Newton davranışı göstermektedir.

$n > 1$ ise: Akışkan, daha yüksek bir n değeri ile daha fazla kalınlaşmaya neden olan Dilatan veya kesme kalınlaşması davranışı göstermektedir.

2. Bird-Carreau Modeli

Tüm kesme hızları aralığında geçerli olan dört parametrelili bir modeldir. Kesme hızlarında büyük değışimlerin gözlemlendiği durumlarda sıfır kesmede v_0 ve sonsuz kesmede v_∞ viskozite değeri nin formülasyona dahil edilmesi zorunlu hale gelmektedir.

Bu modelde viskozite (v) aşağıdaki denklem ile kesme hızı $\dot{\gamma}$ ile ilişkilendirilir:

$$v = v_\infty + (v_0 - v_\infty) * [1 + (k * \dot{\gamma})^a]^{\frac{(n-1)}{a}} \quad (2)$$

Burada,

a varsayılan değeri 2'dir. Doğrusal davranıştan Power Law'a geçişe karşılık gelmektedir.

v_0 sıfır kesme hızındaki viskozitedir.

v_∞ sonsuz kayma hızındaki viskozitedir.

k saniye cinsinden gevşeme süresidir.

n güç indeksidir.

3. Cross Power Law Modeli

Cross-Power yasası modeli aynı zamanda tüm kesme hızı aralığını kapsayan dört parametrelili bir modeldir.

Model formülasyonu řu şekilde verilmektedir:

$$v = v_\infty + \frac{(v_0 - v_\infty)}{1 + (m * \dot{\gamma})^n} \quad (3)$$

Burada,

v_0 sıfır kesme hızındaki viskozitedir.

v_∞ sonsuz kayma hızındaki viskozitedir.

$\dot{\gamma}$ kayma gerinimi oranıdır [s^{-1}].

n akış indeksidir.

m doğrusal davranışın bir güç yasasına dönüştüğü saniye cinsinden doğal zamandır.

4. Herschel-Bulkley Modeli

Herschel-Bulkley modeli aynı zamanda Newtonsal olmayan akışkanların genelleştirilmiş, doğrusal olmayan bir modelidir. Bu model, Bingham ve güç yasası akışkanlarının davranışını tek bir ilişkide birleştirir. Çok düşük gerinim oranları için malzeme, viskozitesi ν_0 olan çok viskoz bir sıvı gibi davranır. Eşik gerilimi τ_0 'a karşılık gelen minimum gerinim hızı değerinden sonra viskozite, güç yasası ilişkisi ile temsil edilmektedir.

$$\nu = \min \left(\nu_\infty, \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + k * \dot{\gamma}^{(n-1)} \right) \quad \text{ve} \quad \tau = \tau_0 + k * \dot{\gamma}^n \quad (4)$$

Burada,

τ kayma gerilimidir [m^2/s^2].

τ_0 akma gerilimidir [m^2/s^2].

k tutarlılık indeksidir [m^2/s].

n akış indeksidir.

ν_0 sıfır kesme hızındaki viskozitedir.

Ayrıca eğer $\tau < \tau_0$ ise; Herschel-Bulkley akışkanı akışkan değil, deforme olmayan bir katı gibi davranır. Akış davranışı indeksine dayalı olarak, n :

$0 < n < 1$ ise: Akışkan, shear thinning davranışı gösterir.

$n = 1$ ve $\tau_0 = 0$ ise: Akışkan Newton davranışı gösterir.

$n > 1$ ise: Akışkan Dilatan veya Shear Thickening davranışı gösterir.

Bu modellerin yanı sıra Cradle CFD'nin ScFlow modülü ile Viscosity Coefficient Model (Viskozite Katsayı Modeli) kullanılarak Newtonsal olmayan akışkanlar modellenenbilir.

Viskozite Katsayı Metodu ile Newtonsal Olmayan Akışkan Modellenmesi

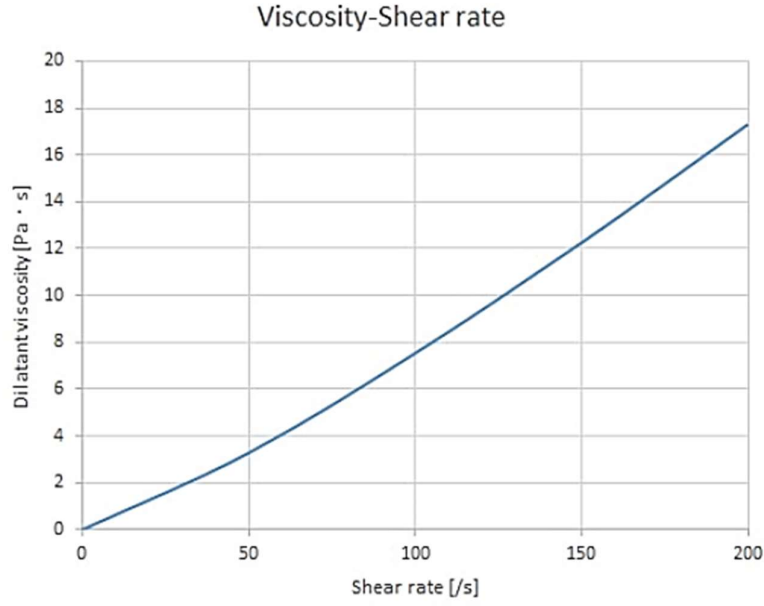
$$\mu = \mu_0 + c \left(\frac{\Delta:\Delta}{2} \right)^{\frac{n}{2}} \quad (5)$$

Burada,

$\frac{\Delta:\Delta}{2}$ kayma gerilmesinin kartezyen çarpımıdır.

Newtonsal olmayan akışkan için,

$\mu_0 = 0.001$, $c = 0.03$, $n = 1.2$ için model viskozitesi Şekil 2'de gösterildiği gibidir.

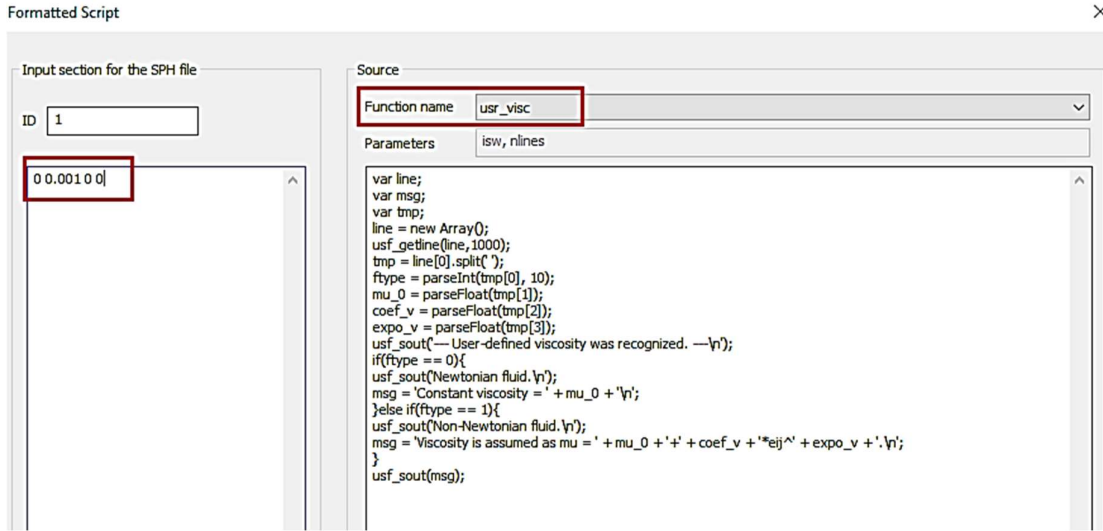


Şekil 2. Viskozite Katsayı Metodu ile Oluşturulan Newtonsal Olmayan Akışkanın Viskozite-Shear Rate Grafiği

Newtonsal akışkan için katsayılar şu şekildedir;

$$\mu_0 = 0.001, \quad c = 0, \quad n = 0$$

Akışkanın malzeme özelliklerini, yazacağımız Script'te Viskozite Katsayı Metodu'nun içine gireceğimiz katsayılar ile Newtonsal olmayan akışkan için tanımlayabiliriz. Şekil 3'te gösterilen "usr_visc" fonksiyonu, Cradle CFD'nin akışkanın viskozite parametrelerini okumasına ve onlara bir ilk değer atamasını sağlamaktadır.

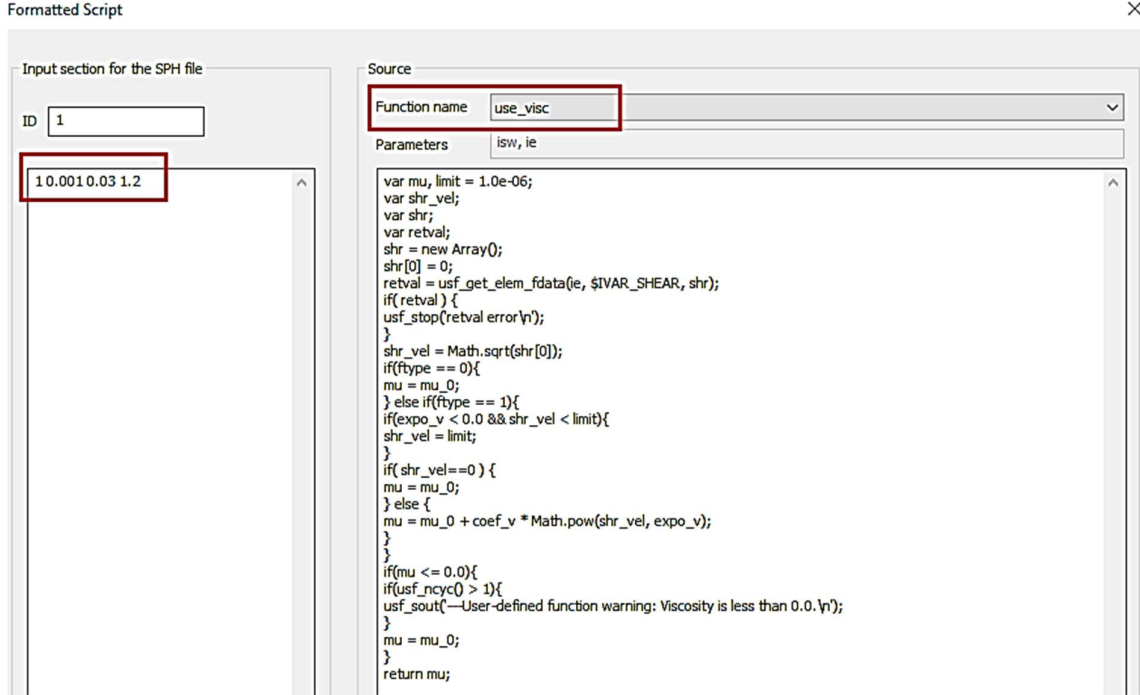


Şekil 3. Newtonsal Akışkan için Gerekli Katsayıların Girilmesi ve "usr_visc" Fonksiyonu

Ekranın sol tarafında, kodun içindeki değişkenlerin değerlerini atamak için bir bölüm bulunur ve bu değerler birer boşluk ile girilir. Bu örnekte ilk değer “ftype” değişkenine aittir ve akışkanın Newtonsal olup olmadığı belirtilir, ikinci değer “mu_0” Newtonsal olmayan akışkan modelindeki μ_0 ‘dır, üçüncü değer yine modeldeki “c” katsayısına karşılık gelmektedir ve son olarak da yine modeldeki üstel katsayı “n” kayma gerilmelerinin kartezyen çarpımlarının üstel katsayısıdır. Aşağıda, yazılmış olan kodun daha net hali görülmektedir. Bahsedilen değişkenler kod içinde sarı renk ile boyanmıştır.

```
var line;
var msg;
var tmp;
line = new Array();
usf_getline(line,1000);
tmp = line[0].split(' ');
ftype = parseInt(tmp[0], 10);
mu_0 = parseFloat(tmp[1]);
coef_v = parseFloat(tmp[2]);
expo_v = parseFloat(tmp[3]);
usf_sout('--- User-defined viscosity was recognized. ---\n');
if(ftype == 0){
usf_sout('Newtonian fluid.\n');
msg = 'Constant viscosity = ' + mu_0 + '\n';
} else if(ftype == 1){
usf_sout('Non-Newtonian fluid.\n');
msg = 'Viscosity is assumed as mu = ' + mu_0 + '+' + coef_v +
'*eij^' + expo_v + '.\n';
}
usf_sout(msg);
```

Şekil 4’te ekranın sol kısmında Newtonsal olmayan akışkanlar için katsayılar girilmiştir, sağ tarafındaki bölümde ise “use_visc” fonksiyonu ile viskozitenin hesaplamalarını yapan Script kodu yer almaktadır.

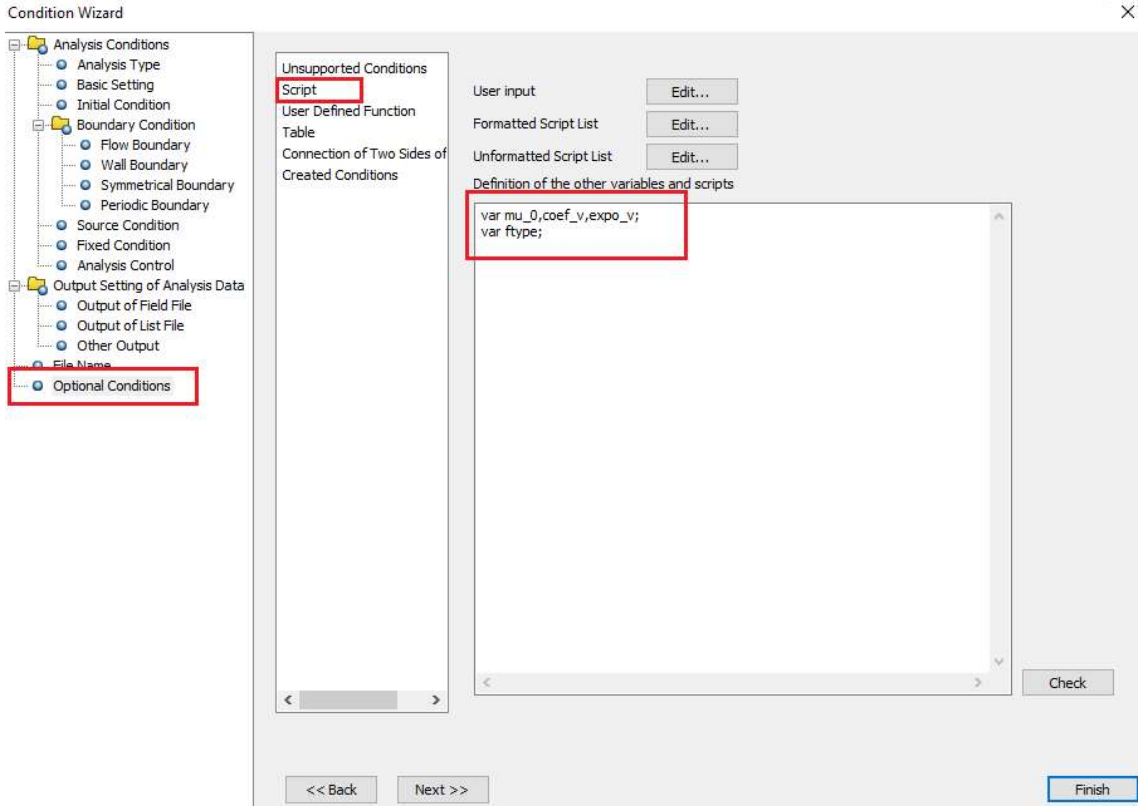


Şekil 4. Newtonsal Olmayan Akışkan için Gerekli Katsayıların Girilmesi ve "use_visc" Fonksiyonu

"usr_visc" fonksiyonu ile değişkenler Cradle CFD'ye tanıtlıp ilk değerler verildikten sonra "usc_visc" fonksiyonu ile, Viscosity Coefficient Method (Viskozite Katsayı Metodu) kullanılarak akışkanın viskozitesi hesaplanır. Daha kolay anlaşılabilmesi için kod aşağıda verilmiştir.

```
var mu, limit = 1.0e-06;
var shr_vel;
var shr;
var retval;
shr = new Array();
shr[0] = 0;
retval = usf_get_elem_fdata(ie, $IVAR_SHEAR, shr);
if( retval ) {
  usf_stop('retval error\n');
}
shr_vel = Math.sqrt(shr[0]);
if(ftype == 0){
  mu = mu_0;
} else if(ftype == 1){
  if(expo_v < 0.0 && shr_vel < limit){
    shr_vel = limit;
  }
  if( shr_vel==0 ) {
    mu = mu_0;
  } else {
    mu = mu_0 + coef_v * Math.pow(shr_vel, expo_v);
  }
}
if(mu <= 0.0){
  if(usf_ncyc() > 1){
    usf_sout('---User-defined function warning: Viscosity is less
than 0.0.\n');
  }
  mu = mu_0;
}
return mu;
```

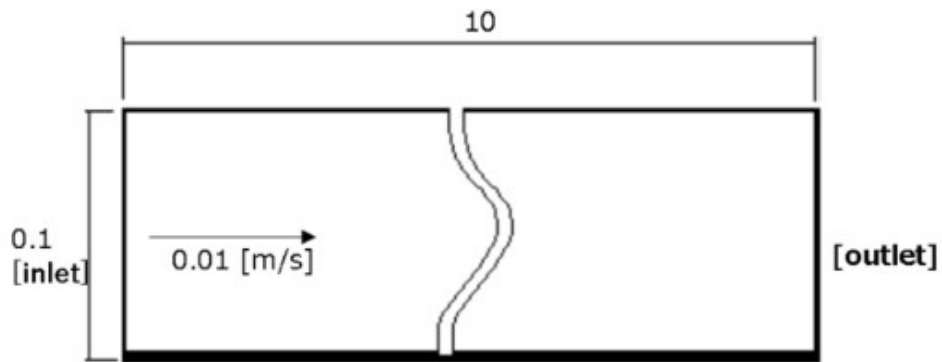
Son olarak Operational Conditions bölümünden global değişkenleri de tanımladıktan sonra model nümerik analize hazır hale gelmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Global Değişkenlerin Tanımlanması

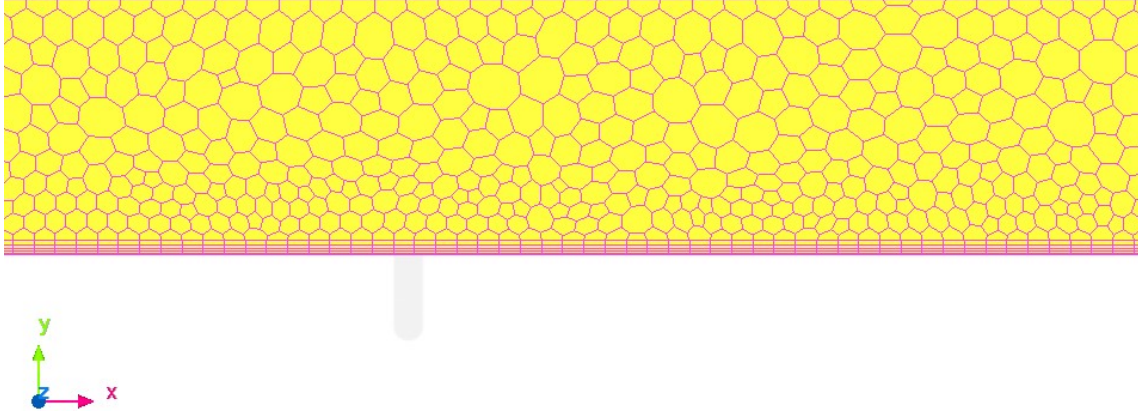
CFD Analizi ve Sonuç

Yazılan Script kodu ile iki boyutta Cradle CFD 'ye tanımlanan ve Newtonsal olmayan bir akışkanın paralel iki levha arasındaki hareketi incelenmiştir. Şekil 6'da akış alanı (akış hacmi) görülebilir. Cradle CFD üç boyutlu çözümleme yaptığı için akış alanına çok ince bir kalınlık verilmiştir.



Şekil 6. Akış Hacmi

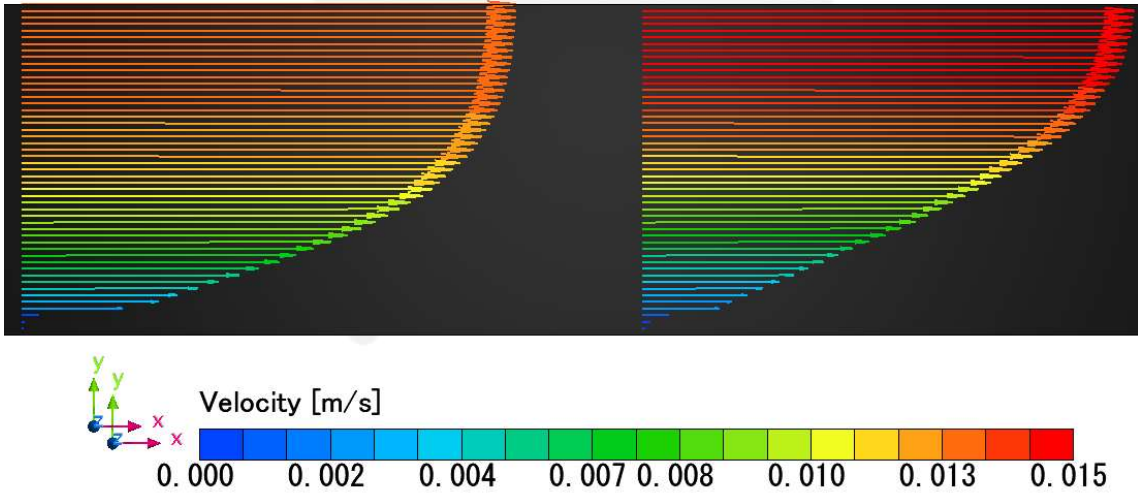
Hesaplama alanında (Şekil 6) koyu siyah renkle gösterilen çizgi kaymama sınır koşulunun olduğu bölgeyi göstermektedir, üst kısımdaki enine çizgi ise serbest kayma sınır koşulu ile tanımlanmıştır. Akış uzunluğu ve hacmin oranı çok düşük olduğu için Reynolds sayısı 500000'in altındadır. Problemin sonsuz plaka olduğu dikkate alındığında dolayısıyla akış laminerdir ve herhangi bir türbülans modeli kullanılmamıştır.



Şekil 7. Akış Hacmi Ağ Yapısı ve Dağılımı

Şekil 7'de akış hacminin ağ (mesh) yapısı gösterilmektedir. Bu analiz için Polyhedral (çok yüzlü) ağ yapısı ve kaymanın olmadığı yüzeyde de sınır tabaka ağ yapısı (Boundary Layer) kullanılmıştır. Yaklaşık olarak 17000 eleman kullanılmıştır.

Hem Newtonsal olan hem de olmayan akışkanlar aynı şartlar altında laminar bir akış ile simüle edilmiştir. Şekil 8'de analiz sonucunda oluşan Newtonsal akışkanın (sol) ve Newtonsal olmayan akışkanın (sağ) hız profilleri ve vektörleri gösterilmiştir. Sonuçlarda görüldüğü üzere aynı yoğunluğa sahip Newtonsal olmayan akışkanının maksimum hızı ve hız profili Newtonsal akışkana göre oldukça farklıdır.



Şekil 8. Newtonsal Olan (sol) ve Olmayan (sağ) Akışkanların Hız Profilleri