



دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی امیرکبیر



درس LES

تمرین سری ۲ (HM-2)

دانشجو : بهراد عسگری (۹۵۱۲۶۱۲۸)

استاد : دکتر امانی

کد متلب

```
close all  
clear all
```

اطلاعات شبکه بندی :

```
nu=1/500;  
dx=6.542E-02;  
dz=1.635E-02;  
ni=96;  
nj=49;  
nk=96;
```

خواندن داده‌های DNS و تصویر کردن آنها روی شبکه محاسباتی :

```
load u1.mat  
load u2.mat  
load u3.mat  
load v1.mat  
load v2.mat  
load v3.mat  
load w1.mat  
load w2.mat  
load w3.mat  
load p1.mat  
load p2.mat  
load p3.mat  
u1d=reshape(u1,ni,nj,nk);  
u2d=reshape(u2,ni,nj,nk);  
u3d=reshape(u3,ni,nj,nk);  
v1d=reshape(v1,ni,nj,nk);  
v2d=reshape(v2,ni,nj,nk);  
v3d=reshape(v3,ni,nj,nk);  
w1d=reshape(w1,ni,nj,nk);  
w2d=reshape(w2,ni,nj,nk);  
w3d=reshape(w3,ni,nj,nk);  
p1d=reshape(p1,ni,nj,nk);  
p2d=reshape(p2,ni,nj,nk);  
p3d=reshape(p3,ni,nj,nk);
```

```
% x coordinate direction = index i, first index  
% y coordinate direction = index j, second index  
% z coordinate direction = index k, third index
```

قبل از شروع کد اصلی لازم است که متذکر شد که برای discrete کردن از مرکزی و در نقاط ابتدا و انتها به ترتیب پیشرو و پسرو استفاده شده است.

سوال ۱)

محاسبه‌ی میانگین سرعت U_x بر حسب y در زمان اول برای پاسخ به سوال ۱

```
% compute average u by averaging in x (i) and z (k) directions
u1mean(1:nj)=0;
for k=1:nk
for j=1:nj
for i=1:ni
    u1mean(j)=u1mean(j)+u1d(i,j,k)/ni/nk;
end
end
end
% node coordinates
load y.dat

% face coordinates
load yc.dat

for j=2:nj-1
% dy = cell width
    dy(j)=yc(j)-yc(j-1);
end
```

محاسبه سرعت بالک در جهت X و محاسبه عدد رینولدز بر اساس این سرعت :

```
u1bulk=trapz(y,u1mean);
h=1;
Re=u1bulk*h/nu;

%figure(1)
% plot u1
%plot(y,u1mean)
%axis([0 1 0 22])
%xlabel('y','fontsize',[20])
%ylabel('U+','fontsize',[20])
%handle=gca;
%set(handle,'fontsize',[20])
%print u.ps -depsc
```

سوال ۲)

محاسبه سرعت میانگین در سه جهت و همچنین در سه زمان u و v و w نمایان سه جهت و انریسی‌های ۱ و ۲ و ۳ نمایان سه زمان هستند) :

```
%reynold stress
u1mean(1:nj)=0;
u2mean(1:nj)=0;
u3mean(1:nj)=0;
for k=1:nk
for j=1:nj
for i=1:ni
    u1mean(j)=u1mean(j)+u1d(i,j,k)/ni/nk;
    u2mean(j)=u2mean(j)+u2d(i,j,k)/ni/nk;
```

```

    u3mean(j)=u3mean(j)+u3d(i,j,k)/ni/nk;
end
end
end

```

```

v1mean(1:nj)=0;
v2mean(1:nj)=0;
v3mean(1:nj)=0;
for k=1:nk
for j=1:nj
for i=1:ni
    v1mean(j)=v1mean(j)+v1d(i,j,k)/ni/nk;
    v2mean(j)=v2mean(j)+v2d(i,j,k)/ni/nk;
    v3mean(j)=v3mean(j)+v3d(i,j,k)/ni/nk;
end
end
end

```

```

w1mean(1:nj)=0;
w2mean(1:nj)=0;
w3mean(1:nj)=0;
for k=1:nk
for j=1:nj
for i=1:ni
    w1mean(j)=w1mean(j)+w1d(i,j,k)/ni/nk;
    w2mean(j)=w2mean(j)+w2d(i,j,k)/ni/nk;
    w3mean(j)=w3mean(j)+w3d(i,j,k)/ni/nk;
end
end
end

```

محاسبه ۶ مولفه‌ی تنش رینولدزی : (دقت شود همانطور که در سوال مطرح شده متوسط دیگری هم در جهات X و Z و هم در زمان بوده است)

```

uu=zeros(nj,1);
uv=zeros(nj,1);
uw=zeros(nj,1);
vv=zeros(nj,1);
vw=zeros(nj,1);
ww=zeros(nj,1);
for k=1:nk
for j=1:nj
for i=1:ni
    u1fluct=u1d(i,j,k)-u1mean(j);
    v1fluct=v1d(i,j,k)-v1mean(j);
    w1fluct=w1d(i,j,k)-w1mean(j);
    u2fluct=u2d(i,j,k)-u2mean(j);
    v2fluct=v2d(i,j,k)-v2mean(j);
    w2fluct=w2d(i,j,k)-w2mean(j);
    u3fluct=u3d(i,j,k)-u3mean(j);
    v3fluct=v3d(i,j,k)-v3mean(j);
    w3fluct=w3d(i,j,k)-w3mean(j);

uu(j)=uu(j)+(u1fluct*u1fluct+u2fluct*u2fluct+u3fluct*u3fluct)/ni/nk/3;
uv(j)=uv(j)+(u1fluct*v1fluct+u2fluct*v2fluct+u3fluct*v3fluct)/ni/nk/3;
uw(j)=uw(j)+(u1fluct*w1fluct+u2fluct*w2fluct+u3fluct*w3fluct)/ni/nk/3;

```

```

vv(j)=vv(j)+(v1fluct*v1fluct+v2fluct*v2fluct+v3fluct*v3fluct)/ni/nk/3;
vw(j)=vw(j)+(v1fluct*w1fluct+v2fluct*w2fluct+v3fluct*w3fluct)/ni/nk/3;
ww(j)=ww(j)+(w1fluct*w1fluct+w2fluct*w2fluct+w3fluct*w3fluct)/ni/nk/3;

end
end
end

```

محاسبه Y^+ و رسم نمودار تنش‌های رینولدزی بر حسب Y^+ :

```

for j=1:nj
    y_plus(j)=y(j)*1/nu;
end

%figure(2)
% plot
%plot(y_plus,uu)
%axis([0 500 -1 8])
%xlabel('y+', 'fontsize',[20])
%ylabel('<uiuj>/ut^2', 'fontsize',[20])
%handle=gca;
%set(handle, 'fontsize',[20])
%hold on
%plot(y_plus,vv)
%hold on
%plot(y_plus,ww)
%hold on
%plot(y_plus,uv)
%hold on
%plot(y_plus,uw)
%hold on
%plot(y_plus,vw)

```

سوال (۳)

محاسبه سرعت‌های نوسانی در نقاط شبکه محاسباتی و در هر سه زمان

```

for k=1:nk
for j=1:nj
for i=1:ni
u1fluct(i,j,k)=u1d(i,j,k)-u1mean(j);
v1fluct(i,j,k)=v1d(i,j,k)-v1mean(j);
w1fluct(i,j,k)=w1d(i,j,k)-w1mean(j);
u2fluct(i,j,k)=u2d(i,j,k)-u2mean(j);
v2fluct(i,j,k)=v2d(i,j,k)-v2mean(j);
w2fluct(i,j,k)=w2d(i,j,k)-w2mean(j);
u3fluct(i,j,k)=u3d(i,j,k)-u3mean(j);
v3fluct(i,j,k)=v3d(i,j,k)-v3mean(j);
w3fluct(i,j,k)=w3d(i,j,k)-w3mean(j);
end
end
end

```

محاسبه $\frac{\partial u_i}{\partial x_j}$ مثلا در کد زیر $u1_x1(i,j,k)$ معرف $\frac{\partial u_1}{\partial x_1}$ و $v1_x3(i,j,k)$ معرف $\frac{\partial v_1}{\partial x_3}$ است.

```

for k=2:nk-1
for j=1:nj
for i=2:ni-1

```

```

    if j==1
u1_x1(i,j,k)=(u1fluct(i+1,j,k)-u1fluct(i-1,j,k))/2/dx;
u1_x2(i,j,k)=(u1fluct(i,j+1,k)-u1fluct(i,j,k))/(y(j+1)-y(j));
u1_x3(i,j,k)=(u1fluct(i,j,k+1)-u1fluct(i,j,k-1))/2/dz;
v1_x1(i,j,k)=(v1fluct(i+1,j,k)-v1fluct(i-1,j,k))/2/dx;
v1_x2(i,j,k)=(v1fluct(i,j+1,k)-v1fluct(i,j,k))/(y(j+1)-y(j));
v1_x3(i,j,k)=(v1fluct(i,j,k+1)-v1fluct(i,j,k-1))/2/dz;
w1_x1(i,j,k)=(w1fluct(i+1,j,k)-w1fluct(i-1,j,k))/2/dx;
w1_x2(i,j,k)=(w1fluct(i,j+1,k)-w1fluct(i,j,k))/(y(j+1)-y(j));
w1_x3(i,j,k)=(w1fluct(i,j,k+1)-w1fluct(i,j,k-1))/2/dz;

u2_x1(i,j,k)=(u2fluct(i+1,j,k)-u2fluct(i-1,j,k))/2/dx;
u2_x2(i,j,k)=(u2fluct(i,j+1,k)-u2fluct(i,j,k))/(y(j+1)-y(j));
u2_x3(i,j,k)=(u2fluct(i,j,k+1)-u2fluct(i,j,k-1))/2/dz;
v2_x1(i,j,k)=(v2fluct(i+1,j,k)-v2fluct(i-1,j,k))/2/dx;
v2_x2(i,j,k)=(v2fluct(i,j+1,k)-v2fluct(i,j,k))/(y(j+1)-y(j));
v2_x3(i,j,k)=(v2fluct(i,j,k+1)-v2fluct(i,j,k-1))/2/dz;
w2_x1(i,j,k)=(w2fluct(i+1,j,k)-w2fluct(i-1,j,k))/2/dx;
w2_x2(i,j,k)=(w2fluct(i,j+1,k)-w2fluct(i,j,k))/(y(j+1)-y(j));
w2_x3(i,j,k)=(w2fluct(i,j,k+1)-w2fluct(i,j,k-1))/2/dz;

u3_x1(i,j,k)=(u3fluct(i+1,j,k)-u3fluct(i-1,j,k))/2/dx;
u3_x2(i,j,k)=(u3fluct(i,j+1,k)-u3fluct(i,j,k))/(y(j+1)-y(j));
u3_x3(i,j,k)=(u3fluct(i,j,k+1)-u3fluct(i,j,k-1))/2/dz;
v3_x1(i,j,k)=(v3fluct(i+1,j,k)-v3fluct(i-1,j,k))/2/dx;
v3_x2(i,j,k)=(v3fluct(i,j+1,k)-v3fluct(i,j,k))/(y(j+1)-y(j));
v3_x3(i,j,k)=(v3fluct(i,j,k+1)-v3fluct(i,j,k-1))/2/dz;
w3_x1(i,j,k)=(w3fluct(i+1,j,k)-w3fluct(i-1,j,k))/2/dx;
w3_x2(i,j,k)=(w3fluct(i,j+1,k)-w3fluct(i,j,k))/(y(j+1)-y(j));
w3_x3(i,j,k)=(w3fluct(i,j,k+1)-w3fluct(i,j,k-1))/2/dz;
    elseif j==nj
u1_x1(i,j,k)=(u1fluct(i+1,j,k)-u1fluct(i-1,j,k))/2/dx;
u1_x2(i,j,k)=0;
u1_x3(i,j,k)=(u1fluct(i,j,k+1)-u1fluct(i,j,k-1))/2/dz;
v1_x1(i,j,k)=(v1fluct(i+1,j,k)-v1fluct(i-1,j,k))/2/dx;
v1_x2(i,j,k)=0;
v1_x3(i,j,k)=(v1fluct(i,j,k+1)-v1fluct(i,j,k-1))/2/dz;
w1_x1(i,j,k)=(w1fluct(i+1,j,k)-w1fluct(i-1,j,k))/2/dx;
w1_x2(i,j,k)=0;
w1_x3(i,j,k)=(w1fluct(i,j,k+1)-w1fluct(i,j,k-1))/2/dz;

u2_x1(i,j,k)=(u2fluct(i+1,j,k)-u2fluct(i-1,j,k))/2/dx;
u2_x2(i,j,k)=0;
u2_x3(i,j,k)=(u2fluct(i,j,k+1)-u2fluct(i,j,k-1))/2/dz;
v2_x1(i,j,k)=(v2fluct(i+1,j,k)-v2fluct(i-1,j,k))/2/dx;
v2_x2(i,j,k)=0;
v2_x3(i,j,k)=(v2fluct(i,j,k+1)-v2fluct(i,j,k-1))/2/dz;
w2_x1(i,j,k)=(w2fluct(i+1,j,k)-w2fluct(i-1,j,k))/2/dx;
w2_x2(i,j,k)=0;
w2_x3(i,j,k)=(w2fluct(i,j,k+1)-w2fluct(i,j,k-1))/2/dz;

u3_x1(i,j,k)=(u3fluct(i+1,j,k)-u3fluct(i-1,j,k))/2/dx;
u3_x2(i,j,k)=0;
u3_x3(i,j,k)=(u3fluct(i,j,k+1)-u3fluct(i,j,k-1))/2/dz;
v3_x1(i,j,k)=(v3fluct(i+1,j,k)-v3fluct(i-1,j,k))/2/dx;

```

```

v3_x2(i,j,k)=0;
v3_x3(i,j,k)=(v3fluct(i,j,k+1)-v3fluct(i,j,k-1))/2/dz;
w3_x1(i,j,k)=(w3fluct(i+1,j,k)-w3fluct(i-1,j,k))/2/dx;
w3_x2(i,j,k)=0;
w3_x3(i,j,k)=(w3fluct(i,j,k+1)-w3fluct(i,j,k-1))/2/dz;

else
u1_x1(i,j,k)=(u1fluct(i+1,j,k)-u1fluct(i-1,j,k))/2/dx;
u1_x2(i,j,k)=(u1fluct(i,j-1,k)-u1fluct(i,j+1,k))/(y(j+1)-y(j-1));
u1_x3(i,j,k)=(u1fluct(i,j,k+1)-u1fluct(i,j,k-1))/2/dz;
v1_x1(i,j,k)=(v1fluct(i+1,j,k)-v1fluct(i-1,j,k))/2/dx;
v1_x2(i,j,k)=(v1fluct(i,j-1,k)-v1fluct(i,j+1,k))/(y(j+1)-y(j-1));
v1_x3(i,j,k)=(v1fluct(i,j,k+1)-v1fluct(i,j,k-1))/2/dz;
w1_x1(i,j,k)=(w1fluct(i+1,j,k)-w1fluct(i-1,j,k))/2/dx;
w1_x2(i,j,k)=(w1fluct(i,j-1,k)-w1fluct(i,j+1,k))/(y(j+1)-y(j-1));
w1_x3(i,j,k)=(w1fluct(i,j,k+1)-w1fluct(i,j,k-1))/2/dz;

u2_x1(i,j,k)=(u2fluct(i+1,j,k)-u2fluct(i-1,j,k))/2/dx;
u2_x2(i,j,k)=(u2fluct(i,j-1,k)-u2fluct(i,j+1,k))/(y(j+1)-y(j-1));
u2_x3(i,j,k)=(u2fluct(i,j,k+1)-u2fluct(i,j,k-1))/2/dz;
v2_x1(i,j,k)=(v2fluct(i+1,j,k)-v2fluct(i-1,j,k))/2/dx;
v2_x2(i,j,k)=(v2fluct(i,j-1,k)-v2fluct(i,j+1,k))/(y(j+1)-y(j-1));
v2_x3(i,j,k)=(v2fluct(i,j,k+1)-v2fluct(i,j,k-1))/2/dz;
w2_x1(i,j,k)=(w2fluct(i+1,j,k)-w2fluct(i-1,j,k))/2/dx;
w2_x2(i,j,k)=(w2fluct(i,j-1,k)-w2fluct(i,j+1,k))/(y(j+1)-y(j-1));
w2_x3(i,j,k)=(w2fluct(i,j,k+1)-w2fluct(i,j,k-1))/2/dz;

u3_x1(i,j,k)=(u3fluct(i+1,j,k)-u3fluct(i-1,j,k))/2/dx;
u3_x2(i,j,k)=(u3fluct(i,j-1,k)-u3fluct(i,j+1,k))/(y(j+1)-y(j-1));
u3_x3(i,j,k)=(u3fluct(i,j,k+1)-u3fluct(i,j,k-1))/2/dz;
v3_x1(i,j,k)=(v3fluct(i+1,j,k)-v3fluct(i-1,j,k))/2/dx;
v3_x2(i,j,k)=(v3fluct(i,j-1,k)-v3fluct(i,j+1,k))/(y(j+1)-y(j-1));
v3_x3(i,j,k)=(v3fluct(i,j,k+1)-v3fluct(i,j,k-1))/2/dz;
w3_x1(i,j,k)=(w3fluct(i+1,j,k)-w3fluct(i-1,j,k))/2/dx;
w3_x2(i,j,k)=(w3fluct(i,j-1,k)-w3fluct(i,j+1,k))/(y(j+1)-y(j-1));
w3_x3(i,j,k)=(w3fluct(i,j,k+1)-w3fluct(i,j,k-1))/2/dz;
end
end
end
end

```

در این قسمت مولفه‌های $\langle \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \rangle$ و $\langle \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \rangle$ که در محاسبات بعدی استفاده می‌شوند محاسبه شده است.

```

u_x1_u_x1(1:nj)=0;
u_x2_u_x2(1:nj)=0;
u_x3_u_x3(1:nj)=0;
v_x1_v_x1(1:nj)=0;
v_x2_v_x2(1:nj)=0;
v_x3_v_x3(1:nj)=0;
w_x1_w_x1(1:nj)=0;
w_x2_w_x2(1:nj)=0;
w_x3_w_x3(1:nj)=0;
u_x2_v_x1(1:nj)=0;
u_x3_w_x1(1:nj)=0;

```

```

v_x3_w_x2(1:nj)=0;
for k=2:nk-1
for j=1:nj
for i=2:ni-1

u_x1_u_x1(j)=u_x1_u_x1(j)+((u1_x1(i,j,k)*u1_x1(i,j,k))+(u2_x1(i,j,k)*u2_x1(i,j,k))+(u3_x1(i,j,k)*u3_x1(i,j,k)))/(n
k-2)/(ni-2)/3;

u_x2_u_x2(j)=u_x2_u_x2(j)+((u1_x2(i,j,k)*u1_x2(i,j,k))+(u2_x2(i,j,k)*u2_x2(i,j,k))+(u3_x2(i,j,k)*u3_x2(i,j,k)))/(n
k-2)/(ni-2)/3;

u_x3_u_x3(j)=u_x3_u_x3(j)+((u1_x3(i,j,k)*u1_x3(i,j,k))+(u2_x3(i,j,k)*u2_x3(i,j,k))+(u3_x3(i,j,k)*u3_x3(i,j,k)))/(n
k-2)/(ni-2)/3;

v_x1_v_x1(j)=v_x1_v_x1(j)+((v1_x1(i,j,k)*v1_x1(i,j,k))+(v2_x1(i,j,k)*v2_x1(i,j,k))+(v3_x1(i,j,k)*v3_x1(i,j,k)))/(n
k-2)/(ni-2)/3;

v_x2_v_x2(j)=v_x2_v_x2(j)+((v1_x2(i,j,k)*v1_x2(i,j,k))+(v2_x2(i,j,k)*v2_x2(i,j,k))+(v3_x2(i,j,k)*v3_x2(i,j,k)))/(n
k-2)/(ni-2)/3;

v_x3_v_x3(j)=v_x3_v_x3(j)+((v1_x3(i,j,k)*v1_x3(i,j,k))+(v2_x3(i,j,k)*v2_x3(i,j,k))+(v3_x3(i,j,k)*v3_x3(i,j,k)))/(n
k-2)/(ni-2)/3;

w_x1_w_x1(j)=w_x1_w_x1(j)+((w1_x1(i,j,k)*w1_x1(i,j,k))+(w2_x1(i,j,k)*w2_x1(i,j,k))+(w3_x1(i,j,k)*w3_x1(i,j,
k)))/(nk-2)/(ni-2)/3;

w_x2_w_x2(j)=w_x2_w_x2(j)+((w1_x2(i,j,k)*w1_x2(i,j,k))+(w2_x2(i,j,k)*w2_x2(i,j,k))+(w3_x2(i,j,k)*w3_x2(i,j,
k)))/(nk-2)/(ni-2)/3;

w_x3_w_x3(j)=w_x3_w_x3(j)+((w1_x3(i,j,k)*w1_x3(i,j,k))+(w2_x3(i,j,k)*w2_x3(i,j,k))+(w3_x3(i,j,k)*w3_x3(i,j,
k)))/(nk-2)/(ni-2)/3;

u_x2_v_x1(j)=u_x2_v_x1(j)+((u1_x2(i,j,k)*v1_x1(i,j,k))+(u2_x2(i,j,k)*v2_x1(i,j,k))+(u3_x2(i,j,k)*v3_x1(i,j,k)))/(n
k-2)/(ni-2)/3;

u_x3_w_x1(j)=u_x3_w_x1(j)+((u1_x3(i,j,k)*w1_x1(i,j,k))+(u2_x3(i,j,k)*w2_x1(i,j,k))+(u3_x3(i,j,k)*w3_x1(i,j,k))
)/(nk-2)/(ni-2)/3;

v_x3_w_x2(j)=v_x3_w_x2(j)+((v1_x3(i,j,k)*w1_x2(i,j,k))+(v2_x3(i,j,k)*w2_x2(i,j,k))+(v3_x3(i,j,k)*w3_x2(i,j,k))
)/(nk-2)/(ni-2)/3;
end
end
end

```

محاسبه production rate و dissipation of the mean و pseudo dissipation و pseudo dissipation :

در این قسمت turbulent kinetic energy که در سوال ۴ به آن نیاز داریم نیز محاسبه شده است.

```

for j=1:nj

if j==nj
production_rate(j)=0;

dissipation_rate(j)=nu*(u_x1_u_x1(j)+u_x2_u_x2(j)+u_x3_u_x3(j)+v_x1_v_x1(j)+v_x2_v_x2(j)+v_x3_v_x3(j)+w

```



```

_x1_w_x1(j)+w_x2_w_x2(j)+w_x3_w_x3(j)+u_x1_u_x1(j)+2*u_x2_v_x1(j)+2*u_x3_w_x1(j)+w_x3_w_x3(j)+v_
x2_v_x2(j)+2*v_x3_w_x2(j));
dissipation_of_the_mean(j)=0;

pseudo_dissipation(j)=nu*(u_x1_u_x1(j)+u_x2_u_x2(j)+u_x3_u_x3(j)+v_x1_v_x1(j)+v_x2_v_x2(j)+v_x3_v_x3(j)
+w_x1_w_x1(j)+w_x2_w_x2(j)+w_x3_w_x3(j));
k(j)=1/2*(uu(j)+vv(j)+ww(j));

elseif j==1
production_rate(j)=-uv(j)*((u1mean(j+1)-u1mean(j))+(u2mean(j+1)-u2mean(j))+(u3mean(j+1)-
u3mean(j)))/3/(y(j+1)-y(j)));

dissipation_rate(j)=nu*(u_x1_u_x1(j)+u_x2_u_x2(j)+u_x3_u_x3(j)+v_x1_v_x1(j)+v_x2_v_x2(j)+v_x3_v_x3(j)+w
_x1_w_x1(j)+w_x2_w_x2(j)+w_x3_w_x3(j)+u_x1_u_x1(j)+2*u_x2_v_x1(j)+2*u_x3_w_x1(j)+w_x3_w_x3(j)+v_
x2_v_x2(j)+2*v_x3_w_x2(j));
dissipation_of_the_mean(j)=nu*(((u1mean(j+1)-u1mean(j))+(u2mean(j+1)-u2mean(j))+(u3mean(j+1)-
u3mean(j)))/3/(y(j+1)-y(j)))^2;

pseudo_dissipation(j)=nu*(u_x1_u_x1(j)+u_x2_u_x2(j)+u_x3_u_x3(j)+v_x1_v_x1(j)+v_x2_v_x2(j)+v_x3_v_x3(j)
+w_x1_w_x1(j)+w_x2_w_x2(j)+w_x3_w_x3(j));
k(j)=1/2*(uu(j)+vv(j)+ww(j));
else
production_rate(j)=-uv(j)*((u1mean(j+1)-u1mean(j-1))+(u2mean(j+1)-u2mean(j-1))+(u3mean(j+1)-u3mean(j-
1)))/3/(y(j+1)-y(j-1)));

dissipation_rate(j)=nu*(u_x1_u_x1(j)+u_x2_u_x2(j)+u_x3_u_x3(j)+v_x1_v_x1(j)+v_x2_v_x2(j)+v_x3_v_x3(j)+w
_x1_w_x1(j)+w_x2_w_x2(j)+w_x3_w_x3(j)+u_x1_u_x1(j)+2*u_x2_v_x1(j)+2*u_x3_w_x1(j)+w_x3_w_x3(j)+v_
x2_v_x2(j)+2*v_x3_w_x2(j));
dissipation_of_the_mean(j)=nu*(((u1mean(j+1)-u1mean(j-1))+(u2mean(j+1)-u2mean(j-1))+(u3mean(j+1)-
u3mean(j-1)))/3/(y(j+1)-y(j-1)))^2;

pseudo_dissipation(j)=nu*(u_x1_u_x1(j)+u_x2_u_x2(j)+u_x3_u_x3(j)+v_x1_v_x1(j)+v_x2_v_x2(j)+v_x3_v_x3(j)
+w_x1_w_x1(j)+w_x2_w_x2(j)+w_x3_w_x3(j));
k(j)=1/2*(uu(j)+vv(j)+ww(j));

end

end

```

رسم مقادير بالا بر حسب Y :

```

%figure(3)
% plot
%plot(y_plus, pseudo_dissipation)
%axis([0 500 0 5])
%xlabel('y+', 'fontsize', [20])
%ylabel(' pseudo dissipation', 'fontsize', [20])
%handle=gca;
%set(handle, 'fontsize', [20])

```

سوال ۴)

محاسبه موارد خواسته شده در سوال و نیز رسم آنها بر حسب Y :

```
for j=1:nj
```

```
    P_epsilon(j)= production_rate(j)/dissipation_rate(j);
```

```
    if j==1
```

```
        Sk_epsilon(j)=((u1mean(j+1)-u1mean(j))+(u2mean(j+1)-u2mean(j))+(u3mean(j+1)-u3mean(j)))/3/(y(j+1)-y(j))*k(j)/dissipation_rate(j);
```

```
    elseif j==nj
```

```
        Sk_epsilon(j)=0*k(j)/dissipation_rate(j);
```

```
    else
```

```
        Sk_epsilon(j)=((u1mean(j+1)-u1mean(j-1))+(u2mean(j+1)-u2mean(j-1))+(u3mean(j+1)-u3mean(j-1)))/3/(y(j+1)-y(j-1))*k(j)/dissipation_rate(j);
```

```
    end
```

```
end
```

```
%figure(4)
```

```
% plot
```

```
%plot(y_plus,k)
```

```
%axis([0 500 0 20])
```

```
%xlabel('y+', 'fontsize',[20])
```

```
%ylabel('Sk/epsilon', 'fontsize',[20])
```

```
%handle=gca;
```

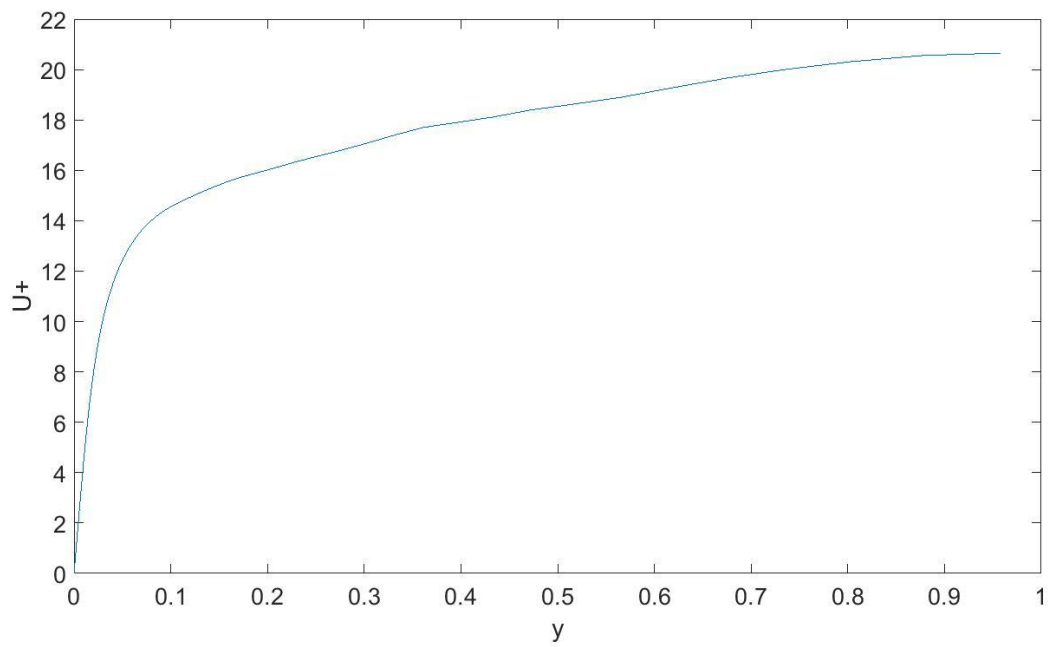
```
%set(handle,'fontsize',[20])
```

نتایج

Question 1-

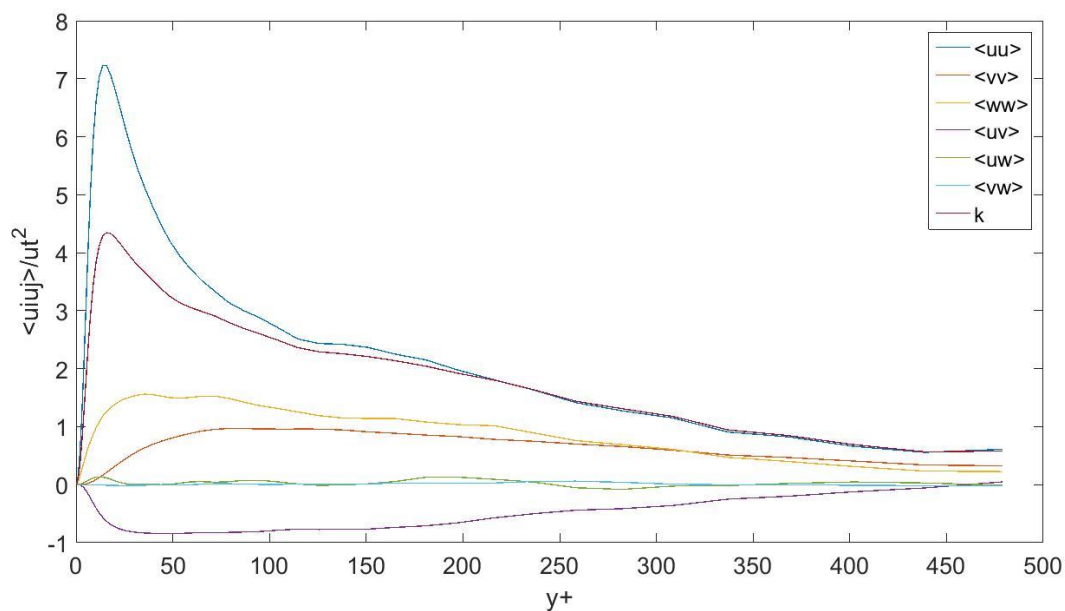
The bulk velocity, $\langle V_1 \rangle_{\text{bulk}} = 16.9413$

Reynolds number based on the bulk velocity, $Re = \langle V_1 \rangle_{\text{bulk}} h/\nu = 8.4707\text{e}+03$

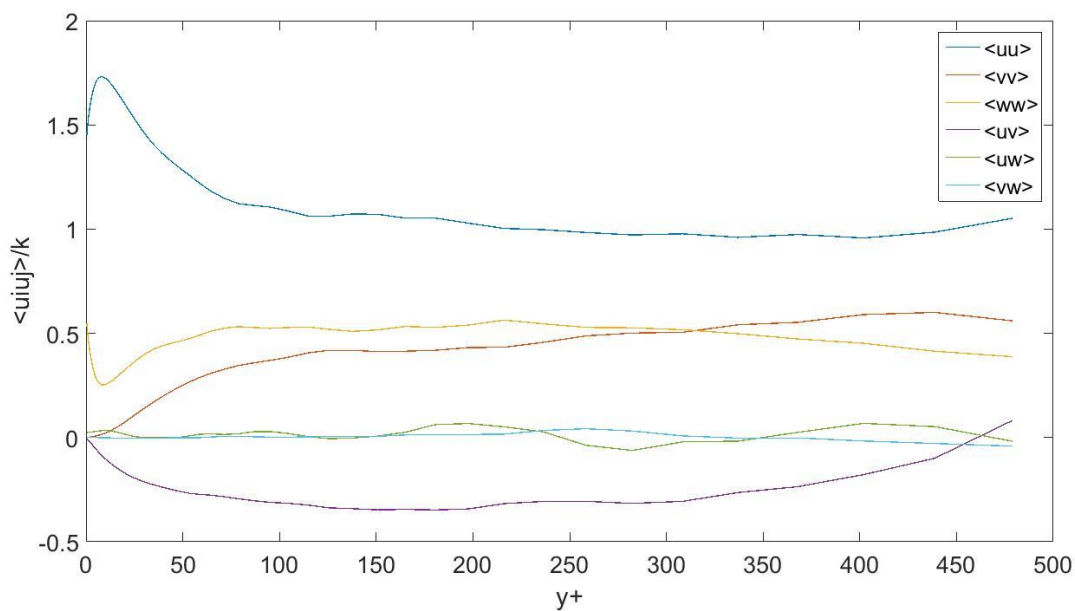


شکل ۱ نمودار سرعت متوسط در جهت X و زمان اول بر حسب y

Question 2-



شکل ۲ نمودار مولفه‌های تنش رینولدزی و k (turbulent kinetic energy) نرمال شده با friction velocity بر حسب y^+



شکل ۳ نمودار مولفه‌های تنش رینولدزی نرمال شده با k (turbulent kinetic energy) بر حسب y^+

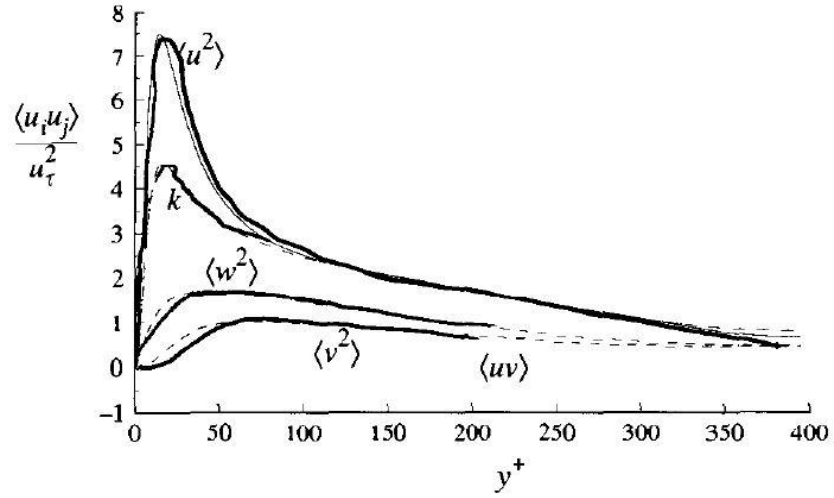


Fig. 7.14. Reynolds stresses and kinetic energy normalized by the friction velocity against y^+ from DNS of channel flow at $Re = 13,750$ (Kim *et al.* 1987).

شکل ۴ نمودار 7.14 کتاب pope

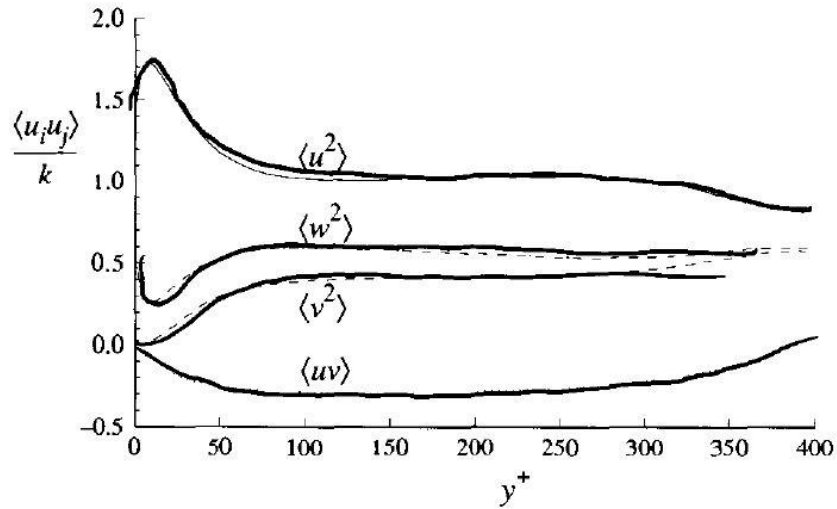


Fig. 7.15. Profiles of Reynolds stresses normalized by the turbulent kinetic energy from DNS of channel flow at $Re = 13,750$ (Kim *et al.* 1987).

شکل ۵ نمودار 7.15 کتاب pope

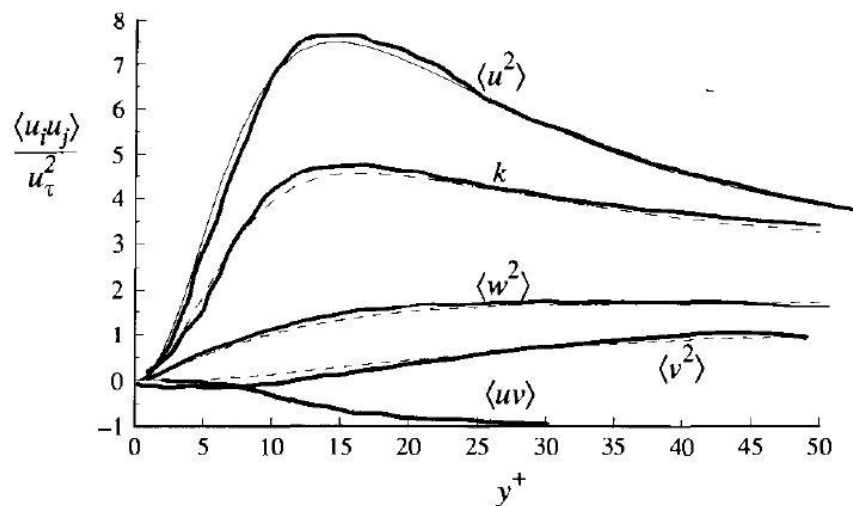


Fig. 7.17. Profiles of Reynolds stresses and kinetic energy normalized by the friction velocity in the viscous wall region of turbulent channel flow: DNS data of Kim *et al.* (1987). $Re = 13,750$.

شکل ۶ نمودار 7.17 کتاب pope

با مقایسه نمودارهای ۲ و ۳ با نمودارهای ۴، ۵ و ۶ مشخص است که نمودارها در تغییر رفتاری که از خود نشان می‌دهند مثلاً صعودی و نزولی بودن بسیار شبیه هم بوده و مقدار ماکزیمم و مینیممها نیز تقریباً شبیه می‌باشد. البته باید دقت کرد که مقدار عدد رینولدزها متفاوت است و همچنین روش گسسته‌سازی که استفاده کرده‌ام خود باعث اختلاف در مقادیر نمودارها می‌شود ولی موضوعی که مشهود است رفتار خطوط است که بسیار شبیه هستند.

Question 3-

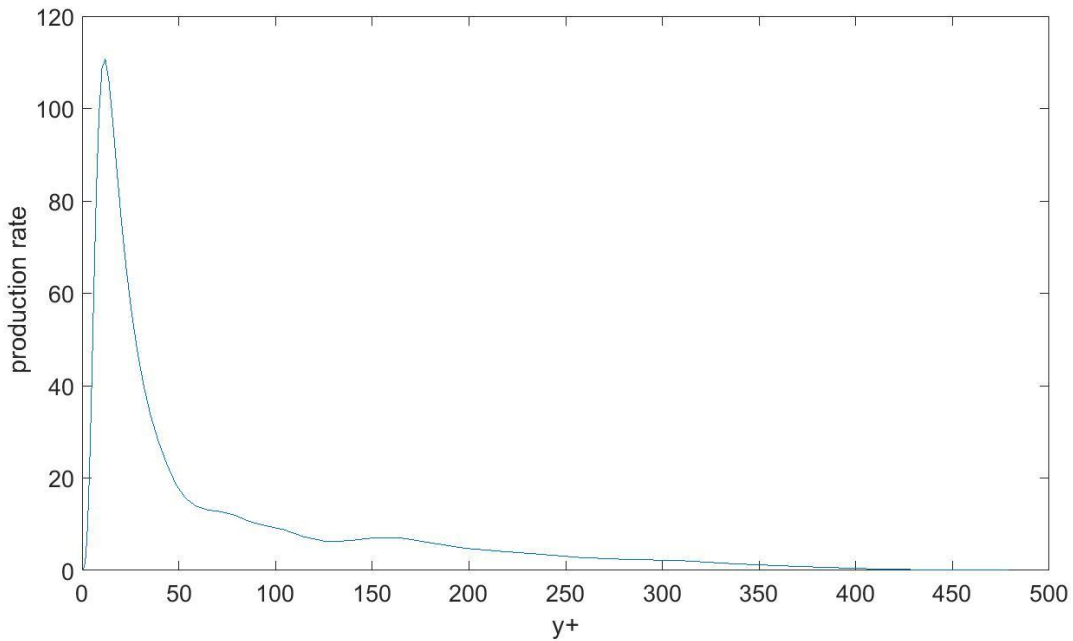
روابطی که برای محاسبه در این بخش استفاده شد با در نظر گرفت موضوع مطرح شده در سوال که تنها گرادیان سرعت متوسط X در جهت Y وجود دارد به شکل زیر ساده شده‌اند :

$$P = -\langle u_i u_j \rangle \frac{\partial \langle U_i \rangle}{\partial x_j} = -\langle u_1 u_2 \rangle \frac{\partial \langle U_1 \rangle}{\partial x_2}$$

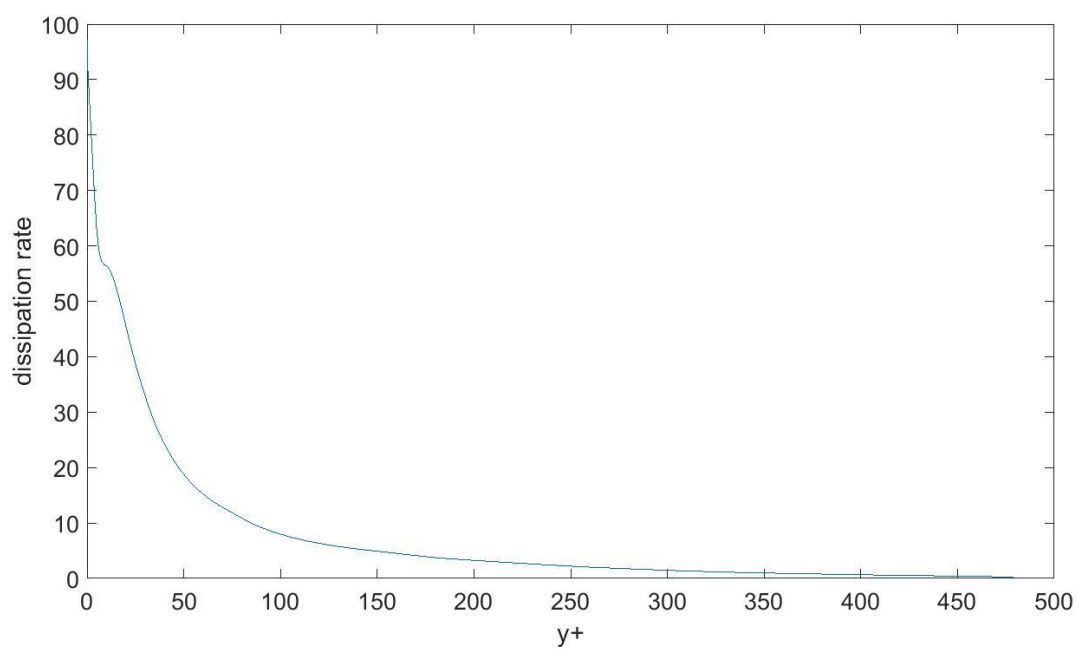
$$\varepsilon = 2\vartheta \langle s:s \rangle ; \quad 2s:s = \vec{\nabla} \vec{u} : (\vec{\nabla} \vec{u})^T + \vec{\nabla} \vec{u} : \vec{\nabla} \vec{u}$$

$$\bar{\varepsilon} = \vartheta \left\langle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \right\rangle$$

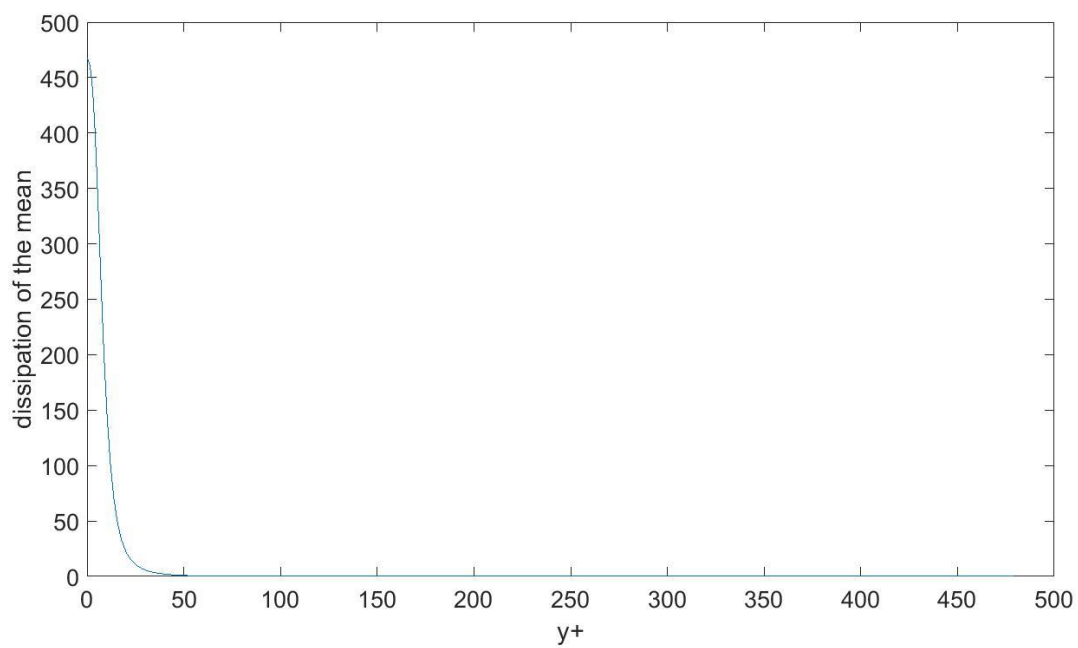
$$\bar{\varepsilon} = 2\vartheta \langle S \rangle : \langle S \rangle = \vartheta \frac{\partial \langle U_1 \rangle}{\partial x_2} \frac{\partial \langle U_1 \rangle}{\partial x_2}$$



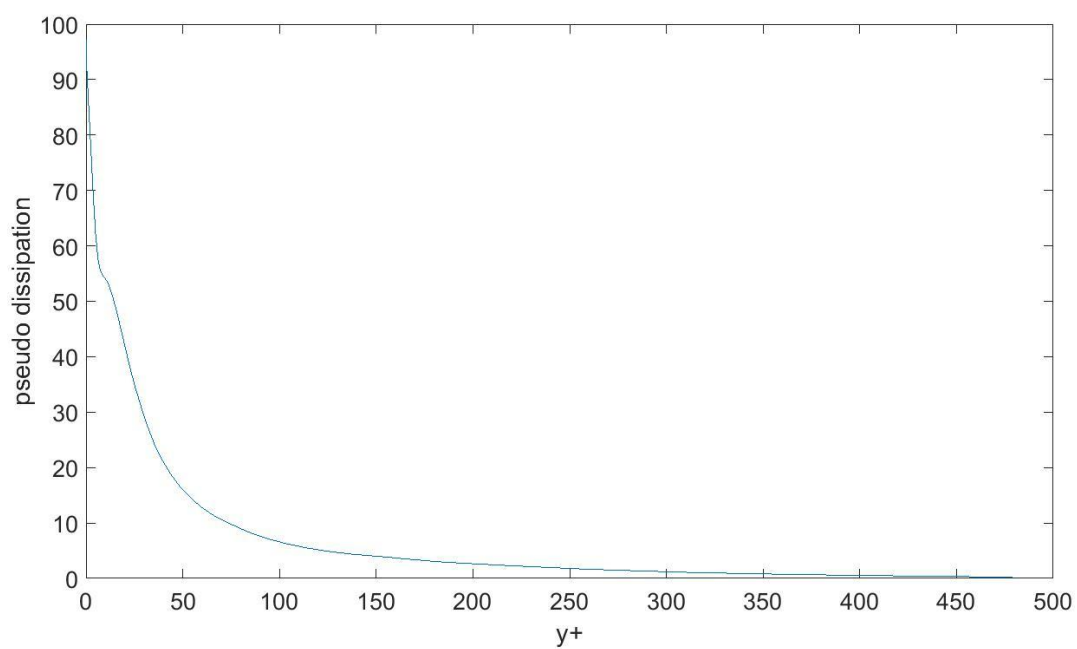
شکل ۷ نمودار production rate بر حسب y^+



شکل ۸ نمودار dissipation rate بر حسب y^+



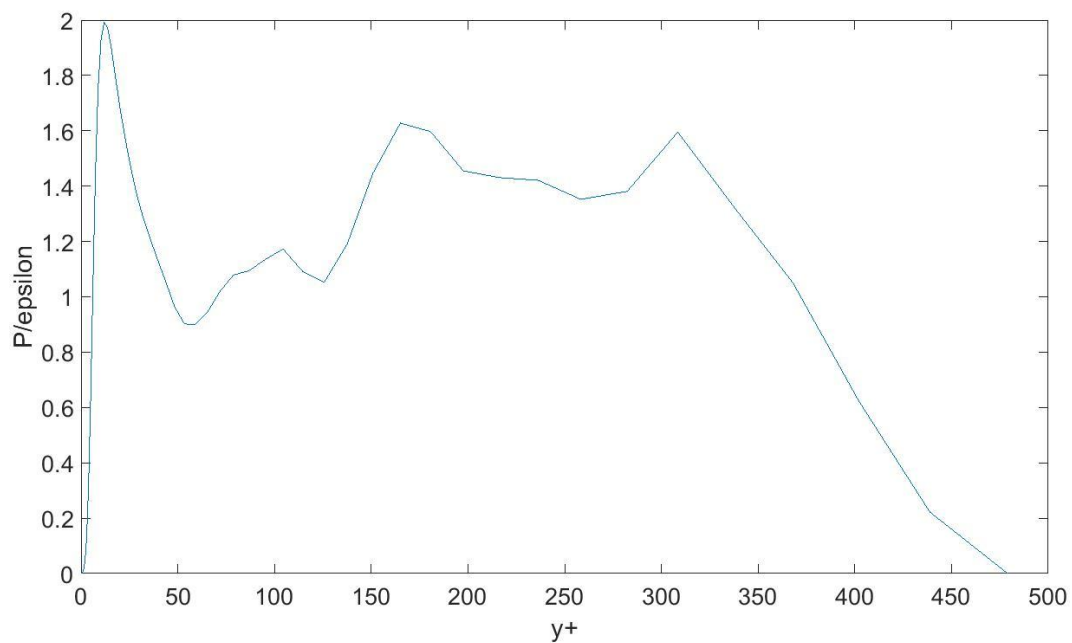
شکل ۹ نمودار dissipation of the mean بر حسب y^+



شکل ۱۰ نمودار pseudo dissipation بر حسب y^+

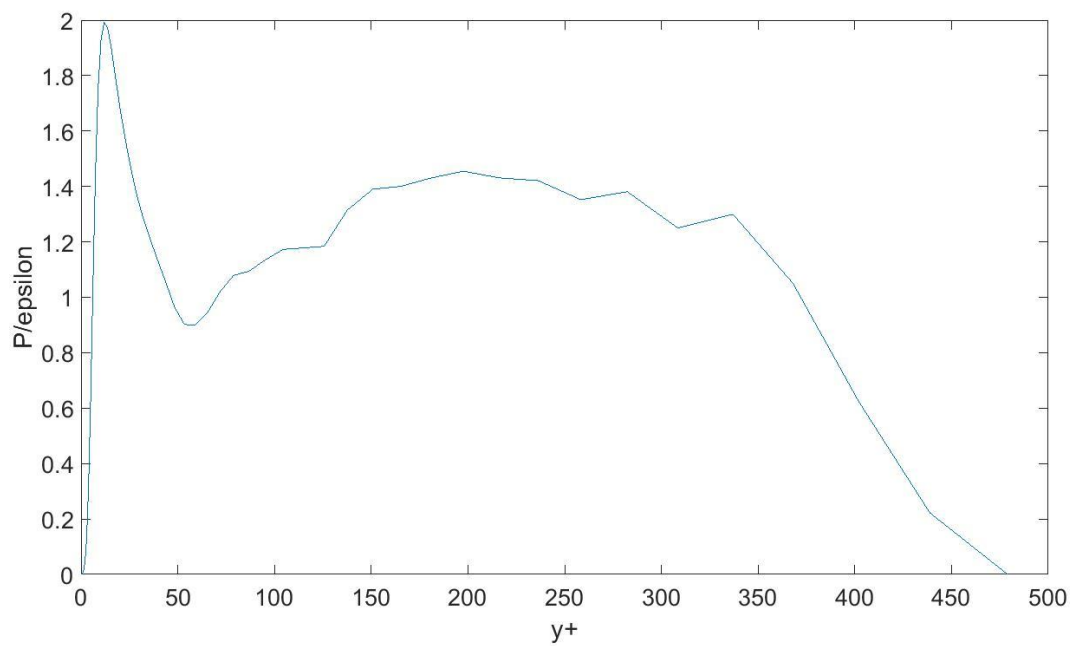
در 1 Homework داشتیم که گاهی اوقات dissipation rate را با pseudo dissipation تقریب میزنند همانطور که از این دو نمودار مشخص است مقادیر بسیار نزدیک هم هستند پس این تقریب خوبی است.

Question 4-

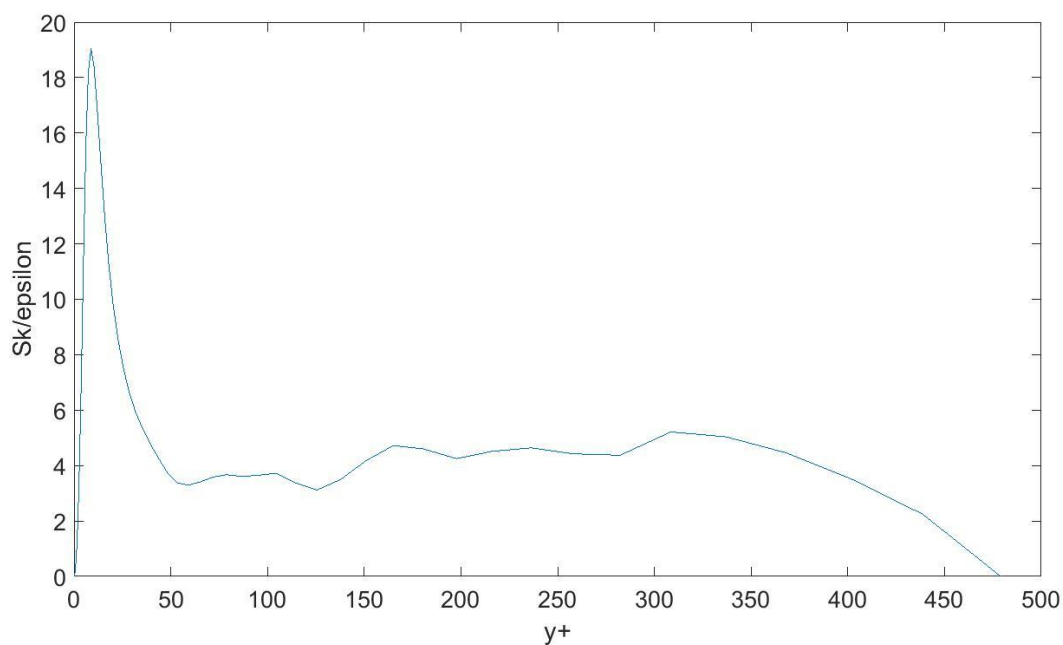


شکل ۱۱ نمودار $\frac{P}{\epsilon}$ بر حسب y^+

فقط در نمودار شکل ۱۱ چون این نمودار کمی شکسته شکسته رسم شده است آن را کمی smoot تر در شکل ۱۲ رسم کرده‌ام.



شکل ۱۲ نمودار $\frac{P}{\epsilon}$ بر حسب y^+ با smoot کردن نمودار



شکل ۱۳ نمودار $\frac{Sk}{\epsilon}$ بر حسب y^+

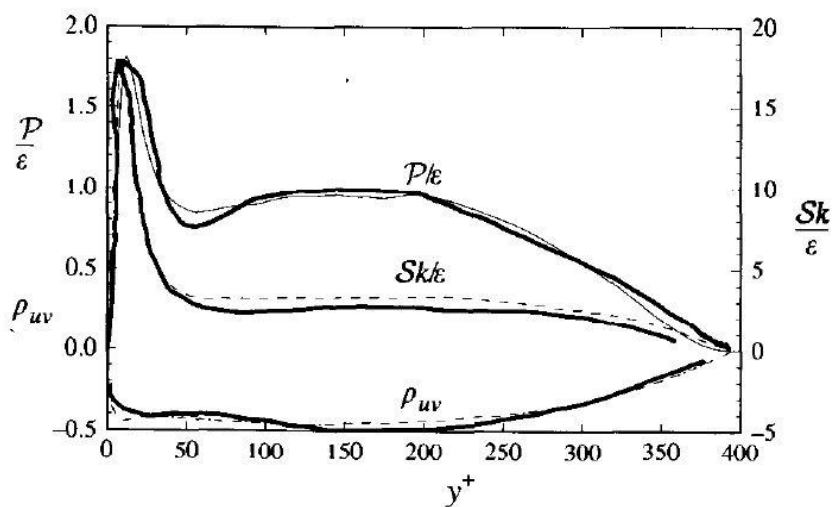


Fig. 7.16. Profiles of the ratio of production to dissipation (\mathcal{P}/ϵ), normalized mean shear rate (Sk/ϵ), and shear stress correlation coefficient (ρ_{uv}) from DNS of channel flow at $Re = 13,750$ (Kim *et al.* 1987).

شکل ۱۳ نمودار 7.16 کتاب pope

با مقایسه نمودارهای ۱۲ (یا ۱۱) و ۱۳ با نمودار ۱۴ مشخص است که نمودارها در تغییر رفتاری که از خود نشان می‌دهند مثلاً صعودی و نزولی بودن بسیار شبیه هم بوده و مقدار ماکزیمم و مینیمم‌ها نیز تقریباً شبیه می‌باشد. البته باید دقت کرد که مقدار عدد رینولدزها متفاوت است که این خود باعث اختلاف در مقادیر نمودارها می‌شود ولی موضوعی که مشهود است رفتار خطوط است که بسیار شبیه هستند. دلیل دیگری که در این اختلاف دو نمودار سهم است روش گسسته‌سازی است که برای به دست آوردن مقادیر استفاده کرده‌ام.