

## خصوصیات مهم جریان توربولانس

### Irregularity and Randomness

۱- بی نظمی

این بی نظم بودن در مکان و زمان وجود دارد به علت برخورد ادی خاص با آن

o Randomness in time

o Randomness in space

۲- سه بعدی بودن

۳- دیفیوژن بودن

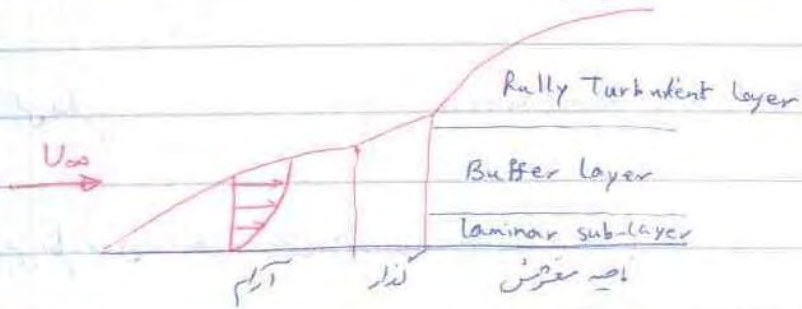
به علت بی نظم بودن جریان توربولانس بیشتر روش های بررسی این جریان بر اساس روش های آماری استوارند.

$$u = \bar{u} + u'$$

جریان (i) stationary (ii) quasi steady

مقدار متوسط fluctuation با برابر صفر خواهد بود (زمانات حول یک مقدار است)

نوسانات حول مقدار خاص نیست.



ناحیه آشفتگی دارای سه ناحیه است.

1 laminar sub-layer: تغییرات تنبلی برشی نسبت به سرعت تغییر ناچهار است.

2 Buffer layer

3 Fully Turbulent

در بخش quasi-steady بودن در Buffer layer مشاهده می شود.  
در بخش non-stationary متغیر در Fully Turbulent مشاهده می شود.

بر تقطیع به واسطی وجود نوسانات ایجاد می شود (u')

ناحیه آشفتگی دارای انتقال حرارت و جرم بیشتری است زیرا در این مکان های سرعت

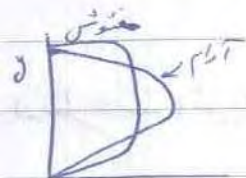
بیشتر است. در اصل ماهیت جریان آرام و آشفته با هم متفاوت است. جریان آرام

مانند لایه های گارت هستند و اجزای تشکیل دهنده این لایه ها سوکول ها هستند که قدرت

تحرك کم دارند. اما توربولانس دارای آحاد ادی است و حجم بزرگ تر و تغییرات مکان

بزرگ تر مخصوص است به عرض نسبت به سوکول ها دارند. این تحرك مکانی عامل زیاد

دیفیوژن است. این ماهیت متفاوت باعث ایجاد گردیدمان ها که سهوت متفاوت فرسود



نیب خط ناصبی آشفته (نسبت به صورت  $\gamma$ ) بیشتر از

آن نسبت به ناصبی آرام است. در واقع نیب عمودی برای ما

هم است. یعنی نیب در جهت عمود بر جریان. زیرا  $\frac{du}{dy} = \mu \tau$  است. و هر وقت

در راستای عمود بر جریان گردیدمان گیری در شود پس انتقال مستقیم و یا انتقال حرارت

در ناصبی آشفته بیشتر است

هم علت ماهیت متفاوت جریان توربولانس و وجود ادی در هر خورد ادی ها (دو جامیت

منظم بودن و دینویژن بودن را خواصیم دانست. بی نظمی (

علت حرکت کاتوره ای ادی هاست.

تغییر اصطلاحات زیاد جریان است که در جریان آسنده بیشتر از آرام است. این

علت برخورد های بیشتر ادی ها نسبت به مرکزول هاست. هر برخورد غیر الاستیک باعث

تغییر انرژی می شود ( این اصطلاحات بیشتر را به عنوان یک مشخصه جریان مغشوش

بناظر دانسته باش). اختلاف در نزدیک سطح بیشتر است چون سیال با جاده برخورد

می نماید. پاشیده های ادی ها می شود که این نشان می دهد اختلاف انرژی از سطح جاده

است. لایه مرزی کمتر می شود. زیرا با حرکت به سمت لایه مرزی ادی های بزرگتری

وجود می آید. دلای های بزرگ تر بیشتر به سمت تولید ادی پیش می روند. اصطلاحات

برای در نظر گرفتن اختلافات باید موثر هم باشد. نظر دانست. یک کار فاشی از متن های

میزان است که بهترین سهم را در اختلافات دارد. در بین عامل اختلاف لزجت و اصطلاحات

لایه های سیال است

دقت شود که تنش های رینولدزها در ماصه معشوش به وجود می آید و در ماصه آرام وجود

ندارد چون علت به وجود آمدن آن ها Flactuation هاست و برخورد ادی هکس نوسانی

گفته است اندکات خواهد شد.

میز چنان در Flactuation های عمود بر هم  $\rho \bar{u'v'}$  = تنش رینولدز

ترم های متوسط رینولدز با قرار دادن  $u = u' + \bar{u}$  و  $p = p' + \bar{p}$  در معادلات نادر

استوکس ظاهر می شود. تنش رینولدز یک تاندر سه در سه با مولفه غیر صفر است.

علامت مستقیم تنش های رینولدز در مولفه های آن نشان دهنده اصمحلل آن هاست.

یعنی این اصمحلل ها باید از تاندر جریان را هم کند به همین علت علامت مستقیم دارد.

معادلات پیوستگی روی  $u$  و  $\bar{u}$  برقرار است. برای  $u'$  ها قانون پیوستگی را به این صورت می نویسیم

$$\bar{u}' = 0$$

در معادله ناموجود است و در صورت  $\frac{dV_t}{dt}$  ظاهر می شود که نشان دهنده

تنش های چسبندگی هستند این تنش ها برای هر دو جریان معشوش و آرام هستند برخلاف

تنش های رینولدز که تنها برای جریان معشوش برقرار است پس اهداف در جریان معشوش

ناشی از دو عامل است! تنش های رینولدز و لزجت سیال

سؤال: Order کدام بیشتر است تنش های رینولدز یا تنش های لزج

اهداف در ناصیه آنتی تریبومتر از اهداف ناصیه آرام است یعنی نسبت

کار لزج به کار تنش رینولدز ضعیف کوچک است ( البته به جز در ناصیه تردید دیواره زیرا

در این ناصیه  $\nu \rightarrow 0$  فرود در Fluctuation کا حلی نیارند

① چرا در این ناصیه به سه تنش رینولدز میگویند؟

حلبه دوم ۳۰ رالار ۹۱

پایداری حیدرودینامیک و روش های جهت آوردن آن و نیز پایداری کانال نیز می شود  
ر پایداری حیدرودینامیک

- ناصیه Lamina دارای هر سه حل عدسی و تجزیه و تحلیل است

- ناصیه آشفته حل عدسی و تجزیه دارد اما حل تحلیل ندارد

- ناصیه Transient تنها حل تجزیه دارد

لذا اولین افزاین که بر روی ناصیه گذار بحث میزند مشخص میزنند بر آنکه با آن افزایش

سعی در پیش بینی ناصیه گذار داشت روی از یک لوله در جریان دین استفاده کرد و نتیجه گرفت

با افزایش رینولدز از یک رینولدز به بعد تغییر رژیم جریان را از لایمن رژیم جریان را با نوع

حرکت جوهر نموده بعد از ایجاد رژیم Transient نوع جریان با به وجود آمدن Eddy

به هم می خورد

روی هندسه های مختلف رینولدز گذار متفاوت است هر چه هندسه یکسان

باید تا تغییر شرایط عملکردی ریزولوز گذار تفاوت خواهد کرد. پیش از این ناصیه بسیار

دشواری است. البته چون ناصیه گذار کوچک است کم اهمیت تر باشد اما دریل اندیک

شروع جریان آشفته را نشان میدهد اهمیت دارد.

اگر قرار باشد مراحل تبدیل جریان آرام به مغشوش را به سهیم در توان فرسایشی دیگر را نیز از لحاظ

وادی یادید.

بعد از جریان آرام امواج Tollimo - Shilikhting به وجود می آیند که این امواج اولین

تغییرات روی جریان آرام اند. این امواج چگونه به وجود می آیند!

الف - زبری: اگر تاخیر زبری از حدی بیشتر شود حرکت جریان امواج T-S به وجود می آید و در

ب - ارتفاع صند زبری سیال

ج - ایجاد نوزده سیال

نتیجه گیری که از آزمایشات به دست آمده بعد از روی آن بحث می شود این است که طول موج

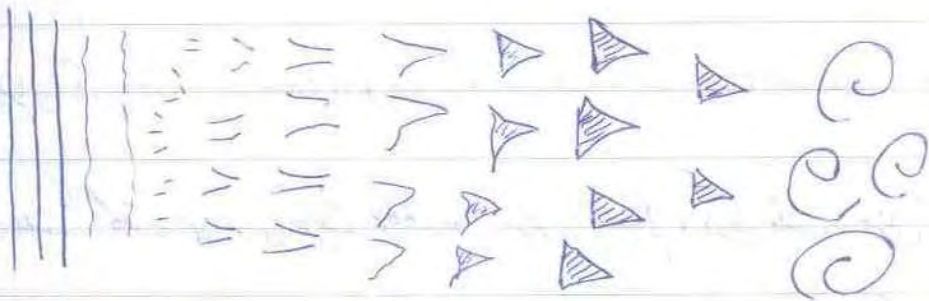


ایجاد کند جریان متعترض با  $\delta$  ضخامت لایه مرزی) رابطه دارد.

- امواج T-S شکل بری اولیه نسبتاً دو بعدی را دارند پس در اثر برخورد این امواج

امواج T-S سه بعدی بوجود می آیند این امواج با هم تعلق می گیرند و آب های

سختق را به وجود می آورند که به k-type معروفند



جریان آرام امواج T-S امواج آب های سختق / spot Merging of Turbulent spots eddy

پس این آب های سختق به spot ها تبدیل می شوند

تفاوت spot و eddy چیست؟ spot ها اینرسی خود را در جهت اصل جریان حفظ

کنند و چرخش زیادی را مثل eddy ها ندارند. برخورد spot ها با هم باعث برهم خوردن

جریان اصل و ایجاد eddy ها در این منطقه می شود.

سؤال: جریان آرام پایدار است یا ناپایدار؟

منهزم پایداری این است که تعادل اولیه با یک نیروی کم به هم برخورد جریان آرام

پایدار نیست چون بواسطه یک جریان یا تحریف رژیم خود را عوض می کند اما جریان آشفته

پایدار است چون برای تبدیل جریان آشفته به آرام damp زیادی نیاز است.

جریان آرام غالباً steady و جریان آشفته اساساً unsteady است این

به علت کاتوره ای بودن حرکت eddy ها و برخورد نامنظم و در یک مکان در جریان آشفته

با تغییر زمان تغییرات متغیری را می بینیم یک دفعه eddy کوچک وجود دارد و یک دفعه

eddy بزرگ

جریان Transient هم unsteady است و هم unstable

اگر افتشانات یک مقدار تقویت شود جریان به معنوس تبدیل می گردد پس جریان

stable نیست جریان steady همیشه چون ذات جریان براساس برخورد

بر وجود آید و برخورد است  $unsteady$  بودن است.

جریان  $Transient$  قابل تبدیل به جریان آرام نیست. اگر بخواهیم اغتشاشات را

$damp$  کنی اول آنسفته میشود و بعد فاصله به آرام تبدیل میشود

برای لایه ناهمبندی گذار برای شرایط مختلف ششاد است. نکته مهم این است که برای هر

حالت باید زبری را در نظر گیری

از دورش برای بدست آوردن  $Re$  ناهمبندی گذار استفاده می کنند

$Re_0$  که روش غیر دقیق است

$e-N$  روش

تقسیم بررسی جریان  $Transient$  عموماً با تجربه است. کارهای تجربی زیادی انجام شده است

$$\theta = \frac{0.664 x}{\sqrt{Re_x}} \quad (*)$$

$$Re_{\theta, trans} = 2.9 Re_{x, trans}^{0.4}$$

برای لایه مقعر (به صورت تجربی)

دستی  $e-N$  نرخ نفوذ یک انتقالی لوپت (دو بعدی) را از نظر پایداری همین در طول سطح در نظر بگیرید. انتقال  
 نرخ نفوذ یک ستاره خاص (دو بعدی) است که این مقدار  $universal$  باشد (برسد) این مقدار  $Transitional$  باشد  
 این مقدار در این دو بعد است. در نظر گرفتن این مقدار نشان می‌دهد که یک مقدار زمان (یا همان همان) در طول سطح مشخص  
 (۱) است. پدیده‌ها با یک آرام جان (۱.۶) برای شکل شدن انتقال دور پای سطح که این مقدار  $transitional$  در آن است.

همچنین با استفاده از معادله (\*) دریا ضرب  $\frac{P \cdot V}{L}$

(۲) برای در نظر گرفتن آستانه با کار هر نوع  
 مقدار چهار روال نرخ نفوذ و بعد روبرو با روال مشخصی  
 $0.664 \cdot Re_{x,tran}^{0.5} = 2.9 \cdot Re_{x,tran}^{0.4}$   
 که این مقدار نشان می‌دهد انتقال دور

اگر  $Re = 2.5 \times 10^4$   
 در این حالت دو طرف انتقال در این مقدار مشخص می‌شود

معمولاً در منابع دو عدد  $Re_{crit}$  تعریف می‌شود

1-  $Re_{critical}$  : این عدد برای تبدیل جریان آرام به گذر است

2-  $Re_{transient}$  : این عدد برای تبدیل جریان گذر به جریان نفوذ است

- من فوق یک خط دارد که  $Re_{crit}$  و  $Re_{tran}$  برابر قرار داده است. در واقع طول مایل

گذر را ضل یا چیز فرض کرده است

- جریان نفوذ باید تجربی بررسی شود

- جریان دو بعدی تا پایداری است یا سه بعدی

به این صورت تصور کنید که وقتی روی یک خط حرکت می‌کنی یا در راه می‌روی یا وقتی روی

یک صفحه حرکت می‌کنی

است که این یک سیر است

این اثبات می‌شود

حالا می‌خواهیم حدنا

برای این کار می‌کنیم

اگر تحلیل دو بعدی است

تا پایداری های بیشتر

حد تبدیل جریان آرام

شدن دو بعدی حد

فرض ها

معین اعدادی شرح است

یک صفحه حرکت فرکانس معلوم است که جریان سه بعدی پایداری بیشتری دارد مثل این

است که بیشتر یک سر کور دارد یا پایداری از تیر یک سر متصل است

این اثبات می شود که جریان های دو بعدی تا پایداری بیشتری از جریان های سه بعدی دارند

حالا می خواهیم حد ناپایداری های را پیدا کنیم که جریان آرام را به آشفتگی بدل می کنند

برای این کار می توان حد متوسط این ناپایداری ها را بررسی کرد و یا حد کف آن ها را یافت

اگر تحلیل دو بعدی انجام دهیم کف این ناپایداری ها را پیدا خواهیم کرد در جریان سه بعدی

ناپایداری های بیشتر لازم است که جریان ناپایدار شود پس تحلیل دو بعدی برای یافتن

حد تبدیل جریان آرام به معشوش مناسب است چون امواج T-S قبل از سه بعدی

تا زمانی که پایداری کمتر جریان دو بعدی

نسبت به سه بعدی را می یابیم

کف شرایط ناپایداری باید حرکت

دو بعدی را بررسی کنیم

1)  $u = u_0 + \hat{u}$

2)  $\hat{u} \ll u_0$

یعنی ابتدای شروع آشفتگی هستیم

تکرار انتقال  
Transiting  
در یک سر کور  
در یک سر کور

0.664

→ Re

1- Re

2- Re

روان طول ناپایداری

دری یا درین طول

2) این توجیه <sup>توجیه</sup> یعنی حرکت دورانی است و  $u_0 = u_0(y)$

$$3) \psi(x, y, t) = \phi(y) \exp(i\alpha(x - ct))$$

$\downarrow$   $i = \sqrt{-1}$        $\downarrow$   $\text{دش}$

آیا وجود جریان لزج مانع تعریف تابع جریان می‌تواند؟

خیر تعریف تابع جریان اشکال ندارد اما برای جریان لزج نمی‌توان از شرط  $\nabla^2 \psi = 0$  استفاده کرد.

- در تعریف فوق  $\alpha$  را عدد موج تعریف می‌کنیم. در واقع تحریک ایجادکننده جریان آکنفید

را یک موج در نظر می‌گیریم. در واقع نوسانات این موج مثل زبری عمل می‌کنند در واقع

صفحه داریم که دارد با عدد موج  $\alpha$  نوسان می‌کند.

$$\alpha = 2\pi / \text{wavelength}$$

$$c = c_r + i c_i$$

$c$ : سرعت مختلط فاز

$\downarrow$   
 قسمت حقیقی: سرعت فاز  
 قسمت تخیلی: ضریب تضعیف

\* ممکن است در راستای غیر از راستای  $x$  هم (مثل راستای دوم و سوم)  $\text{Re}(\text{act})$   $\text{ne}(\text{tr})$

داشته باشیم که این سرعت به همین دلیل تعریف شده است.

اگر  $\alpha < C_i$  می باشد با گذشت زمان ارتعاشات تقویت می شود و اگر  $\alpha = C_i$  افتد

damp می شود پس پارامتر  $\alpha$  پارامتر damp یا تقویت اعتنا شده است

چرا  $\alpha < C_i$  را به عنوان  $\alpha$  نام damp می گویند؟

$\alpha < C_i < 0$  : damping

$\alpha < C_i = 0$  : neutral

$\alpha < C_i > 0$  : Amplitudiny

در حالت  $\alpha < C_i < 0$  یا  $\alpha < C_i > 0$  به جریان مغناطیس در رسم اول در حالت  $\alpha < C_i > 0$

جریان مغناطیس می شود در اعتنا شده است اما در سایر معنی جریان در رسم مغناطیس می ماند

در حالت  $\alpha < C_i < 0$  جریان مغناطیس می شود اما در رسم به صورت مغناطیس باقی می ماند در حالت

خود عامل damper هم یک اغتشاش زا است.

$$\hat{u} = \frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{\partial \phi}{\partial y} \exp(i\alpha(x-ct))$$

چون نوسانات ایجاد شده باعث پدایش fluctuation ها می‌شود  $\hat{u}$ ،  $\psi = 1$  ارتباط

داده است.  $u$  که از قبل برده است و جریان آرام بود حالا جریان معترض شده است.

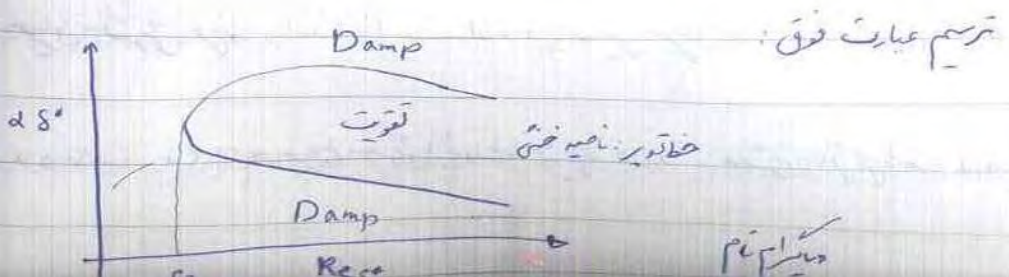
$$\hat{v} = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = -i\alpha \phi(y) \exp(i\alpha(x-ct))$$

با جایگذاری در معادله ناویر-استوکس

$$(u_0 - c)(\phi'' - \alpha^2 \phi) - u_0' \phi = \frac{-i}{\alpha Re} (\phi^{(iv)} - 2\alpha^2 \phi'' + \alpha^4 \phi)$$

↓  
مشتق چهارم

سؤال (چرا)  $\phi^{(iv)}$  رها می‌شود؟





$\delta^*$ : ضریب حایجان

چرا از  $Re_{\delta^*}$  استفاده کردیم چون محاسبه در خواصم از  $\delta^*$  پارامتر طولی صحبت کنیم

که قرار است طول موج را برای ما مشخص کند. ضمن اینکه شکل تراز نیز بهتر است

- به نواحی مختلف تقویت و damp است

$$\alpha \delta^* = 0.3$$

مقدار حایجان

$$Re_{\delta^*} = 520$$

- چرا  $\delta$  (round) یک پارامتر  $\delta$  دیگری ضرر نماند آن مقدار Critical است

در واقع اولین جایی که باید تعیین شود جریان تقویت بیشتر یا damp در  $Re = 520$  است

$$\alpha = \frac{2\pi}{L} \rightarrow \text{طول موج}$$

$$\delta^* = \frac{2\pi \delta^*}{L} = 0.3 \rightarrow L = \frac{2\pi \delta^*}{0.3} = 21\delta^* \approx 78$$

طول موج حایجان

$$\delta^* = \frac{1}{3} \delta$$

اگر تراز باشد موجی ثابت ایجاد نمیشود Transient بود این موج باید طول موجی برابر  $\lambda$  برابر

ضخامت لایه درین دایره باشد (order  $n$  در وقت  $t$ )

- در روش  $Re_{crit}$  عددی بدست آوردم:

$$Re_{x,trans} \approx 2.5 \times 10^6$$

باید  $Re_x$  در  $Re_{crit}$  داریم ،  $Re_{x,trans} \approx 2700$

حالا کدام قبول است 520 یا 2700 ؟ کدام منظر تر است در کدام چیز را

منخفض میکند؟

← مقدار  $Re = 2700$  برای حالت Transient است یعنی وقتی جریان از حالت

گذارد به معنوی تبدیل میشود اما مقدار 520 برای حالت critical است یعنی وقتی

جریان آرام به گذار در برسد. نکته دیگر اینکه مقدار  $Re = 520$  با استفاده از کتاب

بدست آمده و یک مقدار کمینه است پس 78 به حالت مضطرب را بررسی فرمائید پس

ممكن است  $Re$  بجز این تر از 520 باشد این یک حالت غیر مضطرب است

چه عواملی باشد

مقدار  $\lambda$  با ضخامت

قانون معکوس فرکانس

روی افزایش  $\lambda$  یا  $\omega$

یک  $\omega$  معین اول

در جریان در  $\omega$

این به حالت  $\lambda$

و با  $\lambda$  برای در  $\omega$

عطف  $\lambda$  یا  $\omega$

(1) فرض کنید یک

لترش روی دیواره

چه عواملی باعث تقویت اغتشاشات می شود؟

مختص با صنعتی سواج می شود اما با دنبال application هستیم. آیا جریان

قار معکوس می تواند باعث تقویت اغتشاشات شود؟ انتقال حرارت چگونه؟ چه تاثیری

روی افزایش یا کاهش اغتشاشات می شود؟ injection suction چگونه؟

سویک مهم اولیه از سیالیت: به چه شرطی ناپایداری خارج لایه مرزی وجود دارد؟

اگر جریان در پیرامون سرعت دارای نقطه عطف باشد لایه ناپایداری است. حالت



این به حالت باه را در خواصم به وجود نقطه عطف

و ناپایداری در جریان ربط دهم. آیا این سه تا نقطه

$P_1 < P_2$

عطف دارند یا نه؟

(1) فرض کنید یک جریان لایه مرزی داریم. از شرایطی قار صورتی می شود. به علت عدم

لترش روی دیواره  $u=v=0$ . همچنین با تحمیل ابعادی (scaling) داریم:

وجود نقطه عطف  
در لایه مرزی  
مستعد اغتشاشات  
در معادله اوربیت  
عوضی است  
با اغتشاشات  
ایجاد اغتشاشات  
در لایه مرزی

استقلال فرد، تدریس، انتشارش با شرایط تغییر نمود

جران باید است

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

در گاز با افر

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

$$v \frac{\partial u}{\partial y} = 0$$

با افرایش

تنها ترم که در معادلات نادیده است و کسی باقی می ماند  $v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$  است که این یک

معادله لاپلاس است پس

این تقریب

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \mu(T) \frac{\partial u}{\partial y} \right) = 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = -\frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial \mu}{\partial y} \right) \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

باید یک جا

چون معادله شبه-پراسان رسید

پس ارسال

$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$  تا به حدی تقریبی است. علامت این ترم هم است. علامت سایر

و تقریب

ترم ها را حذف کنیم.  $\frac{1}{\mu}$  که مثبت است.  $\frac{\partial u}{\partial y}$  نیز مثبت است چون هم مثبت با.

در شدن از لایه مرزی در حال افرایش است. علامت  $\frac{\partial \mu}{\partial y}$  به نوع سیال وابسته است

tion

(ابعاد یا گاز)

injection

فرض کنید سیال گاز باشد  $T_{wall} > T_e$

است چون

در گاز با افزایش دما به علت افزایش برخورد دچار افزایش لزجت می شوند. در مایعات

با افزایش دما به علت کاهش پیوستگی مولکولی لزجت کاهش می یابد. وقتی از سطح دور شویم

تکامل می یابد پس لزجت کاهش می یابد با افزایش  $\frac{\partial u}{\partial y}$   $\frac{\partial \mu}{\partial y} < 0$  مطابق برین است

$$\tau \downarrow \begin{cases} \gamma \uparrow \\ \mu \downarrow \end{cases} \Rightarrow \frac{\partial \mu}{\partial y} < 0 \Rightarrow \frac{\partial \tau}{\partial y} > 0$$

این تغییر زمانی که دور از دیواره می شویم دیده می شود. در واقع در گاز لزجت  $T_{us} > T_e$

باید یک جایی  $\frac{\partial \tau}{\partial y} = 0$  را ببیند در ترکیب دیواره لزجت نمی گذارد این اتفاق می افتد.

1) چرا

توجه کنید  $10^7$  پاسکال

پس اگر سیال گازی باشد و دمای دیواره را افزایش دهیم زودتر به ناصب مقفول می رسیم.

با کاهش دمای سطح دی سیال نزدیک دیواره کاهش می یابد و سیال سرد می شود و سیال سرد به سمت دیواره می کشد

وقتی تقویت شود به سمت ایجا که دمای سطح کم شود ایجاد می یابد تا با دمای دیواره



اگر injection داشته باشیم باید این نیز امتزاج را برایش تولید می کند توسط

injection بهم موجود که از راههای تقویت از separation، ایجا injection

است چون باعث اعتناش می شود. پس این عامل باعث می شود تا درین استادن separation

در شود

← suction بریل حذف نوسانات ایجاد کند separation را جلوگیری کند

در واقع نمی تواند از  $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$  شروع شود

← injection بریل ایجاد جریان آشفته موجب تحریک جریان می شود

6) suction به علت جلوگیری از  $\frac{\partial u}{\partial x} = 0$  می تواند باعث جلوگیری از جریان شود

(مقدار مثبت است)  $\frac{\partial p}{\partial x}$  بر آن عمل کند بین دو حد کردن صفا جریان را

②  $\frac{\partial u}{\partial x} < 0$  در این حالت

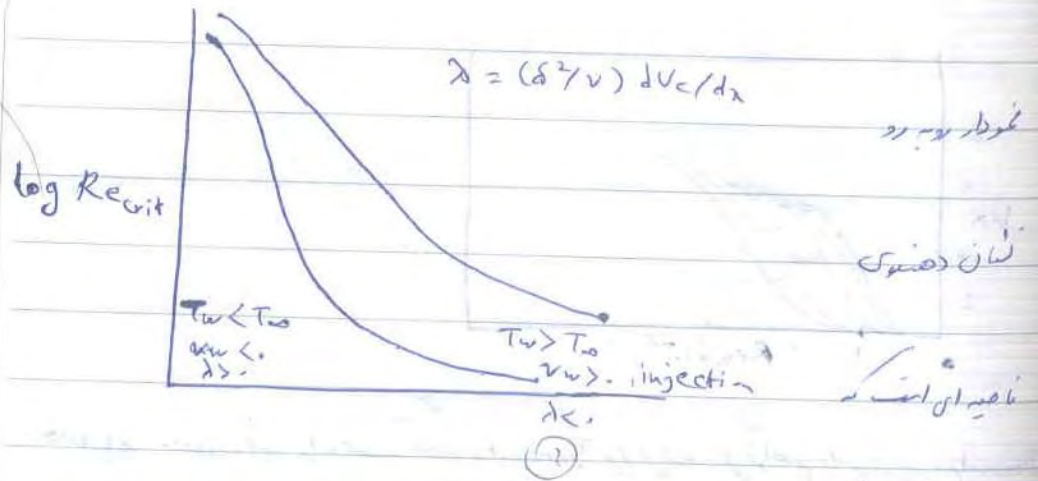
← جریان مخالف احتمال ایجاد را بیشتر کند

Adverse flow :  $\frac{\partial p}{\partial x} > 0$   $\frac{\partial u}{\partial x} < 0$   $\frac{\partial u}{\partial x} > 0$   $\frac{\partial p}{\partial x} < 0$

$\lambda = (S^2/v) du/dx$

$\rho v \frac{du}{dx} = \frac{dp}{dx}$

کفین که در این صورت در سطح  
در فک کوی سطح است که عرض است



با تغییر  $\lambda$  در شکل  $Re_{crit}$  به این شکل در این آسان تر است.

حل دوم ۹۱، ۱۲، ۷

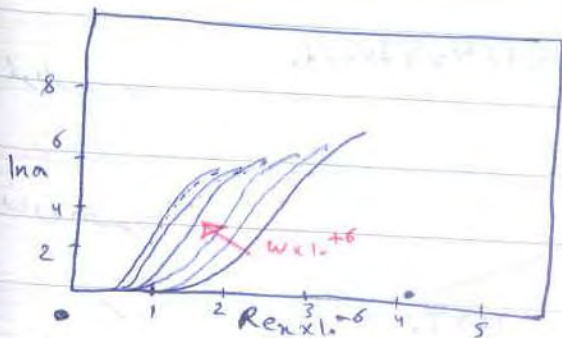
در سیالات با ویسکوزیته بالا شکل  $Re_{crit}$  از این نوع سطح  $Re_{crit}$  کمتر و ناپایداری سریع تر

لازمه اول شویم در جریان زودتر Turbulent می شود. اگر injection انجام شود، ناپایداری

تشدید می شود. در  $Re_0$  حطای زیادی دارند زیرا هر دو درش کلیس و تجربی یکجا

دانست. درش دیگر  $e^{-N}$  است که تجربی است. با تغییر فرکانس ایجاد شده پارامتر  $a$

و تغییر دانف (تابع تریب) و تابعی برای  $Re_{crit}$  به دست آورده.



کتاب = مدارهای پسیو Reem

روش تکرار (iterative) نتایج را در دسترس

حال باید مشخصه‌های را بدست آورد به transient رخ در همه و خواصم برایم در چه حالت transient

رخ فرکانس این روش به این روش ریاضی است

$$\frac{A}{A_0} = e^{\lambda}$$

$A_0$  دامنه نوسانات در نقطه متعین (neutral point) است

در نقطه متعین رخ افزایش دامنه (یعنی بعضی  $\alpha$ ) می‌باشد

$$N = - \int \alpha_i(x) dx$$

$A_0$  ثابت است بدین حال  $A$  می‌رود

$\bar{x}_0$  نقطه متعین است  $\bar{x} = \bar{x}_0$

$$a(\bar{x}) = \exp \left[ \frac{-U_{00} L}{\nu} \int_{\bar{x}_0}^{\bar{x}} \frac{\alpha}{U_e \delta / \nu} \frac{U_e}{U_0} d\bar{x} \right] \quad (I)$$

چرا تعریف  $\alpha$  را انجام داده است؟ تابع  $\alpha$  چگونه بدو آمده اما این تعریف روی اصول بوده

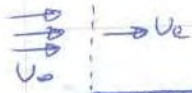
است

سوال  $U_e$  در صلا چه تفاوتی با هم دارند؟ وقتی جریان دارد حدود همان شده سرعت

آن صلا است اما وقتی روی یک سطح یا داخل جایی رفت سرعت آن  $U_e$  است



که ممکن است از هندسه تأثیر پذیرفته باشد.



برای B.C از صلا استفاده کن اما رابطه معادلات

N.S

$a(n)$  دارای عدد زوج است چون تابع تقویّت تعریف شده است  $(\alpha_1)$ . همچنین  $k$  را

وارد تعریف کرده چون  $n$  خواص عددی بعد ظاهر کنند با کوچکترین  $n$   $k$  تابع  $a$  بزرگ تر شود

سام شباهت با  $k$  است اگر قرار در داد  $\sqrt{x}$   $k$  و شکل رابطه بهم خود را

از نمودار مشاهده شده است که در فرکانس  $\omega = 24 \times 10^6$  و نیز سایر فرکانس ها

از معادله این به بعد تابع تقویّت خاص شده است و مشاهده کردیم که در جریان

تأثیر اغتشاشات دیده می شود و تابع رشد اصل خود را از دست داده است این معادله

را معادله  $Transient$  تعریف کرده است. دلیل این اتفاق به این صورت است که

چون وقتی جریان  $Laminar$  است اجازه رشد اغتشاشات را ندهد و اغتشاش

به دلیل ناپایداری جریان رشد کنند. اما وقتی جریان معکوس شد یک جریان پایدار داریم و رشد

انتقالات به اندازه‌ی جریان Laminar نیست.

کتابچه معدوده‌ی زیر در دست آمد:

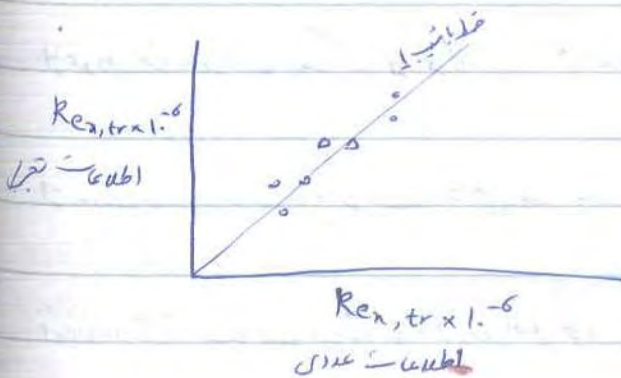
$$|na - N|, \quad 0.1 < N < 11.0$$

$$a = e^N$$

این روش  $e^N$  را تولید می‌کند. برای مصدقت  $a = e^{1.0}$  پس جریان تخمین تصیری

Transient را با  $a$  به دست آورد. در جدول (I) بجای  $a$ ،  $e^{1.0}$  قرار دهیم مصدوره

Transient به دست آید.



حجم نتایج عددی و تجربی

حل خط با تیب 1

میزب جمع کند نشان تصدی

مقدار  $N = 1.0$  معده برصندگت در اعداد جدول اول و دوم  
اعداد  $N = 1.0$  مقدار  $Re_{n,trans}$  در اعداد جدول اول

انطباق میزب نتایج است.

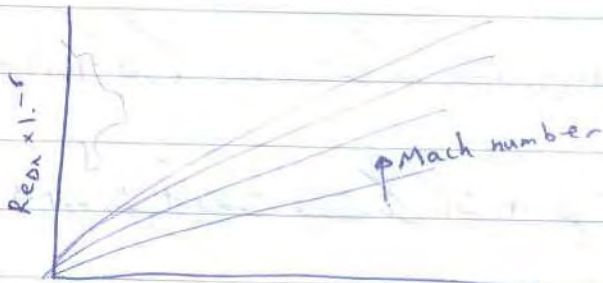
به شکل ص 189 shetz نشان فرده در جریان آب درون مصدقت

در  $Re_1 = 20000$  جریان پایدار است اما در  $Re_1 = 100100$  اغتشاشات

رشد پیدا کردن است.

طول ناحیه Transition

مردانیم که این ناحیه نسبت به نواحی laminar, turbulent کوچک است



$Re_{Dn} \times 10^{-5}$  at the end of transition

$D_n$  طول ناحیه گذار و  $u$  سرعت انتهای ناحیه گذار است

در عدد رانج با نتر طول ناحیه Transition افزایش فرماید

چرا؟ با افزایش سرعت مقاومت بیشتری در اثر اغتشاشات ایجاد فرماید چون جریان

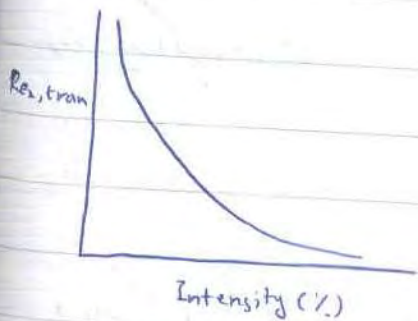
سرعت و ضخیم بیشتری دارد و در واقع ایجاد اغتشاش کوچک در جریان با  $Re$  بزرگ زودتر فرماید و چون  $Re$  بزرگ

② هر چه  $Re_{crit}$  افزایش یابد،  $\delta_n$  نیز افزایش یابد یعنی مقاومت جریان برای تبدیل

یعنی Mach افزایش یابد

در بخش 6.6.7 بحث شد با افزایش  $Re_{crit}$  کاهش میابد (هر چه  $Re_{crit}$  با افزایش  $Re_{tran}$  افزایش میابد)

Laminar - Turbulent  $\rightarrow$  بیشتره پس طول ناحیه Transient افزایش میابد



شکل مقابل تاثیر intensity را نشان

میده. اما آه جریان آزاد Intensity در

Intensity (%)

کاهش میابد intensity به  $U$  به مری و وابسته است؟

مثلاً اگر جریان از کنار یک صفحه تخت عبور کند جریان در توان امواج از طریق یک منبع را داشته

باشد. این امواج ناشی از لرزش نیست بلکه ناشی از منبع تولید سرعت است. پس

جریان اصل در توان امواج داشته باشد اما تا چیزی شده 1٪ یا 5٪ اما ممکن است این

سؤال در Review یک مقاله پرسیده شود باید چه پاسخی داد یک جواب این

است که بگویم آنت exp در قسم hot wire شده 1٪ یا 5٪ داده است

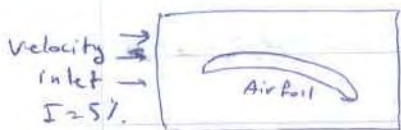
اما همه کارها در این بخش exp نیست. پاسخ دیگر این است که بگویم یک نت exp

داد مقاله X دیدیم که  $I = 5\%$  بوده و پاسخ دیگر این است که در literature survey

شکل نشان میدهد با افزایش  $I$  جریان در دفتر نفوذش میزند (یعنی  $Re_{crit}$  کاهش میابد)

من مشاهده کرده شده ۸ متر صحن I را در نظر گرفته اند.

- جریان خروجی از مجبب یک استعقلی زیاد دارد حتی بیشتر از ۱۰٪ باید توری اوی های



بزرگ را در شکسته I را کم کرده

در کتاب از I با عنوان  
background distribution  
یعنی انتظارات  
تعمیری جریان

در مورد امتحان: دو بخش دارد open, close

شده در بخش close: تأثیر I (در جریان Air foil) از روی Re بد

فاکتوری که برای تعریف انواع ورودی جریان در نظر گرفته شده Re vorticity است.

$$Re_{vort} = \frac{(\partial u / \partial y) y^2}{\nu}$$

در مقدار فوق هم اثر تغییر سرعت را در این هم از تغییر ارتفاع را

با هم یک فرآیند (که در نظر کلید است) Re trans را بر حسب intensity بیان کرده

$$\frac{9.86}{Re_{crit, trans}} = 1.0 - 0.049 \lambda + 3.36 Re_{crit, trans}^{-1/2} \left( \frac{U^2}{\sigma_e^2} \right)$$



نمودار این صنف قبل از گذار به نشان می دهد برای  $Re < 2300$  به زیرک است و به صورت (همانطور)

نمودار برای صنف قبل از این نشان دارد

در کار جدید این نشان را ثابت کرد (تغییر رنگها با زبری) عدد  $Re = 120$  را

مردمان برای کارهای انتقال به آن نیز استفاده کرد. زیرا اثرات هیدرولیک های دیگر

نیز بدست آمده است <sup>①</sup> قبل از  $Re = 120$  میزان اثرات زبری مشهود نیست و البته

نمودار پایین صنف قبل از صنف بود (k) یک صنف را نشان می دهد یعنی

بعد از آن مشهود است. البته یک صنف خاصه در این صنف مانند اثرات زبری باعث تغییر  $Re$  آن نشود.

سؤال ۱ چرا  $Re < 120$  تاثیر زبری احساس نمی شود؟ علت آن است که

در  $Re < 120$  ناصیه  $laminar sub-layer$  دارد ناصیه منقوش در حد زیر لایه

یعنی تا  $Re = 120$  جریان تاثیر زبری را حس نمی کند.

② با افزایش جریان فشار  $Re_{crit}$  کاهش می یابد (مثلاً در صورت آوردن در مورد پاراگراف)

③ نکته سوم نمودار چرا  $Re > 1200$  جریان فشار تاثیر هیدرولیک زبری ندارد؟

علت سؤال این است که اثر زبری مهم تر است یا اثر جریان فشار؟ اثر زبری

مهم تر است چون lateral به وجود می آید اما جریان فشار در جریان اصلی

$Re_{crit, trans}$  rough

$Re_{crit, trans}$  smooth

کمتر شود

۱

$Re_{crit}$

در آن  $k$  یا زبری است





در جریان معشوش آرام نیروی دگ اصطکاک افزایش می یابد (چون سطح تماس با مایع بیشتر می شود) در حین و اینتر سطح در جابجا به نسبت حرکت آرام - و جریان شدید جریان نیز می شود (شماره ۱۸-۶) دگ فشاری کاهش می دهد را دارد. (از نگو ۰.۱۵ تا ۰.۲۵ که در معشوش کمتر از آرام است)

طبقه بندی (۵) (ضریب دگ)

اصطکاک دگ	}	Induced	کاهش
		Form	ناشی از شکل

تمرین: مفهوم دگ با آن را بیان کنید [روی دو شکل مختلف مکتوب این ها جدید است]

سؤال: در صورت های کم کدام دگ هم تراست؟ اصطکاک، چون سیال تماس بیشتری

با سطح دارد و مقاومت اصطکاک بیشتر از مقاومت فشاری است. اما اگر شد جریان

با بپ داشتیم دگ فشاری بیشتر بود پس دگ فشاری به ذات سیال و نوع جریان وابسته

است

در شکل قبل با افزایش Re هم دگ فشاری بر دگ اصطکاک غلبه می کند هم جمع می

شود آن ها کم می شود. چرا؟ هر چه Re بیشتر شود مستقیم جریان بیشتر می شود و این افزایش

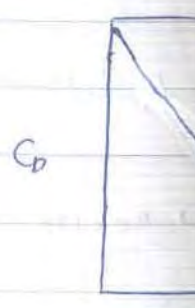
مستقیم باعث افزایش مقاومت می شود. پس نیروی دگ (مقدار برای است خودت که

از خود بیرون آمدی) در یک محدوده افزایش می یابد پس کم می شود بعد از آن دارد

نمودار

نمودار معنی از تصدیق

Bluff Bodies



$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2} \rho v^2 A}$$

فشاری در هر دو طرف هم متفاوت است  
 کتابت - تصدیق  
 Co کاهش می یابد  
 در کم تر از ۰.۱۵  
 نوعی نمودار

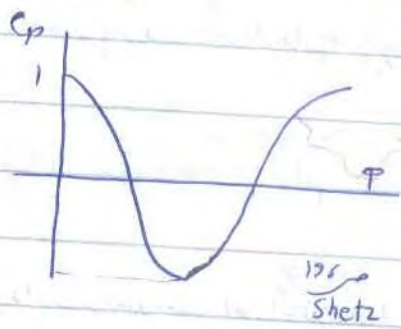
رئیسری معشوش رسم

(۱۲) بخش ۱۵

دریم مقوش و شوم که دوباره بیزدی درک اقرایش فرمایید. در یک مصدر هم همانظوره

که از شکل دیده میشود مقدار  $C_p$  تقریباً ثابت است. وقتی مقادیر سیال با اقرایش  $Re$

کم تر شود به جایی میرسیم که ناپایداری ها نامعینی  $Transient$  را هم وجود ندارد.



توزیع فشاری که در سرعت های کم در  $Re$  های مختلف

نودار نشان میدهد با اقرایش عدد  $Re$  مقوش  $C_p$  کم تر شود. همین نمودار نشان میدهد ضرب درک قاری در مقوش  $C_p$  نسبت کمتر از ضرب  $C_p$  با اقرایش  $Re$  قدرتی سیال برای غلبه بر ناپایداری ها بیشتر میشود. اما وقتی در  $Re$  بالاتر

هم زاویه جدایش تغییر کرد (از 82 به 120) و هم اینکه حداقل ضرب فشار وابسته  $Re$

تغییر کرده است. پس با اقرایش عدد  $Re$  هم محل جدایش به تعویض افتاده هم حداقل  $C_p$

بالاتر است. با اقرایش  $Re$  درک اصطلاح هم زیاد تر شده که مقوش درک نشان میدهد است که مجموع درک ها کم تر باشد.

و بحث اقرایش - چگال جریانات چندان

موضوع: +  
ابتدا یک  
گرایش به این  
در گرایش  
مثل جایی  
اگر سیال  
 $\frac{dp}{dy}$   
بیرد  
 $\frac{du}{dy}$   
سوال  
یا با پای

ابتدا یک عدد به نام  $Ri$  (ریچاردسون) را تعریف می‌کنیم (نسبت نیروهای

گرانش به اینرسی)  $[Re \text{ نسبت نیروی اینرسی به لزجت است}]$

$$Ri = \frac{-g (d\rho/dy)}{\rho (du/dy)^2}$$

در گرانش دانسته اهمیت دارد زیرا تغییرات دانسیته پیوسته به واسطه تغییر گرانش است

مثل جایگزینی لایه‌های هوا که لایه‌های سردتر پایین تر قرار می‌دهند باعث ثبات مثل و

اگر سیال غیر قابل تراکم باشد  $Ri$  بر مبنای  $Ri$  برای سیال قابل تراکم مهم است

$\frac{d\rho}{dy}$  معمولاً منفی است و با وجود منفی در  $Ri$  عددی مثبت می‌شود. چنانچه موج حوض

نیروهای اینرسی است و  $(\frac{du}{dy})^2$  تغییر سرعت روی سطح را در نظر می‌گیرد. در نقطه جویان

$\frac{du}{dy}$  صفر است و  $Ri$  مثبت بی‌حایث می‌شود پس  $Ri$  (ریچاردسون) عددی مهم است

سوال) اگر نسبت نیروی گرانش به اینرسی اقرانش بلبه گرانش باعث پایداری بیشتر شود

یا ناپایداری بیشتر؟ اگر اثر گرانش را زیاد کنیم باعث می‌شود منحل از ناپایداری ها damp



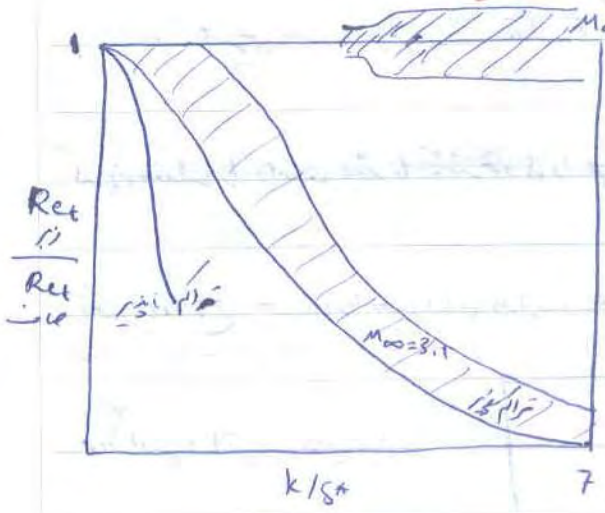
تاریخ: / / شرح: / /

توربولانس یعنی آشفته

← بیان ریاضی unstable چه تعدادی  $Re$  و  $Re$  داریم و مقدار  $Re = \frac{1}{24}$  بحرانی

را هم بیان

تغییر رژیم جریان از تراکم نا پذیر به تراکم پذیر و مقابله جریان های sub-sonic و super-sonic و hyper-sonic



خط تراکم نا پذیر قشره شوی

موردی است که ذیل عنوان اثر

زبری سطح داشته

نکات: در جریان  $Ma = 5.8$

تعداد تجربی است

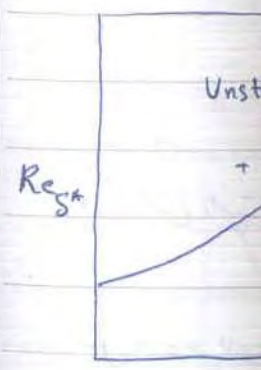
تأثیر زبری تقریباً ناچیز است پس در مایع های با ویسکوزیته کم تا تأثیر جدانی روی  $Re_c$  ندارد

(مقدار  $\frac{Re_c}{Re_{کلاسیک}}$  تقریباً برابر 1 با افزایش زبری باقی می ماند) پس در مایع های با

برداشت سطوح در مسیر کاری تأثیر جدانی به وجود نمی آید زیرا اینرسی ماسه ای افزایش

در صورت افت فشار در مایع

stable است



$Re_c < \frac{1}{24}$

حدودیت خود را بر مایع

در مایع های با ویسکوزیته کم

در  $Re$

unstable

سانت و جریان

سرعت آندره زیاد شود که همان سطح را درک می کند!

با افزایش عدد مایخ ضحامت  $Re$  برای کم دینور یا زیاد می شود؟

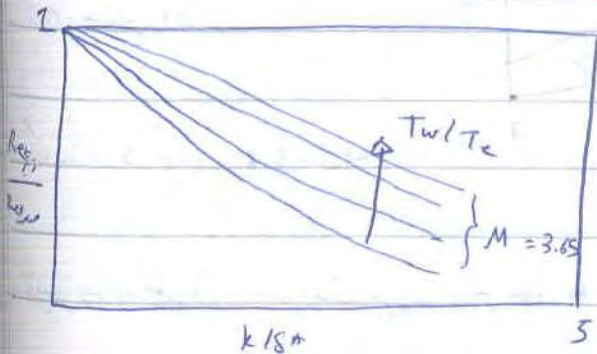
کمتر شود زیرا اثرات لزجت به حد قابل فرود نمی آید  $Re$  اینجا سطح کرد

(با افزایش  $Re$  ضحامت  $Re$  برای زیاد می شود چون  $Re$  به طول وابسته است) با افزایش مایخ

در حالت انفری غالب اثر لزجت  $Re$  که کمترین مقدار خود می رسد در ضمن دقت  $Re$

کمترین مقدار را داشته باشد تا تاثیر خود را نمی بینیم چه برسد به انفری

تغییر عدد مایخ حرمان با تغییر دمای دیواره و انفری



قبه کنیم با افزایش دمای دیواره

$Re_x$  کاهش می یابد این جا با

افزایش  $T_w/T_e$  معرر حید

افزایش یافته است این تناقض نیست؟ در قیمت بحث قبل در حد  $Re_x$  را

داشتیم اینجا  $\frac{Re_{t,i}}{Re_{t,e}}$  است پس اگر کم از یک شود هر دو  $Re_{t,i}$  و  $Re_{t,e}$  برابرند

صاف زیاد تر شود و غیره هر دو تغییر کند و هم گذشت. نکته دیگر اینکه  $Re_{t,i}$  با

یک زبری ثابت منجمله شد است و در مطالعه اثر زبری بر توان  $Re_{t,i}$  را گذاردند است.

شماره 6.20 مربوط به انتقال عدد  $Re_{t,i}$  کاهش یافته

شماره 6.21 مربوط به انتقال دیواره در  $Mach$  ثابت کاهش  $Re_{t,i}$  در سرعتهای انتقال  $Re_{t,i}$  را بماند

که  $T_w/T_{aw} > 0.6$  است  $T_w/T_{aw}$  است شماره 6.22 مربوط به انتقال

مقادیر کمتر  $0.6 < T_w/T_{aw}$  این نکته تا  $M=4$  صحت دارد و برای مقادیر بزرگتر

$M > 4$  سرایش نه تنها باعث انتقال  $Re_{t,i}$  (یعنی انتقال پایدار) نمی شود

بلکه باعث کاهش پایدار است



در اینجا  $Re_{t,i}$  را

Wall Bounded

فصل دوم

Incompressible external flow

جریان مغشوش خارجی

مقدمه: اهمیت موضوع

بیشتر جریان های واقعی آشسته اند و برای شناخت آن ها لازم است که بدانیم فریزک در متن

از یک سوراخ یا آنتان سیالان را درک کنیم. در این فصل خواص مثل چگالی، انبساط در نظر می آید

و فرض می کنیم جریان به صورت نیم بی نهایت است یعنی یک طرفش محدود است مثل این

نکات مهم برای ما بدست آوردن ضرایب مثل اصطکاک، درک و ... است.

عمودت محادلات تجربی برای ما کار سازند. فرض کنید در ابتدای امر

$$\frac{dP}{dx} = \frac{dU_e}{dx} = 0$$

با نفاذ کار را شروع می کنیم. اهمیت هندسی ندارند اما با این ایدوها بررسی جریان مغشوش

شروع شده است. عمودت در لایه مرزی  $\frac{1}{4}$  را بر حسب  $\frac{1}{8}$  رسم کردیم. آیا این

ترسیم میشد خواهد بود؟ گفایا از بخت حاضر defect law (مانند کاسی)

آشسته در  
لام.  
b.  
 $\frac{u}{U_e} \gg \frac{y}{\delta}$   
برای  
جریان مغشوش  
اولین ایدو

برای خود را  
عین سیال بود  
در این دوام  
شادوت در  
این است  
عمودت متن  
دیده برد



Wall function (قانون دیوار) حاصل خواهد شد از تعریف میسرین جریان

آنگونه می دانیم برین دو جریان به صورت زیر است:



اولین این دو بر روی جریان آنگونه را دو قسمت کنیم: قسمت اول که  $y \gg \delta$  است یک لایه

برای خود داشته باشد و قسمت دوم لایه دیگری داشته باشد ( $\mu_2$ ) - این دلیل بر سیال

همین سیال با ویسکوزیته  $\mu_1$  و  $0.05 \leq y/\delta \leq 1$  و ویسکوزیته پایین  $0.05 \leq y/\delta \leq 1$

در این دو ناحیه دو رفتار کاملاً متفاوت از خود نشان می دهد. سؤال که این جا مطرح می شود

شماره  $\mu_1$  برین آرام و معشوش است برین سرعت آرام ( $\mu_2$ ) بر حسب  $\mu_1$  و  $\mu_2$  تغییر  $R_e$  در محل دیوار سیال

این است که  $\mu_1$  بزرگ تر است یا  $\mu_2$ ؟ تفاوتی برای برین احساس نمی شود اما در جریان معشوش این تفاوت

برای تغییرات موارد (بسیار کم) (شکل ۷-۵)

علاوه بر این برین اعمال شده در سطح پایین با تغییر سرعت زیاد می (یعنی  $\mu_1$  کم است

در  $\mu_1$  بزرگ تر است زیرا در ناحیه ۱ در این سرعت شدید می ایجاد کنند که این نشان دهنده

Wall B  
Incomp

برای این میسرین در

در این لایه در نظر می آید

است

$$\frac{dP}{dx} = \frac{dU_c}{dx}$$

در این جریان معشوش

در  $\mu_1$  کم است

در  $\mu_1$  کم است

مقاومت کمتر سیال است

$$\tau_{شش\ نصی\ 1} = \tau_{شش\ نصی\ 2}$$

$$\mu_1 \frac{\partial u_1}{\partial y} = \mu_2 \frac{\partial u_2}{\partial y}$$

باید  $T_1 = T_2$  در لبه‌ی مشترک این دو ماده باشد. در غیر این صورت سیال در این لبه لغزش

دارد. فرض می‌شود اگر  $0.05 < \frac{y}{\delta} < 0.5$   $\mu_1$  سطح است و اگر  $0.05 < \frac{y}{\delta} < 0.5$   $\mu_2$

$\mu_2$  سطح است. جریان نصی 1 (جریان این) low viscous است در جریان نصی 2

(جریان این) high viscous می‌باشد. البته وقت شود در واقع جریان تغییر لزجت نمی‌دهد

و ما داریم این فرض را در کنار

مسئله (مشکلات فرض فوق چیست؟)

آرزوی سطح تغییر کند آیا برینل سرعت عوض می‌شود؟ در جریان آرام چندان برینل

عوض نمی‌شود اما در جریان آشفتگان که تغییر کند شکل برینل سرعت عوض می‌شود

برینل سرعت

به پارامترهای

عوض می‌شود

$\frac{y}{\delta}$  و  $\frac{y}{\delta}$

گردد

یک meter

تعریف کردیم

در جریان آرام

جابجایی با هم

بعد از سال

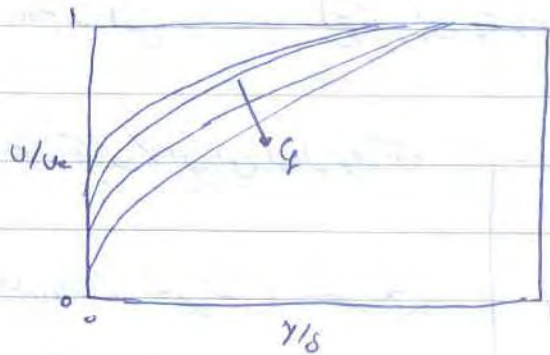
برعکس

برینل سرعت جریان آرام فقط به ارتفاع وابسته است اما برینل سرعت جریان مفتوش

به پارامترهای دیگری مثل  $\phi$  وابسته است و با عوض شدن  $\phi$  برینل سرعت مفتوش

عوض می شود. اولین شکل این اتفاق غیر قابل پیش بینی شدن جریان است یعنی با داشتن

$\frac{y}{\delta}$  و  $\frac{u}{u_e}$  باید به ازای هر  $\phi$  یک برینل سرعت سطحی کرد پس  $\phi$  وارد اتراف



نشود در جریان لامینار

یک shape parameter

تعریف کردیم:  $\frac{\delta^*}{\theta} = H$

در جریان آرام و روی صنفه تخت  $H = 2.6$  است. یعنی منحنای مستقیم و منحنای

جایگزین هم ارتباط دارند. این ارتباط در جریان آشفته دیگر برقرار نیست. یک راه حل که

در جریان آشفته  $H$  به  $\phi$  وابسته است پس  $H$  برای هر  $\phi$  متفاوت است پس برینل

بعد از سال ها پیدا شد این بود که از سرعت گامس استفاده کنند. پس دیگر لازم نیست

بر حسب  $\frac{y}{\delta}$  اطلاعات کامل از سرعت نمی دهد. برای رفع مشکل عدم یکنواختی جواب ها

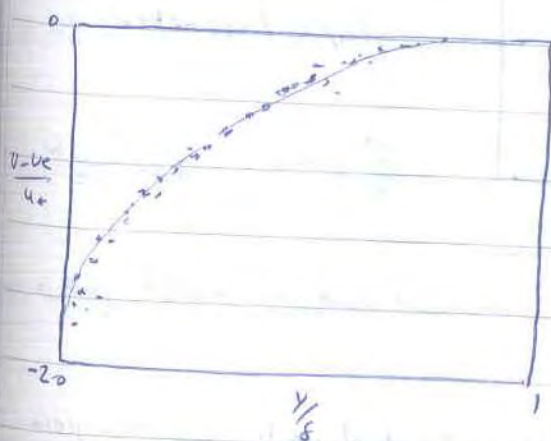
در این دیگرام پیشنهاد می شود محور عمودی را بر حسب  $\frac{U}{U_0} - 1$  نمایش دهیم که بازم

شکل را حل نمی کند پس گفته شد  $\phi$  را وارد نمودار کنیم. در این حالت تعریف  $U_0$  را باید وارد کنیم

$$U_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon}{\rho}} = \sqrt{\frac{q \cdot \frac{1}{2} \rho U_0^2}{\rho}}$$

حالا محور  $\gamma$  را  $\frac{U - U_0}{U_0}$  نامگذاری می کنند. این قانون کلاسی است که بدین تغییر  $\phi$  در

عدم انحرافی جواب حاصل می شود. پس  $\phi$  را در محور عمودی لحاظ کردیم



نحوه آمیید کار این این نمودار بر اساس

اطلاعات تجربی است. محور  $\alpha$

این دیگرام کلاسیک است. مشاهده

کردند در تئوری دیواره جواب ها را

unic نکرده است و اما در فاهدی نور از دیواره پانچ ها خوب است. پس نمودار

فق universal نیست. پس defect law زیر عنوان رفت. اما نظریه

$\alpha$  کلاسیک بود این آغاز

قانون کلاسی

این قانون با ترفند تغییر

حاصل شد. حال تعریف

دیواره هم حل شد و باید

و نتیجه گرفته شد بعد

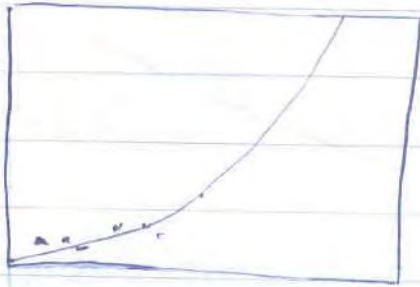
محور  $\gamma$  را  $\alpha$  صورت

حاصل کردیم

در واقع تعریف  $\gamma$

این است که  $\gamma$

این کارتمین بود این اتفاق نمی افتاد



$$(U/U_e - 1) / \sqrt{y/2} = (U - U_e) / u_{*}$$

$$(U - U_e) / u_{*} = f(y/\delta)$$

قانون کاسی

این قانون با فرقه تغییر  $y$  اثر  $\delta$  را وارد کرد. تابع دیواره برای رفع شکل قانون کاسی

طرح شد. حالت توی  $\gamma^+ = \frac{\gamma u_{*}}{\nu}$  را مطرح کردیم. و بعداً مشاهده شد که شکل توی

دیواره هم حل شد. و با منبع ها در نزدیکی دیواره خوب شد پس تغییرات را در  $x$  نیز وارد کردند.

و نتیم کردند. بعد مطرح شد که ارزشی ندارد در مصدر  $y$   $\frac{U - U_e}{u_{*}}$  را لحاظ کنیم و

مصدر  $U$  را  $u^+ = \frac{U}{u_{*}}$  مطرح کنیم. پس در قانون دیواره  $u^+$  را بر حسب  $y^+$

مطرح کردند

در واقع توی  $\gamma^+$  از دامنه  $Re$  در  $\delta$  می آید پس این سطح نزدیک inner region در حدار منطقتی خاصه

است.  $10^3$  است و  $10^4$  حد  $\delta$  می شود برای سطح  $\delta$  در  $Re$  در  $10^5$  است

این حد که با هم

باید وارد کنیم

$$u_{*} = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$$

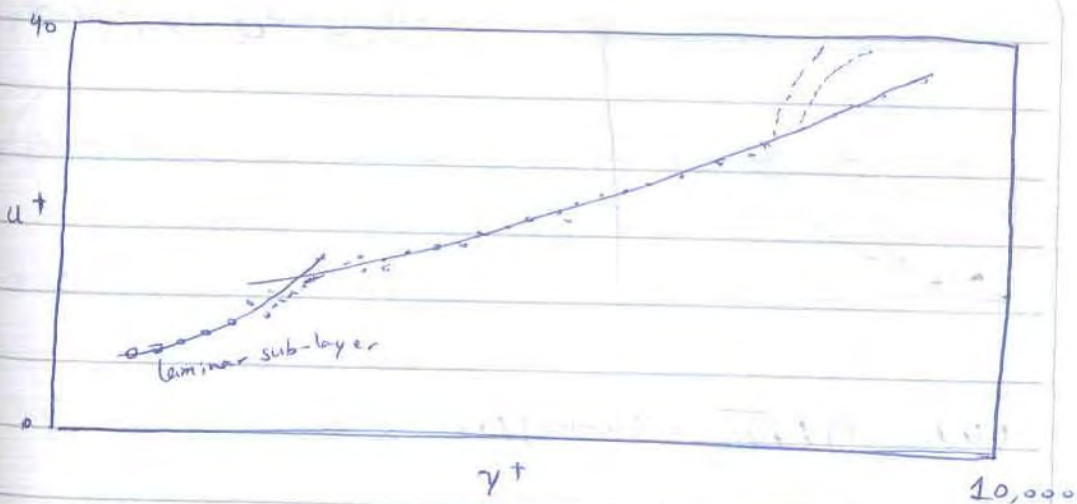
که به این تغییر  $\delta$

حفاظ کردیم



توی است. پس نمودار

منوال رفت. اما از قانون



$$U/u_* = 9(\gamma^+)^{1/4}$$

$\gamma^+$

10,000

کانتین دیراوی

دقت شود  $\gamma^+$  از صورت  $U/u_* = 9(\gamma^+)^{1/4}$  تغییر کرده است.  $\gamma^+$  از 10000 تغییر کرده است.

این کرافت در لایه لایه مرزی یعنی مدل متلاطم را نشان میدهد. بعداً تابع برای

laminar layer، viscous، Butter layer، و بستر آم

**تمرین 1:**  $\gamma^+$  را چگونه اندازه گیری می کنند؟ در نرم افزارهای تجاری مثل Fluent

چگونه اندازه گیری می شود؟

**2:** در چه محدوده ای از  $\gamma^+$ ، wall func. به ارزشش است؟ کجا باید

small func. به نفع کرد؟ و کجا نباید؟

بنا بر این با تغییر

سوال احاطه ما

استدلال باید بود

در این حالت

یعنی با چه عددی

تراکم پذیر

راحت

**تمرین:**

سوال چرا

در نظر گیری

پس  $\frac{20}{\gamma}$

با بر این با تغییر محور ها یا سطح های  $u_{unic}$  آوردیم.

سؤال احوال ما اگر بخواهیم تابع بدی دیواره را حدس بزیم چطور این کار را انجام دهیم؟

ابتدا باید به دو نکته اشاره کرد. ما در خواص جریان را با شرط عدم لغزش حل کنیم

در این حالت  $u' = v' = w' = 0$  در چه حالتی شرط  $no-slip$  نقض در میورد؟

در واقع در تکی دیوار  $plate$  کامرند و در لبه بیرونی دیوار

یعنی با چه عددی می توان شرط عدم لغزش را در نظر گرفت؟ برای جریان های غلیظ

تراکم پدیده های میکروسکیل ها و ماکروسکیل ها این کار را بر اساس عدد نادرسن ( $Kn$ ) انجام

راصد.

تقریب: سؤال ما.

سؤال) چرا  $\frac{\partial T_w}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0$  است! اگر حرارتی جریان آرام یا آشفته را

در نظر بگیریم هر نقطه اتصال به سطح یک نقطه عطف است. یعنی  $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$  در  $\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = c$

پس  $\frac{\partial T_w}{\partial y} = 0$  اما از نظر فیزیکی ما با فرض  $\frac{dp}{dx}$  شروع کردیم. فرض کنید تعدادی



$U/u_{\infty} =$

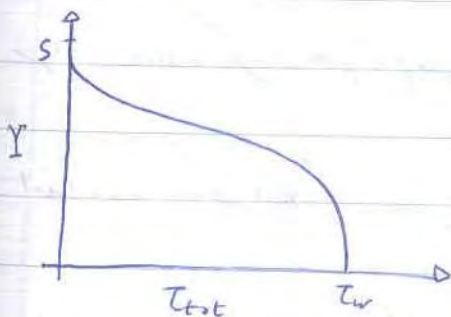
تغییر دانه آب

تابع برای

Fluent حل

ت! کتاب

گارت روی صم باشند اگر گارت بالای کشیده شود گارت های پایین جداان تغییر موضع



من دهند

با این دو نکته حل مسئله انجام می شود

در ناحیه نزدیک دیوار  $\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} = \tau_w + \rho \nu y$

منظوره از نزدیک دیوار، لایه laminar sub-layer است که تقریباً  $1/11$  کل

ضخامت لایه مرزی است.  $\tau_w$  تابع  $y$  نیست چون  $\frac{\partial \tau_w}{\partial y} = 0$

$$\int_{u(0)=0}^u U = \frac{\gamma \tau_w}{\mu} \quad \tau_w = \mu \frac{\partial u}{\partial y} = \mu \frac{U-0}{y-0} \rightarrow U = \frac{\gamma \tau_w}{\mu}$$

در حالی  $\tau_w = \rho u_*^2$  را جایگزین می کنیم چون در خواص شکل نوشتن را به شکل  $\tau_w = \rho u_*^2$

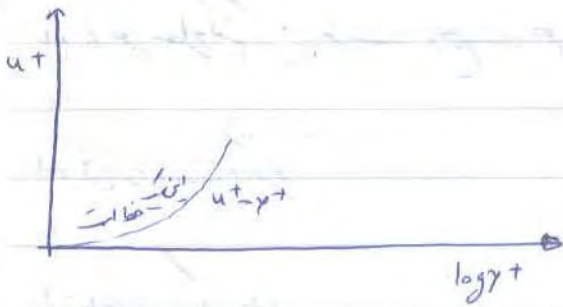
نزدیک کنیم. در ناحیه laminar sub-layer همانطور که نمودار  $u^+ = y^+$  نشان می داد

ناحیه خطی داشتیم چرا؟

$$U = \frac{\gamma \tau_w}{\mu} = \frac{\gamma}{\mu} \cdot \rho u_*^2 \rightarrow \frac{U}{u_*} = \frac{\gamma u_*}{\nu} \rightarrow u^+ = y^+$$

به شکل ۴-۷-۵ در حالی که شکل نشان می دهد این در ۵-۷-۶ برقرار است یعنی  $1/11$





گراف نشان در حد نزدیک

دیواره یک ناصیه خطی خواص

دارد

ناصیه بعد از این خط ناصیه که گاهی نام دارد. چرا به این ناصیه چنین نام داده اند؟ از کجا

در ناصیه یک تابع که گاهی برای این ناصیه حکم است؟

در واقع defect law را برای هر ناصیه پیشی داده بر طبق بند که inner-layer یک ناصیه داخلی است و ضمیمه

که دارد و در نزدیکی  $y=0$  می شود  $\frac{U - U_e}{u_*} = f(\frac{y}{\delta})$  قانون گاستی

این تغییر در این لایه چندان حس نمی شود بنابراین تابع  $u^+$  را دیگر به صورت تابع از  $y$  نمی نگرند و جمع در این ناصیه  $\delta$

اهمیت کم دارد پس ما فرض می کردیم  $Re$  یک  $\frac{U}{u_*} = g(\frac{y u_*}{\nu})$  قانون دیواره

بزرگتر چون عدد رینولدز  $\frac{y u_*}{\nu}$  تقریباً ثابت می ماند بنابراین قانون دیواره برای outer-layer هم صدق می کند و قانون دیواره

با  $u^+$  برابر  $\lambda$  laminar sub-layer و پایین تر از لایه مرزی هر دو قانون بالا باید

برای inner-layer هم صدق کند بعد از آن طبق بند که در ناصیه نزدیک دیواره Fluctuation ها وجود می آید این ناصیه

یک تابع را هم ما معرفی کردیم

یک ناصیه پهنه آرام است تا ناصیه توربولانسی  $\frac{U}{u_*} = f(\frac{y}{\delta}) + \frac{U_e}{u_*}$  قانون گاستی

در این ناصیه با فرض تغییرات  $u^+$  متناسب با تابع

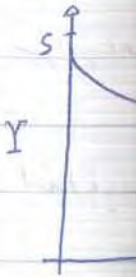
$u$  را به دست آورده که این تابع در نزدیکی  $u^+$   $\frac{U}{u_*} = g(\frac{y}{\delta}, \frac{\delta u_*}{\nu})$  قانون دیواره

این است پس با این یک تابع که گاهی برای این دو شکل قانون دیواره را می توانیم به صورت  $u^+$  برای

ناصیه inner و outer هر یک تابع که گاهی برای هر یک inner+outer می توانیم به دست آوریم و البته چون

در لایه نزدیکی این تابع با فرض سازه های جدید می توانست برای این ناصیه از تابع wake استفاده شود

میزان تغییر موقع



$\tau = \dots$

۱۷٪

$$\int_{U(y)=0}^U u$$

Wall function

نشان در داد

$$u = \frac{y u_*}{\nu}$$

برای این  $u^+$  می توانیم

باید تابع سطح نفوذ در این فرم درج با هم شوند باشند تابع لگاریتمی سطح نفوذ به فرم

باید این را ثابت کرد

این سه چند نکته دارد

$$\frac{U - U_e}{u_*} = A \log \left( \frac{y}{\delta} \right) + B \quad (A)$$

$$\left( \frac{u}{u_*} \right)^2 = \left( \frac{y}{\delta} \right)^{2A}$$

$$\frac{U}{u_*} = A \log \left( \frac{y u_*}{\nu} \right) + C \quad (B)$$

B و C مستقل از ادا جرافت این لگاریتم بیان است (A) در واقع

$$B + \frac{U_e}{u_*} = C$$

$\frac{y u_*}{\nu}$  است این را در لگاریتم تبدیل  $\log y - \log \nu$  لگاریتم بیان کرد

در واقع معادله (A) برای  $5 < y^+ < 30$  و معادله (B) برای  $y^+ > 30$  برقرار است

بعضی لبه های A مقدار  $k$  را قرار می دهند پس در معادله laminar sub-layer

یک معادله خطی در نواحی Buffer layer و fully Turbulent

لگاریتمی برقرار است اما یک نصف نزدیک به فرزی با این تابع تطابق خوبی ندارد

$$\frac{U}{u_*} = A \log \left( \frac{y}{\delta} \right) + B + \frac{U_e}{u_*}$$
  
$$\frac{U}{u_*} = A \log \left( \frac{y}{\delta} \right) + A \log \left( \frac{\delta u_*}{\nu} \right) + C$$

یک تابع با هم

علت تغییر تابع

ها تغییر یافته

در مقدار با

حالتی

یک تابع بانام تابع دیواره مطرح شد برای این امر:

$$\frac{U/u_* - (\frac{1}{k} \ln(\gamma u_* / \nu) + c)}{U_e/u_* - (\frac{1}{k} \ln(5u_* / \nu) + c)} = \frac{1}{2} W(\gamma/\delta)$$

wake ↓  
تابع

Coles proposed that:

$$W(\gamma/\delta) = 2 \sin^2(\frac{\pi}{2} \frac{\gamma}{\delta})$$

علت تعریف تابع سینوسی روی لبهی لبه‌ای مزری: چون روی لبه‌ی مزری Flactuation

ها تغییر کرده و لبه‌ی لبه‌ای مزری به صورتی در رسم کشیم نیست.

$$\rightarrow \frac{U}{u_*} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{\gamma u_*}{\nu}\right) + c + \frac{\pi}{k} W(\gamma/\delta)$$

$$\pi = -k B/2 \quad B = -2.5 \quad \pi = 0.51$$

دو مقدار بالا پارامترهای wake هستند

بجای تعریف کل را برای جریان آشفتار قرار می‌دهیم:

$$\frac{U - U_e}{u_*} = A \log\left(\frac{y}{\delta}\right)$$

$$\frac{U}{u_*} = A \log\left(\frac{y}{\delta}\right) + B$$

در واقع

در تغییر داری

ایمان کرد

closure pro

laminar sub-lay

Bully Tu

تطابق خوب نیست

$$\frac{U}{u_*} = A \log\left(\frac{y}{\delta}\right) + B$$

$$\frac{U_e}{u_*} = A \log\left(\frac{y}{\delta}\right) + A + B$$

### 1) The laminar sub-layer

length scale :  $\nu/u_*$

velocity scale :  $u_*$

$$(y = \frac{y_*^2}{\nu})$$

یعنی order سرعت در این ناحیه  $u_*$  است

### 2) The Inner region

length scale :  $y$

velocity scale :  $u_*$

### 3) The outer region ( Fully Turb., Buffer 70% )

length scale :  $\delta$

velocity scale :  $U_e$

### 4) Super layer

این ناحیه در 1952 ایجاد شد. یک سطح برخوردی بین سیال نفوذی و غیر نفوذی. سرعت در این ناحیه

length scale :  $V_0$       entrainment velocity      و شبیه بانج ورودی

Velocity scale :  $10V/V_0$

آزاد به ناحیه مزج است

$$V_0 = U_e \frac{d}{dx} (\delta - \delta^*) \quad \text{Kovaszny (1967)}$$

مقادیر (15) و (1)

و جابجایی

Fit کردن

$C_p$  ضریب در

این دو روابط

اثر زبری

در محدوده

نشان دهنده

نوعی

در

$$\frac{U_e}{u^*} = A \log \left( \frac{\delta u^*}{\nu} \right) + C - B$$

مقادیر (15) و (10) کمترین و بیشترین  $\delta$  و نتایج سرعت اصطفاکی

$$\sqrt{\frac{2}{f}} = A \log \left( \frac{\delta u^*}{\nu} \right) + C - B$$

$(Re_x \sqrt{\frac{f}{2}})$

$$f = 0.0456 (Re_x)^{-1/4} \quad \text{Pit کردن داده های تجربی (تقریباً  $Re_x \sqrt{\frac{f}{2}}$  مقاربت)}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 4.15 \log (Re_x \sqrt{f}) + 1.7$$

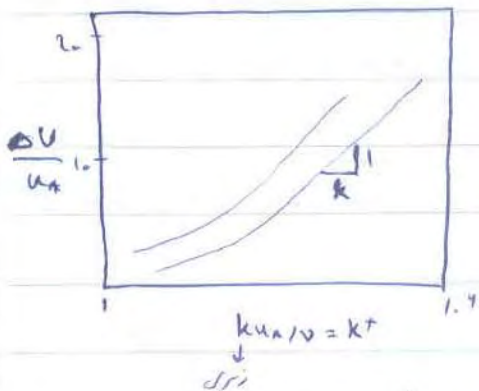
$C_D$  ضریب درگ اصطفاکی است

$$C_D = \frac{0.427}{(\log(Re_x) - 0.407)^{2.64}}$$

$$C_D^{-1/2} = 4.13 \log (Re_x \sqrt{C_D})$$

این دو روابط کار بردی هستند

اثر زبری



در محدوده  $k^+ < 10$  شیب خط ثابت

در محدوده ای نشان برنده  $A$  ضریب تبخ و  $\nu$

زبری همگروه مستقیم روی  $\delta$  (Inner-by laminar sublayer)

در محدوده مستقیم اثرایش  $\delta$  در  $\delta$  outer اثر زبری در

1) The law

length scale

velocity scale

2) The inner

length scale

velocity scale

3) The outer

length scale

velocity scale

4) Super layer

سرعت در این لایه

length scale

Velocity scale

$$V_0 = U_e \frac{d}{\delta_n}$$

ثابت است و به زبری وابسته نیست. پس در حالت مختلف باید  $\beta$  را به دست آورد.

A نقطه - نقطه وابسته است.

1) صفت بدون زبری را در نظر بگیریم که گفته smooth است. اگر یک مقدار کمی زبری

زیاد شود روی جریان معشوش تاثیر کمی ندارد. تا کجا تاثیر زبری زیاد نیست؟

2) زبری را چگونه مدل کنیم؟ تاثیر خود را در روابط بنماید.

اگر  $k^+ < 5$  تاثیر زبری ناچیز است. اگر  $10 < k^+ < 12$  تاثیر زبری زیاد است و

$\lambda$  laminar sub-layer را از بین می برد. مثلاً جریان انتقال ساختمان های کوچک را

حس نمی کند و ساختمان های بزرگ روی جریان فراتر از یک لایه مثل زبری

1) افزایش زبری  $\epsilon$  افزایش می یابد. با افزایش  $\epsilon$ ،  $u_e$  نیز مطابق  $\frac{u_*}{u_e} = \sqrt{\frac{c_f}{2}}$  افزایش

می یابد. یعنی  $y^+$  افزایش  $(y^+ = \frac{y u_*}{\nu})$  و  $u^+$   $(\frac{u}{u_*})$  کاهش می یابد.

→  $\lambda = 20$

موضوع: Plactohi

موضوع: ~~موضوع~~

قبل از تقسیم که آن

حالت با روابط

در واقع نرم

قبل از ادامه

در معادلات

مبحث جدید

قبلاً گفتیم که آنکه لایه مرزی مخصوص دارای دو لزجت است. یکی  $\nu$  و دیگری  $\nu_2$ .

حالا با روابط ریاضی خواهیم تصمیم بگیریم آیا این فرض واقعاً درست است یا خیر

در واقع نرم‌های جریان آشفته را در خواصم بررسی کنیم

$$N.S \text{ معادله: } \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$\text{با تعریف: } u = \bar{u} + u', \quad v = \bar{v} + v', \quad p = \bar{p} + p'$$

قبل از ادامه باید یک سری اصول ریاضی را قبول کنیم و سپس کار را شروع کنیم

$$p = \bar{p} + p' = F + p'$$

در معادلات RANS

$$1) \overline{p \pm g} = F \pm G$$

$$2) \overline{p'} = 0$$

$$\text{اثبات: } F = \bar{p} = \overline{F + p'} \Rightarrow F = \bar{F} + \overline{p'} = F + \overline{p'} \rightarrow \overline{p'} = 0$$

$$3) \overline{F \cdot g} = F \cdot G$$

مقادیر متوسط

$$0 = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial (U+u')}{\partial x} + \frac{\partial (V+v')}{\partial y} = \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y}\right) + \left(\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y}\right)$$

Mean value:  $\left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y}\right) + \left(\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y}\right) = 0 \rightarrow \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad \& \quad \frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} = 0$

$$P \cdot g = (F+P')(G+g') = \overline{FG} + \overline{Fg'} + \overline{P'G} + \overline{P'g'}$$

$$= \overline{FG} + \overline{Fg'} + \overline{P'G} + \overline{P'g'}$$

$$= \overline{FG} + \overline{P'g'}$$

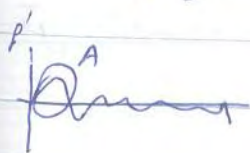
که نرم تن‌های ریزند

- باقی مطالب هم متوسط گیری در کتاب آمده است

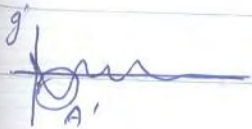
$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial x}$$

اگر  $u + v$  این بدین معنی است که پوسته دارد به یک سمت می‌رود و به نظر آید

پوسته منقبض می‌شود و توان به طور فزاینده  $P'g'$  را توسعه می‌دهد



لزوم ندارد ضرب دو مقدار A و A برابر می‌شود



صورت متوسط گیری از معادلات N.S. را شروع کنیم اما باید باید ترنسد این کار را

شروع کنیم و نمی‌توانیم صرفاً  $u = u' + \bar{u}$  را بنویسیم. باید نرم‌های کانولشن

(Convect) را تغییر دهیم

مشتق از طرف

$$+v \frac{\partial u}{\partial y}$$

حالت متوسط

$$u + v$$

همی توانیم از طرف

فرض می‌کنیم

حالت باید از

تمرین: خودتان



نویس:  $u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial (u^2)}{\partial x} + \frac{\partial (uv)}{\partial y}$

مشتق از طرف راست:

$$2u \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial u}{\partial y} + v \frac{\partial u}{\partial y} = u \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y}$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{=0}$  برای اصل نوشتن

حالت متوسط گیری را اینم در دستم:

$$\begin{aligned} u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} &= \frac{\partial (u^2)}{\partial x} + \frac{\partial (uv)}{\partial y} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} [(\bar{u} + u')^2] + \frac{\partial}{\partial y} [(\bar{u} + u')(\bar{v} + v')] \end{aligned}$$

همه تو اینم از طرف چپ یکبار و متوسط بگیرم چون وسط ضرب (و تابع در برای آن)

فرمولی ندایم.

$$= \frac{\partial}{\partial x} (\bar{u}^2 + \underbrace{u'^2}_{=0} + 2u'\bar{u}) + \dots$$

حالا باید از تک تک مقادیر متوسط بگیرم چنانچه از مقدار متوسط مثل باه صفر شود.

**تقریب:** خودتال تک متوسط گیری را اینم در دستم.

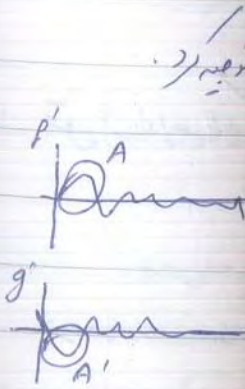
$$0 = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = \dots$$

Mean value:

$$f.g = (f.g)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial x}$$

مقدار در نظر دارد



باید ترند این کار را

باید ترند های کانوشن

موضوع:  $\mu \frac{\partial^2 (U+u')}{\partial y^2} = \mu \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}$  موضوع:  $\mu \frac{\partial^2 U}{\partial y^2}$

یک از جهت خاص می شود  $\frac{\partial}{\partial y} (\overline{u'v'})$

ترم های من (منفی) در معادله  $\mu$  فقط شکل شان عوض می شود و تغییر خاصی نمی کنند

RANS x.1

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} - \frac{\partial \overline{u'^2}}{\partial x} - \frac{\partial (\overline{u'v'})}{\partial y}$$

ترم ① قابل پیش بینی نیست چون شامل متوسط دریا Fluctuation است  
 ترم های ① و ② ترم های اصطلاحی هستند

برای ادامه بحث دو حالت را در نظر بگیرید: دو تورب با زاویه  $\theta$  دو با هم برخورد کنند

اصطلاح بینی دارند یا با زاویه  $\theta$  هم برخورد کنند؟ برضت شکل ها هم بفرستید

الاستیک دارند زاویه برایشان هم نیست

و اینجاست که اگر با زاویه  $\theta$  هم برخورد کنند اصطلاح بینی ایجاد کنند در واقع

این جا ادی ها را باید در نظر بگیرید با تورب ها در نظر بگیرید

ترم  $\mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$

ا)

دو ترم  $\mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$

در راستای  $y$

$u$  با افزایش

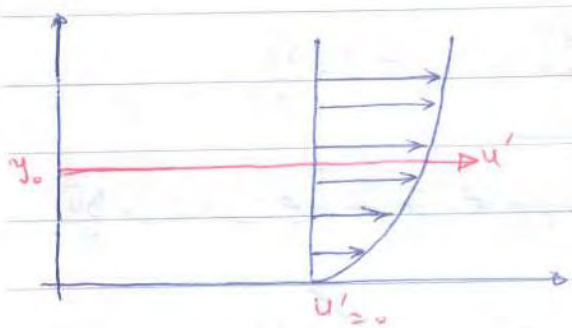
با افزایش

روشن شود

حال برخواهید

موضوع:  $\frac{\partial \overline{u'^2}}{\partial x} \ll \frac{\partial (\overline{u'v'})}{\partial y}$

موضوع:  $\frac{\partial \overline{u'^2}}{\partial x} \ll \frac{\partial (\overline{u'v'})}{\partial y}$



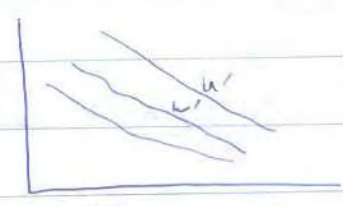
دوین توصیه برای ناساوی فوقی:

در راستای  $y$  و  $z$  تغییر کند

در نظر بگیریم

با افزایش  $x$  تغییر کرده است

اما با افزایش  $x$  تغییر نمی کند چون مستقیم اصل جریان در راستای  $y$  است



دوین سوم توصیه ناساوی فوقی:

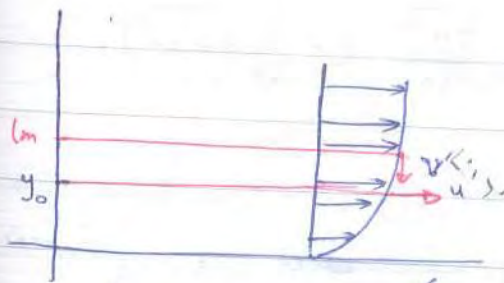
$$\frac{\partial \overline{u'^2}}{\partial x} \ll \frac{\partial (\overline{u'v'})}{\partial y}$$

$$\frac{u^{*2}}{L} \ll \frac{u^{*2}}{\delta}$$

$L \gg \delta$

حال فرض کنیم  $u'(y_0)$  و  $u'(l_m)$  که با  $u'$  است مقایسه کنیم

نوعیه کتاب: حال شکل زیر: برای هر ترانسیتور (درم) هر دو مقدار را حفظ کنید  
 این ۴ نسبت خواص دارد. برای هر ترانسیتور (درم) هر دو مقدار را حفظ کنید



$$u'(y_0) = \bar{u}(y_0 + \Delta y) - \bar{u}(y_0)$$

مقدار  $u'(y_0 + \Delta y)$

$$= \Delta y \frac{\partial \bar{u}}{\partial y}$$

مثبت است چون هر چه به پایین تر نزدیک شویم سرعت بیشتر شود  $\frac{\partial \bar{u}}{\partial y}$

حال فرض کنیم برای  $u'$  یک عدد مثبت است یا منفی. باید ببینیم اوی حال باقیم

که با هم برخورد کند مثل شکل با

$$\Delta y \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} > 0 \rightarrow u' > 0 \quad (1)$$

ممكن است اوی حال پیدا شوند. در  $u' > 0$  با هم برخورد می کنند پس (۱) قابل

برای ما مهم است که برخورد داشته باشند و لزوماً برای (۱)  $u' > 0$  است

ترکی که در حالت (۱) است و باید بررسی شود و این همان تقش حال است

حال کل معادلت را درم ضرب کنیم. (۱) شکل زیر درآید.

$$-\frac{\delta}{\Delta y} (u' \Delta y)$$

از این جا به بعد بحث RANS و مدل های توربولانسی مطرح می شود

دقت کنید برای تمام فشار

$$\bar{P} = \overline{P + P'} = \bar{P} + \overline{P'} = \bar{P}$$

و باید به تمام تنش های رینولدز را مدل کنیم

اولین قدم استفاده از فرض بوزنیک بود

$$\tau_T = \mu_T \frac{\partial u}{\partial y}$$

اشکال فرض بوزنیک این است که وقتی باید جریان جدا شده بود در آن نواحی این

فرض اصلاً نمی تواند جواب بدهد (در واقع مدل های RANS برای این سیال

جواب نمی دهد یعنی متوسط گیری در زمان جواب نمی دهد و باید از متوسط گیری مکان

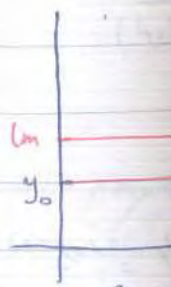
یا LES استفاده کرد

scale های  $u'$  و  $v'$  را بیان در نظر گرفتیم چه جوری؟

کتاب رابرت میسون معادله پیوستگی  $\nabla \cdot u = 0$  را با تقسیم معادله پیوستگی

برای Pletcher ما  $\frac{\partial u'}{\partial x} + \frac{\partial v'}{\partial y} = 0$  که دقیقاً  $\frac{u'}{L} \sim \frac{v'}{\delta}$

$$v' = L \frac{\partial u'}{\partial y}$$



بزرگتر شود

در این حال باقی

$$\rightarrow Lm \frac{\partial u}{\partial y}$$

در این حال

است

باز رینولدز است

$$-\frac{\delta}{\partial y}$$

وضعیت:

تاریخ: ۱/۱

$$-\rho u'v' = -\rho (m^2) \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right| \frac{\partial u}{\partial y}$$

تخمین زمان به خورد داریم که  $u'$  و  $v'$  حالت مست باشد پس حالت بلا تغییر است

$$= +\rho (m^2) \frac{\partial u}{\partial y} \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|$$

معادلات N.S در واقع قانون دوم نیوتن است. وقتی نوشتن معادلات N.S و استخراج کردیم

ترم  $\frac{\partial \tau}{\partial x}$  برای قشرها به وجود آید پس دیفیوژن  $\tau$  با دیفیوژن  $\rho u'v'$  برابر است

و توانید کنترل هم کنید.

$$\rho (m^2) \left| \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right| \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = \mu_T \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \rightarrow \mu_T = \rho (m^2) \left| \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right|$$

از این به بعد  $\mu_T$  / eddy viscosity زینم

$\mu_T$  باید از تغییرات مولدهای ترمودینامیکم ثابت ببرد

طول اختلاط براتل

فرض کنید  $m$  به اندازه  $y$  طول ادیها باشد پس  $m$  از سطح تا بیسی لایه مرز

در حال افتادن است. مانع می مغزش را هم  $m$  و  $m$  زیاد تخمین زدیم

$m$  خودم تخمین میزنم طول پیمایش از این برودت حالا دارد در این طول برودت

ادس حالت  $m$  حال برودت طا

موضوع:   
 mixing length   
 و در حال استقال استفاده از آن

چرا این را  $m$  کردیم

این بیشتر و باید کمتر است

پس هر چه به سطح نزدیک

کمتر شود و تغییرات  $m$

بخت  $\frac{\partial u}{\partial y}$  هر چه  $m$

تیب خط تو در بالای  $m$

$m$  باید کوچک شود

بزرگ تر از  $\frac{\partial u}{\partial y}$  است

لین  $m_T$  شود که اندک

وقتی  $\frac{\partial u}{\partial y}$  باشد

separation

مک  $m_T$

شرکت دانشجو دارایی ایران و وزارت آموزش عالی

چرا باین را  $\mu$  کم و به  $\mu$  زیاد در نظر میگیریم؟ چون تب سرعت



پس هر چه  $\mu$  سطح نزدیک (سطح مستطری در پاره است) مقاومت در مقابل جریان

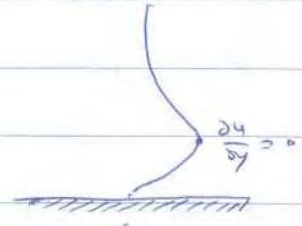
کمتر شود و تغییرات سرعت بسیار شدید تر است

بخت  $\frac{\partial u}{\partial y}$  هر چه  $\mu$  کم است سطح حرکت در لایه این نرم افزاری زیاد در واقع

تیب خط تو در پلان زیاد می شود. اما با حرکت به سمت دیوار نتایج تغییر می کند

$\mu$  باید کوچک شود پس توان ما را 2 قرار داده چون order  $\mu$

بزرگ تر از  $\frac{\partial u}{\partial y}$  است و کوچک شدن  $\mu$  با حرکت به سمت دیوار باعث کوچک



شکل  $\mu$  و  $\mu$  و  $\mu$  است منطبق نیست.

وقتی  $\frac{\partial u}{\partial y} = 0$  باشد در جایی مثل

در فصل سرعت در تب تنظیم صفر دار

reverse flow یا separation

محل کربن  $\mu$  و  $\mu$  و  $\mu$  چون با فاصله صفر می شود و در حالت فیزیک صفر نیست

$-p u'v' =$

تغییر در تب

$= +$

در این شروع کردیم

در این برابر است

$\rho \ln^2 \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right|$

سطح تبی در تب

در  $\mu$  زیاد تب می گذرد

در این طول برابر حرکت

رویه اول: مدل صفر معادله ای

رویه دوم: معادلات انتگرالی

۵- روش پراش که در ادامه آورده شده است صرفاً جهت آشنایی است

- اولین بار پراش لغت که فرض کنیم  $\delta$  در نزد معشوق یا لایه مرزی آرام تفاوتی

نداشته باشد پس

$\frac{d\theta}{dx} = \frac{C_f}{2}$  ; for a solid flat plate

$\theta_2 \int_0^{\delta} (1 - u/u_e) \frac{u}{u_e} dy$

حال مقدار  $\theta_2$  را از خواص با فرض دیگری بهم ارتباط دهیم  $u/u_e$  در جریان آشفته

را به صورت  $(y/\delta)^{3/4}$  گرفت و نتایج تجربی نشان داد  $n=7/2$  است. پس از فرض

فرض موارد زیر را حساب کرد:

$\theta_2 = \frac{7}{72} \delta$

که به نوعی شکل 7-6 می توانیم  $u/u_e$  را  $y/\delta$  به اتصال

رابطان برقرار کنیم زیرا این فرض  $C_f$  نیز وابسته است

$\delta^* = \frac{1}{8} \delta$

$\delta^* > \delta$  (از نظر فیزیکی معنی ندارد چون  $\delta$  به واسطه تغییرات فضا 1 است اما  $\delta^*$



به واسطه تغییرات در لایه مرزی است.

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{C_f}{2} \rightarrow \frac{7}{72} \frac{d\delta}{dx} = \frac{C_f}{2}$$

$C_f = 0.0456 (Re_x)^{-1/2}$   $C_f$  ها را از تجربه استخراج کردند

حالا ساده بر حسب  $\delta$  در شود و کامل شود

**بهترین صفت کار بران**  $C_f$  را جزو تغییرهای خودش بنا کرده است.

(چون  $\delta$  در معرّفی شده داخل  $C_f$  بود و تمام  $\delta$  در  $C_f$  بود)

$$\rightarrow \frac{7}{72} \frac{d\delta}{dx} = \frac{0.0456}{2} \left(\frac{v}{U\delta}\right)^{1/2}$$

صفت دیگر کار بران  $\delta$  نادیده گرفتن نامعینی ندارد

$$\rightarrow \frac{\delta}{x} = \frac{0.375}{Re_x^{1/2}}$$

و نامعینی آرام ابتدای صفت است.

Laminar :  $\frac{\delta}{x} \propto Re_x^{-1/2} \Rightarrow \delta \propto x^{1/2}$

Turbulent :  $\frac{\delta}{x} \propto Re_x^{-1/5} \Rightarrow \delta \propto x^{4/5}$

این درست است زیرا در لایه مرزی آشفتگی رشد لایه مرزی نسبت به لایه مرزی آرام

دقیق تر است در فرمول هم همین را می گویند

در آرام تعدادی

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{C_f}{2}$$

$$\theta = \int_0^{\delta} (1 - \frac{y}{\delta})^2 dy$$

$\frac{4}{3}$  در جریان آشفتگی

است. پس از فرمول

$$\theta = \frac{7}{72} \delta$$

$$\delta^* = \frac{1}{8} \delta$$

صفت است  $\delta^*$

با وجودی سطوح صاف با تقریب  $\rho$  را به صورت آورد و برای هر  $dx$  فرمولها

را باز نویسی کرد. همین برای هر  $dx$  معنی  $\rho$  را داخل فرمول ننویسیم باید  $n$  را تعیین کرد

روش بعدی برای حل شکل

Mosa این روش را مطرح کرد او مستقیماً از فرمول جریان آرام استفاد

نکرد. او تمام اطلاعات جریان آرام را نگذاشت فقط تنش را تنش توربولانس

گذاشت.

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{C_f}{2} \rightarrow \frac{d}{dx} \int_0^{\delta} \frac{u}{u_e} = \tau_T$$

برای به دست آوردن تنش برش از wall function استفاده کرد

$$W(y/\delta) = 2 [3(y/\delta)^2 - 2(y/\delta)^3]$$

شماره 7-49

که Mosa استفاده کرد

$$u/u_e = 1 + \sqrt{C_f} / 2 \ln$$

با معادله ای که برای تعیین آرام توده

نوشته شده. ① اینها تنها تنش

محض شده است یعنی تنش توربولانس

$$\tau_T = \mu_T \frac{\partial u}{\partial y}$$

② توده انتقالی نیز برای مع متداول  $dx: H: 1$

که  $H \geq 5$  اینم نوشته اند اما در  $dx: y: 1$

که  $dx: y: 1$  اینم نوشته اند اما در  $dx: y: 1$  اینم نوشته اند

نهایتاً به جمله زیر رسیدیم

این یک فرمول کلاسیک است که  $Masa$  برای  $(\gamma/s)$  از (1) استفاده کرد

$$\frac{M_T + M}{\rho U_e \theta} = 0.0225 + \frac{125}{Re_\theta}$$

این فرمول کار را از دستمون نبرد

ایشان  $M_T + M$  را بر حسب  $Re_\theta$  بدست آوردند  $u_m$  را وارد کردند

پس فرض بودیم که این رابطه با هم را به هم ربط دادیم. البته باز هم رابطه فرضی است که یک مشکل است

مثل مدل بوزنیک اما یک اتفاق هم این است که مشکل قابل حل نبودن جریان های

مثل جریان در جریان برشنی که  $\frac{\delta u}{y}$  حل شد همین اینجا  $\frac{\delta u}{y}$  وارد کج شد

مثل  $Moses$  شامل دستهای از تعداد معتم (۱۶-۱۷) و معادله  $u_e$  (۶-۷) برای یافتن دو محصل (۱۸) که  $u_e$  است

$Moses$  در جوش خود برای زیر لایه آرام (laminar sub-layer) یک فرمول چند  
جداس ستار از ۶-۷ را از خود دستگیر کرد و نتیجتاً انتخاب برش برای این لایه در جریان

$u_e$   $Re$  است

و به سبب همین  $Moses$  آنگاه  $separation$  رخ داد است

Case فرمولها

آرام استناد

در آنتن توربولانس

$$\frac{d\theta}{dn} = \frac{C_f}{2}$$

$$W(\gamma/s) =$$

$$u/u_e = 1 +$$

$$\tau_T = \mu_T$$

بخت این حبه باید پیش از حبه قبل مطرح شود.

در حبات قبل ۶ ناصیه برای بریم معشوش در نظر گرفتیم

1) laminar sub-layer

شیرات سرعت و  $y^+$  به صورت خطی است

$y^+$  از ستاهیم  $y^+$  که در ناصیه آرام استفاده کرد به سمت آند به همین صورت در

اگر به بخت از  $u^+ = \frac{u}{u_e}$  نیز استفاده کند که  $u^+ = \frac{\sqrt{\tau_w}}{\rho}$

به واسطه  $u^+$  و  $y^+$  اثر چه دارد شد.

2) Inner region

$u^+ = A \log(y^+) + k$  به واسطه اصطلاح شیراز که

3) Outer layer

$u^+ = A \log(y^+) + B$

هر چند فرمول های 2 و 3 یکسان است 4 Order های سرعت و طول با ناصیه 2 فرق دارد

4) Super layer

روش هایی برای محاسبه

آند در حبه قبل در

اثر زبری : در KS

1) به جهت تفاوت گراد

به نظر من : در  $y^+$

است و چون در این لایه

2) با استفاده از

گرگیم (رینولدز زبری)

مثل جریان عبور از

جریان اثر گذارند در S

دلیل است که اثر زبری

آرام (b-layer)

روش هایی برای محاسبه  $C_p$  و  $C_f$  سطح دریم.  $k^+$  این به تنگ از روابط تجربی بدست

آید در صبه قبل از روش Prandtl, Masa استفاده شد.

انرژی در  $k^+ < 5$  اثرات زیرین اصلاً مشاهده نمی شود:

① علت تفاوت گرانان توده سرعت کنار دیوار با هم  
به نظر می آید: در  $0 < k^+ < 5$  منگول حاصله در  $k^+$  که یک طول است وقتی کم باشد در این لایه  
است و چون در این لایه منگول حاصله وادی هائیک باشد پس  $k^+$  روی جریان تورولان اثر می ندارد

② با استفاده از روابط تجربی کار را ادامه می دهیم. برای کار تجربی  $k^+$  را تعریف

می کنیم (رینولدز تجربی یعنی  $k^+ = \frac{k u_n}{\nu}$ ) اگر  $k^+ < 5$  سطح را صاف در نظر می گیرند

مثل جریان جو در یک شکر که طبقات  $k^+$  روی جریان نمی گذارند اما برج ها مدل

جریان اثر گذارند. در  $k^+ < 5$  زیرین  $k^+$  laminar sub-layer است در در واقع این

دلیل است که اثر تجربی روی جریان دیده نمی شود. در  $k^+$  های بزرگ عمده زیر لایه

آرام (laminar-sub-layer) از بین برنده است.

1) laminar

2) Inner

$$u^+ = \frac{\sqrt{u_{\tau}^2}}{\rho}$$

2) Inner

$$u^+ = \dots$$

3) Outer

$$u^+ = 2.45$$

طول یا ناصبه  $\epsilon$  فرق دارد

4) Super la

موضوع:

تاریخ: / /



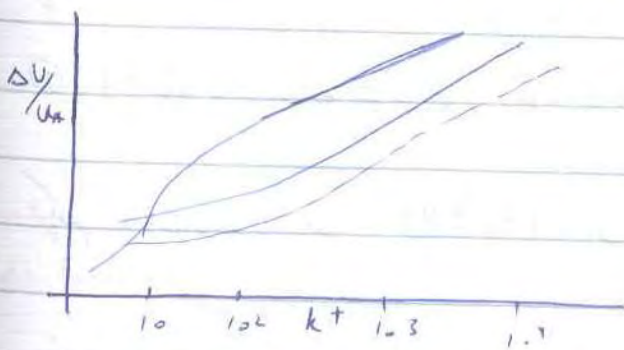
تکلیف زیری و خواص از اطلاعات جداول قبل استفاده کنیم

$$\frac{U}{u_*} = A \log \left( \frac{\gamma u_*}{\nu} \right) + C - \frac{\Delta U}{u_*}$$

در واقع برای در نظر گرفتن زیری وارد شدیم که این با توجه به  $k^+ k^+ k^+$  است

$$\frac{\Delta U}{u_*} = A \log \left( \frac{k u_*}{\nu} \right) + \text{تست}$$

مقدار ذیل نتایج تجربی را نشان می دهد.



از  $k^+ > 12$  از زیری مشاهده می شود این ناصب یک سبب خطی دارد که با فرمول خطی

است.

چرا زیری از چند نوع می باشد می باشد است یعنی سبب با هم

موضوع:

مقادیر ادا به چه دردی؟

یعنی از  $k^+ > 12$

خطی که سبب تغییر می کند

سختی در این است

و در واقع  $u^+$  و  $u^+$

در نتایج تجربی دارد

در واقع اگر A

در نظر گرفته می شود

B شکل برین را

مقادیر ارایه در درصد؟

$$u^+ = A \log k^+ + B$$

$$k^+ = \begin{Bmatrix} k_1^+ \\ \vdots \\ k_n^+ \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{matrix} A_1 = A \\ \vdots \\ A_n = A \end{matrix}$$

یعنی از  $k^+$  به سبب خط عمده ثابت است. علت چیست؟ بهترین

خط کارایی تغییر نکرده است. اما عرض از مبدا تغییر کرده است.

بهترین دلیل این است که با تغییر زبری با توجه به اینکه  $u^+$  و  $y^+$  را تعریف کردیم

و در واقع  $u^+$  و  $y^+$  دارد برین سرعت شده اند تغییرات نمیدیدیم نمی شود. بنده

در منابع تعریف داشتیم  $\frac{u}{u_c} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^n$  در واقع A توان تعریف است

$$u^+ = \log y^+ + B$$

در واقع اگر A عوض شود مثل این است که n عوض شود و در این صورت کل

برین عوض میشود و این اشکل دارد. البته B عرض از مبدا عوض نمیشود. در واقع

B اشکل برین را عوض نمیکند و یک عرض از مبدا را هم واسطی هستند عوض نمیشود

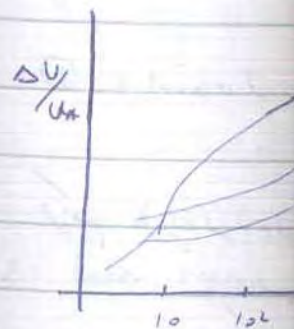


بنیم

$$\frac{U}{u^+} = A \log \left( \frac{y^+}{\delta} \right)^n$$

بن با توجه به  $k^+$  به سبب  $k^+$

$$\frac{\Delta U}{u^+} = A \log ($$



عمل دارد که با فرمول منطبق

یعنی سبب باز هم با همان

برای شرایط  $k^+ \geq 70$  در سطح حذب در  $\gamma$  rough fully مشور و نام inner layer نامی است که در سطح حذب

در سطح با هم توری شدن دارند

در جهت تاثیر زبری از D استفاده کنیم بر حسب تابع دیوار که از c, B استفاده

کنیم یعنی D که جدول است که باید به دست آید

$$\frac{U - U_e}{u_*} = A \log \left( \frac{y}{\delta} \right) + B$$

تغییر زبری باعث تغییر می شود

$$\frac{\Delta U}{u_*} = A \log \left( \frac{k u_*}{\nu} \right) + D$$

Defect  
۱-۲

تغییر k را هم صورت از سرعت دیدند  $\frac{\Delta U}{u_*}$  می کردند

$$\frac{u}{u_*} = A \left( \log \frac{y u_*}{\nu} \right) + C - \frac{\Delta U}{U}$$

در حالتین بیان

با ساد کردن عبارت باید داریم

$$\sqrt{\frac{2}{C_f}} = A \log \left( \frac{S}{k} \right) - B + C - D$$

(۷-۱۷)

**Injection & Suction**

که در D از (۲)  $\frac{\Delta U}{u_*} = A \log \left( \frac{k u_*}{\nu} \right) + D$  و (۱)  $\frac{\Delta U}{u_*} = A \log \left( \frac{y u_*}{\nu} \right) + C - \frac{\Delta U}{U}$  استفاده می شود

$$V_0^+ = \frac{U_w}{u_*}$$

شکل قابل نمود (meable) به نام ماسه و رسوبات

باید به فرض سرعت

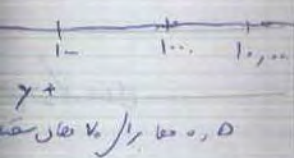
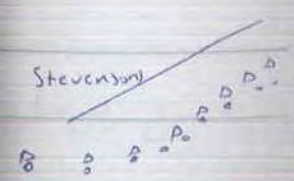
تغییرات و باید

$$(۷-۱۸)$$

$$(۷-۱۹)$$

حالت بین کدام

اگر بخواهر لحاظ



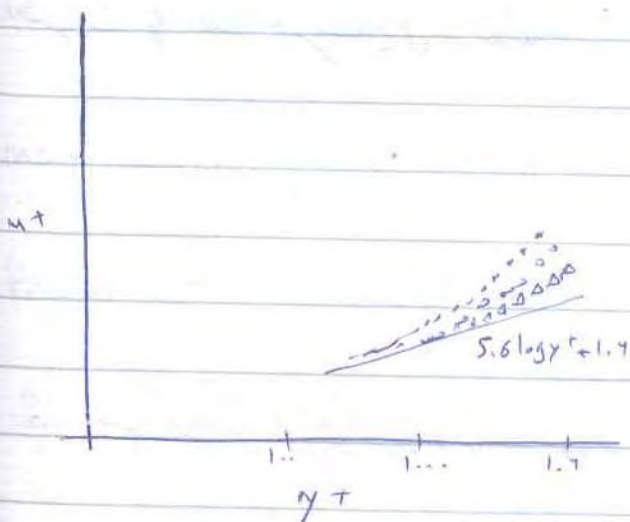
شکل ۷-۱۰





چون نتایج عددی و تجربی فقط استکاری تفاوت دارند باید امانت گران فریزان در سنخ تجربی در

عددی را تطبیق کرد



لترهای مختلف

عددم برای  $y_T$  های مختلف

شکل ۱۱-۷

برای Fit شدن با تجربی مقدار ثابت امانت کردند.

$$u^T = A \log y^T + \begin{cases} - \\ - \\ - \end{cases}$$

این جا با توجه به نتایج تجربی ثابت آمانت

با معر و خط هم فرستود مقدار ثابت را بدست آورد. رخواصم در کلمه عددی

ثابت  $u^T = A \log y^T +$  را لحاظ کنیم. برای verify کردن میل با تجربی فقط مقدار ثابت را

عوض کردند پس برای

erimental

کلید زیری های

نتایج برای سطوح

سطوح با زیر

با سطح اقرار

طالت غیر

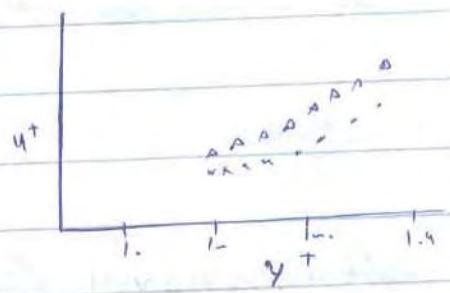
عوض کردند پس برای هر case نمی شود از یک ثابت استفاده کرد پس B را باید با

درش experimental ثابت آورد یا با مقایسه نتایج عددی و تحلیلی به دست آورد

چگونگی زبری های مختلف را می توان در کار آزمایش ها چکار کرد

- 1) Smooth
- 2) rough, solid (sand paper)
- 3) Sintered metal
- 4) Banded screening porous
- 5) Banded screening with a solid sheet
- 6) A thin

نتایج برای سطوح با زبری مختلف با A ثابت و B مختلف ایجاب می کند (شکل ۷-۱۱)

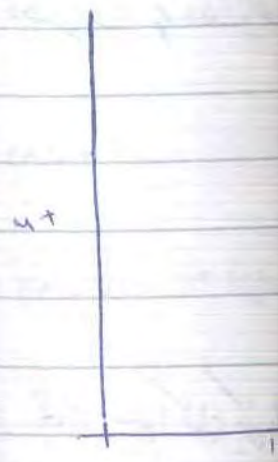


۷-۱۱) سطح با زبری متفاوت

مربوط به اثرات کانال سطح فوی

۷-۱۲) با مکن اقراین در با تریون کاهش می یابد در واقع مقدار  $C_p$  در این سطح  $C_{p,smooth}$  از حالت غیر porous (۱) تیرات (مقایسه با ۷-۱۱)

کران توان در سطح توری در



$$u^+ = A \log y^+ + B$$

خواص در کدهای

عمل با ترم فقط مقدار ثابت با

در اجزای در ناصه جویول گریبان فشار مطلوب وجود دارد. نزدیک ناصه منحصراً جداگانه، ناصه گریبان فشار  
کوبید و در ناصه انتقال گریبان فشار معکوس وجود دارد.  
در اینجا باید برین ملاحظه کرد defect law برای ایرفویل امکان پذیر نیست حتی در حالت آرام بودن ایرفویل

### گریبان فشار و اثر آن

در بریم لامینه باید حل پروازی (کنیدن صفحه زیر سیال) سرعت بر اساس توزیع فشار

به دست آمده در دو گوشه‌ها در جریان آشفته نیاز به مطالعات تجربی دقیق داریم. پسند

هم این غیر کنیم بلکه باید معادلات دینامیک حل شوند و نقش های رینولدز جانمایی شوند.

شکل ۷-۱۴

در استه ای Airfoil در وسط stagnation تغییرات سرعت شدید می‌داریم به طوری

که سرعت از صفر به  $\infty$  در بدو صفحات لایه مرزی زیاد و تغییرات فشار شدید است.

با گذر از leading edge - turning point صفحات لایه مرزی زیاد



برای شکل ۷-۱۴ موارد زیر را باید باشد

① تاثیر گریبان فشار روی پهنی سرعت

② تغییر صفحات لایه مرزی در نقاط مختلف یک Airfoil

اختلاف گریبان فشار باعث تغییر برین می‌شود

Inner layer  
تمام تلاشی ما برای

سه اه گریبان فشار

شماره بر ۷/۸

ایرفویل باید باشد

شکل ۷-۱۵

و کاستن برین

نکته CH

سایر عبارات

فشار نهان شده

در (low-Re)

سؤال (اگر)

میل کرده آیا

inner-layer به طور شگفت انحراف به جریان فشار محلی بود (در آزمایشات) تمام تلاشی ما برای یافتن اثر لایه‌های دیگر بر قانون دیوار شگفت خورد در واقع قانون دیوار در دست تا نقطه حدش فریزر استخوان کرد

ما که لایه‌ها فشار متباین center-layer اثر ندارد و فقط تغییر در شیب است. defect باید در این صورت عوض شود

تغییر در  $\frac{dp}{dn}$  هم روی جریان ایر فویل اثر ندارد. ما برای بررسی

ایر فویل باید پارامتری با عنوان  $(dp/dn) \delta^+ / \tau_w$  معرفی شود.

شکل ۱۵-۷ انتظارات را برآورد نمی‌کند. ما انتظار داشتیم با ترتیب قانون دیوار

و کاستی پرفیل سرعت تغییرات شدیدی نکته یعنی اثر  $dp/dn$  روی جریان زیاد است.

نکته  $CFD$  در روش‌های تحلیل عددی اگر  $order$  یک عبارت نسبت به

سایر عبارات کم باشد آن را در شود حذف کرد. مثلا در  $low-Re$  در صورتی که لایه

فشار نداشته باشیم با هم معادله دیفرانسیل سرد کار داریم! لا بد پس

$$n \rightarrow \frac{\partial u^+}{\partial t^+} + \dots + \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 u^+}{\partial y^{*2}}$$

( $low-Re$ ) در صورتی که فشار را لحاظ کنیم براسون است

سوال) اگر بایستی بعد سازی نرم لایه‌ها فشار به صورتی کرد و بقیه نرم هم ص

میل کردن آیا حق داریم نرم فشار را حذف کنیم یا نه؟ ضمیر چون لایه‌ها فشار مثل نرم

در مویزهای آلودگی است - در این صورت باید در این فضا درون آن جریان معکوس  
ایزوتیل یک defect بر روی این سطح شد و در یک سطح این نوع بر این حالت حدیسی نیز معطی  
شود که هم خود از خود با تجربه دارد

دقیقاً یا کارگزار عمل نمی کند که قابل حذف یا جرم پوشی باشد زیرا فشار عامل کوب

سرعت حالت (مثلاً در الیوم simple) و نمی توان آن را حذف کرد

برای در در کردن نرم فشار در ایر فویل از تابع  $\pi$  استفاده کرده اند

$$\pi = 0.8 \left[ \frac{S^+}{T_v} \frac{dP}{dn} + 0.5 \right]^{3.1} \quad (7-21)$$

### Intensity

روش اندازه گیری Fluctuation

از طریق باشند (لرزه و reflect) ضعیف جریان را می توان به دست آورد. در این

از hot wire استفاده کردند. hot wire به یک منبع ولتاژ وصل است و در فضا

دما می آید و ثابت نگه دارد. جریان که از آن وسط ولتاژ قابل اندازه گیری است و ولتاژ با هم



Fluctuation در دما می آید بیشتر از عرض و در عرض بیشتر از ارتفاع است.

موضوع: +

فرض کن دو کمره

بهم نزدیک باشند

حال در قطره را

این قطرات در

وزن و دیگری در

در راستای هم

محدودیت وزن

- o u'
- o v'
- o w'

025

1.9

مکان آزمون با جریان متغیر  
برای حالت حدی نیز معادله

موقعیت

تاریخ: / /

در زیر فشار عامل لول

حذف کرد

ماده کرده است

$$\pi = 0.8$$

Intensity

از آن توان به دست آورد. حدی

و کنار دهن است در خواص

از آن لول است و در کنار با هر

Fluctuation است

از ارتفاع است

فرض کن دو کوره بسیار نازک از آب (مثلا آدی ها) را داریم این دو کوره را اگر

بهم نزدیک باشند آب در جهت های اصلی ریزش دهند

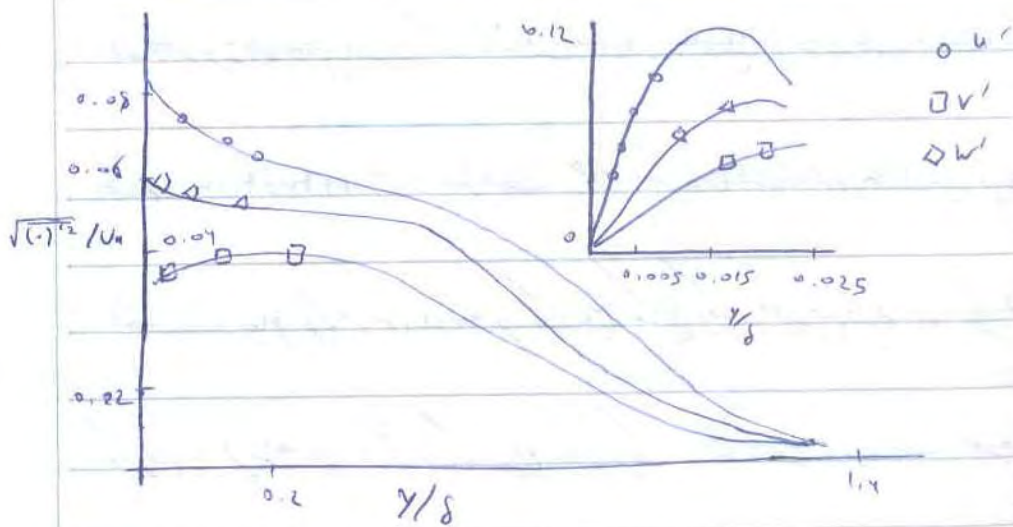
حالا در قطره را در نظر بگیریم علاوه بر این تمام قطرات اطراف آن را نیز در نظر بگیریم

این قطرات در راستای  $\lambda$  چنان زیادند Fluctuation داشته باشند که به علت

وزن و دیگری دیواره پس در راستای  $\lambda$  دارای کمترین Fluctuation است

در راستای عم (عمود) این Fluctuation ها بیشترین است از طرف

محدودیت وزن و دیواره را ندارد و از طرف دیگر راستای اصلی مستقیم هستند



شکل 7-7

پس Fluctuation ها  $\propto$  نوسانات زیرا مستقیم اصل جریان در این دامنه است

در محاسبات از Fluctuation ها استفاده نمی شود زیرا مقدار آن ها صغیر است

برای همین از  $u'^2$  آن ها استفاده می شود برای این کار از intensity

استفاده می شود: 
$$I_2 = \frac{\sqrt{u'^2}}{c}$$

همان جهت طایفه که برای Fluctuation ها تقسیم برای intensity هم برقرار

است نکته دیگر روی سطح Fluctuation ها باید صغیر باشد چون سرعت به واسطه

اصول عدم لغزش صغیر است پس تمام اثرات آن از بعد Fluctuation ها باید صغیر باشد

همه لایه ریزی جابجایی است که تأثیرات دیواره در حال از بین رفتن است آن جا

هم Fluctuation ها صغیر است چون دیگر نوسانات اون جا از بین می رود

قصه مقدار بیان فرایند بین دو نامزد یک تابع حد اقل یک متر هم داریم در شکل ۱۷-۷

مکانیزم را فریبیم اما در روش که  $\frac{1}{8}$  های کوچک zoom کرده است متر هم دیده

سوال

رسود

سوال

این جا نقطه

دقیق

صغیر باشد

و کانیزم

نمود چون

کار رسیدن

Reaction



میزان Fluctuation در این یک صفت زبرین از صفت صاف است (شکل ۲۰-۱۵)

اصل جریان در این است

در زیر مقدار آن ها می آید

این کار از intensity

$$I_2 = \frac{\sqrt{u'^2}}{u_c}$$

مقیّم برای intensity هم برقرار

همه چیز باشد چون هر وقت به داسطی

Fluctuation ها باید میز باشد

حال از این وقت است آن جا

نشانک اون جا از این در دور

یک متر هم داریم در شکل ۱۷-۷

Zoom کرده است متر هم دیده

رشد

سؤال) با توجه به اصل مقدار میان در فرایند حداقل یک مقدار ما داریم

این جا فقط یک ما داریم چرا؟

وقتی سیال به سطح چسبیده است عدم لغزش باعث می شود Fluctuation ها

صغر باشد به محض جدا شدن سیال از سطح مقدار Fluctuation ها شروع می شود

و ما داریم Fluctuation ها به دست می آید بعد از آن ما داریم کم کم غلیظ damp

نمی شود چون از سطح بر این سطح برد و بعد از برداشتن مانع سطح جریان وقت

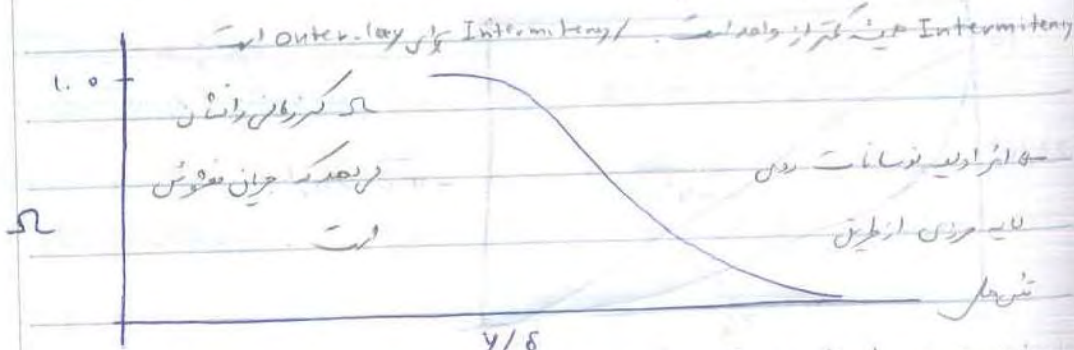
حالا رسیدن به جریان آزاد دارد پس بعد از برداشتن مانع سطح یک صفت ما داریم

Fluctuation ها را داریم و سپس کم کم رو به رشد می شود



در شکل ۷-۱۷ زبری روی صفحه را افزایش داده است و نسبت به شکل ۷-۱۶ که برای یک صفحه صاف بوده است  
 smooth (ای) همه به یک شکل داده است. مشاهده کنید که مقدار Fluctuation ها افزایش یافته است  
 (۱) مقدار Fluctuation در order ۱ است

### زیرکشی از آشفتگی سطح و فرزند



۷/۸

شکل ۷-۱۹

(Normalized) رسم شده است

این پارامتر نیز شدت آشفتگی را نشان می‌دهد که البته استفاده از I متداول تر است

است. در نزدیکی سطح حدتیر و در لبه لایه مرزی کمترین مقدار را دارد. <sup>۷/۸ ~ ۵/۳</sup>

هر چه نوسانات کوچکتر شوند با هم بیشتر می‌باید روی هم آید تا به نوسان در آورد

$K'$ : نوع متوسط تیرگی برای Fluctuation حالت در واقع  $K'$  نشان دهنده چند جریان معکوس است

$$K' = \frac{u'^2 + v'^2 + w'^2}{2}, \quad K = \frac{u'^2 + v'^2 + w'^2}{2}$$

در واقع  $K'$  جمع انرژی های ناشی از Fluctuation حالت

مشکل آیا در توان انرژی ها را به همین صورت با هم جمع کرد باید چون اسکالر هستند و برداری نمی باشند

یک جهت آوردن تمام های

شود و بسازی. مدل های

توجه کنیم (این شکل چند

ی که بهترین و در استای

از صدای بی با هم

و نایز تر باشد یعنی

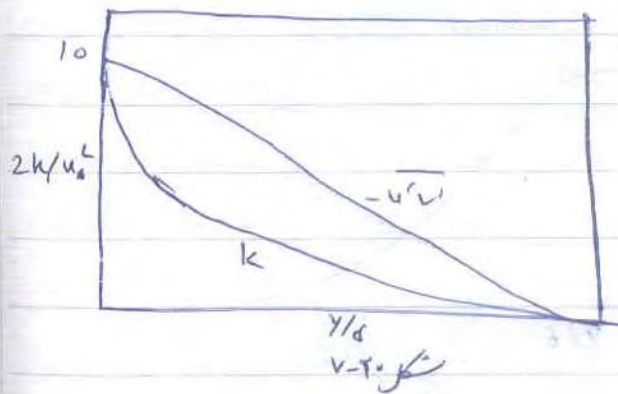
I بیشتر است در کوربین ها

با بلند از پاره ها آشفتگی

و نوسانات را به صورت

انرژی جریان در کانال از Pressure و آید و به این‌ها انرژی می‌دهد. انرژی این‌ها در کانال تبدیل می‌شود و باعث کاهش انرژی در کانال می‌گردد. در واقع یک آبشار انرژی از این‌ها می‌باشد. انرژی این‌ها در کانال تبدیل می‌شود و باعث کاهش انرژی در کانال می‌گردد.

در شکل ۷-۲۰ مقادیر انرژی جنبشی توربولان و تنش رینولدز رسم شده است



تمام تنش‌های توربولان در این تنش‌ها می‌باشد  
مقدار تنش‌های رینولدز در این تنش‌ها می‌باشد  
lam-sub-log به صورت  $u_*^2 / u_*^2 - u_*^2$

با نزدیک شدن به سطح مقدار این تنش‌ها در این تنش‌ها می‌باشد و در این تنش‌ها می‌باشد

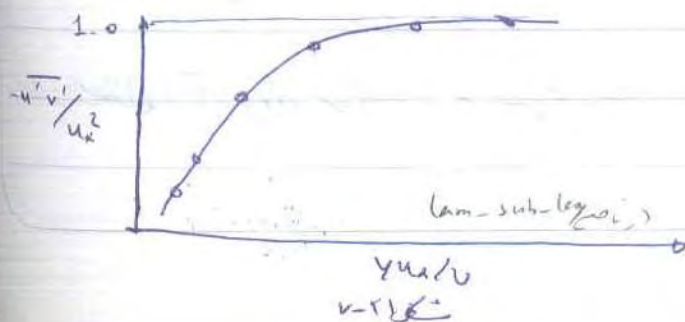
مانند دارد مثل I. علامت  $u_*^2$  چون متر است (تبدیل کردیم) باینکه علامت

متر است و در تنش‌های رینولدز از سطح به کم می‌باشد

از شکل ۷-۲۰ مشخص است TKE نسبت به تنش‌های رینولدز Order  $u_*^2$  می‌باشد

چون TKE یا همان K مجموع تمام انرژی‌های ناشی از Fluctuation است

با  $u_*^2$  تنها انرژی‌های برخورد است



موضوع:  
از شکل ۷-۲۱  
داریم این نمودار  
بعد از این در این  
کم و بیش می‌شود  
 $E_r(x, y)$  مقداری انرژی توربولان  
مقداری در این  $u_*^2$   
نوع دیگر تعیین جریان  
با استفاده از عدد  
را برای عدد موج  
یا نوسانات  
اجزای جریان آشفت  
ation  
مجموع تنش‌ها در این  
dissipation نسبت به  $u_*^2$

موضوع:

تاریخ: ۱۰/۱

در پژوهش، انرژی این امواج در تریبل واقع میگردد. آبشار انرژی از امواج سطح تریبل

از شکل ۷-۲۱ مشخص است در  $\frac{1}{8}$  صفر حداقل برخورد را داریم و سپس ما داریم

داریم. این نمودار یک Zoom شده است، چسبیده به سطح در جریان است

بعد از این دوباره نمودار به پایین بر میگرداند. علت تردد و صغر شدن نمودار، مقدار

کم و بیش صفر  $u'$  در تریبل دوباره است

$E_1(k_1)$  مقداری انرژی مورد نیاز در هر یک از

$$\overline{u'^2} = \int_0^{\infty} E_1(k_1) dk_1$$

مقادیر  $k_1$  و  $k_2$  است



را میزنند و تریبل آن است

(نکته: جهت کردم) باید عدد است

نوع دیگر تحلیل جریان معشوش استاندارد از spectrum است (Hint 2) که در کتاب است

فرکانس  $\omega$  و  $2\pi$  عدد موج  $k$

با استفاده از عدد موج  $k$  و  $\omega$  Fluctuation ها از عدد موج می پردازند تا

را برای عدد موج  $k$  و  $\omega$  (شکل ۷-۲۲) عدد موج، عدد موج حرکت امواج

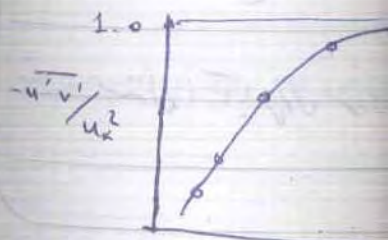
یا نوسانات Fluctuation است. دیدارم ۷-۲۴ هم است

اجزای جریان آشفتگی را حساب می دهیم که روی شکل است

Convection / Diffusion / Production / Dissipation

همه سطرها در تریبل دیدار کردیم که امواج امواج موج تریبل است

dissipation نسبت به تریبل  $\omega$  sub-layer بر این حال که  $\omega$  (تبدیل انرژی به گرما) است، در این





موضوع:

تاریخ: / /

چون انرژی منتقل شده به خودشان را به واسطه حرکت خودشان منتقل می کنند

دقت کنید در کتاب Shetz مقدار Loss را برابر قیمت قیمت نوشته است

با Crain را برابر قیمت متن (در Hinz عکس این قرار داده اند)

کمترین مقدار را term Convection به خود اختصاص داده است. در واقع تبادل

انرژی در Convection در جریان معکوس کمتر است

term Diffusion در تریک دیواره loss است و دور از دیواره gain

است یعنی term diffusion تریک دیواره باعث از بین رفتن انرژی می شود.

در آسانندی حرکت تریک دیواره انرژی می گیرد (مثل فولاد که از جایش بلند می شود)

و پس می تواند انرژی را منتقل کند.

سوال) تریک دیواره  $k-w$  یا  $k-w$  است یا  $k-w$  ؟

اثرات dissipation در  $k-w$  بیشتر لحاظ شده است. در  $k-w$

اصطلاحات با درجه کمتری اثر می گیرند. در تریک دیواره بحث اصطلاحات

product and dissipation



تاریخ: / /

کتاب شتز و اوسازند

کتاب اثر این ها در رانندگی  
عده (۵۴/۵)

م با رادیم این است

برای آنکه حرف از

معمول است

کارچوب از تریک دیواره

انرژی های قوی هستند

Production همتر است و البته روی دیواره اصطلاحاً نیز اثر Production است

سؤال) در diffusion دو تا اثر هم داریم و یک نقطه عطف چه؟

از لحاظ ریاضیاتی: اگر تابع درای دو صفر باشد حد اول یک و اگر هم درای دو صفر باشد

نقاط صفر اکثر هم را به دست آوردیم در توان با اکثر هم ها نقطه عطف را به دست آورد

حال مفهوم رفتار تابع diffusion چیست! این تابع چه طور می تواند نزدیک دیواره شود

شود و در صورت مثبت در حال که  $\frac{du}{dy}$  است پس باید به fluctuation

وابسته باشد پس باید fluctuation ها را وارد معادلات نادر است که می تواند رخ دهد

که fluctuation ها را در معادله  $\Delta u$  فریبده نشی های  $Re$  است

تمرین: از لحاظ همند با تو هم ها. چرا Convection

درای یک کاریم است و در میورن درای نو اکثر هم یک نقطه عطف است!

نکته: محور انرژی های gain و loss در میال آرام باید صفر باشد.

در جریان آرام

Convection داریم

Convection

شکل هت

شکل ۲۵-۷

نش ن درصد

مصف در است

تا و تر با هم

عند اثر از یک

با هم می تازد

سطوح که با یازد



محصول نیز از Production است

نقطه عطف چرا؟

رید اکثر هم دارد. اگر بتوانیم از

حالت نقطه عطف را به دست آورد

چگونه می توان نزدیک دیواره سوراخ

پس باید به Fluctuation

با دلتا نادیده اندک کردن می توانیم عمل

شکل ها Re است

Convection چرا

رسم دید نقطه عطف است!

در سیال آرام باید صبر باشد.

در جریان آرام Production و dissipation و diffusion

Convection داریم در حرکت با  $\frac{1}{8}$  هم جریان آزاد نزدیک تر شویم و اثرات

Convection و diffusion بیشتر می شود.

شکل های shetz, Hinz به علت تغییر Re متفاوت اند.

شکل ۲۵-۷ پرنس بندت توربولانس محوری را برای چند سطح جاوه و مختلف

تفاوت در سطح

مستقیم در راستای x

تفاوت با هم دارند؟



شکل ۲۵-۷  $\frac{1}{8}$

منتهی اثر از یک سطح مختلف استفاده کنیم یا از یک سطح به Fluctuation ها

با هم می تواند داشته باشد؟ سطح صاف کمترین میزان Fluctuation ها را دارند و

سطوح که با پودر منزه ساخته شده اند بیشترین میزان Fluctuation ها را دارند.



محل شود. بار مابین ۰.۳۶ تا ۰.۳۷  
در این روش برای  $\mu$  همواره  
شماره دو مرتبه است.  $\sigma$  نام و اصل  
نات شمرده است. نام و اصل در  
مع لایه خروزی در حال کاهش اند.

نسبت فرب  
 $\frac{P}{\rho g}$

همین دو معادله ای برای

در صورتی که خواص سیال

مطابقت انتقال و انتقال

$$U/\sqrt{g} = 17/5$$

$$0.57 \leq 5-7$$

$$30 \leq 7^2 \leq 300$$

موسس:

$$\delta_{lamin} \sim x^{1/2}, \delta_{turb} \sim x^{4/5}$$

استفاد از فرض های ساده در جریان آرام با سطح های حل برانسل را غیر دقیق

بودن بعد روش Moses بود که از یک عبارت پیچیده تر استفاده کرد و متن

برش دیواره را لحاظ کرده بود و از نتایج wake استفاده کرد (روند دارد

استحسان نمی خواص. در خود نتایج wake از فرض بزرگ استفاده شده است.

Moses نتایج خود را با نتایج تجربی مقایسه کرد و این کار را برای

Case انجام داد. (برای جریان های با  $\frac{dp}{dx}$  متناوب) هر چه نتایج Moses

به ناصیه separation نزدیک تر شد خطای کمتر شد. اما برای سطح های

بدون گرادیان فشار (مثل منحنی تحت که گرادیان فشار جزئی است) شکل وجود

نداشت. نهایتاً در ۱۹۷۶ نتایج تجربی دیگری هم به دست نیسی روش Moses

را پیش بینی کرد (شکل ۳-۷). در واقع با کار برانسل در Moses مدل های

موضوع: ...

صفر معادله ای تازه شروع می شود پس براتش در  $Moses$  از الگوریتم جریان آرام  
 به نتایج رسیدند که البته روند عدس زدگی اشکال دارد. حال روش هایی را پیدا کنیم  
 که بهتر بشود از روش های صفر معادله ای استفاده کرد. یک راه این است که نواحی  
 جریان را تقسیم بندی کنیم و از قوانین قبل استفاده کنیم. مثلاً برای  $300 \leq y^+ \leq 3000$  از  
 تابع کلاسیک استفاده می کنیم. محادلات حاکم بر جریان آشفته مثل  $N. d$  است با این تفاوت  
 که ترم تنش های رینولدز را خود می نویسیم:

$$\begin{aligned} 300 \leq y^+ \leq 5-7 & \quad u^+ = y^+ \\ 300 \leq y^+ \leq 3000 & \quad u^+ = A \ln(y^+) + C = \frac{1}{k} \ln(y^+) + C \end{aligned} \quad (A)$$

$$\frac{\tau + \tau_T}{\tau_w} = 1 + \frac{y}{\tau_w} \frac{dP}{dx} + \frac{\nu}{u_*^2} \frac{du^+}{dn} \int_0^{y^+} g_2(y^+) dy^+ \quad (*)$$

مطابق این معادله تنش ها که در جریان شیار و تابع  $g$  (که معرف میرکت  
 در محدوده  $y^+$  داده شده است) وابسته است معادله ای که ذکر شد با توجه

تابع مورد استفاده  $y^+$  اش مشخص می شود. مثلاً اگر  $300 < y^+ < 3000$

موضوع: ...

بودیم باید از تابع کلاسیک

در نرم افزار fluent

تمرین ①:  $y^+$  در نرم

تمرین ②: در چه محدوده

$$\begin{aligned} u^+ &= y^+ \\ u^+ &= \text{کلاسیک} \end{aligned}$$

مثلاً اگر  $= 20$

این ها سوال است

بر اساس ساده ترین

نه آنالیز

یعنی تعبیه مجدد

بودیم باید از تابع گزینش استفاده کنیم

در نرم افزار Fluent در قسمت plot گزینه‌های برای رسم  $y^+$  در دسترس است

تمرین ۱:  $y^+$  در نرم افزارهای تجاری چگونه اندازه گیری می شود!

تمرین ۲: در چه محدوده‌ای از  $y^+$  ها می توان از تابع گزینش استفاده کرد!

$$\left. \begin{array}{l} u^+ = y^+ \\ u^+ = \text{گزینش} \end{array} \right\} \text{ آیا در هر } y^+ \text{ ای قابل اجراست؟}$$

مثلاً اگر  $y^+ = 20$  می توان از تابع دیواره استفاده کرد!

این ها سوال امتحان است.

برای مثال ساده ترین حالت را بررسی می کنند. می گویند می توان حل کرد

سطح دقیق نشان داده داریم این قابل مقبول نیست. می توان اول (عدد ۱)

نه آنالیز. در هر صورت باید با مدل کربل اند

$$\tau + \tau_r = \mu \frac{\partial u}{\partial y} - \rho u'v' = \tau_w$$

یعنی بقیه جمله  $\tau_w$  معادله (\*) را جز  $\tau_w$  نمی بیند

۱. از الگوریتم جریان آرام

۲. در روش های رایج و گزینش

یک راه این است که نواحی

برای  $30 \leq y^+ \leq 300$  از

مثل  $N=5$  است با این تفاوت

$$5 \leq y^+ < 7$$

$$u^+ = y^+$$

$$\frac{\tau + \tau_r}{\tau_w} = 1 +$$

و (که معروف است)

برای که ذکر شد با توجه

$$30 < y^+ < 300$$

فرض کنیم تنش‌های آشفتگی بسیار از تنش‌های متوسط بزرگ باشد  
شکل ۷-۲۱ نشان دهنده در

inner layer، مقدار  $T_T$  معضله:  $T_T = T_w$   $T_T \gg T \rightarrow T_T = T_w$

در  $T \leq T_w$  است در واقع معنی نهیم تنش داخل outer region است و باید تورولاندر (مطلب است)

$$\mu_T \frac{\partial U}{\partial y} = T_w \quad (*)$$

با توجه به معادله (A)

$$\frac{\partial U}{\partial y} = u_* \frac{1}{ky}$$

جزئیات رابطه فوق:

$$u^+ = A \log(y^+) + C = \frac{1}{k} \ln(y^+) + C$$

$$\frac{\partial u^+}{\partial y^+} = A/y^+ = \frac{1}{ky^+}$$

در این جا، از حالت  $u^+$  wall func خارج نمی‌شود

$$\frac{\partial U}{\partial y} = u_* \frac{1}{ky} \quad (0)$$

$$u_* = \sqrt{T_w/\rho} \rightarrow T_w = \rho u_*^2$$

$$\mu_T \frac{\partial U}{\partial y} = \mu_T u_* \frac{1}{ky} = T_w = \rho u_*^2$$

$$\rightarrow \mu_T = k \rho u_* y$$

پس  $\mu_T$  از جنس  $\mu$  باشد

حاصلی از معادله (0)

این یک سیم منطبق است  
از آنجا که ما از این فر  
رابطه فوق ( )

چون از عبارت

در واقع در نام

برای این رابطه از

موضوع Mixing length

1 / 1 تاریخ

1 / 1 تاریخ

این  $\mu_T$  از جنس چگالی  $\times$  سرعت  $\times$  فاصله است  
با مدل Mixing length و جابجایی در \*

$$\rho l_m^2 \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right| \frac{\partial U}{\partial y} = \tau_w$$

$$\tau_w = \mu_T \frac{\partial U}{\partial y} = \rho l_m^2 \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right| \frac{\partial U}{\partial y}$$

$$\rightarrow \mu_T = \rho l_m^2 \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right|$$

$$\mu_T = k \rho u_* y = \rho l_m^2 \left| \frac{\partial U}{\partial y} \right|$$

$$= \rho l_m^2 \frac{u_*}{ky} \quad \checkmark \text{ جانمایی از ساده (5)}$$

$\rightarrow lm = ky$  این یک سیم منطبق است چون با سرعت از دیواره در لایه مرئی  
اندازه این ها افزایش می یابد

رابطه فوق (  $lm = ky$  ) به کدام ناحیه نسبت داده می شود؟  
Outer layer

Inner layer

چون از عبارت نظری استفاده کردیم پس برای ناحیه نظری است (Inner layer)

در واقع در ناحیه نظری Van Driest از تابع زیر استفاده کرد

inner  
wall region

$$l_m = k \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\gamma u_*}{A + v}\right) \right] y$$

برای این رابطه

این از اینجاست که در همان شکل روی یک جسم هندسی است  
اصولاً  $2.5 \times 10^{-5}$  متر

در Mixing length استفاده می شود  
length

بسته!

$$\tau_T \gg \tau$$

بسیار بزرگتر است (معمولاً)

$$\mu_T \frac{\partial U}{\partial y} =$$

$$\frac{\partial U}{\partial y} = u_*$$

$$u^+ = A \log$$

$$\frac{\delta u^+}{\delta y^+} = A$$

$$\frac{\delta U}{\delta y} = u_* \frac{1}{ky}$$

$$u_* = \sqrt{\tau_w / \rho}$$

$$\mu_T \frac{\partial U}{\partial y} = \mu$$

$$\rightarrow \mu_T =$$

در  $50 < \gamma < 100$  بر مبنای تصدیر از تباری با هم زود در واقع فرض بر مدل مورد استفاده Van Driest  
در این مورد برای  $50 < \gamma < 100$  استفاده از فرض  $\text{mixing length}$  که  $\text{inner layer}$  قوی است

$$\lim_{\gamma \rightarrow 0} \lim_{\gamma \rightarrow \infty} = 0$$

وقتی  $\gamma \rightarrow 0$  پس  $\lim_{\gamma \rightarrow \infty}$  بر آید هر دو این به ازای ها ربط باشند؟

بنده در واقع Van Driest صندیس معدس استفاده کرده است یعنی تابع

سختی کرده است که وقتی  $\gamma \rightarrow \infty$  مقدار آن هم شود  $\infty$  خوب  $ky$  م

همین کار را هم کرده مثل  $ky$  این است که وقتی  $\gamma \rightarrow \infty$  مقدار آن  $\infty$  شود

اگر برای تابع مذکور (۶) مرتبه اول  $\gamma \rightarrow \infty$  بود

$$\lim_{\gamma \rightarrow \infty} ky (1 - e^{-\gamma/A}) = \lim_{\gamma \rightarrow \infty} \frac{ky (e^{\gamma/A} - 1)}{e^{\gamma/A}} = \frac{\infty}{\infty}$$

$$\stackrel{L}{=} \lim_{\gamma \rightarrow \infty} \frac{k (e^{\gamma/A} - 1) + ky/A (e^{\gamma/A})}{\gamma/A e^{\gamma/A}} = \lim_{\gamma \rightarrow \infty} A (k(1 - e^{-\gamma/A}) + ky/A)$$

$$\stackrel{L}{=} \lim_{\gamma \rightarrow \infty} A ($$

۱۶ برای  $\exp(-\gamma/A)$

که این درست است پس

شکل ۳۶ - نتایج

است . نهایتاً

Van Driest

mixing length

مدل منبره در  $\text{model}$

Van Driest

پس اگر  $5 < \gamma < 100$

استفاده کنیم  $A^+$  عدد  $\text{frequency}$

اندازه ادی ها را تغییر

پس مقدار  $A^+$  هم است

در  $\gamma \rightarrow \infty$  مقدار



۱۶ برای  $(m = ky(1 - \exp(-y/A)))$  اگر  $y \rightarrow \infty$  به  $km$  می رسد.

که این درست است بر Van Driest این تابع را با دقت در تصویر ارائه داد.

شکل ۳۶-۷. تابع Van Driest، با تغییر مقیاس کند و نشان در همه متابع خوب

است. نهایتاً

$$A^+ = 2$$

$$m = ky \left[ 1 - \exp\left(-\frac{y^{4+}}{A^{4+}}\right) \right]$$

Van Driest

mixing length

مدل منجر به مدل

Van Driest

$$m_T = \rho k^2 y^2 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{y^{4+}}{A^{4+}}\right) \right]^2 \left| \frac{y^+}{y} \right|$$

$$m_T = \rho k^2 \left| \frac{y^+}{y} \right|$$

پس اگر  $5 < y^+ < 50$ . تابع این مدل با تغییرات  $A^+$  می توان میزان دمای

استاد کنیم  $A^+$  علامت فرکانس مؤثر است. یعنی با تغییرات  $A^+$  می توان میزان دمای  
effective frequency

اندازه اسی حاصل تغییر داد. (مقدار به صورت  $A^+ \rightarrow \infty$  یا  $A^+ \rightarrow 0$ )  
 $A^+$  در این صورت در صورت مستقیم سال داشته است

پس مقدار  $A^+$  مهم است. در واقع Van Driest تلاش کرد تابعی تعریف کند که

در  $y \rightarrow \infty$  مقدار  $m \rightarrow \infty$  می خورد. در واقع این مثل یک damper عمل

کلی Linearly تغییر یافت

$$\lim_{y \rightarrow \infty} km =$$

برای  $y \rightarrow \infty$ ؟

اد کرده است یعنی تابع

۱۶ خوب  $ky$

$y$  مقدار آن چه شود

$$\lim_{y \rightarrow \infty} ky (1 - \exp(-y/A))$$

$$\lim_{y \rightarrow \infty} k(e^{y/A})$$

$$\lim_{y \rightarrow \infty} A ($$

گردد در واقع این damper مثل سیستم های ارتعاشی یک فرکانس دارد که  $A^+$  است  
 هر چه  $A^+$  زیاده شود damper قوی تر شود.  $A^+$  از اطلاعات تجربی بدست آمد.

برای معادله در شرایطی عددی توضیح Reichardt model (1951)

فرکانس ارتعاشی  $\gamma^+$  Richardt  

$$M_T = k p U \left[ \left( \frac{\gamma^+ u^*}{v} \right) - \gamma_a^+ \tanh \left( \frac{\gamma_a^+ x}{v \gamma_a^+} \right) \right]$$

استفاده کنیم عمل  $\frac{1}{\gamma^+}$  را ندارد.  $\gamma_a^+$  لاچرگی است.  $\gamma_a^+$  لاچرگی است.  $\gamma_a^+$  لاچرگی است.  $\gamma_a^+$  لاچرگی است.  
 دیانسیون چنان در صورت  $M_T$  طول را برای  $M_T$  لحاظ کردند. با این مدل چندان کار نماند.

و نتایج ننده از آن استخراج کنیم

~~توجه:~~ تمام مدل های ضرر معادله ای شکل صفر شدن  $M_T$  در  $\frac{54}{\gamma^+}$  را دارند.

فرض جدت اول  $M_T$  برابر برانگیخته شود. در واقع مقدار  $\gamma^+$  با توجه به زبری اصالت

شده است  $(k^+)$  پس وقتی از بدنه ضرر معادله ای و باید زبری مشخص خواهیم

کار کنیم مدل Reichardt استفاده کنیم. نهایتاً  $lm$  به شکل زیر بدست می آید.

Van Driest  $lm = k y \left[ 1 - \exp\left(\frac{-y^+}{26}\right) + \exp\left(\frac{-6.5y^+}{26k^+}\right) \right]$

این فرمول چندان به شکل  
 خوب است. توجه می شود در واقع  
 به نظر می رسد Van Driest  
 مدل از طریق برانگیخته شده است.  
 با این حال خوب می باشد.

همه شکل  $2.27$  توجه شود.

شکل separation

استفاده کنیم این مدل

برای injection

و تنش های injection

در واقع تمام کار  $\pm$  در معادله  
 $v = v_0 + v_1 u^+ + v_2 u^{+2}$   
 که ثابت شده در معادله  $u^+$  است.  

$$\frac{v}{u^+} = \frac{v_0 + v_1 u^+ + v_2 u^{+2}}{u^+}$$

شکل  $2.28$  برای

موزون کردند. در شکل

$v_0^+$  مستقیماً به injection

مقدار آن می شود

در  $\gamma^+$  اثر سه گانه داشت

injection است

مشکل separation هنوز هم وجود دارد اما هر چه از درجات بالاتر معادلات

استفاده کنیم این مشکل کمتر می شود.

برای injection و suction دیگر فرض  $T_w = T + T_T$  درست نیست

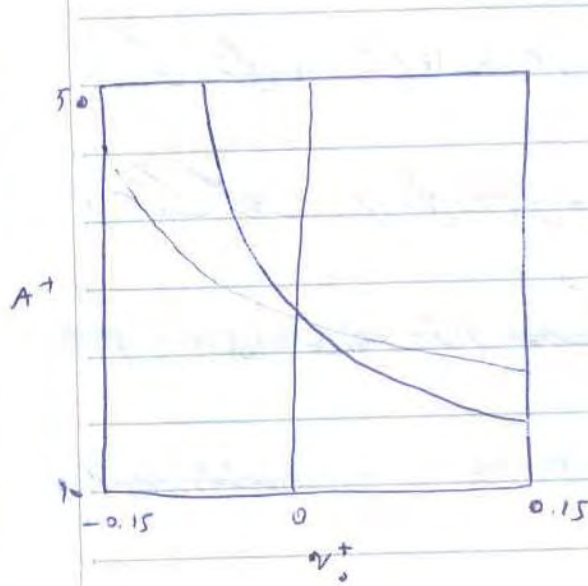
و تنش های injection و suction هم باید لحاظ شوند.

برای  $T + T_T = T_w + \rho v_w U$   $\rightarrow \frac{T + T_T}{T_w} = 1 + v_w^+ u^+$

لذا این هم غرضش اینست چون شبیه تنش های درون لایه است

$v_w^+ u^+ = \frac{v_w}{\sqrt{T_w}} \frac{U}{\sqrt{T_w}} = \frac{v_w}{\sqrt{T_w}} \cdot u^+ \rightarrow v_w^+ = \frac{v_w}{u_*}$

شکل ۳۸-۷ برای اثرات suction, injection, برای Van Driest



موزون گرفته در شکل  $v_0^+ = \frac{برفت}{u_*}$

$v_0^+$  مستقیماً به injection ربط دارد

مقدار آن هر چه بیشتر  $u_*$  برکت inject

$v_0^+$  اگر برکت داشته باشیم ناشی از

injection است

در آرد که  $A^+$  است

تعبیر به بیت آمد

Reichardt

$M_T = k P V$

این مدل چندان کار نماند

$\frac{54}{54}$  یا دارند

با توجه به نیروی امانه

برای مشخص خواستیم

برای برکت  $u_*$

مدت اندیشه : نرم

$l_m = k y$

این مدل چندان کار نماند  
خوبه با توجه به عدد رینولدز  
Van Driest مدل از طریق معادلات  
با استفاده از  $u_*$



تغییر  $\delta$  در اثر تغییر در  $\nu$  و  $u$  و  $\rho$  و  $\mu$  و  $\tau_w$  و  $\rho u^2$  و  $\rho u^3$  و  $\rho u^4$  و  $\rho u^5$  و  $\rho u^6$  و  $\rho u^7$  و  $\rho u^8$  و  $\rho u^9$  و  $\rho u^{10}$  و  $\rho u^{11}$  و  $\rho u^{12}$  و  $\rho u^{13}$  و  $\rho u^{14}$  و  $\rho u^{15}$  و  $\rho u^{16}$  و  $\rho u^{17}$  و  $\rho u^{18}$  و  $\rho u^{19}$  و  $\rho u^{20}$  و  $\rho u^{21}$  و  $\rho u^{22}$  و  $\rho u^{23}$  و  $\rho u^{24}$  و  $\rho u^{25}$  و  $\rho u^{26}$  و  $\rho u^{27}$  و  $\rho u^{28}$  و  $\rho u^{29}$  و  $\rho u^{30}$  و  $\rho u^{31}$  و  $\rho u^{32}$  و  $\rho u^{33}$  و  $\rho u^{34}$  و  $\rho u^{35}$  و  $\rho u^{36}$  و  $\rho u^{37}$  و  $\rho u^{38}$  و  $\rho u^{39}$  و  $\rho u^{40}$  و  $\rho u^{41}$  و  $\rho u^{42}$  و  $\rho u^{43}$  و  $\rho u^{44}$  و  $\rho u^{45}$  و  $\rho u^{46}$  و  $\rho u^{47}$  و  $\rho u^{48}$  و  $\rho u^{49}$  و  $\rho u^{50}$  و  $\rho u^{51}$  و  $\rho u^{52}$  و  $\rho u^{53}$  و  $\rho u^{54}$  و  $\rho u^{55}$  و  $\rho u^{56}$  و  $\rho u^{57}$  و  $\rho u^{58}$  و  $\rho u^{59}$  و  $\rho u^{60}$  و  $\rho u^{61}$  و  $\rho u^{62}$  و  $\rho u^{63}$  و  $\rho u^{64}$  و  $\rho u^{65}$  و  $\rho u^{66}$  و  $\rho u^{67}$  و  $\rho u^{68}$  و  $\rho u^{69}$  و  $\rho u^{70}$  و  $\rho u^{71}$  و  $\rho u^{72}$  و  $\rho u^{73}$  و  $\rho u^{74}$  و  $\rho u^{75}$  و  $\rho u^{76}$  و  $\rho u^{77}$  و  $\rho u^{78}$  و  $\rho u^{79}$  و  $\rho u^{80}$  و  $\rho u^{81}$  و  $\rho u^{82}$  و  $\rho u^{83}$  و  $\rho u^{84}$  و  $\rho u^{85}$  و  $\rho u^{86}$  و  $\rho u^{87}$  و  $\rho u^{88}$  و  $\rho u^{89}$  و  $\rho u^{90}$  و  $\rho u^{91}$  و  $\rho u^{92}$  و  $\rho u^{93}$  و  $\rho u^{94}$  و  $\rho u^{95}$  و  $\rho u^{96}$  و  $\rho u^{97}$  و  $\rho u^{98}$  و  $\rho u^{99}$  و  $\rho u^{100}$

1 / 1

**جران با کرایین قشر**

Granville (1987) Van Driest

for smooth solid surface

$$\frac{\mu_T}{\mu} = k y^+ (T/T_w) [1 - \exp(-y^+ \sqrt{1 + a p^+ / 24})^2]$$

Van Driest

$$p^+ = \alpha (\nu / \rho u^2)^3 dP/dx$$

$$\begin{cases} \alpha = 14.5 & p^+ > 0 \\ \alpha = 18.0 & p^+ < 0 \end{cases}$$

2000

**اداره**

eddy viscosity

Van Driest

Outer region

قطر

length scale

Outer regions

تأثیر

outer region

$$l_m = 0.098$$

تجزیه

مقدار

$$\tau_w (1 + \nu_0^+ u_w^+)$$

Richardson

$$k \rho u^2 (1 + \nu_0^+ u_w^+)$$

$$y_a^+ = \frac{3.05}{\nu_0^+ + 0.0}$$

شش

در استان

$\nu_0^+$

برای

استان





این نکته کار اینست: ① در قطر بزرگتر اصل عدم لغزش ② اجلا تغییرهای جدید برای

unic شدن گراف های به دست آمده برای هر یک ۱۹

**Clauuser eddy viscosity**

clauuser (1956)  $\mu_T \sim \text{density} * \text{velocity} * \text{length}$

defect law  $u_* = \text{characteristic velocity}$  برای برقراری قانون دیپلر در defect law  
مطبی  $u$  از  $u_*$  استفاده کرده است

characteristic length  $\Delta: \frac{\Delta}{\delta} = - \int_0^1 \frac{(U-U_e)}{u_*} d(y/\delta)$

$\rightarrow \Delta = U_e/u_* \delta^*$

برای هر سرعت  $\delta/\delta^* = 3.6$

با توجه به تعریف  $\mu_T$  فوق:

$\mu_T = C \rho u_* \Delta$  این فرمول برای حالت دار  $\Delta^*$  نیز درست است (البته  $\Delta^*$  است)  $C$  ثابتی است که تعریف دارد  
 $\delta^* = \int_0^{\delta} \frac{U_e}{u_*} dy$  (۷۷۹)

$\rightarrow \mu_T = C \rho U_e \delta^*$

با  $fit$  کردن نتایج تجربی  $C = 0.018 \rightarrow \mu_T = 0.018 \rho u_* \Delta$

مقادیر  $C$  و  $\mu_T$  برای  $\delta^*$  و  $\Delta$  در شکل ۷-۲۴  
۷-۲۶ در آهسته آهسته

۲۴۵ محققان میباشند  
Clauuser بزرگترین است

در هر دو ناحیه داخل و خارج  
مماس بر سطح می باشد

با این کارها ضریب

شکل ۷-۴۴

گراف ۷-۴۵

در محل

شکل ۷-۴۷

نرم افزارها

هم استاد

شکل ۷-۴۸

بجای

مقادیر برعکس

استفاده شده



مثلاً ۲۷۰ محققان عنوان مدل بردند که برای نگن نامه درست باشد در واقع از مدل Reichardt برای عبور از  
 Clauser برای همه موارد استفاده کردند یا نه؟ چنین مدلی می توان در صورت چنین درستی از استفاده  $M_T$  استفاده کرد  
 و  $M_T$  نامه داخل نیز بالا اقرایش فرماید. چون مدل را از روی این صورت چنین درستی از استفاده  $M_T$  استفاده کرد نامه داخل  
 معادله پس مدل نامه داخل  $M_T$  استفاده کرد نامه داخل از  $M_T$  استفاده کرد نامه داخل از  $M_T$  استفاده کرد نامه داخل  
 با این کارها ضریب مشتق مرتبه ۳ معادله بلانز یوس بدست می آید.  
 (شکل ۷-۴۷، ۷-۴۸)

شکل ۷-۴۷ - تعریف متغیر مورد استفاده بر حسب  $\frac{1}{8}$

گزارت ۷-۴۵

در حل Clauser انتظار داریم  $M_T$  نسبت به  $\gamma$  ثابت باشد  
 $M_T \neq f(\gamma)$  ,  $l_m = 0.528$

شکل ۷-۴۷ - چون مدل های صفر معادله ای جواب های خوبی نمی دهند در

نرم افزارهای تجاری کمتر استفاده می شود. اما از این مبانی برای مدل های دو معادله ای  
 هم استفاده نمود پس حذف مبانی اشتباه است.

شکل ۷-۴۸ - حل ها را ارائه کرده است

بخت عددی

علاوه بر معادله بیرونی باید از معادله مستقیم ای استفاده شود که از  $M_T$  و  $M$  عنوان  
 استفاده شده است. مقدار  $M_T$  را باید با توجه به روش های قبل بدست آورد

تغییرهای جدید برای

Clausen e

Clausen (195

defect law

استفاده کرده است

characteristic

۵/۸

$M_T = CPU$

۱۷۷۹

$M_T = C$

کردن نتایج تجربی

۷-۴۴

(در معادله حتم به جای  $M$  مقدار  $M = M_1 + M_2$  بگذار)

اگر در لایه مرزی من زده باش باید بایک aspect ratio تغییر کند

$(\Delta y)_{m+1} = k (\Delta y)_m$   
with  $1.05 \leq k \leq 1.10$

حرف به سمت لایه مرزی هر چه گرادیان های بیشتر آید کمتر می شود پس نیاز

گتری به شبکه پیچیده برای جواب گرفتن داریم.

(laminar : 25 points)

Turbulence with  $\delta^+ = 5000$

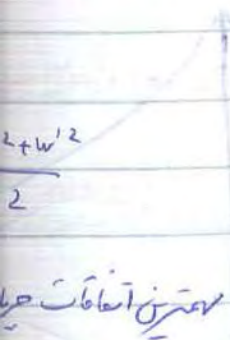
need to 5000 points with  $k=1$ .

need to 100 points with  $k=1.05$

که ایجاد این در سن

شکل  $v=5.1 / v=5.0$

معادلات یک و دو



نسبت انبساط جری

Production  $-\rho \overline{u'v'}$   $\frac{\partial \overline{v}}{\partial y}$   
dissipation  $-\mu \sum \frac{(\partial u'_i)}{\partial x_j}^2$

نیازی به به سمت آید

معادله باال معادله تولید

قرارداد: هر چیزی (+)

معادلات تک و دو معادله‌ای جریان آشفتگی برای KE

$$K = \frac{u'^2 + v'^2 + w'^2}{2}$$

$$k' = \frac{u'^2 + v'^2 + w'^2}{2}$$

مغزین آشفتگی جریان آشفتگی به وجود آمدن fluctuation در جریان

انسان ک و k' را تعریف کردیم.

در راستای x  $u' \times N \cdot S$   
 در راستای y  $v' \times N \cdot S$   
 در راستای z  $w' \times N \cdot S$

Sum  
 Time Ave.

$$\rho \left( u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} \right) = - \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho \overline{v'k'} + \overline{v'p'} \right) - \rho \overline{u'v'} \frac{\partial v}{\partial y} - \mu \sum \left( \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \right)^2$$

diffusion
production

Convection
dissipation

نیازی به بویست آوردن معادله بااستیت

معادله باال معادله تولید در انرژی آشفتگی نام دارد.

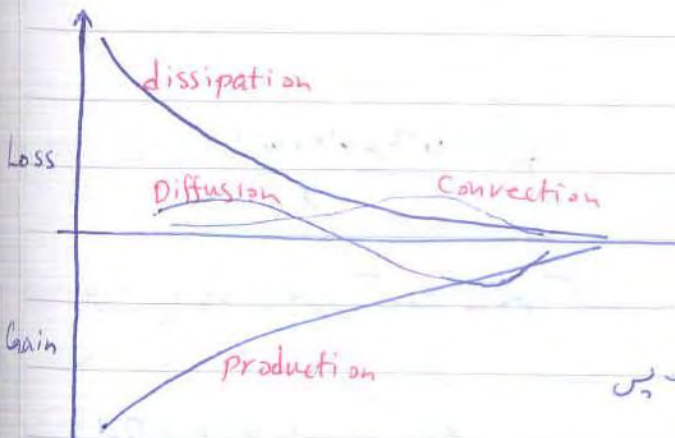
قرارداد: + چه منفی - برای مشخص عدم در معادله باال باید چه

aspect  
 $(\Delta y)_{m+1,2}$   
 with 1.

مگر شورش نیاز

Laminar vs p  
 Turbulence w

جهت را به یک سمت ببریم



باید قرارداد

Hintz را در نظر گرفت

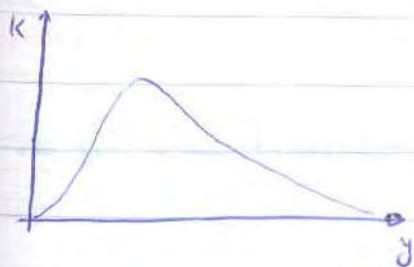
production :  $\overline{u'v'}$  است پس

$\overline{u'v'}$  - مثبت است یا برای production همیشه مثبت است (این را این)

رسم کرد است

$$\text{dissipation} : -\mu \sum \left( \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} \right)^2$$

k ابتدا صعودی سپس نزولی است پس  $\frac{\partial k}{\partial y}$  اوایل مثبت و سپس منفی است



علت  $\frac{\partial k}{\partial x}$  مثبت است زیرا هر چه میان عملی تر فرآیند برودها بیشتر میشود

جریان آشفتگی بیشتر خودش را آشفتگی می‌کند

v: می‌تواند مثبت یا منفی باشد اما برای آشفتش نمی‌تواند مثبت باشد زیرا در این صورت

اصلاً لایه مرزی نداریم.

$$u \frac{\partial k}{\partial x} + v \frac{\partial k}{\partial y} \quad \text{convection}$$

⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕ ⊕

scale term u بزرگ تر است پس term اول conv غالب است پس معادله

آنرا + می‌توان در نظر گرفت البته term دوم به صورت  $\infty \times \infty$  می‌توان در نظر گرفت

که البته کوچک است و تقریباً صاف می‌شود

$$\text{در شروع } \frac{\partial k}{\partial y} \text{ مثبت است و بعد منفی می‌شود. زمانی که } v \frac{\partial k}{\partial y} \text{ است به } u \frac{\partial k}{\partial x}$$

مثبت است که می‌تواند و پس که تدریجاً  $\infty$  بودن term اول می‌کند.

پس یک تابع داریم که ابتدا صعودی و پس تدریجاً است. این تابع یک اکسپوننسیال

خواهد داشت: برای یافتن جای اکسپوننسیال باید مشتق گیری کرد:



ت (این را بین)

پس مشتق است



خورد ها بیشتر می‌شود و

موضوع:

تاریخ: / /

$$\frac{d}{dt} (\rho v' k' + v' p')$$

حالا برای ترم دیفیوژن مردم:

$v'$  مثبت یا منفی  
 $k'$  مثبت

ابتدا ترم  $\rho v' k'$  را کنار می‌گذاریم

بقدر  $k'$  ادمان  $v'$  است و در حال افزایش است یا کاهش؟

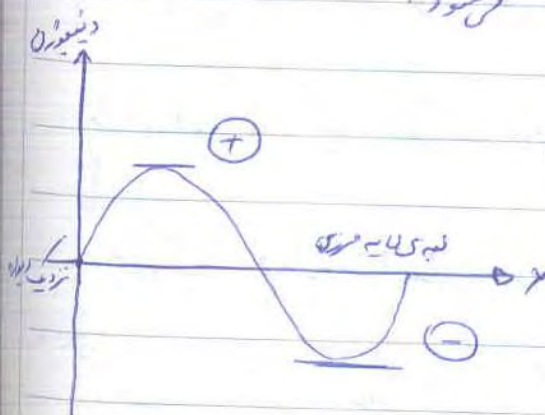
تغییرات  $v'$  است و ابتدا صعودی و سپس نزولی است.  $k'$  هم رفتاری شبیه

$v'$  دارد. وقتی سیال از دیواره جدا می‌شود  $\frac{dv'}{dy} > 0$  در غیر اینصورت  $\frac{dv'}{dy} < 0$

در اول  $\frac{dv'}{dy} > 0$  است عدصت دیفیوژن است پس نزدیک دیواره علامت

دیفیوژن است بعد از آن می‌شود

پس  $v'$  و  $k'$  روی سطح هم‌فاز و ریزناخ



باید بیرونش داشته باشد پس شکل

حاصل شما شکل است پس دیفیوژن

موضوع:

دارای در انحراف و یک

در واقع به واسطه

ترم دیفیوژن را ترم

$v' p'$  نقطه عطف را

تفاوت دارد چون

استقیماً روی  $p$  اثر

و این به تغییر نقطه عطف

منتهی به اول

یعنی نزدیک دیواره

در هم می‌شود که این

و قابل به تولید



دارای در آن هم یک عطف است:

در واقع به واسطه نزدیک بودن تم  $k \sqrt{p}$  نسبت به  $\sqrt{p}$  عطف

تم دیترون را تم اول شخص می‌کنند.

$\sqrt{p}$  نقطه عطف را مشخص می‌کنند. محل نقطه عطف در کتاب‌های مختلف

تفاوت دارد چون شرط مرزی دیوار برای آن‌ها تفاوت دارد و این شرط مرزی

ستقیماً روی  $p$  اثر ندارد و  $p$  را تغییر می‌دهد که این در تم  $\sqrt{p}$  وجود دارد

و این به تغییر نقطه عطف می‌انجامد.

**مفهوم مهم:** اول ما تم داریم سپس فریم

یعنی نزدیک دیوار که ذرات می‌خواهند حرکت کنند با مقاومت در برابر عبور از دیوار

رو به رو می‌شوند که این یعنی loss و اصطلاح اول هر چه بالا می‌روند قدرشان بیشتر می‌شوند

و قابل به تولید و Production می‌گویند که عطف فریم در  $\text{Casimir}$  است

$$\frac{\partial}{\partial y} (p \sqrt{h})$$

قص؟

ک هم فشاری شبیه

$$\frac{\partial \sqrt{p}}{\partial y}$$

پس نزدیک دیوار اطلاعات



معادله فرق بین حقل است در واقع  $u \frac{\partial k}{\partial x}$  غیر حقل است و به این دلیل معادله

حل صریح ندارد و از اطلاعات تجربی که به دست آورده ایم استفاده میکنیم مثلاً

Dissipation را به صورت زیر مدل میکنیم

$$Dissipation \Rightarrow \mu \sum_{\frac{\partial u_i}{\partial x_j}}^2 \approx C_D \frac{\rho k^{3/2}}{L}$$

این میریزد که نیست.

این قبلاً در اطلاعات تجربی هم به دست آمده بود که تقش ها برابر سرعت  $\times$  میخان  $\times$  طول

است که این scale ها در با هم وجود دارد هر چه طول ادی ها بزرگ تر باشد

dissipation کاهش پیدا میکند که این از فرمول هم مشخص است. هر چه  $\epsilon$  fluctuation

بیشتر شود (یعنی  $k$  بیشتر باشد) dissipation بیشتر میشود

$k$  هم تولید نیست هم از بین میرفتن است: نه تولید است نه از بین میرفتن

$$M_T \approx \rho \sqrt{k} l$$

در عملیات قبل گفته شد

Bradshaw:  $\tau_T = -\rho \overline{u'v'} = \alpha_1 \rho k$  یعنی هر چه قدر  $k$  زیاد شود

Fluctuation ها زیاد میشوند پس اصطلاح زیاد میشود

از سوی دیگر با افزایش  $\epsilon$

بود که تولید و اصطلاح

و اهداف انرژی است

تمام این ها که تقسیم به لسان

در معادله فرق دارد

به دست می آید

$$\rho \sqrt{k} L \left( \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2$$

$$C_D \frac{\rho k^{3/2}}{L}$$

این معادله هم چنان هم

میکشیم



از سوی دیگر با افزایش جفت رگوش تولید هم بیشتر شود. این از طرف جن هم مشخص

بود که تولید و اصطلاح هم order بودند. (هر چه انرژی مشخصی بیشتر باشد تولید

و اهداف انرژی این بیشتر است)

$$a_1 = 0.3 \text{ (از تجربی)}$$

$$-(\rho \overline{v'k'} + \overline{v'p'}) = \frac{\rho \sqrt{k} L}{\delta k} \frac{\delta k}{\delta y}$$

تمام این ها که تقسیم به لایه می شود

اگر معادله فوق را در N.S جایگذاری کنیم معادله ای Spalart-Allmaras

به دست می آید:

$$\rho (U \frac{\delta k}{\delta x} + v \frac{\delta k}{\delta y}) = \frac{\delta}{\delta y} \left( \frac{\rho \sqrt{k} L}{\delta k} \frac{\delta k}{\delta y} \right) + \rho \sqrt{k} L \left( \frac{\delta U}{\delta y} \right)^2 - c_D \frac{\rho k^{3/2}}{L}$$

این معادله همان ترن های کینتیک خودش Convection را دارد. حال معادله سازی

کنیم

این دلیل معادله

توجه به این نکته

Dissipation

توجه به این نکته

توجه به این نکته

fluctuation

معمول

$M_T \approx \rho$

Bradshaw:  $\tau_T =$

کنار دیوار مطابق با فرآیند  $v-24$  ، Convection ، Diffusion و تولید و تلفات

پس نزدیک دیوار: production + dissipation

$$\rightarrow \rho \sqrt{k} L \left( \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 = C_D \frac{\rho k^{3/2}}{L}$$

برای یافتن معادله ساز تراکم های لزجت اوی استفاده میکنیم

$$\tau = -\rho \overline{u'v'} = \mu_T \frac{\partial U}{\partial y}$$

که مطابق فرض بوزنیک

$$\rightarrow \tau_T^2 = (-\rho \overline{u'v'})^2 = \left( \mu_T \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 = \mu_T \cdot \mu_T \left( \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2$$

$$= \mu_T \left( \frac{\rho k^{3/2}}{L} C_D \right)$$

$$\mu_T = \rho \sqrt{k} L \rightarrow \tau_T^2 = C_D \rho^2 k^2 \rightarrow \tau_T = C_D^{1/2} \rho k \quad \textcircled{A}$$

یعنی اگر ثابت تجربی  $C_D$  را قبول کنیم و معادله درین انیل را حل کنیم با آن  $k$  به دست فرآید

با قرار دادن  $k$  در  $\textcircled{A}$  تنش به دست فرآید و با داشتن تنش تمام اطلاعات به دست فرآید

پس در مدل های یک معادله ای در نزدیک لب فقط Prod ، Dissip را

در نظر فرمایید

تولید و تلفات

معادله با بوزنیک

وقت معادله \*

با مقایسه رابطه

$C_D \approx 0.08 - 0.09$

معادله \* یک مدل

این مدل کمی ساده

اصل در نظر گرفته شد

در نظر فرمایید:

فرود یک لایه مرزی دیگر این مدل درست نیست.

$$\tau_T = C_D^{1/2} \rho k$$

معمولاً رابطه ذیل کارایی است بیاد در دو در بالا جایگزین می شود

$$\rho \sqrt{k} h \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 = C_D \frac{\rho k^{3/2}}{L}$$

$$\tau_T = C_D^{-1/2} \rho L^2 \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2$$

نقته: معادله (\*) یک معادله اسپالارت آلا ریاس است و بقیه معادلات ساده سازی است.

با مقایسه رابطه  $\tau_T = C_D^{1/2} \rho k$  و رابطه  $\tau_T = a \rho k$  در می یابیم  
( $C_D \approx 0.08 - 0.09$ ) یا (توجه به  $a_1 \approx 0.30$ )

معادله (\*) یک مدل یک معادله ای است و با ساده سازی  $\tau_T$  به دست آمد.

این مدل کجا جواب عالی درستی می دهد؟ نرم اضمحلال به عنوان یک معادله

اصل در نظر گرفته شد (معادله ۱۵). در جاهایی که اضمحلال شدیداً قوی تر از تولید

diffusion بل سیستم

$$\rightarrow \rho \sqrt{k} h$$

$$\tau = -\rho u'v'$$

نرخ بزرگ

$$\rightarrow \tau_T^2 = ($$

$$\mu_T = \rho \sqrt{k}$$

آن کاربرد می آید.

اطلاعات به دست می آید.

dissip

است (مثل فون) پاسخ های خوبی نمی دهد. قرار از یک مجرای مثل عبور می کند پس

با یک جریان اگر در روبرو شود در این حالت جریان دورست دارد مقدار فضای

در اختیارش را افزایش دهد در شد کند این روند



هرام با کاهش شدید انرژی سیال است و با

اصحاحال شدید سیال روبرو است در جاهای

نمای از یک نمونه  
(Shear flow)

که برخورد جریان به وجود آید خطای عدل زیاد است.

در جریان های  $supersonic/hypersonic$  این مدل جواب های خوبی می دهد.  $Ma > 1.5$

و  $Fluctuation$  های زیاد است و به همین علت پاسخ ها خوب می شود.

علت مقایسه مدل های توربولان در محالات این است که مدل ها اثرات قطعی ندارند

در این صورت به دست آمده اند ولی توان آن ها را چرا استفاده کرد.

در این مدل نقطه  $k$  را دیدیم یعنی در واقع  $Fluctuation$  ها را دیدیم. در واقع فقط

Fluctuation

است

del

$$\frac{k^{3/2}}{e}$$

$$\left( c_1 \frac{\mu_T}{k} \left( \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 \right)^{1/2}$$

\*\*

در صورت آوردن

برای نواح دور

از معادله \*\*

در نواح دور از دیوار

نرم ها استفاده

$$= -c_D \frac{\rho^2 k^2}{\mu_T}$$

رابطه فوق از

Fluctuation **مانند** که بر جریان توربولانسی اثرگذارند بیک اندازه ادی هاینز مهم

Zspalding if  $m = \frac{3}{2}$ ,  $n = -1 \rightarrow k-\epsilon$  Model  
 $\epsilon = Z = \frac{k^{3/2}}{c}$

$$\rho \left( U \frac{\partial Z}{\partial x} + V \frac{\partial Z}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\rho \sqrt{k} l}{\sigma \epsilon} \frac{\partial Z}{\partial y} \right) + Z \left( c_1 \frac{\mu_T}{k} \left( \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 - c_2 \frac{\rho k}{\mu_T} \right) + \delta z \quad (**)$$

در صورت آوردن معادله فوق باشد (\*) است. هر چند عدد اینک تعادلت دارند.

برای نواح دور از دیواره:

از معادله (\*\*):  $\rho U \frac{\partial Z}{\partial x} = -c_2 \frac{\rho k Z}{\mu_T}$

در نواح دور از دیواره ترمهای Convection  $\rightarrow$  diffusion غالب اند و از این

ترمها استفاده نمیکنند. ترمهای production حذف شد

معادله (\*):  $\mu_T = \rho \sqrt{k} l \rightarrow \rho U \frac{\partial k}{\partial x} = -c_D \frac{\rho k^{3/2}}{L} = -c_D \frac{\rho^2 k^2}{\mu_T}$

رابطه فوق از معادله (\*) و برای نواح دور از دیواره برقرار است.

یا محل عبور می کند پس

دارد مقدار فضای



تولید در  $k = \mu_T$

موجب می شود

ترا قطعیت ندارند

را دیدند در واقع خط

درجه  $\alpha$  = مرزی مقدار  $k$  به مرز میل کردن  $Y$  production جزئیات.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Z}{\partial x} &= \frac{\partial Z}{\partial k} \cdot \frac{\partial k}{\partial x} \\ Z &= L^n k^m \end{aligned} \right\} \Rightarrow C_2 = C_D (m - \frac{n}{2})$$

**تمرین:** رابطه فوق را ثابت کنید.

این رابطه چه معنی میدهد؟

معنی آن ارسال  $k$  را دور از دیواره در نظر بگیریم.  $C_D$  را از تعریف  $C_D$  در دست آوریم.

کابل یافتن ضریب  $C_D$  از مشتق زنجیره ای  $\frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{\partial Z}{\partial k} \cdot \frac{\partial k}{\partial x}$  استفاده

کلیتیم

فرض  $T_1, T_2$  :  $\frac{\partial U}{\partial y} = \frac{u_+}{k y} = \frac{\sqrt{C_w/P}}{k y}$   
 اثبات را ببینید

$u^+ = \frac{1}{k} \ln y^+ \rightarrow \frac{\partial u^+}{\partial y^+} = \frac{1}{k y^+}$   $u^+$  و  $y^+$  را جایگزین کنیم

$\rightarrow C_1 = \frac{C_2}{C_D} - \frac{k^2 n^2}{6\varepsilon - C_D^{1/2}}$

۹۱، ۲، ۲۳

در دست آوریم

از برای

اعلای

تواند حل

فصل اول

به طوری

یا آن

ساد این

ابطای

۹۱، ۲، ۲۳

مدل  $k-\epsilon$        $Z = \epsilon = \frac{k^{3/2}}{e}$        $m = 3/2$        $n = -1$

$C_1 \approx 1.5$  ,  $C_2 \approx 0.18$  ,  $b_\epsilon = 1$        $k = 0.41$

در صورتی که اعداد  $3/2$  و  $-1$  را تغییر دهیم مدل های دیگری بدست می آید

از فرم های مدل  $k-\epsilon$  در نظر گرفتن یک حالت عمومی برای جریانهای مختلف

اغلب جریانهای راکت به صورت ساده (بدون چرخش و پیچش) هستند را

می توانند مدل کنند. جریانهای که یک سیال پلیم دارند و ماده دیگر داخل آن نفوذ می کنند

مثل آلودگی داخل یک رودخانه یا دریاچه (مثل جریانهای دو فازی) را مدل می کنند

به طوری که مهم ترین بحث جایی که مراجع به اشتراک می گذارند رویه پیچش

(یا آلودگی) یا تخریب سیال داخل سیال دیگر است. پس علاوه بر موارد

ساده این موارد پیچیده را نیز مدل می کنند.

اطلاعاتی اگر جریان گفته آشفته نباشد و جریان آرام به صورت زیر

$\frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{\partial Z}{\partial x}$

$Z = L^n k^m$

از تغییر در مدل

$\frac{\partial Z}{\partial x} = \frac{\partial Z}{\partial x}$

T

$u^+ = \frac{1}{k} \ln y^+$

$C_1 = \frac{C_2}{C_p}$

پیش‌بینی خوب نیست. پس جریان‌هایی که از ابتدا آرام هستند و سپس آشفته می‌شوند را خوب مدل می‌کنند. در جریان‌های غیرمحصور خوب نیست زیرا این حالت همراه با انبساط است و انبساط (expansion) با اصطکاک زیاد همراه است و اصطکاک زیاد خوب توسط مدل  $k-\epsilon$  شبیه‌سازی نمی‌شود. جریان‌های دارای برخورد هم خوب مدل نمی‌شوند.

جریان‌های ثانویه هم با  $k-\epsilon$  خوب جواب نمی‌گیرند. جریان‌های ثانویه جریان‌هایی هستند که با تأثیر از بالا دست ایجاد می‌شوند. مثل پدیده گردزنی که در ابتدا یک آشفتگی دارد اما پس از برخورد با پرده‌ها در خود جریان‌های ثانویه ایجاد می‌شود.

جریان‌هایی که کرنش زیادی ایجاد می‌کنند (جریان‌های دارای شعاع انحناهای زیاد) که مسائل در ماصیه‌ای نسبت به نواحی دیگر تغییرات شدید دارد در فرایب  $k-\epsilon$

دیده نشده است

SST  $k-\omega$

بزرگ‌ترین

اصطکاک

مدل  $\omega$

به خاطر

این مدل پایه

مدل شود

که فرض

بها

نمی‌شود



دیده شده است. حتی  $w-k$  هم این ویژگی را ندارد،  $v^2 = \epsilon$

$SST$   $k-w$  این ویژگی را دارند که این جریانها را مدل کند.

بزرگترین ضعف مدل های  $k-\epsilon$  جریانهای دارای چرخش است. باز هم بدلیل

اضمحلات مدل  $k-\epsilon$  خوب عمل نمیکند.

مدل  $k-w$

به خاطر اشکالات مدل  $k-\epsilon$  پیشنهاد شد.

$$w = \frac{\epsilon}{k} = \frac{k^{1/2}}{\ell} \quad m = 1/2, \quad n = -1$$

این مدل پایه گذاری شد تا بتواند چرخش جریان را مدل کند اما این چرخش تا حدی تواند

مدل شود. مثلا در wake این چرخش مدل میشود اما این چرخش ها در *separations*

که چرخش ها و اضمحلات زیاد است نمی تواند مدل شوند.

Fully\_turbulent, laminar sub-layer که توسط RANS حل می شود.

نمی شوند.

موضوع:

تاریخ: / /

$$\mu_T = \rho \sqrt{k} L \quad \text{در } k-\epsilon$$

$$\epsilon = \frac{k^{3/2}}{L} \Rightarrow L = \frac{k^{3/2}}{\epsilon}$$

$$\mu_T \propto \frac{k^2}{\epsilon}$$

ما گویایاً برینال  $\mu_T$  هستیم این  $\mu_T$ ؛ order دوم  $k$  و order اول  $\epsilon$

متناسب است یعنی  $\mu_T$  بیشتر از اینکه با اصطلاحات متناسب باشد با تولید متناسب

$$L = \frac{k^{1/2}}{w} \rightarrow \mu_T \propto \frac{k}{w} \quad \text{در } k-w$$

است

یعنی در مدل  $k-w$ , order تولید را هم عمل در عبارت  $\mu_T$  بیان است شده اگر

$5 < \epsilon < 2.5$   $k$  باشد در مدل  $k-\epsilon$  از  $k$  بیشتر شود و  $\mu_T$  از مرتبه بزرگ تر

از واحد و شود که یک حالت غیر واقع پیدا کند. در واقع  $k$  یک عدد بزرگ گالی است

و در مدل  $k-w$  خود  $k$  به کار رفته است بر خلاف  $k-\epsilon$  که  $k$  را عدد بزرگ گالی گرفته است

در مدل  $k-\epsilon$  اگر  $k$  عدد صریحی کند  $\mu_T$  به صریحی رود (با در نظر گرفتن

بیان برین order  $k-\epsilon$ )

موضوع:

ضرایب توربولانس

ضرایب توربولانس

ضریب غلظت

در واقع

inertia

بیشتر از مرتبه جریان

در حالت  $w$

بصورت زیر است

$$\frac{\partial k}{\partial x_j} \} + C_0 k$$

$$Y_m + S_k$$

$$\frac{\delta \epsilon}{\delta x_j}$$

$$(C_3 \epsilon C_0 b)$$

$$+ S_\epsilon$$



پس در نرم افزارهای تجاری محاسبات باید سری تغییرات وارد می شوند

مثل نرم چینه تولید یا اصحصال (S<sub>k</sub> و S<sub>ε</sub>) و نرم (pk) unsteady  $\frac{\partial}{\partial t}$

و (M<sub>ε</sub>)  $\frac{\partial}{\partial t}$  در واقع اثرات نیروهای مثل مغناطیسی در -

نرم های و نرم های تولید هستند اما در روابط نیروهای بویانسی، شناوری،

گرادیان فشار و - هستند در نرم های  $\gamma_m$  مربوط به تغییرات ارتفاع و ناشی از

تغییرات دانسیته اند. (از کتاب دکتر مطالعه شود فصل ۳)

$$C_{1\epsilon} = 1.44 \quad C_{2\epsilon} = 1.92 \quad C_m = 0.09 \quad C_k = 1.3$$

$$\mu_T = \rho \sqrt{k} L = C_m \rho \frac{k^2}{\epsilon}$$

(قبلاً ثابت کردیم  $\mu_T = \frac{k^2}{\epsilon}$ )

**سوال:** فرضاً هم یک مند جدید را بررسی کنیم که در طی آن اندازه سایر ضرایب ها

یا اندازه ادی ها به شدت در حال تغییر است. مثل جریان در یک نازل، هم قطر

ت که کدام توان اهمیت بیشتری دارد؟

در جریان های د

استفاده کرد.

در جریان در نازل

تغییرات مربوط

C<sub>ε</sub> عبارت از

و یا راحت تر

فیزیکی است که

این جاهاست

یک مدل چهار

$(0.15 \frac{d}{b})^2$

d: فاصله از دی

D: طول میانه

در جریان های دارای چرخش یا کرنش زیاد نمی توان از ثوابت فوق

استفاده کرد. جریان های با کرنش زیاد جریان های Compressible می باشند

و جریان می تواند با تغییر شکل شدید امکان همراه باشد. وقتی کرنش زیاد است یعنی

تغییرات سرعت در راستای مخالف آن زیاد است. (کرنش  $\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$ )

$C_{14}$  عبارت است که فقط در ترم های بویانسی در فرم سرعت و نرخ فشار

و یا راحت تر در فرم های Boundary Condition منتهی وارد می شود. چون  $C_{14}$

ضریب است که برای  $\mu$  های صفت 8.0 اثر گذار و تفاوت جابجی در

این جاهاست پس این ضریب اثر گذارتر است. برای تاثیر بیشتر این ضریب

یک مدل چهار معادله ای به نام  $v^2 = f$  مطرح شد.

$v^2 = f$  model:  $C_{14} = 1.3 + 0.25 / [1 + (0.15d/D)^4]^6$

$d$ : فاصله از دیوار

$D$ : طول معیاری مناسب برای آنشفت  $(L = \frac{k^{3/2}}{\epsilon})$

وارد می شوند

$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k)$

فنی، شناوری

ارتفاع رانشی از

$C_{14} = 1.44$

$\mu_T = \rho \nu_T$

اندازه سایر ضریب ها

یک پارک، قطر

بعضی فاصله از دیواره را برای هر گره کمتر دهد و مطابق آن  $C_{1E}$  تغییر دهند.

$\left\{ \begin{array}{l} C_{1E} = 1.55 \\ C_{1E} = 1.3 \end{array} \right.$	تزدیک دیواره	در حالت دیگر:
	تزدیک جریان آزاد	

یعنی از مقدار متوسط ( $C_{1E} = 1.46$ ) هر چه به جریان آزاد نزدیک تر شویم  $C_{1E}$

کوچک تر و هر چه به دیواره نزدیک شویم  $C_{1E}$  بزرگ تر می شود. در واقع در نزدیک

دیواره با افزایش  $C_{1E}$  قدرت ترم های اصطحاب را افزایش می دهیم که این از نظر

میکرو گرم درست است چون در نزدیک دیواره بارز شدن ادلی ها اصطحاب است

افزایش می یابند

تقریباً به نظر شما خود ستادیر  $C_{1E}$  به صورت مطلق اهمیت دارند یا نسبت

آن ها ؟

در پروژه‌ها به موارد زیر دقت کنید:

- ضریب مدل‌ها

- جرم مدل  $k$ ،  $k$ ،  $SS$ ،  $Tk$ ،  $k$  در بیشتر موارد جواب‌های مشابهی می‌دهند؟

- مدل RSM چند معادله‌ای است؟ چرا یا معادله؟

- تفاوت DES و LES چیست؟

$C_{1\epsilon}$  تغییر می‌دهند

$$\begin{cases} C_{1\epsilon} = 1 \\ C_{2\epsilon} = 1 \end{cases}$$

یک ترم  $C_{1\epsilon}$

واقع در نزدیک

همه کم این از قطر

ها امحدان

دارند یا نسبت