



دانشگاه یزد

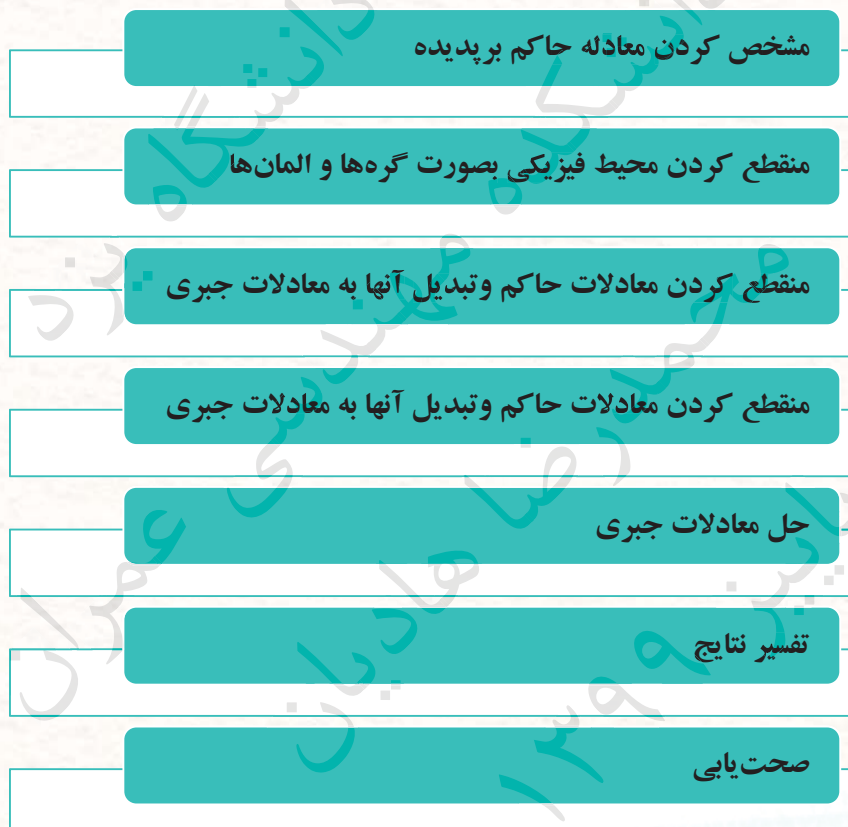
هیدرولیک محاسباتی

مراحل مدل سازی عددی

محمد رضا هادیان

دانشگاه یزد - دانشکده مهندسی عمران

مراحل مدل سازی عددی



مراحل مدل سازی عددی

□ مشخص کردن معادله حاکم بر پدیده

مشخص کردن توصیف ریاضی پدیده مورد نظر - مدل ریاضی

(Mathematical Model)

مثال:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad \nabla^2 h = 0 \quad \text{آبهای زیرزمینی (حالت ماندگار)}$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(v \frac{\partial c}{\partial x} \right) + S \quad \text{انتقال آلودگی یک بعدی}$$

مراحل مدل سازی عددی

□ مشخص کردن معادله حاکم بر پدیده

❖ اعمال فرضیات

✓ ماندگار یا غیر ماندگار بودن جریان

✓ تراکم پذیر بودن / نبودن سیال

✓ سیال لزج / غیرلزج

✓

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + S \quad \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

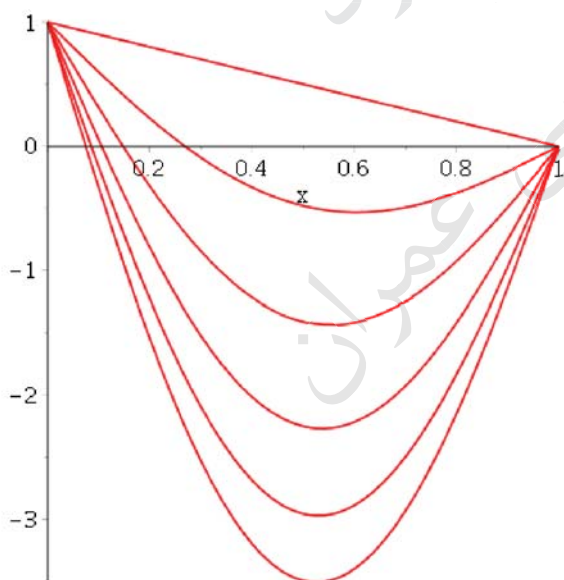
مراحل مدل سازی عددی

□ مشخص کردن معادله حاکم بر پدیده

❖ اعمال فرضیات

❖ شرایط اولیه (معادلات وابسته به زمان)

✓ با حدس اولیه که در روش حل برخی معادلات لازم است متفاوت می باشد.



$$f(x, t)$$

$$\text{Initial Value: } f(x, 0) = f^0(x)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial f}{\partial x} \right) + S$$

مراحل مدل سازی عددی

□ مشخص کردن معادله حاکم بر پدیده

❖ اعمال فرضیات

❖ شرایط اولیه (معادلات وابسته به زمان)

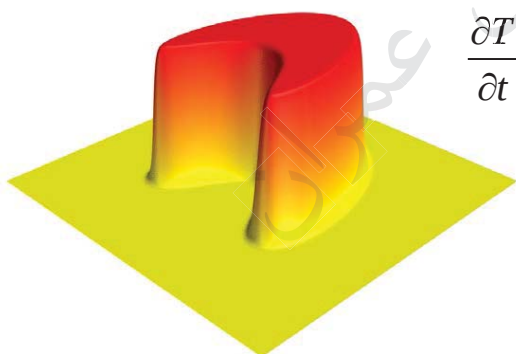
✓ با حدس اولیه که در روش حل برخی معادلات لازم است متفاوت می باشد.

$$T(x, y, t)$$

$$\text{Initial Value: } T(x, y, 0) = T^0(x, y)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + S$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$



مراحل مدل سازی عددی

□ مشخص کردن معادله حاکم بر پدیده

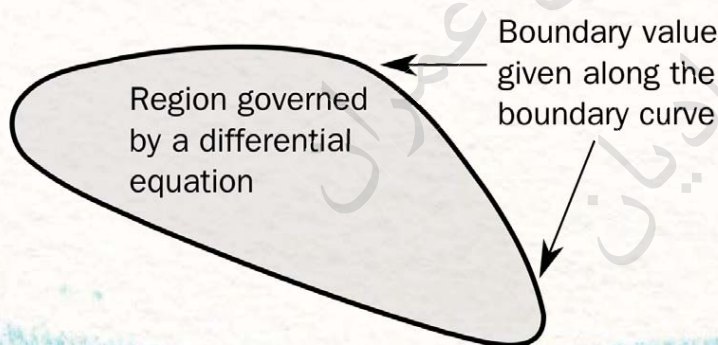
❖ اعمال فرضیات

❖ شرایط اولیه (معادلات وابسته به زمان)

❖ شرایط مرزی (مسائل مقدار مرزی – Boundary Value Problem)

✓ انواع شرایط مرزی (مقدار معلوم، مشتق معلوم و)

✓ اهمیت فوق العاده شرایط مرزی و رابطه ریاضی منطبق بر فیزیک مسئله



$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0$$

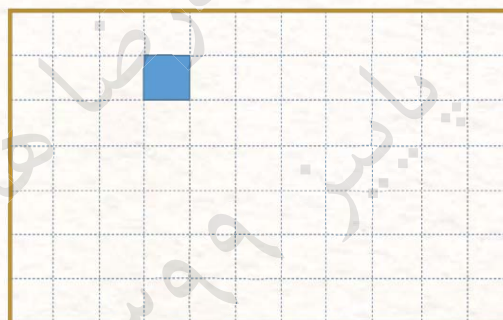
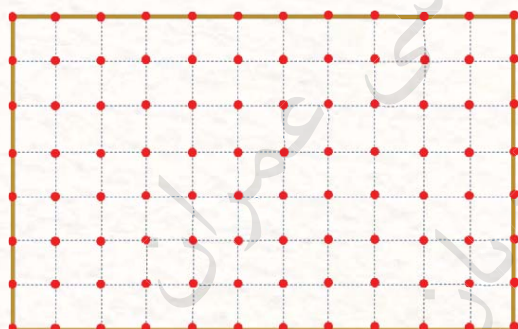
مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن محیط فیزیکی بصورت گره ها و المان ها

تولید شبکه محاسباتی

Numerical Grid Generation

❖ محاسبه بر مبنای گره/المان



مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن محیط فیزیکی بصورت گره ها و المان ها

❖ محاسبه بر مبنای گره/المان

❖ ساختار شبکه

Structured Grid
(شبکه با سازمان)

- Cartesian
- Orthogonal Curvilinear Grid
(منحنی الخط متعامد)
- Non Orthogonal Curvilinear Grid
(Boundary Fitted Coordinated)
منحنی الخط (منطبق بر مرز)

Unstructured Grid
(شبکه بی سازمان)

- مثلثی
- چهار گوش
- کارتیزین

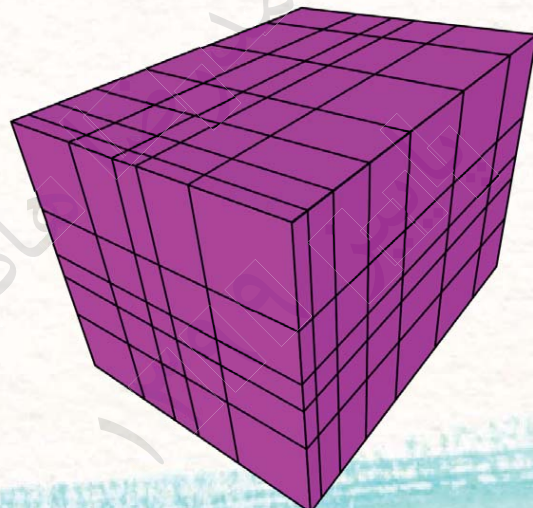
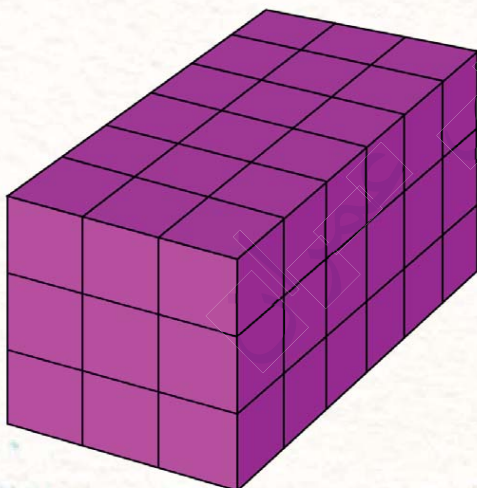
مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن محیط فیزیکی بصورت گره ها و المان ها

❖ محاسبه بر مبنای گره/المان

❖ ساختار شبکه

✓ کارتیزین (یکنواخت - غیریکنواخت)



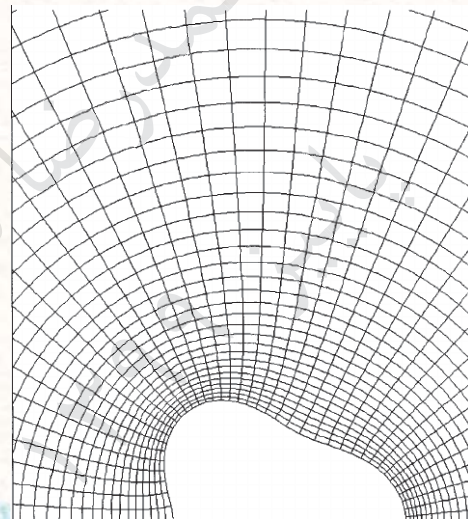
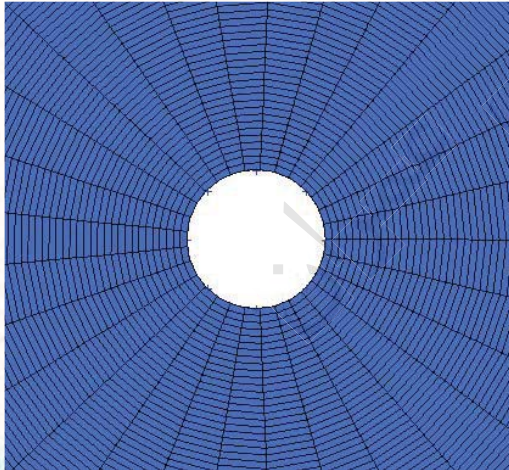
مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن محیط فیزیکی بصورت گره ها و المان ها

❖ محاسبه بر مبنای گره/المان

❖ ساختار شبکه

✓ منحنی الخط متعامد



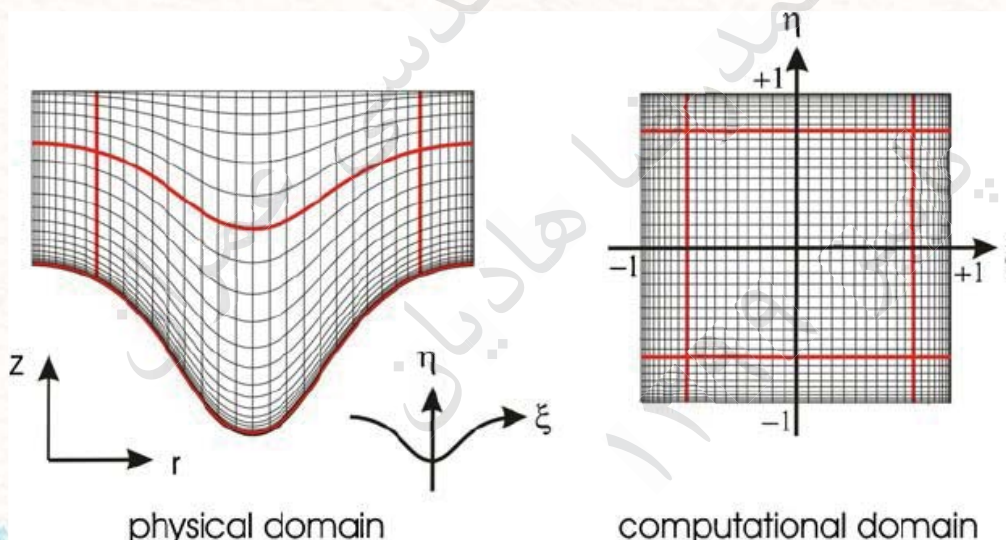
مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن محیط فیزیکی بصورت گره ها و المان ها

❖ محاسبه بر مبنای گره/المان

❖ ساختار شبکه

✓ منحنی الخط غیر متعامد (منطبق بر مرز)



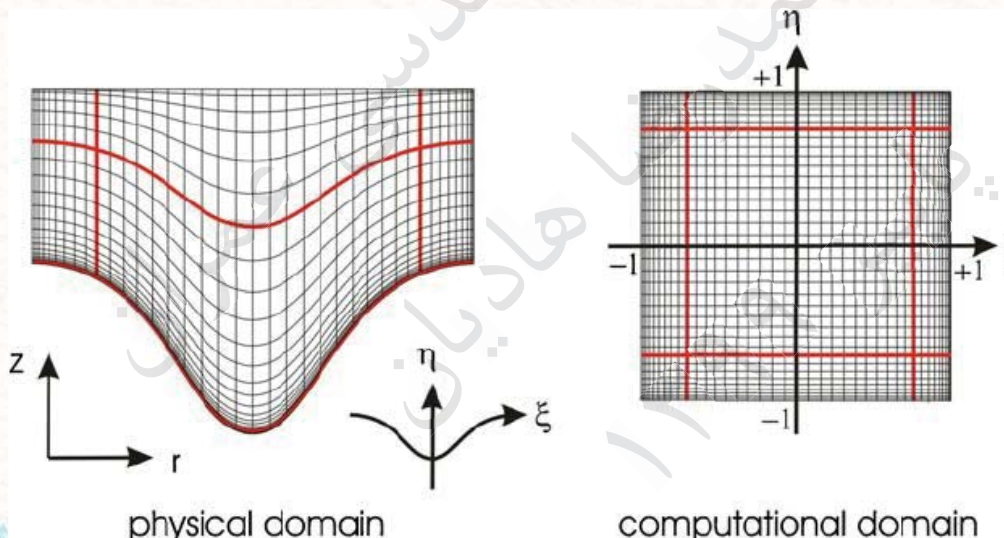
مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن محیط فیزیکی بصورت گره ها و المان ها

❖ محاسبه بر مبنای گره/المان

❖ ساختار شبکه

✓ منحنی الخط غیر متعامد (منطبق بر مرز)



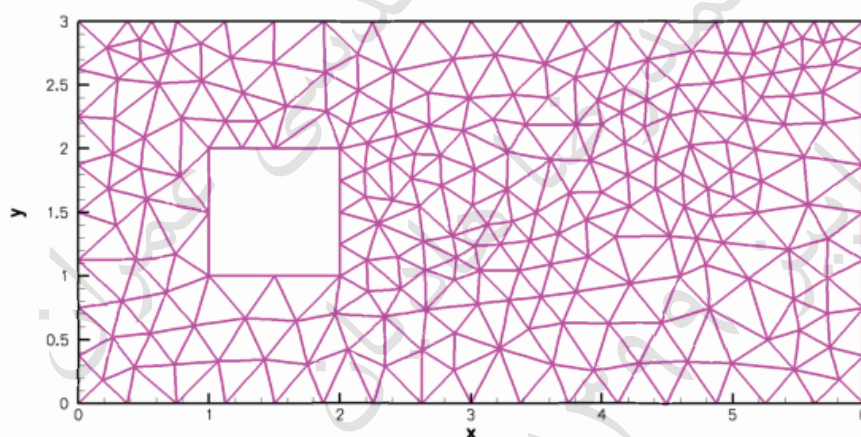
مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن محیط فیزیکی بصورت گره ها و المان ها

❖ محاسبه بر مبنای گره/المان

❖ ساختار شبکه

✓ شبکه بی سازمان مثلثی



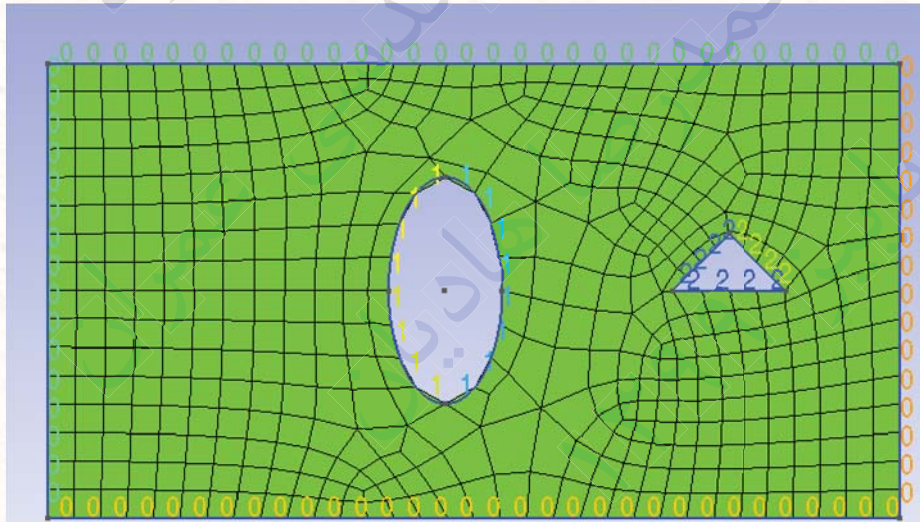
مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن محیط فیزیکی بصورت گره ها و المان ها

❖ محاسبه بر مبنای گره / المان

❖ ساختار شبکه

✓ شبکه بی سازمان چهار گوش



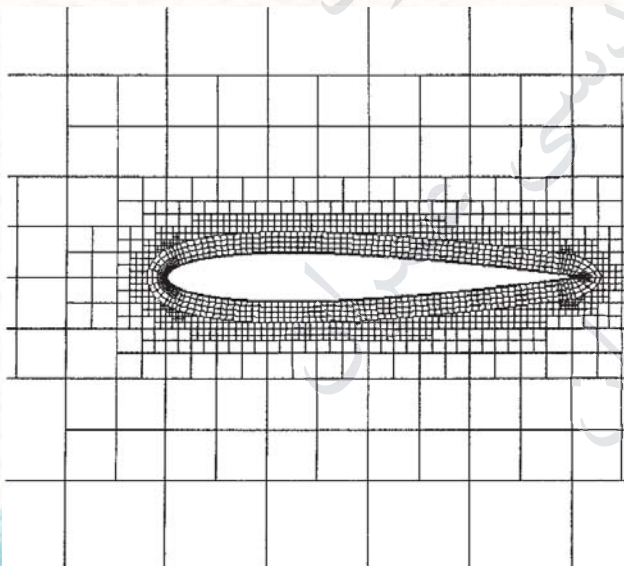
مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن محیط فیزیکی بصورت گره ها و المان ها

❖ محاسبه بر مبنای گره / المان

❖ ساختار شبکه

✓ شبکه بی سازمان کارترین



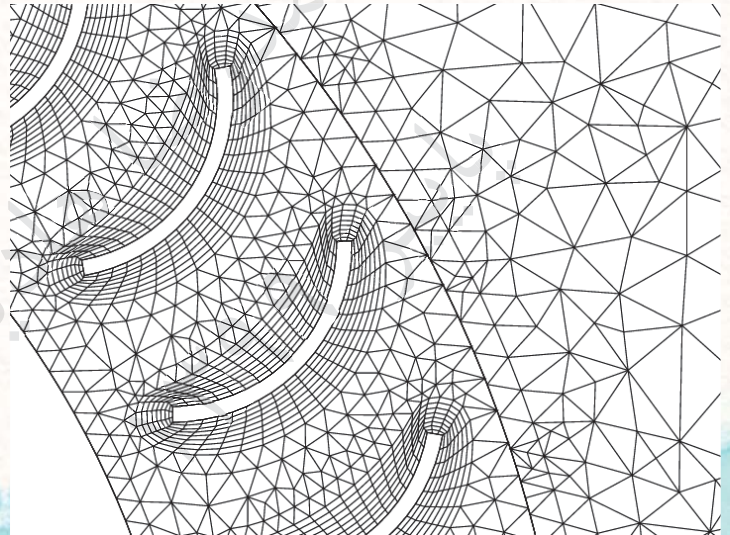
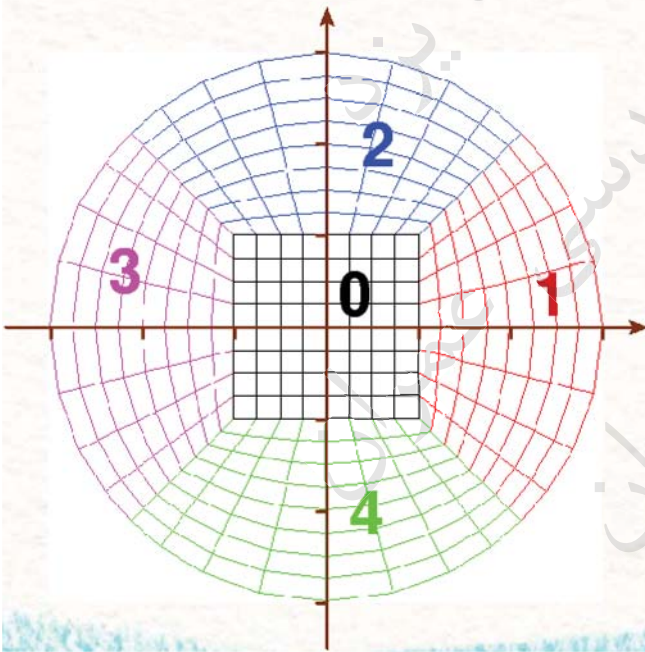
مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن محیط فیزیکی بصورت گره ها و المان ها

❖ محاسبه بر مبنای گره/المان

❖ ساختار شبکه

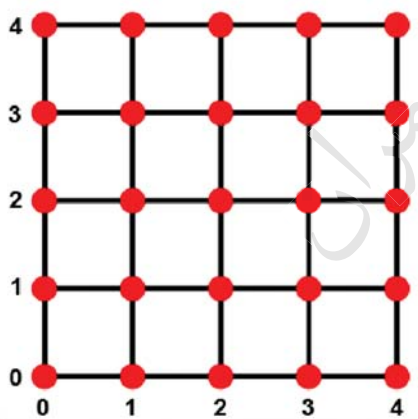
❖ چندبلوکی



مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن معادلات حاکم و تبدیل آنها به معادلات جبری

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad \longrightarrow \quad h_{i-1,j} + h_{i+1,j} + h_{i,j-1} + h_{i,j+1} - 4h_{i,j} = 0$$



مراحل مدل سازی عددی

□ منقطع کردن معادلات حاکم و تبدیل آنها به معادلات جبری

❖ تفاضلات محدود (Finite Difference)

❖ اجزاء محدود (Finite Element)

❖ احجام محدود (Finite Volume)

❖ حجم کنترل (Control Volume)

❖ اجزاء مرزی (Boundary Element)

❖ روش های طیفی (Spectral Methods)

❖ اجزاء منقطع (Discrete Element)

مراحل مدل سازی عددی

□ حل معادلات جبری

❖ روش های مختلف حل معادلات

❖ پردازش سریال / موازی

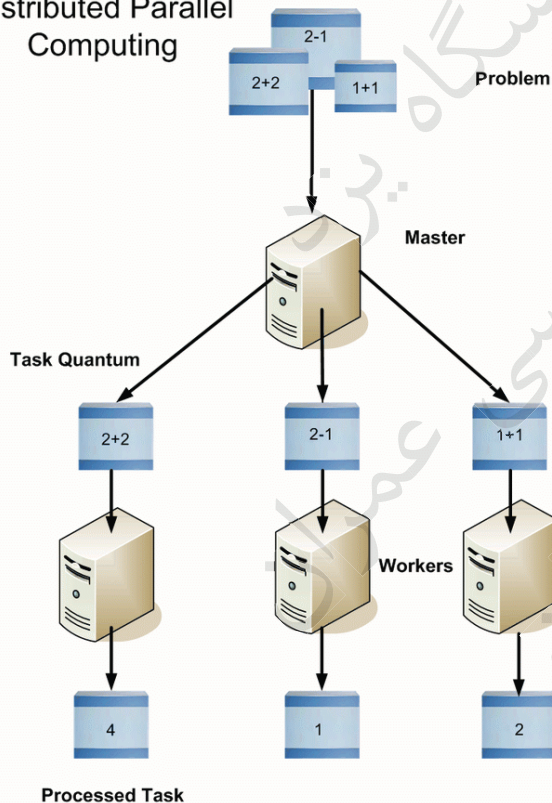
❖ کاهش زمان محاسبات

$$\begin{array}{ccccccc} a_{11} & x_1 & + & a_{12} & x_2 & + & \dots & a_{1n} & x_n & = & d_1 \\ a_{21} & x_1 & + & a_{22} & x_2 & + & \dots & a_{2n} & x_n & = & d_2 \\ \vdots & & & \vdots & & & & \vdots & & & \vdots \\ a_{m1} & x_1 & + & a_{m2} & x_2 & + & \dots & a_{mn} & x_n & = & d_m \end{array}$$

مراحل مدل سازی عددی

□ حل معادلات جبری

Distributed Parallel Computing



❖ روش های مختلف حل معادلات

❖ پردازش سریال / موازی

❖ کاهش زمان محاسبات

contour plot

مراحل مدل سازی عددی

□ تفسیر نتایج

❖ اهمیت دانش هیدرودینامیک

❖ استفاده از انواع خروجی ها

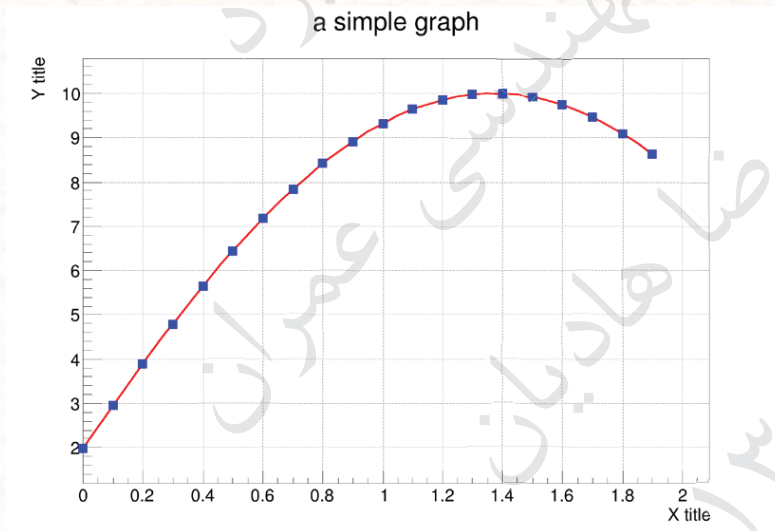
مراحل مدل سازی عددی

□ تفسیر نتایج

❖ اهمیت دانش هیدرودینامیک

❖ استفاده از انواع خروجی ها

✓ گراف



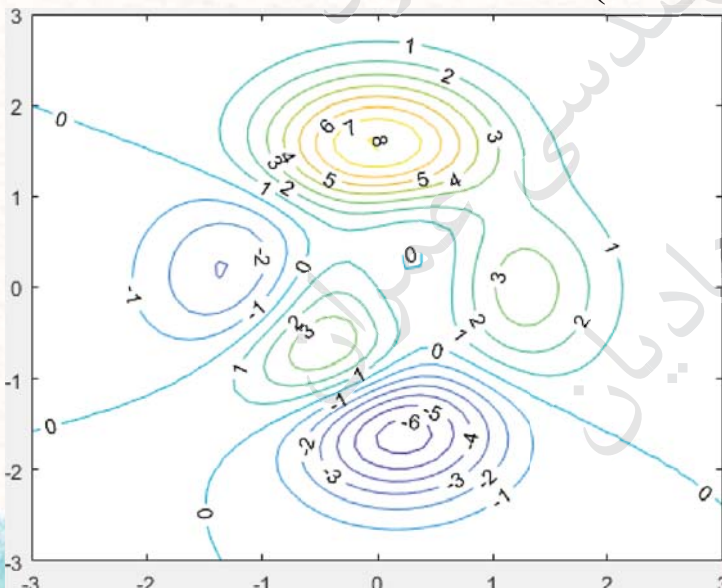
مراحل مدل سازی عددی

□ تفسیر نتایج

❖ اهمیت دانش هیدرودینامیک

❖ استفاده از انواع خروجی ها

✓ خطوط هم مقدار (contour plot)



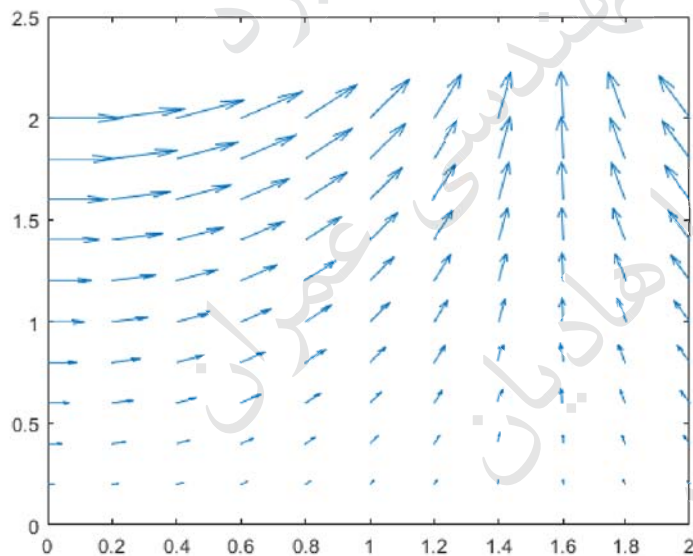
مراحل مدل سازی عددی

□ تفسیر نتایج

❖ اهمیت دانش هیدرودینامیک

❖ استفاده از انواع خروجی ها

✓ Vector plot



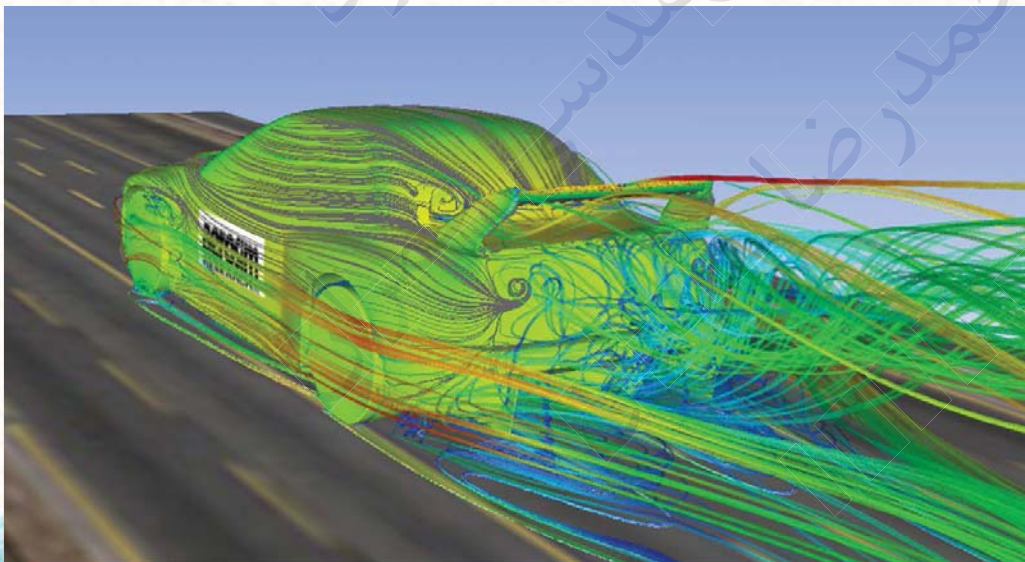
مراحل مدل سازی عددی

□ تفسیر نتایج

❖ اهمیت دانش هیدرودینامیک

❖ استفاده از انواع خروجی ها

✓ خطوط جریان



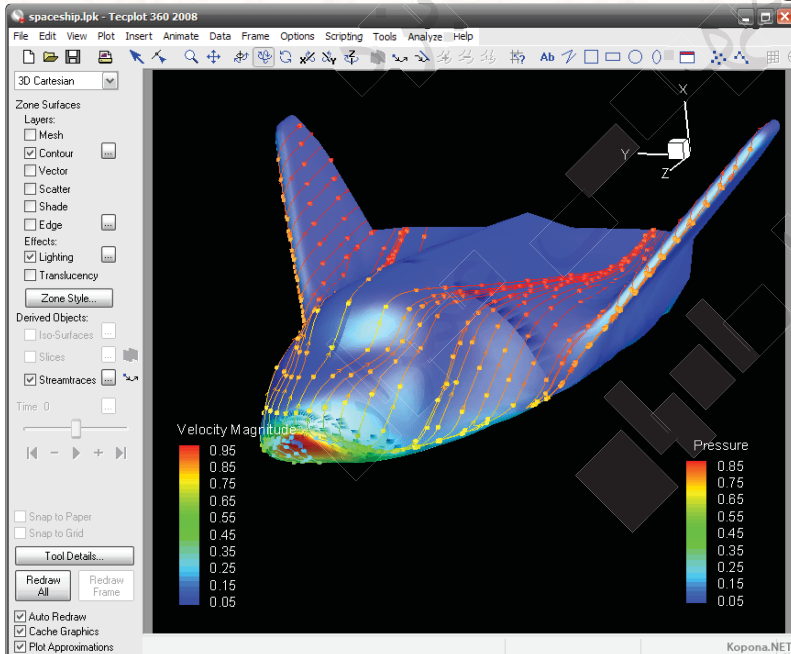
مراحل مدل سازی عددی

تفسیر نتایج

❖ اهمیت دانش هیدرودینامیک

❖ استفاده از انواع خروجی ها

✓ خروجی های ترکیبی



مراحل مدل سازی عددی

تفسیر نتایج

❖ اهمیت دانش هیدرودینامیک

❖ استفاده از انواع خروجی ها

✓ انیمیشن از مسائل غیرماندگار

مراحل مدل سازی عددی

□ صحت یابی نتایج

❖ مقایسه با حل تحلیلی

❖ مقایسه با نتایج آزمایشگاهی

❖ مقایسه با نتایج اندازه گیری شده در محل

Any
Question?