

بسمه تعالی

جزوه

توربوماشین

دانشگاه

تهران

استاد

دکتر ریاسی

انواع توربو ماشین ها

- توان ده : انواع توربین
- توان گیر : پمپ ها، کمپرسور

انواع توربو ماشین : ۱- تراکم پذیری ۲- تراکم ناپذیری

انواع توربو ماشین : ۱- سانتریفوز (مخارک) ۲- محوری ۳- مختلط

توربو ماشین : از دو کلمه توربو و ماشین تشکیل شده است. توربو کلمه ای است به معنی لاتین به معنای چرخنده

توربو ماشین ها ماشین هایی هستند که از یک یا چند چرخ که بر روی محور محکم و با آن دراز می کنند تشکیل شده اند. هر چرخ از تعدادی پره که به صورت متقابل نسبت به محور قرار گرفته اند تشکیل می شوند. سیال حین عبور از بین پره ها با سرعت متبادل انرژی (انجام می دهد)

پروانه (Impeller) - پمپ و فن
 روتور (Rotor) - توربین گاز، کمپرسور
 رانر (Runner) - توربین آب

انواع تقسیم بندی :

I از نظر تراکم پذیری

- تراکم ناپذیری
 - انواع پمپ
 - توربین آبی
 - وانتیلاتور با نسبت فشار کم (فن)
- تراکم پذیری
 - توربین گاز
 - توربین بخار
 - کمپرسور

وانتیلاتور

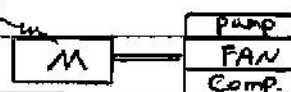
- Fan - تراکم ناپذیری
- Blower - تراکم ناپذیری
- Compressor - تراکم پذیری

(II) تبادل انرژی

توان ده - انرژی سیال به چرخ منتقل می شود و چرخ دوار می کند - انواع توربین



توان گیر - انرژی مکانیکی از چرخ به سیال منتقل می شود - پمپ، فن، کمپرسور



(III) مسیر حرکت سیال در چرخ

سانتریفوژ (Centrifugal) - شعاعی - برای پمپ و فن

محوری (Axial)

نیمه سانتریفوژ و نیمه محوری (Mixed)

(IV) از نظر تغذیه چرخ

کامل - سیال اطراف چرخ را به طور کامل فرا می گیرد و سیال از تمام سطح چرخ وارد آن می شود

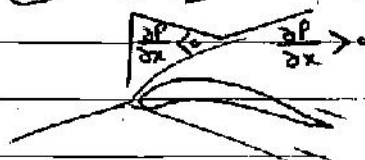
ناقص - سیال از یک یا چند قسمت، وارد سطح ورودی چرخ می شود - توربین بلیتونه

(V) تغییرات فشار استاتیک

Impulse (ضربه ای) - فشار استاتیک در محلی که سیال از چرخ ثابت می ماند



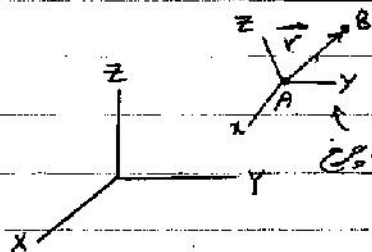
Reaction (عکس العمل) - فشار در حین عبور از چرخ تغییر می کند



ساختار توریالین

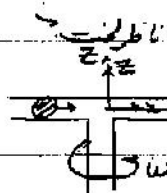
۱. حدایت کننده
۲. چرخ
۳. دینور ناند
۴. جمع کننده

معمولا توریالین ها در یک جهت چرخش دارند و از آن جهت در محاسبات دینور ناند



$$\vec{V}_A = \vec{V}_B + \vec{V}_B|_R + \vec{\omega} \times \vec{r}_{AB}$$

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_B|_R + \vec{\omega} \times \vec{r}_{AB} + \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}_{AB} + 2\vec{\omega} \times \vec{V}_B|_R$$



نمایند که از مرکز چرخش

$$\vec{a}_B = 2\vec{\omega} \times \vec{V}_B|_R$$

مثال:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \rho \vec{V} = 0 \Rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \Rightarrow \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} - \vec{\nabla} p + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (N.S.)$$

$$x-Mom: \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$

$$\delta Q - \delta W = dE$$

$$e = u + gz + \frac{V^2}{2}$$



۳ قانون اول ترمودینامیک

$$\frac{ds}{dT} \geq \frac{Q}{T}$$

۴ قانون دوم ترمودینامیک

پایه ۴ مطالعه بالا

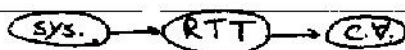
$$\rho = f(p, T)$$

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$$

مادلات

۴

قضیه انتقال نیونلند



$$N = \begin{cases} N=m \\ N=\vec{P}=m\vec{V} \\ N=\vec{H}=\vec{r}\times m\vec{V} \\ N=E \end{cases} \quad \frac{dN}{dt}_{sys} = \frac{d}{dt} \left(\int_{c.v.} \eta \rho dV \right) + \int_{c.s.} \eta (\rho \vec{V} \cdot d\vec{A})$$

$$\eta = \frac{N}{m}$$

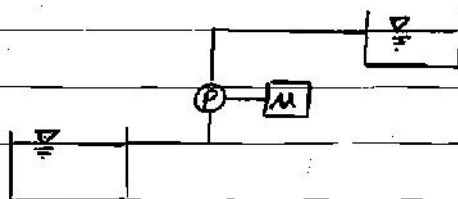
$$\textcircled{1} \quad 0 = \frac{d}{dt} \int_{c.v.} \rho dV + \int_{c.s.} \rho \vec{V} \cdot d\vec{A}$$

$$\textcircled{2} \quad \begin{cases} N=m\vec{V} \\ \eta=\vec{V} \end{cases} \quad \sum \vec{F} = \frac{d}{dt} \int_{c.v.} \vec{V} \rho dV + \int_{c.s.} \vec{V} (\rho \vec{V} \cdot d\vec{A})$$

$$\textcircled{3} \quad \begin{cases} N=\vec{H}=\vec{r}\times m\vec{V} \\ \eta=\vec{r}\times\vec{V} \end{cases} \quad \sum \vec{T} = \frac{d}{dt} \int_{c.v.} \vec{r}\times\vec{V} \rho dV + \int_{c.s.} \vec{r}\times\vec{V} (\rho \vec{V} \cdot d\vec{A})$$

$$\textcircled{4} \quad \begin{cases} N=E \\ \eta=e \end{cases} \quad \dot{Q} - \dot{W} = \frac{d}{dt} \int_{c.v.} e \rho dV + \int_{c.s.} (h + \frac{V^2}{2} + gz) (\rho \vec{V} \cdot d\vec{A})$$

به مائشینی اطلاق می شود که انرژی مکانیکی را از یک منبع خارجی (موتور) گرفته و به سیال منتقل می کند.



یک چرخ دارد و در آن

دینامیکی: انتقال انرژی به سیال به صورت دائمی صورت می پذیرد. موتور به یک چرخ

جابجایی مثبت: انتقال انرژی به سیال به صورت متناوب صورت می گیرد

مختار ساده

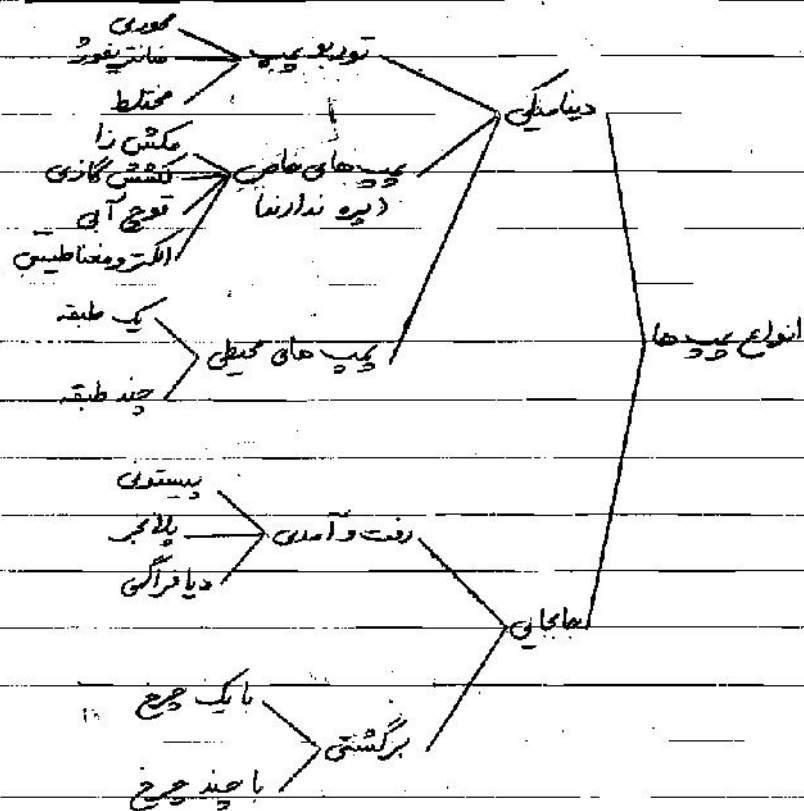
نسبت پائین هم به قدرت معرفی

درین پائین

عدم نیاز به تبدیل حرکت رفت و برگشتی به دورانی

سید محمد جعفر سجانی
مدیر ارشد فنی - مهندس ارشد

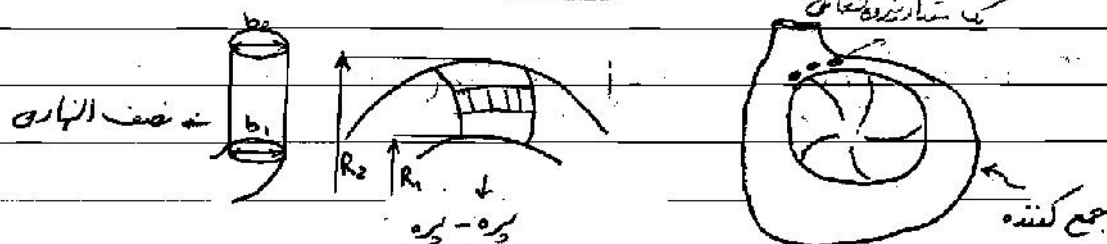
هد بالا - فشار بالا - بر خاکی نیروی گریز از مرکز
ساخته نفوذ - درج پایین یا متوسط
توربو پمپ - هد یا فشار پایین - درج زیاد - $1000 \text{ m}^3/\text{hr}$ ندارد
مختلط



توزیع کننده D
جمع R
دیفیوزر DF
جمع کننده V

مدیر فنی - مهندس ارشد فنی

1 هدایت کننده 2 چرخ 3 دیفوزر + جمع کننده



فرض های بعدی:
 جریان داریم
 پروفیل سرعت یکنواخت
 تعداد پروهای بنیادیت = زاویه خروج ماس

$\vec{C}_B = \vec{C}_A + \vec{C}_B/R + \vec{\omega} \times \vec{r}_{ab}$
 $\angle \vec{C}_2, \vec{U}_2 = \alpha_2$
 $\angle \vec{W}_2, \vec{U}_2 = \beta_2$

معادله متعلق به سرعت، سرعت غلظی U_2 و $Q \propto C_m$

$\begin{cases} C_u = C \cdot \cos \alpha \\ C_m = C \cdot \sin \alpha \end{cases}$	$\begin{cases} W_u = W \cdot \cos \beta \\ W_m = W \cdot \sin \beta \end{cases}$
--	--

معادله پیوستگی:

$$0 = \int_{c.s.} \rho \vec{C} \cdot d\vec{A} + \frac{d}{dt} \int_{c.v.} \rho dV \Rightarrow m = \int_A \rho \vec{C} \cdot d\vec{A} = \int \rho C \sin \alpha dA$$

$$\Rightarrow m = \underbrace{\rho C \sin \alpha}_{C_m} A = \rho C_m A$$

معادله پیوستگی:

$$\textcircled{*} 0 = \int_{c.s.} \rho \vec{W} \cdot d\vec{A} \Rightarrow m = \underbrace{\rho W \sin \beta}_{W_m} A = \rho W_m A \Rightarrow Q = C_m A = W_m A$$

ارتفاع ثابت سرعت

معادله نوسان خطی:

$$\Sigma F = \int_{c.s.} \vec{C} (\rho \vec{C} \cdot d\vec{A}) \Rightarrow \Sigma F_x = \int_{A_2} C_{x_2} (\underbrace{\rho C_{m_2} dA_2}_{\text{مجموعه}}) - \int_{A_1} C_{x_1} (\underbrace{\rho C_{m_1} dA_1}_{\text{مجموعه}})$$

$$\Rightarrow \Sigma F_x = m (C_{x_2} - C_{x_1}) \text{ (دو طرفه x)}$$

معادله گشتاور زاویه ای (اولی):

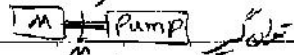
$$\Sigma T = \frac{d}{dt} \int_{c.v.} \vec{r} \times \vec{C} (\rho dV) + \int_{c.s.} (\vec{r} \times \vec{C}) (\rho \vec{C} \cdot d\vec{A}) \Rightarrow M'' = \int R C \cos \alpha (\rho \vec{C} \cdot d\vec{A})$$

$$\Rightarrow M'' = \int_{A_2} R_2 C_2 \cos \alpha_2 (\rho C_{m_2} dA_2) - \int_{A_1} R_1 C_1 \cos \alpha_1 (\rho C_{m_1} dA_1)$$

گشتاور که به خروج و ورود مابین می شود

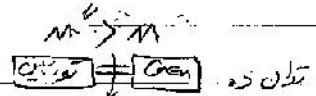
سرعت M, M'

سید محمد جعفر سجانی



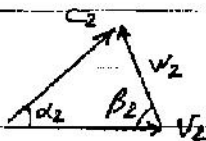
$$P' = M'w \Rightarrow P' = \int_{A_2} U_2 C_2 \cos \alpha_2 (\rho_s C_{m_2} dA_2) - \int_{A_1} U_1 C_1 \cos \alpha_1 (\rho_s C_{m_1} dA_1)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} M' = m' (R_2 C_2 \cos \alpha_2 - R_1 C_1 \cos \alpha_1) \\ P' = m' (U_2 C_2 \cos \alpha_2 - U_1 C_1 \cos \alpha_1) \\ E' = \frac{P'}{m'} = (U_2 C_2 \cos \alpha_2 - U_1 C_1 \cos \alpha_1) \rightarrow [gh] = \frac{m^2}{s^2} \end{cases}$$



$$H' = \frac{P'}{g m'} = \frac{1}{g} (U_2 C_2 \cos \alpha_2 - U_1 C_1 \cos \alpha_1) = \frac{1}{g} (U_2 C_{u2} - U_1 C_{u1})$$

ارتفاع هد اولی و دوم



$$H' = \frac{1}{g} (U_2 C_{u2} - U_1 C_{u1})$$

$$W^2 = U^2 + C^2 - 2UC \cos \alpha \Rightarrow UC \cos \alpha = \frac{1}{2} (C^2 + U^2 - W^2)$$

تغییرات انرژی و تغییرات انرژی جنبشی

$$\Rightarrow H' = \frac{1}{2g} [(C_2^2 - C_1^2) + (U_2^2 - U_1^2) + (W_1^2 - W_2^2)]$$

$$H'_{dyn} = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} = \text{ارتفاع دینامیک} \quad , \quad \frac{(U_2^2 - U_1^2)}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} = \text{ارتفاع پتانسیل} = H'_{pot}$$

$$A = \frac{H'_{pot}}{H'}$$

نسبت ارتفاع پتانسیل به ارتفاع اولی و دوم

$$H' = \frac{1}{2g} [(C_2^2 - C_1^2) + (W_1^2 - W_2^2)]$$



محوری

قانون اول ترمودینامیک

$$\dot{Q} + m(u_1 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{C_1^2}{2} + g z_1) = m(u_2 + \frac{P_2}{\rho} + \frac{C_2^2}{2} + g z_2) + \dot{W}$$

$$\Rightarrow E' = \frac{\dot{W}}{m} = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho} \right) + \left(\frac{C_2^2 - C_1^2}{2} \right) + g(z_2 - z_1) + [(u_2 - u_1) - \frac{\dot{Q}}{m}]$$

$$\Rightarrow H' = \frac{\dot{W}}{mg} = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + h_{L-2}$$

۱

قانون دوم ترمودینامیک:

آبیانیک $s_2 - s_1 \geq \int \frac{\delta Q}{T} \Rightarrow s_2 - s_1 \geq 0$

$$H'' = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g}$$

$$H'' = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} + (z_2 - z_1) + h_{L1-2}$$

معادله قرار دادن

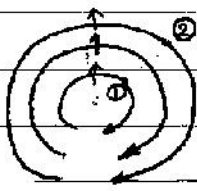
معادله انرژی: $P_2 - P_1 = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g}$

$$\Rightarrow \frac{P_1}{\gamma} + \frac{W_1^2}{2g} - \frac{U_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{W_2^2}{2g} - \frac{U_2^2}{2g} + z_2 + h_{L1-2}$$

معادله انرژی برای دستگاه متحرک در تویین پیتون:



$$W_1^2 U_1^2 = W_2^2 U_2^2$$



در گرداب $w_1 = w_2 = 0 \Rightarrow \frac{P_1}{\gamma} - \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} - \frac{U_2^2}{2g}$

$$\Rightarrow \frac{P_2 - P_1}{\gamma} = \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} \Rightarrow P_2 > P_1 \text{ (زیرا } U_2 > U_1 \text{)}$$

مثال: $A_1 = 2\pi R_1 b_1$, $A_2 = 2\pi R_2 b_2$

رابطه هیدرولیکی و هندسی

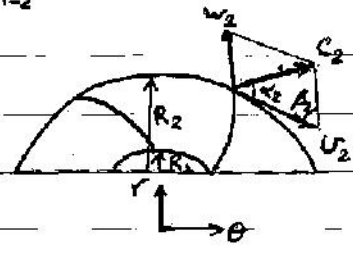
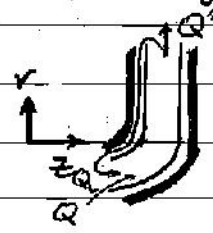
$$H'' = \frac{1}{g} (U_2 C_2 \cos \alpha_2 - U_1 C_1 \cos \alpha_1) = \frac{1}{g} (U_2 C_{u2} - U_1 C_{u1})$$

$$H'' = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g} \quad E'' = g H''$$

رابطه انرژی با E''
(صرف نظر از اتلاف اصطلاحات)

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2g} + z_1 + H'' = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2g} + z_2 + h_{L1-2} \quad \bigg/ \quad \frac{P_1}{\gamma} + \frac{W_1^2}{2g} + z_1 - \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{W_2^2}{2g} + z_2 - \frac{U_2^2}{2g} + h_{L1-2}$$

$$H'' = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} + z_2 - z_1 + h_{L1-2}$$



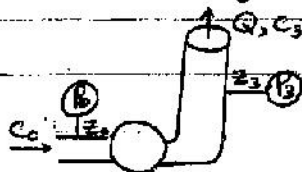
۱.۱ * معادلات انرژی برای قسمت های مختلف:

$$\frac{P_0}{\gamma} + \frac{C_0^2}{2g} + z_0 = \frac{P_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2g} + z_1 + h_{L_{0-1}}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{C_1^2}{2g} + z_1 + H'' = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2g} + z_2 + h_{L_{1-2}} \quad \oplus \Rightarrow H'' = \frac{P_3 - P_0}{\gamma} + \frac{C_3^2 - C_0^2}{2g} + z_3 - z_0 + h_{L_{0-3}}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{C_2^2}{2g} + z_2 = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{C_3^2}{2g} + z_3 + h_{L_{2-3}}$$

معادله انرژی برای کل میب



نحوه اندازه گیری:

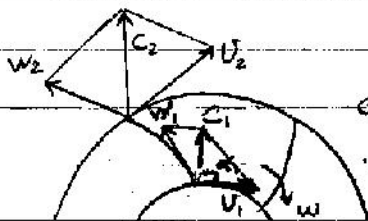
$$H = \left(\frac{P_3}{\gamma} + \frac{C_3^2}{2g} + z_3 \right) - \left(\frac{P_0}{\gamma} + \frac{C_0^2}{2g} + z_0 \right)$$

$$H'' = H + h_{L_{0-3}} \Rightarrow H'' > H \Rightarrow \eta_H = \frac{H}{H''}$$

کفایت هیدرولیکی

مثال: $d_2 = 30 \text{ cm}$, $N = 900 \text{ rpm}$, $Q = 4000 \text{ l/min}$, $\beta_2 = 30^\circ$

$b_2 = 5 \text{ cm}$, $\alpha_1 = 90^\circ \Rightarrow H'' = ?$

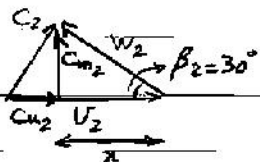


* معمولاً در طراحی $\alpha = 90^\circ$ انتخاب می شود تا $U_1 C_1 \cos \alpha_1 = 0$

شود و در نتیجه هد میب افزایش یابد. برای انتخاب α های

متغیر باید از پمپ های خاصی استفاده شود که صرفه اقتصادی ندارند.

اگر α و β ثابت شودی را هم می بینیم



$$U_2 = R_2 w_2 = 0.15 \times \frac{900 \times 2\pi}{60} = 14.137 \text{ m/s}$$

$$Q = (2\pi R_2 b_2) C_{m2} \Rightarrow C_{m2} = \frac{Q}{2\pi R_2 b_2}$$

$$\Rightarrow C_{m2} = \frac{4}{2\pi \times 0.15 \times 0.05} = 1.4 \text{ m/s}$$

$$\tan 30^\circ = \frac{C_{m2}}{x} \Rightarrow x = \frac{C_{m2}}{\tan 30^\circ} = \frac{1.4}{\tan 30^\circ} = 2.44 \text{ m/s} \Rightarrow C_{u2} = 14.137 \times 2.44 = 11.68 \text{ m/s}$$

$$\Rightarrow H'' = \frac{1}{g} (U_2 C_2 \cos \alpha_2 - U_1 C_1 \cos \alpha_1) = \frac{1}{g} \times 14.137 \times 11.68 = 16.83 \text{ m}$$

منحنی های مشخصه و تشابه

متغیرهای هیدرولیکی: H و Q



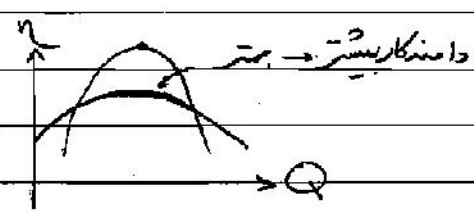
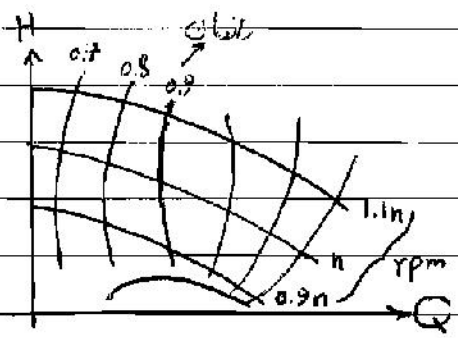
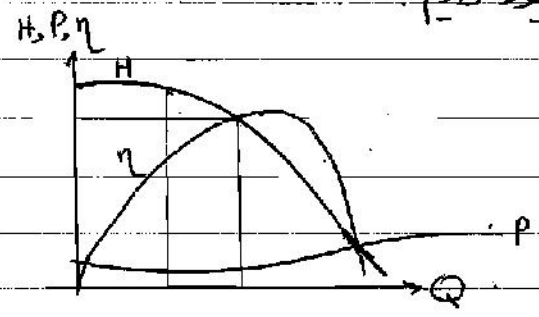
$$\eta = \frac{P_{QH}}{P_e = (M\omega)}$$

متغیرهای مکانیکی: M و ω (گشتاور)

سطوح مشخصه

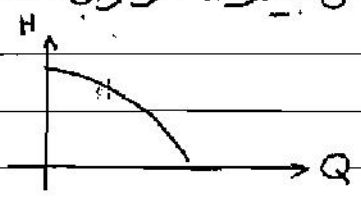
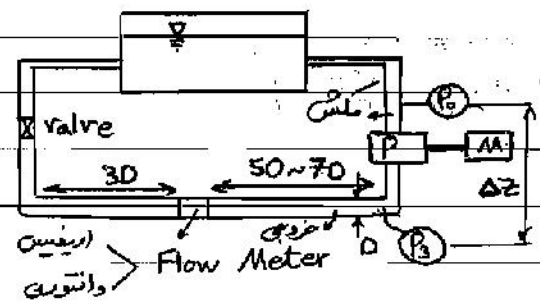
$$H = f(Q, \omega) \quad M = f(Q, \omega) \quad P = f(Q, \omega) \quad \eta = f(Q, \omega)$$

برای یک پمپ سانتریفوزی داریم:



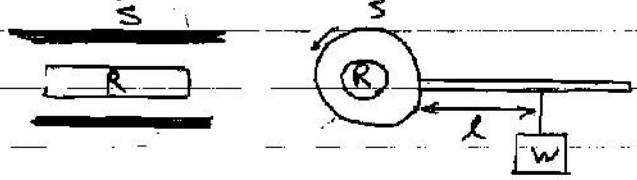
مدار تست پمپ

* قطر مکش بیشتر از قطر خروجی است



$$H = \frac{P_2 - P_0}{\gamma} + \frac{C_3^2 - C_0^2}{2g} + (Z_3 - Z_0)$$

* برای محاسبه گشتاور، استاتور را با موتور جاذب یا تانهای مغناطیسی می‌کنیم.



$$M = lW$$

$$P = P_e = M\omega$$

$$P_e \xrightarrow{P_m} P_i \xrightarrow{P_o} P^o$$

حال برای محاسبه رانندگی داریم:

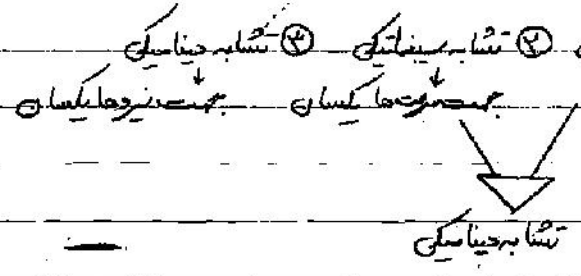
$$\eta = \frac{P_{QH}}{M\omega}$$

Pump: 100 mm - 200 mm

* در نمودارهای مشخصه:

قطر لوله لانس \rightarrow قطرهای پروانه (ID)

تشابه: به پیش بین عملکرد مدل اصلی از دو مدل تست
تعیین انواع مناسب یک ماشین بر اساس رانندگی بیشتر برای هدف، سرعت و دبی معین



* برای طراحی یک پمپ باید پمپی انتخاب شود که در Q, N, H مشخص، بیشترین رانندگی یا دلتا باشد.

نظریه

$$gH = f_1(Q, N, D, \rho, \mu, l_1, l_2, \dots)$$

$$\eta = f_2(Q, N, D, \rho, \mu, l_1, l_2, \dots)$$

$$P_e = f_3(Q, N, D, \rho, \mu, l_1, l_2, \dots)$$

$$\psi = \frac{gH}{(ND)^2} = f_4\left(\frac{Q}{ND^3}, \frac{\rho ND^2}{\mu}, \frac{l_1}{D}, \dots\right)$$

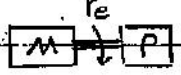
$$\eta = f_5\left(\frac{Q}{ND^3}, \frac{\rho ND^2}{\mu}, \frac{l_1}{D}, \dots\right)$$

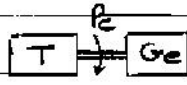
$$\hat{P} = \frac{P_e}{\rho N^3 D^5} = f_6\left(\frac{Q}{ND^3}, \frac{\rho ND^2}{\mu}, \frac{l_1}{D}, \dots\right)$$

$\psi = \frac{gH}{w\omega^2}$	گروه بی بعد هند
$\phi = \frac{Q}{ND^3}$	گروه بی بعد دینامیک
$\hat{P} = \frac{P_e}{\rho N^3 D^5}$	گروه بی بعد توان

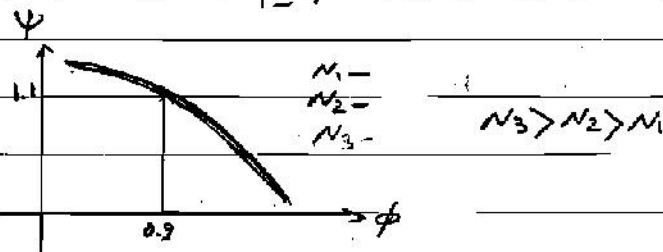
در اکثر موارد پارامترهای ثابت هستند و همچنین از روی نتایج آزمایشگاهی تأثیر عدد رینولدز بر ψ ، η و \hat{P} ناچیزی دارد.

$$\psi, \hat{P}, \eta = f\left(\frac{Q}{ND^3}\right) = f(\phi)$$

برای پمپ $\eta = \frac{\rho g H Q}{P_e} \Rightarrow \hat{P} = \phi \psi / \eta$ 

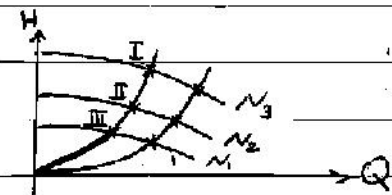
برای توربین $\eta = \frac{P_e}{\rho g H Q} \Rightarrow \hat{P} = \eta \phi \psi$ 

اگر خوددلتها را بر اساس گروه‌های بی بعد کم کنیم، به دلیل مشابه بودن، خوددارها منطبق خواهند شد.



$$\psi = \frac{gH}{w\omega^2}$$

$$\phi = \frac{Q}{ND^3}$$



* منطبق I، II و III مشابه

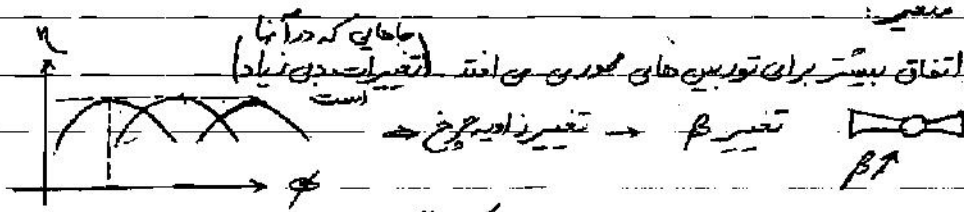
$$\phi_I = \phi_{II} = \phi_{III}$$

$$\psi_I = \psi_{II} = \psi_{III}$$

$$\begin{cases} H \propto N^2 \\ Q \propto N \end{cases} \rightarrow \text{داده‌های دارد به همین دلیل به ترعاب می‌دهد}$$

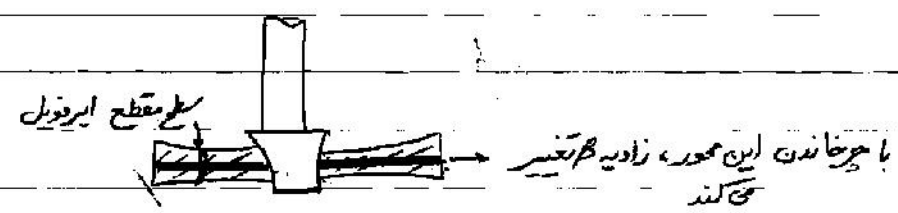
۱۳

هندسه متغیر:



بنابر این می توان در دبی های مختلف با همان ماشینیم گرفت

$$\left. \begin{aligned} \psi &= f_1(\phi, \beta) \quad , \quad \eta = f_2(\phi, \beta) \\ \beta &= f_3(\eta, \phi) = f_4(\phi, \psi) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \eta = f_5(\phi, \psi)$$



برای شرایط خاص مسأله و چه نوع توربینی نیاز است

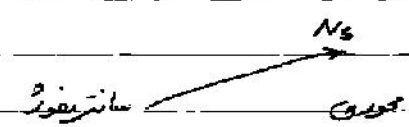
$$\left. \begin{aligned} H \\ Q \\ N \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Pump} = ? \quad \left. \begin{aligned} P \\ H \\ N \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Turbine} = ?$$

$$\phi = \frac{Q}{N D^3} \quad , \quad \psi = \frac{g H}{N^2 D^2} \quad , \quad \hat{P} = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$$

$$\psi, \phi \text{ بین } D \text{ و } N_s \Rightarrow N_s = \frac{\phi^{\frac{1}{2}}}{\psi^{\frac{1}{4}}} = \frac{N \sqrt{Q}}{(g H)^{\frac{1}{4}}} \quad \rightarrow \quad N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{H^{\frac{1}{4}}} \quad \text{rpm}$$

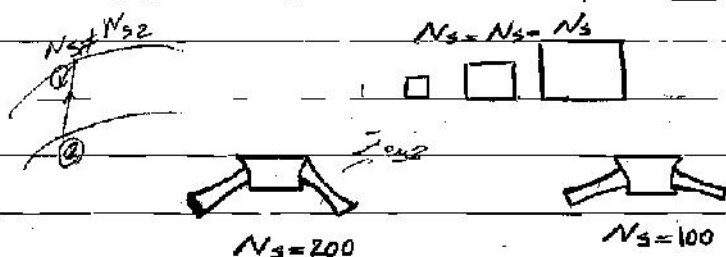
$$\psi, \hat{P} \text{ بین } D \text{ و } N_s \Rightarrow N_s = \frac{\hat{P}^{\frac{1}{2}}}{\psi^{\frac{1}{4}}} = \frac{N \sqrt{P}}{\rho^{\frac{1}{2}} (g H)^{\frac{1}{4}}} \quad \rightarrow \quad N_s = \frac{N \sqrt{P}}{H^{1.25}} \quad \text{rpm}$$

* سرعت مخصوص فقط در نقطه بیشینه تعریف می شود



نکته ۲: در توربین های معمولاً N ثابت است

* دستورهای انتخابی های متعادل N_3 ها برابر است. (فقط در شرایط رانندگی بیسینه)



* فقط در شرایط رانندگی بیسینه می توان N_3 ها را مساوی قرار داد.

نقش قسمت های مختلف پمپ بر روی عملکرد

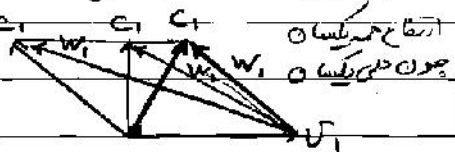
هدایت کننده

$$H = \eta_H H' = \eta_H \frac{1}{g} (U_2 C_2 \cos \alpha_2 - U_1 C_1 \cos \alpha_1) = \eta_H \frac{U_2}{g} \left(C_2 \cos \alpha_2 - \frac{R_1 C_1 \cos \alpha_1}{R_2} \right)$$

اگر $\alpha_1 < 90^\circ \rightarrow C_1 U_1 \cos \alpha_1 > 0 \rightarrow$ بهترین حالت

اگر $\alpha_1 = 90^\circ \rightarrow C_1 U_1 \cos \alpha_1 = 0$

اگر $\alpha_1 > 90^\circ \rightarrow C_1 U_1 \cos \alpha_1 < 0 \rightarrow$ بدترین حالت



برای اینکه $\alpha_1 > 90^\circ$ باشد باید هدایت کننده به پره های با شد که به سرعت مطلق درودی مؤلفه ای در خلاف جهت عرضی پره باشد. چون هزینه افزایش پیدا می کند از آن صرف نظر و $\alpha_1 = 90^\circ$ در نظر گرفته می شود.

$$H' = \frac{1}{g} (U_2 C_{u2})$$

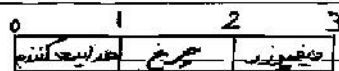
$$H' = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} + h_{L1-2} \quad (\text{صرف نظر از } Z)$$

در نقطه ورودی و خروجی یکسان قطر لوله هدایت کننده، discharge یکسان ۱۰

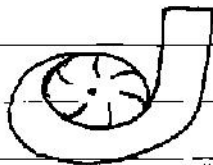
$$A = \frac{P_2 - P_1}{\rho g H} \Rightarrow A = \frac{P_2 - P_1}{P_3 - P_0}, \quad (C_0 = C_3, Z_0 = Z_3)$$

$$P_0 = P_3 \rightarrow A = \frac{P_2 - P_0}{P_3 - P_0}$$

افت فشار در هدایت کننده کم می باشد



- دینومر + جمع گشته



$$C_3 = cte$$

معمولاً بالای ۰.۹۵

ممانعت دینومر

$$\frac{C_3^2}{2g} = \frac{C_3^2}{2g} + \frac{P_3 - P_2}{\rho g} + h_{t2-3}$$

$$\eta_{D0} = \frac{\frac{P_3 - P_2}{\rho g} + \frac{C_3^2}{2g}}{\frac{C_3^2}{2g}} = 1 - \frac{h_{t2-3}}{C_3^2 / 2g}$$

با افزایش سطح مقطع، فشار استاتیکی را ثابت نگه می دارند.

مثال: برای یک توربین آبی	$Q = 187.5 \text{ m}^3/\text{s}$
$H = 140 \text{ m}$	$H = 20 \text{ m}$
$D = 4.5 \text{ m}$	$D = 0.35 \text{ m}$
$N = 187.5 \text{ rpm}$	$N_m = 911.1 \text{ rpm}$
$\eta = 0.95$	

دینامی مدل و دبی مدل؟

$$\psi = \frac{H}{N^2 D^2}$$

$$\psi_p = \psi_m$$

$$\frac{9.81 \times 140}{(187.5)^2 (4.5)^2} = \frac{9.81 \times 20}{N_m^2 \times 0.35^2} \rightarrow N_m = 911.1 \text{ rpm}$$

$$\phi = \frac{Q}{N D^3}$$

$$\phi_p = \phi_m$$

$$\frac{187.5}{187.5 (4.5)^3} = \frac{Q_p}{911.1 (0.35)^3} \rightarrow Q_p = 0.428 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\rightarrow Q_p = 15.43 \text{ m}^3/\text{hr}$$

تسایه کامل نیست چون می توان دینومر را تسایه قرار داد.

$$\hat{P} = \frac{P}{\rho N^3 D^5}$$

$$\hat{P}_p = \hat{P}_m$$

$$\frac{0.95 (9.810 \times 140 \times 187.5)}{187.5^3 \times 4.5^5} = \frac{P_m}{911.1^3 \times 0.35^5}$$

$$\rightarrow P_m = 13.2 \text{ MW}$$

لمحه و انواع تسایه

① تسایه هندسی: مقایسه طول با هم متناسب

② تسایه سیناتیکی: مقایسه فرض: تسایه هندسی داشته باشند مقایسه زمان با هم متناسب $\frac{1}{N} = \frac{1}{N_m}$

③ تسایه دینامیکی: شرط لازم و نه کافی برای تسایه دینامیکی و داشتن تسایه هندسی و سیناتیکی است.

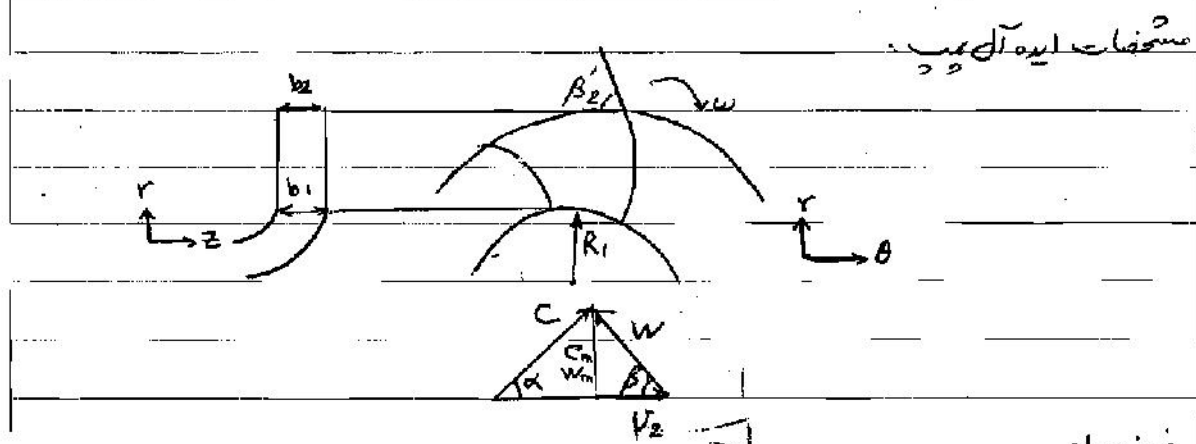
* ممکن است مدل تست و مدل واقعی تسایه هندسی و سیناتیکی داشته باشند ولی تسایه دینامیکی نداشته باشند.

* هنگامی که تسایه دینامیکی برقرار است، یعنی اینکه تمام گروه های بدون بعد برابرند و همچنین تسایه هندسی و سیناتیکی نیز برقرارند.

تئوری شباهت کامل: شباهت هندسی، شباهت سینماتیکی، شباهت دینامیکی

تئوری شباهت هندسی: همه گروه های بی بعد به جز یک گروه با هم برابر باشند، همه گروه های بی بعد با هم برابرند.

تئوری شباهت سینماتیکی: یکی از گروه های بی بعد را می توان برابر قرار داد.



فرض ها:

- تعداد پره ها بی نهایت - زاویه خروجی β با زاویه جریح برابر است.

- یک جریح

$$H'' = \frac{1}{g} (U_2 C_2 \cos \alpha_2 - U_1 C_1 \cos \alpha_1) \xrightarrow{\alpha_1 = 90^\circ} H'' = \frac{1}{g} U_2 C_2 \cos \alpha_2$$

از طرفی: $C_2 \cos \alpha_2 = C_{u2} = U_2 - C_{m2} \cot \beta_2'$

$$\Rightarrow H'' = \frac{U_2^2}{g} - \frac{U_2}{g} C_{m2} \cot \beta_2' \quad (*)$$

ضوابط مساحت از سطح مقطع می آید

$$C_{m2} = \frac{Q''}{A_2} \quad A_2 = 2\pi R_2 \times b_2 \times K_2$$

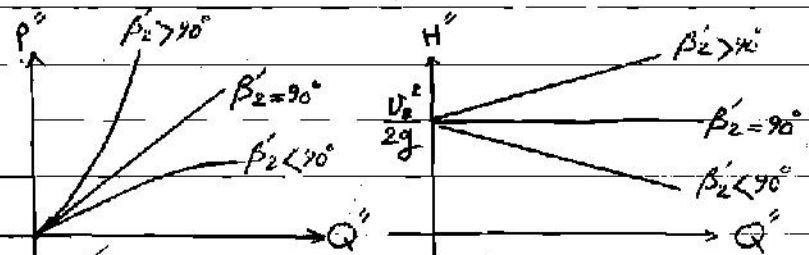
ضوابط انسداد

$$2\pi R_2 K_2 = 2\pi R_2 - \sum \frac{e_i}{\sin \beta_i'} \Rightarrow K_2 = 1 - \sum \frac{e_i}{2\pi R_2 \sin \beta_i'}$$

$$(*) \Rightarrow H'' = \frac{U_2^2}{g} - \frac{U_2}{g} \frac{Q''}{2\pi R_2 b_2 K_2} \cot \beta_2'$$

$$H''_{\infty} = \frac{U_2^2}{g} - \frac{U_2}{g} \frac{Q''}{2\pi R_2 b_2 K_2} \cot \beta'_2$$

$$P''_{\infty} = \gamma Q'' H''_{\infty} = \gamma \left(\frac{U_2^2}{g} Q'' - \frac{U_2}{g} \frac{Q''^2}{2\pi R_2 b_2 K_2} \cot \beta'_2 \right)$$

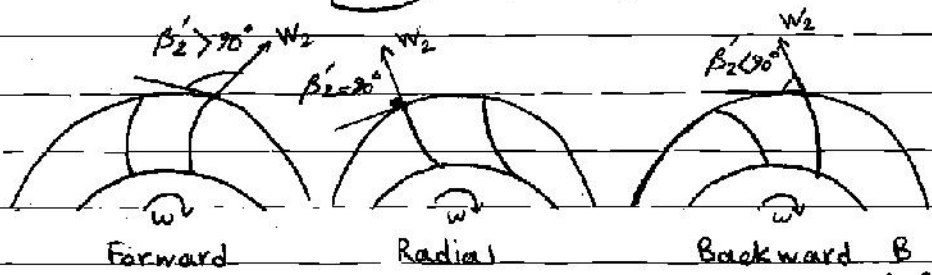


برای هر یک از این حالت‌ها، در این نمودار، درجه‌بندی شده است. در این نمودار، درجه‌بندی شده است. در این نمودار، درجه‌بندی شده است.

($\beta'_2 < 90^\circ$ — backward) ، ($\beta'_2 = 90^\circ$ — radial) ، ($\beta'_2 > 90^\circ$ — forward)

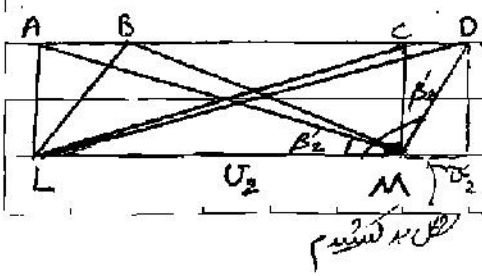
↓
B R F

$\beta'_2 < 90^\circ$ — پرو پوینت
 $\beta'_2 = 90^\circ$ — شعاعی
 $\beta'_2 > 90^\circ$ — پرو پوینت



* Backward: ضریب عکس العمل بالاتر، بازده بیشتر، معنی هر دو پایدار.
 * Radial: سرعت دوران بالا، انتقال ذرات گاز با جرم، ذرات گسیخته‌اند.
 * Forward: درجه ثابت ارتفاع بیشتر تولید می‌کنند، ساینه کوچکتر، هوساز.

نمایی از خروجی و ضریب عکس العمل:



$$C_{m2} = cte$$

$$U_2 = cte$$

نمای از خروجی

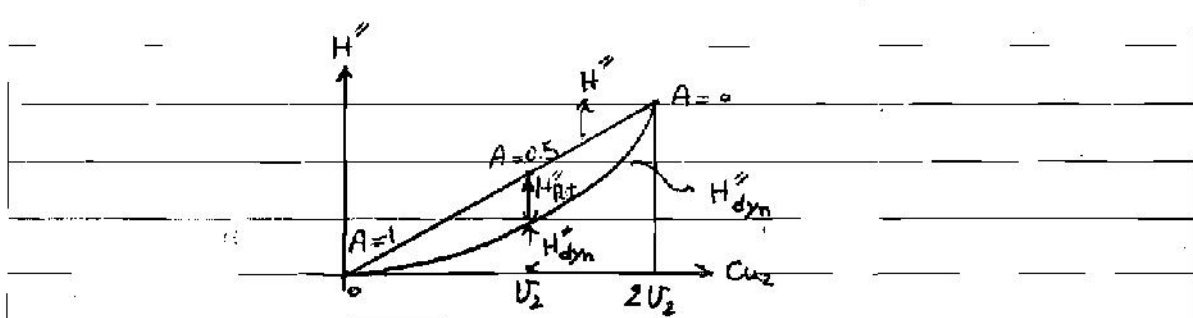
Backward	ALM	$\beta'_2 < 90^\circ$	$Cu_2 = 0$
Radial	CLM	$\beta'_2 = 90^\circ$	$Cu_2 = U_2$
Forward	DLM	$\beta'_2 > 90^\circ$	$Cu_2 = 2U_2$

$$H'' = \underbrace{H''_{Pot}}_{\text{تأثیر}} + \underbrace{H''_{dyn}}_{\text{تأثیر}} = \frac{1}{g} U_2 Cu_2$$

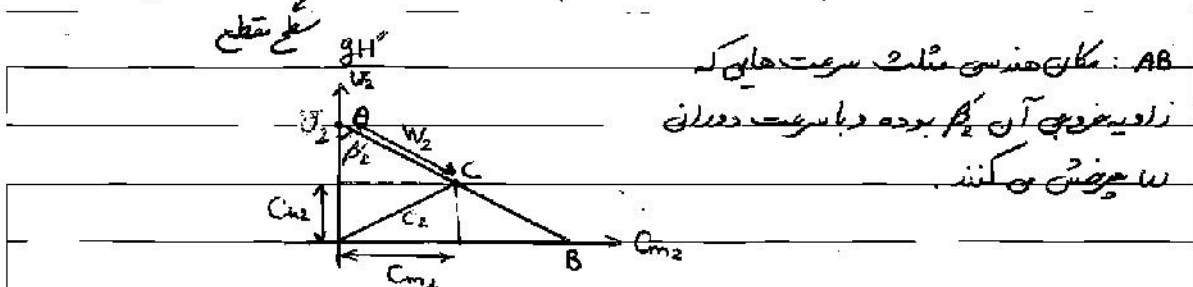
$$H''_{dyn} = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g} = \frac{C_2^2 - C_{m1}^2}{2g} \xrightarrow{A_1 = A_2} H''_{dyn} = \frac{C_2^2 - C_m^2}{2g} = \frac{Cu_2^2}{2g}$$

$$\Rightarrow H''_{Pot} = H'' - H''_{dyn} = \frac{Cu_2}{g} (U_2 - \frac{Cu_2}{2}) \Rightarrow A = \frac{H''_{Pot}}{H''} = 1 - \frac{Cu_2}{2U_2}$$

Δ	H''	H''_{dyn}	H''_{Pot}	A
ALM	0	0	0	1
LCM	$\frac{U_2^2}{g}$	$\frac{1}{2g} U_2^2$	$\frac{1}{2g} U_2^2$	0.5
DLM	$\frac{2U_2^2}{g}$	$\frac{2U_2^2}{g}$	0	0



$$\frac{gH''_{Pot}}{U_2} = U_2 - \frac{Q''}{2\pi k_2 R_2 b_2} \quad \text{Cotg } \beta'_2 = U_2 - C_{m2} \text{ Cotg } \beta'_2$$

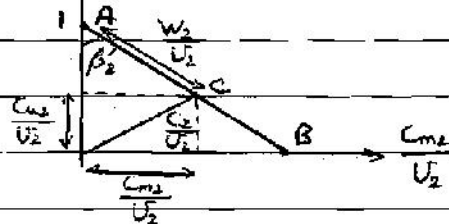


AB: مکان هندسی مثلث سرعت هاین که زاویه β'_2 آن بوده و با سرعت دوران ω می‌چرخد و می‌کند.

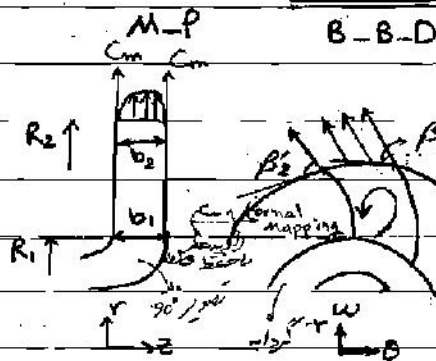
۴۵

$$\frac{gH_{\infty}}{U_2^2}$$

با نرمالایز کردن نمودار صفحه قبل (تقسیم بر U_2) داریم:



* برای پمپ‌های صنعتی معمولاً از $18^\circ < \beta_2 < 30^\circ$ استفاده می‌شود



تصحیح فرضیات نتایج یک بعدی:

برای جریان یک بعدی فرض کردیم:

① تعداد پروانه‌ها بی‌نهایت

② جریان یک بعدی

$$\beta_2 < \beta'_2 \rightarrow \delta = \beta'_2 - \beta$$

* تقییب اولیه جریان پتانسیل (بدون لزجت) برای طراحی استفاده می‌شود. در هندسه لزجت را در نظر داریم

Quasi 3D-Metral: جریان استاندارد صفحه B-B یک بعدی فرض شده و تأثیر دو بعدی بودن در

صفحه M-P بررسی می‌شود. مبالغه‌آمیز

$$\begin{aligned} H_{\infty}^{\text{Non Uniform}} &= \frac{U_2^2}{g} - \frac{U_2}{g} (K) \overline{Cm_2} \cot \beta'_2 & \beta_2 = \beta'_2 \text{ ابتدا} \\ &\rightarrow [K > 1] \\ H_{\infty}^{\text{Uniform}} &= \frac{U_2^2}{g} - \frac{U_2}{g} Cm_2 \cot \beta'_2 \quad (\text{یک بعدی}) & \downarrow \\ &H_{\infty}^{\text{Non-U}} < H_{\infty}^{\text{U}} \end{aligned}$$

در بعضی مراجع دیگر داریم:

$$C_H = \frac{H_{\infty}^{\text{Non-U}}}{H_{\infty}^{\text{U}}} = \frac{(1-K) \left(\frac{U_2}{Cm_2} \right) + K}{1} \rightarrow C_H < 1$$

$$C_H = (1-K) \frac{U_2}{Cm_2} + K = \dots$$

$$\frac{U_2}{Cm_2} \approx 2 \leftarrow \text{Backward}$$

ضریب لغزش

* این اختلاف فشار باعث به وجود آمدن گودا می شود.

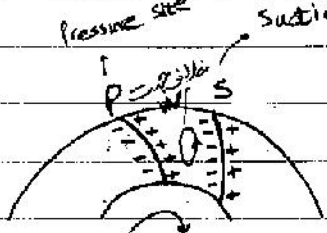
گشتاور دارد بر حوض از طریق یوهای سیال منتقل می شود.

طرفین هر پره اختلاف فشار مناسب با گشتاور ایجاد می شود.

با کاهش پره ها بار هر پره افزایش یافته و اختلاف فشار طرفین آن

زیاده شود بنابراین یک گودا در میان فشار در امتداد محیط از سطح پره فشار به کم فشار وجود دارد.

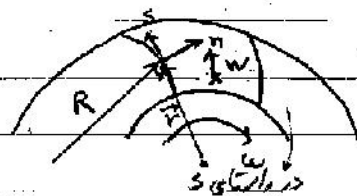
Pressure side Suction side



شماره پره عدد اول بهتر در تمام توری ازشین ها

$$\begin{cases} H'' = \frac{U_2^2}{g} - \frac{U_2}{g} \frac{Q''}{2\pi R_2 b_2 K_2} \cot \beta_2 \\ H''_{\infty} = \frac{U_2^2}{g} - \frac{U_2}{g} \frac{Q''}{2\pi R_2 b_2 K_2} \cot \beta_2' \end{cases} \quad , \beta_2 < \beta_2' \Rightarrow H'' < H''_{\infty}$$

زاویه لغزش $\delta = \beta_2' - \beta_2$



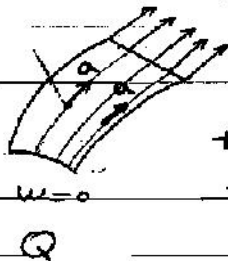
دنگاه معادله برنولی متحرک

دنگاه متحرک S

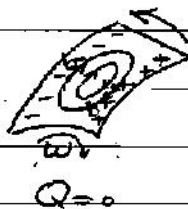
$$\begin{cases} \text{S: } \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{P}{\rho} - \frac{U^2}{2} \right) + W \frac{\partial W}{\partial s} = 0 & \text{معادله برنولی متحرک} \\ \text{ni: } \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{P}{\rho} - \frac{U^2}{2} \right) - \frac{W^2}{R} + 2Ww = 0 \quad (2) \end{cases}$$

برنولی $\frac{P}{\rho} - \frac{U^2}{2} = -\frac{W^2}{2} \xrightarrow{(2)} \frac{W}{R} \frac{\partial W}{\partial n} = -2w \Rightarrow w = \frac{1}{2} \left(\frac{W}{R} + \frac{\partial W}{\partial n} \right)$

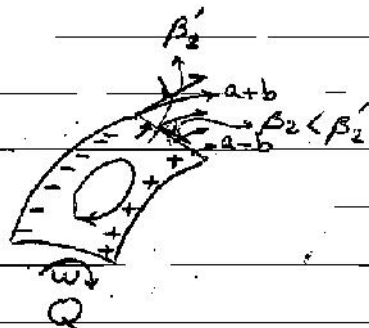
$$\Rightarrow \frac{\partial W}{\partial n} = -\frac{W}{R} + 2w$$



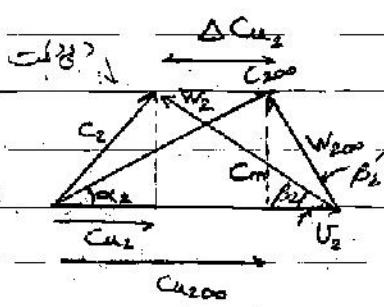
+



=



۲۲



$$H'' = \frac{1}{g} (U_2 C_{u2} - U_1 C_{u1})$$

$(\alpha_1 = 90^\circ)$

$$\mu = \frac{C_{u2}}{C_{u200}} = \frac{U_2 C_{u2}/g}{U_2 C_{u200}/g} = \frac{H''}{H''_{00}}$$

$\text{اگر } \alpha_2 = 90^\circ$

$$H'' = \mu H''_{00} \quad , \quad 0.65 < \mu < 0.8$$

$(\mu < 1)$

$$H'' = H''_{00} \mu$$

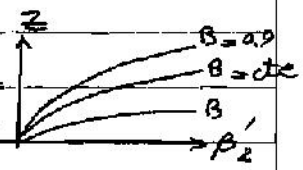
* استبانوف پیشنهاد کند که $\mu = 0.73$ در نظر گرفته شود.
 * ضرایب C_u و C_m بدون در نظر گرفتن اثرات پلانهای باشند.

روش بونولون برای محاسبه μ :

$$\mu = \frac{B - C \phi \cot \beta'_2}{1 - \phi \cot \beta'_2} \quad , \quad \phi = \frac{C_{m2}}{U_2}$$

اگر $\frac{R_2}{R_1} \gg \exp\left(\frac{2\pi \sin \beta'_2}{z}\right) \rightarrow C=1, B=$

استعدادیو



با این ساده سازی ضرایب داریم:

$$\mu = 1 - \frac{1-B}{1 - \phi \cot \beta'_2} \quad , \quad B = 1 - \frac{\Delta C_{u2}}{U_2}$$



روش استودال برای محاسبه μ :

$$\Delta C_{u2} = \frac{U a}{2}$$

$$a = \frac{2\pi R_2 \sin \beta'_2}{z}$$

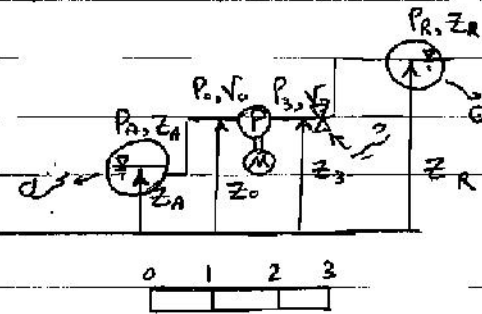
$$\Delta C_{u2} = U_2 \cdot \frac{\pi}{z} \sin \beta'_2 \xrightarrow{(*)} \mu = 1 - \frac{\Delta C_{u2}}{C_{u200}} = 1 - \frac{\pi}{z} \sin \beta'_2 (1 - \phi \cot \beta'_2)$$

$\phi = \frac{C_{m2}}{U_2}$

$$(*) \quad \mu = \frac{C_{u2}}{C_{u200}} = \frac{C_{u200} - \Delta C_{u2}}{C_{u200}} = 1 - \frac{\Delta C_{u2}}{C_{u200}}$$

استاندارد شده

کلیت و مدار:



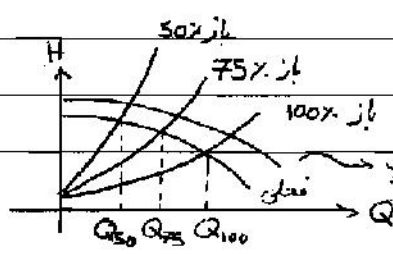
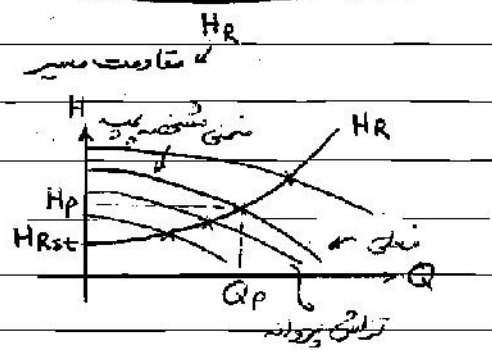
$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A = \frac{P_0}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} + Z_0 + h_{LA-0}$$

$$\frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3 = \frac{P_R}{\gamma} + \frac{V_R^2}{2g} + Z_R + h_{LA-R}$$

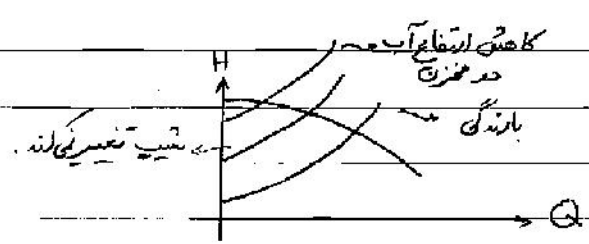
$$\Rightarrow \underbrace{\frac{P_3 - P_0}{\gamma} + \frac{V_3^2 - V_0^2}{2g} + Z_3 - Z_0}_{H_p = H_{\text{pump}}} = \underbrace{\frac{P_R - P_A}{\gamma} + \frac{V_R^2 - V_A^2}{2g} + Z_R - Z_A + \sum h_{LA-R}}_{H_R}$$

$$H_R = \begin{cases} H_{Rst} = \frac{P_R - P_A}{\gamma} + Z_R - Z_A \\ H_{Rdyn} = \frac{V_R^2 - V_A^2}{2g} + \sum h_{LA-R} \end{cases}$$

KQ^2

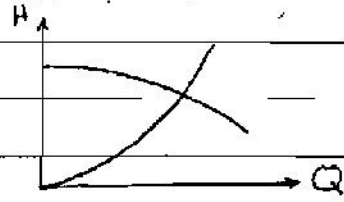


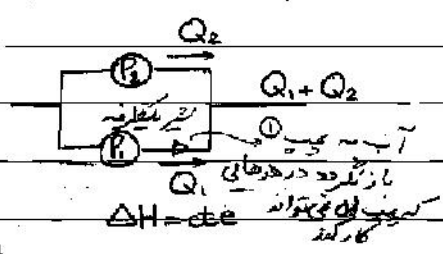
برای ثابت ماندن دبی، می توان با تغییر در افت هیدرولیک یا تغییر در دبی، دبی را بیشتر کرد.



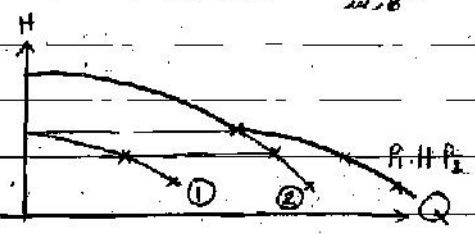
اگر هد استاتیک تغییر کند

* برای یک پمپ سیرکولاسیون (شوفالخانه) هد استاتیک برابر صفر است.

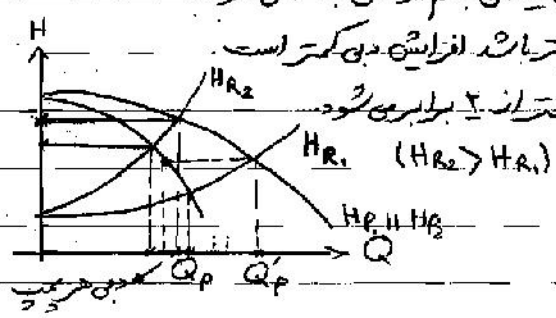




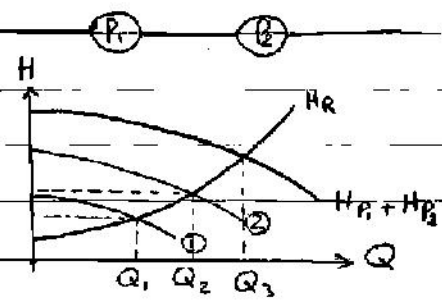
به هم بستن مولد میبایست
 * کلیتاً بیرون گرفته شود
 * دی بیشتر شود



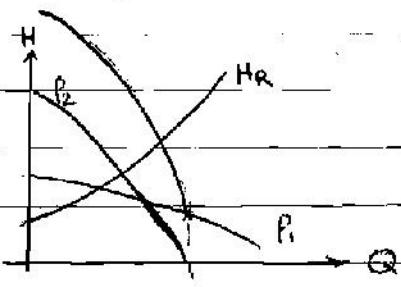
* در اکثر موارد میبایست یکسان با هم مولد بسته شود
 * هر چه مقاومت مسیر بیشتر باشد افزایش دی کمتر است



به هم بستن سری میبایست
 * دی بیشتر شود

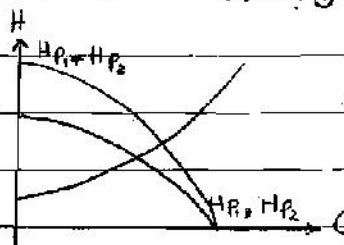


حالت زیر را در نظر بگیریم



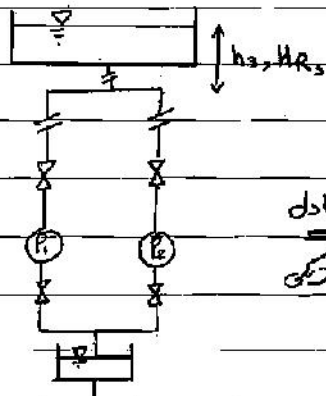
میبایست ۲ تا مقاومت در کنار یک
 * در این حالت هنگامی که Q است، Q هر دو میبایست برابر باشد

* اگر پمپ‌های استفاده شده، یکسان باشند:

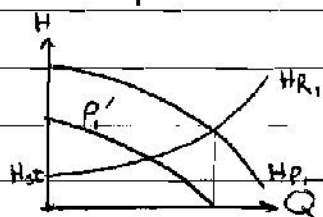
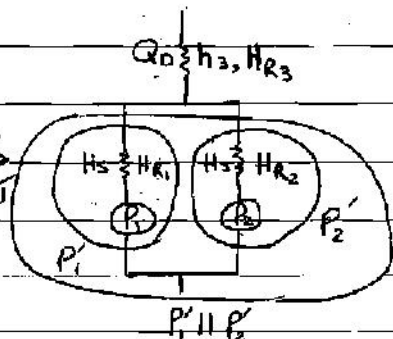


در حالت های قبل اصطکاک نولد کار می کرد

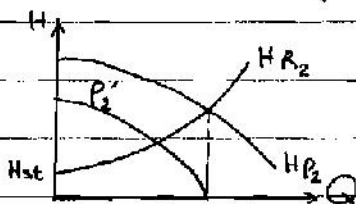
در پمپ مولتی در مدلهای با لغت فشاره



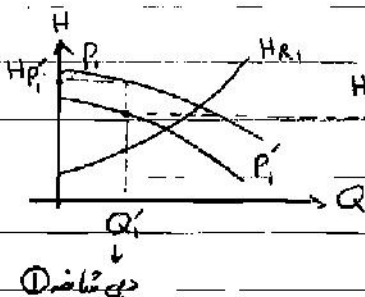
معادله الکتریکی



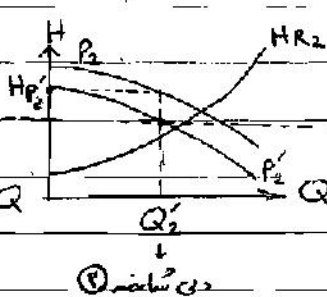
$$P_1' = H_{P1} - H_{R1}$$



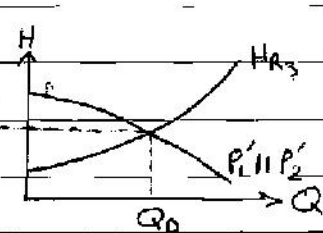
$$P_2' = H_{P2} - H_{R2}$$



در حالت اول



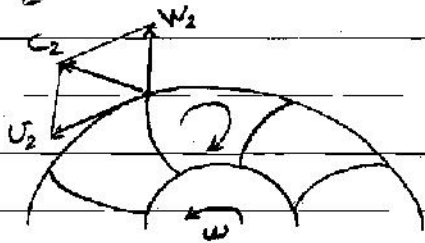
در حالت دوم



در حالت سوم

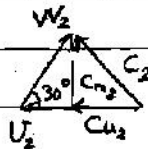
۲۴

مثال ۱: $Q = 0.028 \frac{m^3}{s}$, $\mu = 0.77$, $N = 1450 \text{ rpm}$, $b_2 = 20 \text{ mm}$, $d_2 = 250 \text{ mm}$, $\beta_2' = 30^\circ$, $\alpha_1 = 90^\circ$ و $\alpha_2 = 90^\circ$ را در نظر بگیرید. $Z = ?$, $H = ?$



$$U_2 = r_2 \omega = \frac{0.250}{2} \times 2\pi \times 1450 = 18.98 \text{ m/s}$$

$$C_{m2,00} = \frac{Q}{A_2} = \frac{Q}{2\pi r_2 b_2} = \frac{0.028}{\pi \times 0.25 \times 0.02} = 1.78 \text{ m/s}$$



$$C_{u2,00} = U_2 - \frac{C_{m2,00}}{\tan 30^\circ} = 18.98 - \frac{1.78}{\frac{\sqrt{3}}{3}} = 15.9 \text{ m/s}$$

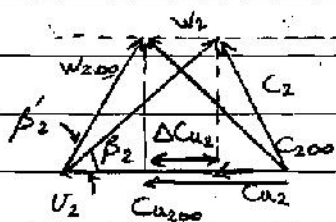
$$H'_{00} = \frac{1}{g} (U_2 C_{u2} - U_1 C_{u1}) = 30.75 \text{ m}$$

$\alpha_1 = 90^\circ \Rightarrow \mu = \frac{H'}{H'_{00}} \Rightarrow H = 0.77 \times 30.75$

$$\Rightarrow H = 23.68 \text{ m}$$

$$\mu = \frac{C_{u2}}{C_{u2,00}}$$

$$\mu = 1 - \frac{\Delta C_{u2}}{C_{u2,00}} = 1 - \frac{\frac{A}{2} \sin \beta_2'}{1 - \psi \cot \beta_2'} \Rightarrow \psi = \frac{C_{m2}}{U_2} \Rightarrow Z = 8.15 \approx 8$$

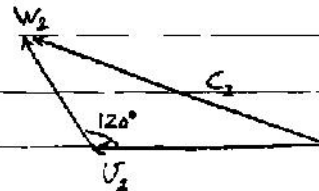
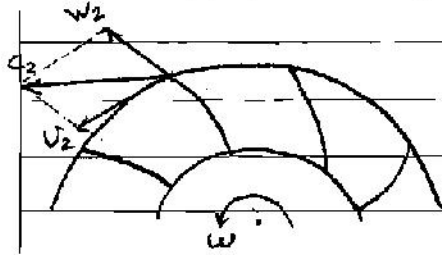


$$\mu = \frac{C_{u2}}{C_{u2,00}} \Rightarrow 0.77 = \frac{C_{u2}}{15.9} \Rightarrow C_{u2} = 12.24 \text{ m/s}$$

$$\tan \beta_2 = \frac{C_{m2}}{U_2 - C_{u2}} = 0.264 \Rightarrow \beta_2 = 14.8^\circ < \beta_2' \checkmark$$

مثال ۲: $N_s = 0.75$ (بردهای)، $b_2 = 0.1 d_2$ ، آب را با ارتفاع ۳۵ متری بالا می‌برد. $h_{\text{local}} = \frac{3V^2}{2g}$ ، $l = 40 \text{ m}$ ، $f = 0.005$ ، $\beta_2 = 120^\circ$ ، $d_s = d_d = 150 \text{ mm}$ ، $Q = 0.04 \frac{m^3}{s}$.
 سوختن: suction / Discharge

$d_2 = ?$ ، $\eta_H = 0.76$ ، 0.06 سطح خروجی با ضرایب بردهای خروجی است.



$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.04}{\frac{\pi}{4} \times 0.15^2} = 2.26 \text{ m/s}$$

$$H = 35 + \frac{3V^2}{2g} + f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} = 35 + \frac{3 \times 2.26^2}{2 \times 9.81} + \frac{0.005 \times 40}{0.15} \times \frac{2.26^2}{2 \times 9.81} = 37.16 \text{ m}$$

$$N_2 = \frac{N \sqrt{Q}}{(gH)^{3/4}} \rightarrow 0.75 = \frac{N \sqrt{0.04}}{(9.81 \times 37.16)^{3/4}} \rightarrow N = 1877.15 \text{ rpm}$$

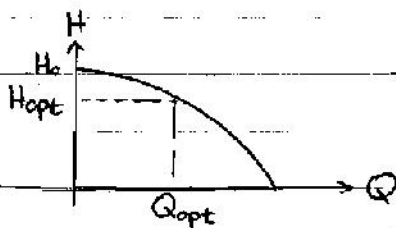
$$U_2 = r_2 \omega = \frac{d_2}{2} \times \frac{2\pi N}{60} = \pi N d_2 = 98.3 d_2$$

$$C_{u2} = \frac{Q}{A_2} = \frac{Q}{0.94 \pi b_2 d_2} = \frac{0.04}{0.94 \pi d_2^2} = \frac{0.135}{d_2^2}$$

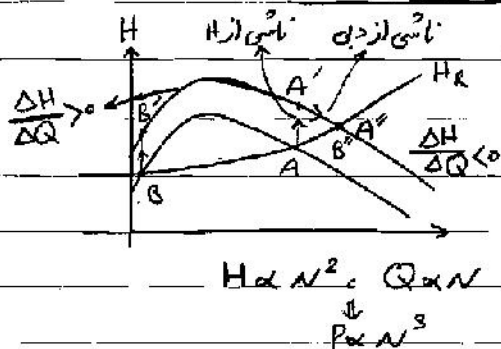
$$\eta_H = \frac{H}{H''} \Rightarrow 0.76 = \frac{37.16}{H''} \rightarrow H'' = 48.89 \text{ m}$$

$$\text{از طرف: } H'' = \frac{1}{g} (U_2 C_{u2} - 0) = \frac{1}{g} (98.3 d_2) \left(98.3 d_2 + \frac{0.135}{\pi d_2^2} \right) = 48.89 \Rightarrow d_2 = 0.214 \text{ m}$$

شیب منحنی H-Q :



$$\frac{H_0 - H_{opt}}{H_{opt}} = \begin{cases} 0.25 \sim 0.1 \rightarrow \text{ساترینفور} \\ 0.8 \sim 0.25 \rightarrow \text{نیمه ساترینفور} \\ > 0.8 \rightarrow \text{مخروط} \end{cases}$$



پایدار: با یک تغییر کوچک، نقطه کار کم جابجایی شود

$$\frac{\Delta H}{\Delta Q} < 0 \rightarrow \text{پایدار}$$

$$\frac{\Delta H}{\Delta Q} > 0 \rightarrow \text{ناپایدار}$$

$$H \propto N^2, Q \propto N \\ \downarrow \\ P \propto N^3$$

تقریب پروانه:

* متشابه و صند ندارد

$$\text{فرمول تجربی} \begin{cases} \frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^n \\ \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^n \end{cases}, 2 < n < 3$$

* اگر بخواهیم از ویس آب، برای ویس مواد دیگر استفاده کنیم، ابتدا ویس آب را حل می‌کنیم پس با استفاده از یک نمودار این مقادیر را تصحیح می‌کنیم

$$\mu: \left[\frac{Ns}{m^2}, Pa.s, \frac{Kg}{m.s} \right]$$

نکته: لزوم دینامیک

$$1 \text{ poise} = \frac{\text{dyne}}{cm} \cdot s = \frac{g}{cm.s} = \frac{1}{10} Pa.s \quad \left(1 \text{ dyne} = 10^{-5} N \right)$$

انتقال واحد

$$1 N = 1 Kg \cdot \frac{m}{s^2}$$

$$1 P = 100 cP \Rightarrow \mu = 1 cP \text{ برای آب}$$

$T = 20.22^\circ C$

* لزوم دینامیک

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

$$\text{stoke} = \frac{\frac{\text{dyne} \cdot s}{cm^2}}{\frac{g}{cm^3}} = \frac{cm^2}{s}$$

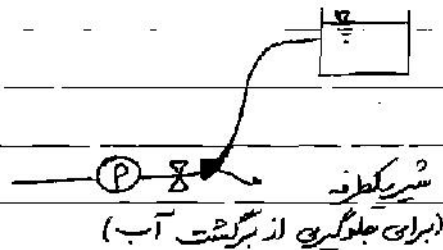
$$1 \text{ stoke} = 10^{-4} \frac{m^2}{s} \xrightarrow{\text{سانتی متر}} 1 cSt = 10^{-6} \frac{m^2}{s} \Rightarrow \nu = 1 cSt$$

$T = 20^\circ C$

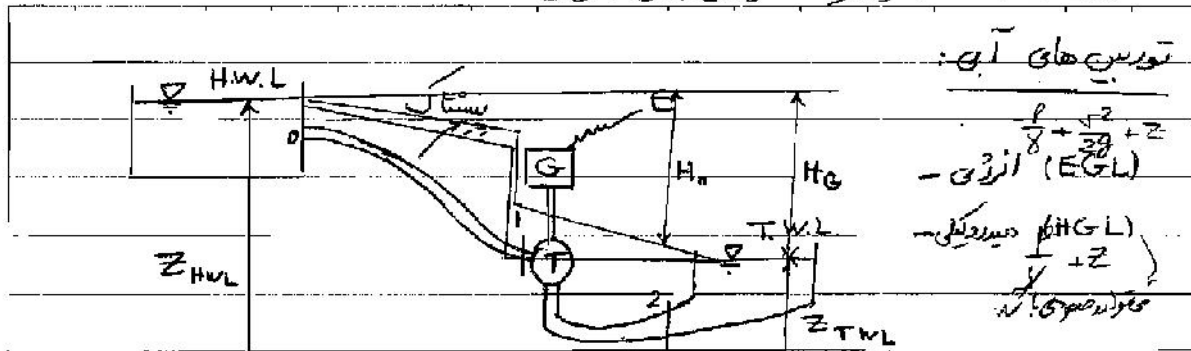
$$1 Gpm = 3.785 \frac{L}{min}$$

* دین

نکته: برای روشن کردن ویس، ابتدا شیر را می‌بندیم و سپس موتور را روشن می‌کنیم برای خاموش کردن نیز به همین صورت می‌باشد. (برای جلوگیری از فشار آمدن به موتور)



توربین های آب:



انرژی مخصوص: میزان انرژی جنبشی و پتانسیلی است که یک کیلوگرم آب حین عبور از توربین
انرژی بالادست تا پایین دست تولید کند. $\left(\frac{N.m}{kg}, \frac{J}{kg}, \frac{m^2}{s^2} \right)$

هد ناخالص (Gross head):

$$H_G = Z_{HWL} - Z_{TWL} = H_{gross}$$

$$E_G = g H_G$$

$$P_G = \rho g H_G Q$$

$$\left(\frac{P}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \right) - \left(\frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right) = H_n = H_G - \sum h_L$$

قیمت ناخالص:

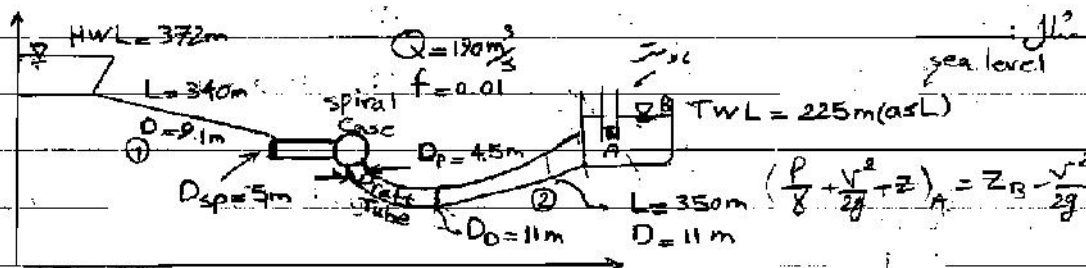
هد ناخالص:

$$P = \rho g H_G Q$$

$$E_n = g H_n$$

$$H = \frac{P}{\rho g Q} \Rightarrow E = \frac{P}{\rho Q} = g H = \left[\frac{J}{kg} \right]$$

انرژی مخصوص خالص:



$$H_n = ? \quad H_{gr} = ? \quad EGL = ? \quad HGL = ?$$

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{190}{\frac{\pi}{4} \times 9.1^2} = 2.92 \frac{m}{s} \xrightarrow{T=20^\circ C} Re_1 = \frac{V_1 D_1}{\nu} = \frac{2.92 \times 9.1}{10^{-6}} = 2.657 \times 10^7$$

$$\Rightarrow h_{L1} = f_1 \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{V_1^2}{2g} = 0.01 \times \frac{340}{9.1} \times \frac{2.92^2}{2 \times 9.81} = 0.1624 m$$

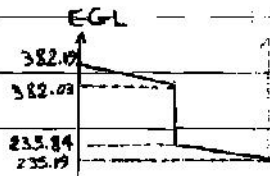
$$V_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{190}{\frac{\pi}{4} \times 11^2} = 1.999 \frac{m}{s} \xrightarrow{T=20^\circ C} Re_2 = \frac{V_2 D_2}{\nu} = \frac{1.999 \times 11}{10^{-6}} = 2.2 \times 10^7$$

$$\Rightarrow h_{L2} = f_2 \frac{L_2}{D_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g} = 0.1 \times \frac{350}{11} \times \frac{1.999^2}{2 \times 9.81} = 0.648 m$$

۴۰

$$H_G = Z_{HWT} - Z_{TWT} = 372 - 225 = 147m$$

$$H_n = H_G - \sum h_L = H_G - h_{L1} - h_{L2} = 147 - 0.1624 - 0.648 = 146.19m$$



$$* EGL_{HWT} = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = \frac{100 \times 10^3}{1000 \times 9.81} + 372 = 382.19m$$

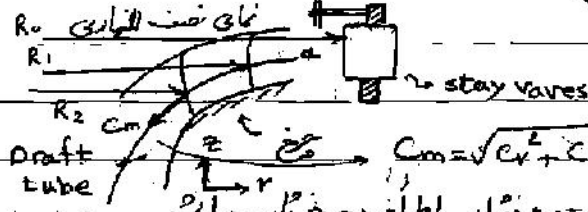
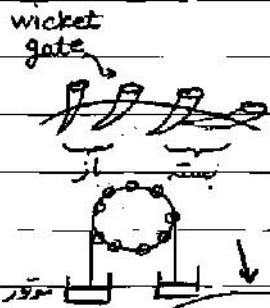
$$* EGL_{TWT} = \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z = \frac{100 \times 10^3}{1000 \times 9.81} + 225 = 235.19m$$

نظریات سرعت

تدریس فرانسیس (Francis)

Wicket gate (III) stay vases (II) Spiral Case (I)
پو آب

Draft tube (V) Runner (IV)



stay vases

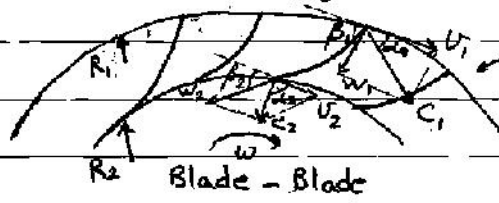
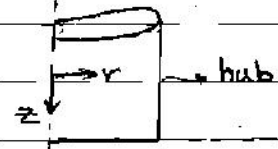
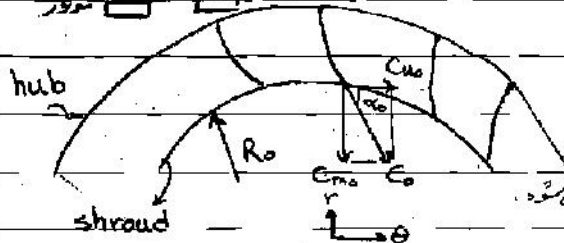
$$C_m = \sqrt{C_v^2 + C_z^2}$$

I محاسبات سرعت و فشار اطراف مخرب ثابت است
III پو آب: مولفه C_m را بدست می آوریم

$$\alpha_0 = 20^\circ \sim 30^\circ$$

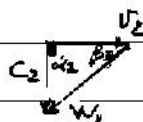
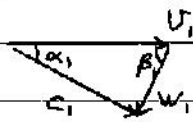
$$\alpha_0 \approx Q$$

پیش از آن



$$w_2 > w_1 \quad \text{و} \quad V_2 < V_1$$

$$\alpha_2 \approx 90^\circ$$



$$R_2 < R_1 < R_0$$

$$W_2 > W_1$$

$$\alpha_2 = 90^\circ \Rightarrow C_{u2} = 0$$

$$Q = C_{m0} = \frac{Q}{2\pi R_0 b_0} \rightarrow \tan \alpha_0 = \frac{C_{m0}}{C_{u0}}$$

معادله بوشن
از آنجا که $R_1 C_{u1} = R_0 C_{u0} \Rightarrow C_{u1} = \frac{R_0}{R_1} C_{u0}$

معادله بوشن
از آنجا که $Q = (2\pi R_1 b_1) C_{m1} = (2\pi R_0 b_0) C_{m0}$

در حالت Blade-Blade

$$C(u, \theta, z) \rightarrow \begin{cases} C_r \\ C_\theta = C_{u0} \\ C_z \end{cases} \rightarrow C_m = \sqrt{C_z^2 + C_r^2}$$

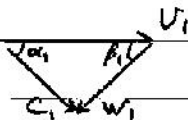
با نوشتن معادله بوشن خواهیم داشت:

$$\begin{cases} M'' = \dot{m}'' (R_1 C_1 \cos \alpha_1 - R_2 C_2 \cos \alpha_2) \\ P'' = M'' W = \dot{m}'' (U_1 C_1 \cos \alpha_1 - U_2 C_2 \cos \alpha_2) \\ E'' = g H'' = U_1 C_1 \cos \alpha_1 - U_2 C_2 \cos \alpha_2 = U_1 C_{u1} - U_2 C_{u2} \\ H'' = \frac{1}{g} (U_1 C_{u1} - U_2 C_{u2}) \end{cases}$$

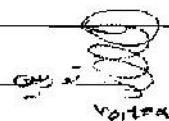
در حد اولی

$$U_1 = U_2 = U$$

با نوشتن معادله کسینوس ها داریم:



$$H'' = \frac{C_1^2 - C_2^2}{2g} + \frac{U_2^2 - U_1^2}{2g} + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g}$$



$$H_n - h_f = H'' \Rightarrow H_n = H'' + h_f$$

$$H_n = H'' + h_f$$

* معادله انرژی برای توریس به صورت زیر است:

$$\frac{\delta Q}{\delta t} = \frac{\delta W}{\delta t} = \int_{C.S.} (h + \frac{C^2}{2} + gz) (\rho \vec{C} \cdot d\vec{A})$$

انرژی هیدرولیک

$$\Rightarrow \frac{\delta Q}{\delta m} + (h_1 + \frac{C_1^2}{2} + gz_1) = (h_2 + \frac{C_2^2}{2} + gz_2) + \frac{\delta W}{\delta m}$$

$$\Rightarrow \frac{\delta W}{\delta m} = \left(\frac{P_1 - P_2}{\rho} \right) + \left(\frac{C_1^2 - C_2^2}{2} \right) + g(z_1 - z_2) + \left[(U_1 - U_2) + \frac{\delta Q}{\delta m} \right]$$

$-h_e$

$$h_L = u_1 - u_2 + \frac{S W}{\rho g m} \quad \leftarrow \quad u_1 < u_2 \Rightarrow T_2 > T_1$$

آدمایک

نکته: توربین گاز $T_2 < T_1$ ، توربین آبی $T_2 > T_1$

$$\star \frac{P_1}{\rho} + \frac{C_1^2}{2} + g z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{C_2^2}{2} + g z_2 + \frac{S W}{\rho g m} + H_L$$

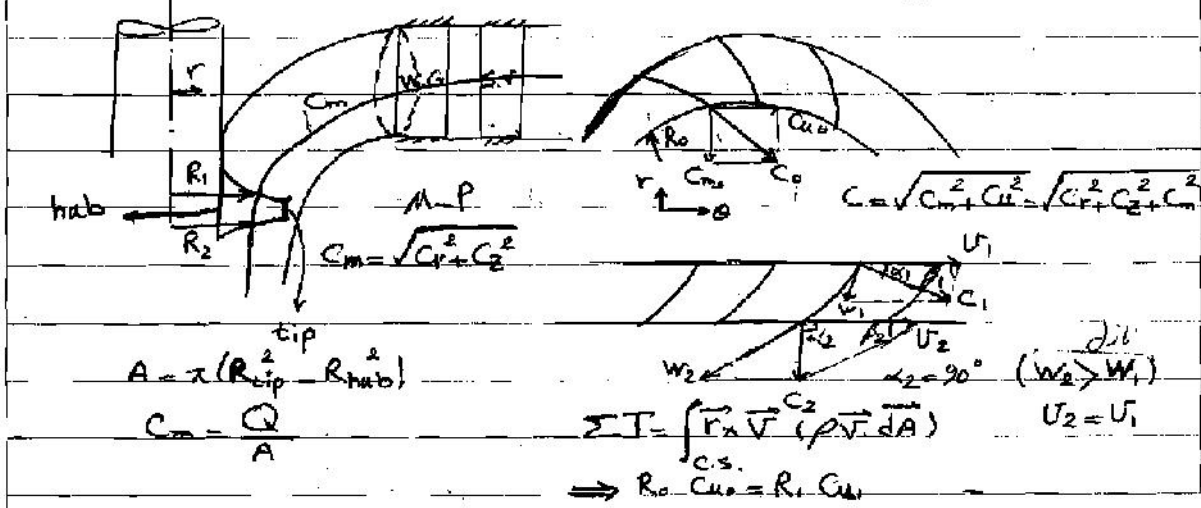
بین H'' را از دو حالت به دست آوریم و مقایسه کنیم H_n

$$\left\{ \begin{aligned} H'' &= \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{C_1^2 - C_2^2}{2g} + z_1 - z_2 - h_{Lf} \Rightarrow H'' = H_n - h_{Lf} \\ H'' &= \frac{C_1^2 - C_2^2}{2g} + \frac{U_1^2 - U_2^2}{2g} + \frac{W_2^2 - W_1^2}{2g} \end{aligned} \right.$$

$$\Rightarrow \frac{P_1}{\gamma} + \frac{W_1^2}{2g} - \frac{U_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{W_2^2}{2g} - \frac{U_2^2}{2g} + z_2 + h_{Lf}$$

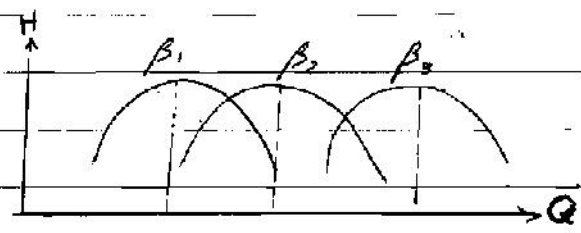
\star قانون دوم ترمودینامیک : $s_2 > s_1$

نکته سرعت دستوربین های هوری (کاپلان)



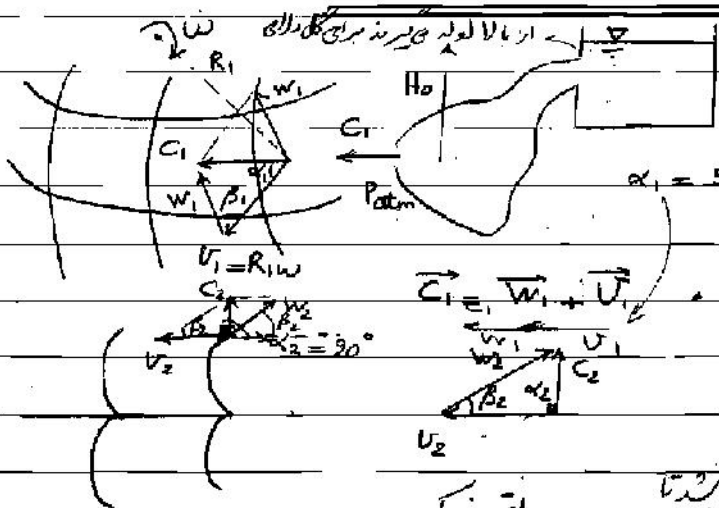
\star می توان زاویه β را تغییر داد و اینها را تغییر داد

$$H'' = \frac{1}{g} (U_1 C_{u1} - U_2 C_{u2})$$



تغییر اویج پیکر اگر در حالتی که در این حالت بسیار در حد

* تنها توپوگرافی های که در آنها زاویه در حدی می تواند تغییر کند، توپوگرافی های محوری و پیکر های محوری هستند



توپوگرافی (ضریب ای):

$$\alpha_1 = 5^\circ \sim 10^\circ \quad (\alpha_2 \rightarrow 0^\circ)$$

$$C_1 = f \sqrt{2gH_0} \quad f = 0.98$$

$$H = \frac{1}{g} (U_1 C_{u1} - U_2 C_{u2})$$

در رابطه ای بین C و U برقرار باشد تا زمانی که هم برآورد داشته باشد

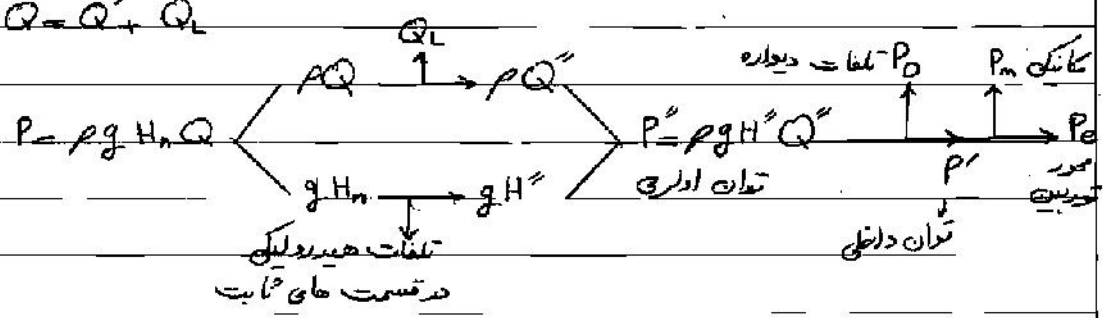
$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{w_1^2}{2g} - \frac{U_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho} + \frac{w_2^2}{2g} - \frac{U_2^2}{2g} + h \Rightarrow \begin{cases} w_1 = w_2 \\ U_1 = U_2 \end{cases}$$

$R = R_2$

* برای داشتن رانندگی بیشینه باید $\alpha = 90^\circ$ باشد

* با داشتن $\alpha > 90^\circ$ هم بیشتر ضرایب داشت، اما رانندگی کمتر خواهد شد

$$Q = Q' + Q_L$$



۴۴

$$\eta_v = \frac{Q'}{Q} \quad \eta_h = \frac{H'}{H_n} \quad \eta_o = \frac{P'}{P} \quad \eta_m = \frac{P_e}{P'}$$

$$\eta_i = \eta_h \eta_o \eta_v \quad \eta_t = \eta_i \eta_m$$

$$\frac{Q}{ND} = \frac{gH}{\sqrt{D^5}}$$

گروه های بی بعد

$$N_{Hn} = \frac{ND}{\sqrt{H_n}} \quad \text{سرعت دورانی با قطر واحد}$$

$$N_{ed} = \frac{ND}{\sqrt{gH_n}} \quad \text{سرعت دورانی با قطر واحد}$$

سرعت دورانی با قطر واحد

$$Q_{Hn} = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H_n}} \quad \text{دبی واحد}$$

$$Q_{ed} = \frac{Q}{D^2 \sqrt{gH_n}} \quad \text{دبی واحد}$$

دبی واحد

$$P_{Hn} = \frac{P_e}{D^2 H_n^{3/2}} \quad \text{توان واحد}$$

$$P_{ed} = \frac{P_e}{\rho D^2 (gH_n)^{3/2}} \quad \text{توان واحد}$$

توان واحد

$$T_{Hn} = \frac{T}{D^3 H_n} \quad \text{گشتاور واحد}$$

$$T_{ed} = \frac{T}{\rho D^3 gH_n} \quad \text{گشتاور واحد}$$

گشتاور واحد

$$N_{Hn} = N_{Hn} p$$

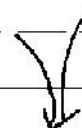
برای تناسب داریم:

$$Q_{Hn} = Q_{Hn} p$$

$$N_s = \frac{N \sqrt{P}}{H_n^{1.25}} \quad \text{سرعت دورانی با قطر واحد}$$

$$\eta_s = \frac{\omega \cdot Q^{1/2}}{(gH_n)^{3/4}} \quad \text{سرعت دورانی با قطر واحد}$$

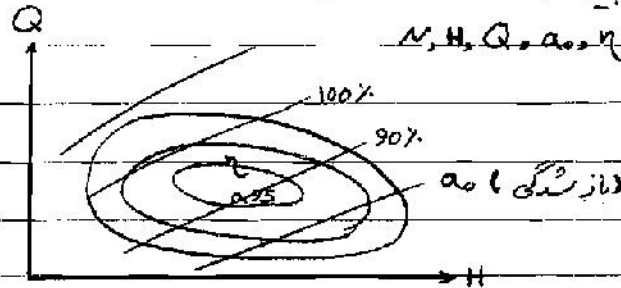
سرعت دورانی با قطر واحد



$$\eta_s = \frac{N_s}{165.87 \sqrt{\eta}}$$

منحنی های مشخصه توربین: (Hill Chart)

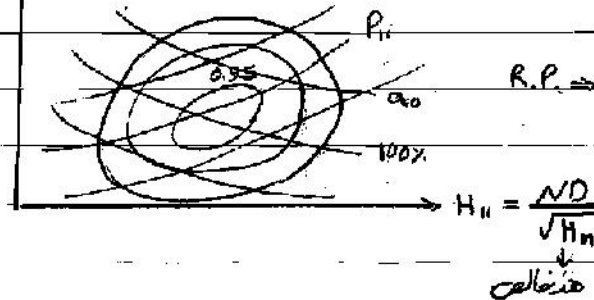
* پارامترها: N, H, Q, α, η, P



* دد دوتان برای توربین همیشه ثابت است

$$Q_{11} = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}}$$

قابل استفاده برای تمام خانواده

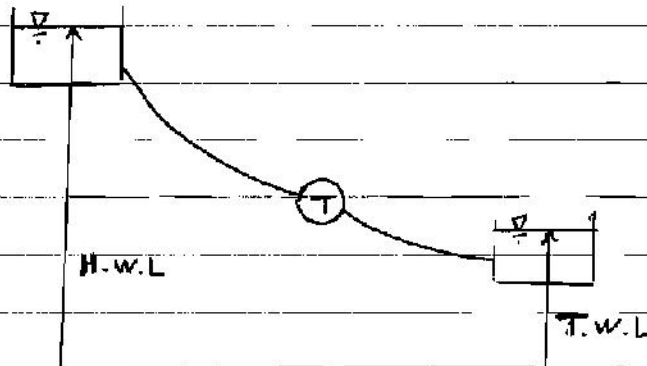


R.P. \Rightarrow Rated point

$$\psi = \frac{2gH}{\omega^2 R^2}$$

$$\phi = \frac{Q}{\pi \omega R^3}$$

* خانگیاه EPEI



انتخاب توربین مناسب

$$\eta = 0.94 \sim 0.96$$

$$\eta = 0.89 \sim 0.9$$

معلوم H

$$(\rho g H Q) \eta$$

معلوم H \rightarrow بعد از $N_s = f(H_n) = 3470 H_n^{-0.625} \Rightarrow N_s = \frac{N \sqrt{P}}{H_n^{1.25}} \Rightarrow N = \sqrt{\dots}$

$\Rightarrow N = \frac{120}{\sqrt{P}} \xrightarrow{50 \text{ Hz}} N_p = 31, 32 \checkmark$

تعداد قطب 3
مضرب از 2 یا 4
و ترکیباً 6

۲۶

$$H = 93 \text{ m}, Q = 150 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}, P = 130 \text{ MW}$$

دک

$$N_s = ? \quad N = ? \quad N_p = ?$$

$$N_s = 3470 H^{-0.625} = 204 \Rightarrow N_s = 204 = \frac{N \sqrt{P}}{H^{1.25}} = \frac{N \sqrt{130000}}{93^{1.25}} \Rightarrow N = 163 \text{ rpm}$$

$$\Rightarrow N_p = \frac{120 f}{N} = \frac{120 \times 50}{163} = 36.68 \xrightarrow{\text{قرص}} N_p = 40$$

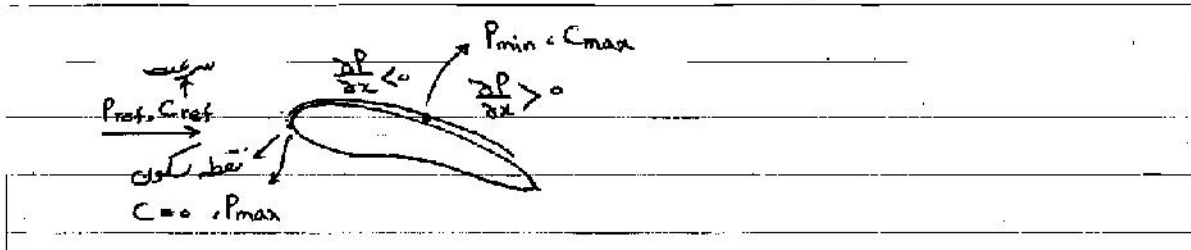
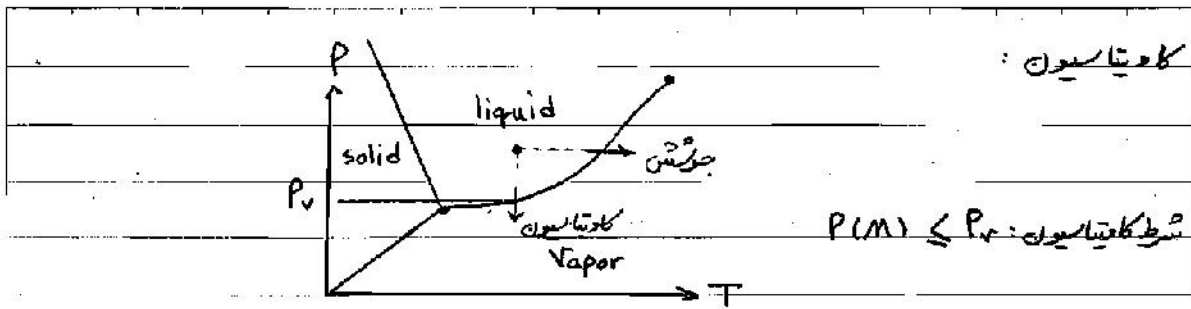
$$\text{تصحیح نکات} \Rightarrow N = 150 \text{ rpm} \Rightarrow N_s = \frac{N \sqrt{P}}{H^{1.25}} = 187.26$$

* با استفاده از نمودارها می توان شعاع ها را به دست آورد: (P, H, N) داده شود (نکات)

$$N_s = \frac{N \sqrt{P}}{\rho^{\frac{1}{2}} (g H_n)^{1.25}} \Rightarrow \begin{cases} U_1 = K_{u1} \sqrt{2g H_n} \\ U_1 = R_1 \omega \end{cases} \Rightarrow R_1 \checkmark \quad \begin{cases} U_2 = K_{u2} \sqrt{2g H_n} \\ U_2 = R_2 \omega \end{cases} \Rightarrow R_2 \checkmark$$

$$\Downarrow D_1 = 2R_1$$

$$\frac{b}{D_1} = \checkmark \Rightarrow b = \checkmark$$



کاویتاسیون: $P_m \leq P_v(T) \Rightarrow C_p(M) < \infty \Rightarrow$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_p(M) = \frac{P_m - P_{ref}}{\frac{1}{2} \rho C_{ref}^2} \\ \alpha = \frac{P_{ref} - P_v(T)}{\frac{1}{2} \rho C_{ref}^2} \end{array} \right. \rightarrow \text{غریب کاویتاسیون}$$

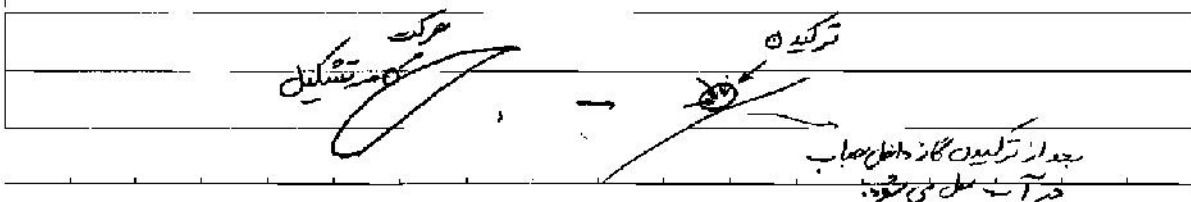
* پدیده کاویتاسیون زمانی اتفاق می افتد که فشار موضعی از فشار بخار مایع در حال حرکت کمتر شود. در چنین حالتی حباب های که نشان دهنده ذرات تبخیر شده مایع هستند در مایع پدیدار می شوند.

* حباب ها ممکن است به قطر حدود ۰.۲۵ اینچ برسد و با سرعتی حدود ۷۶۵ ft/s از بین رفته و عمر هر حباب حدود ۰.۰۰۳ ثانیه می باشد.

* فشار وارده بر بدنه جسم حدود ۵۰۰۰۰ psi می باشد.

* ایجاد چنین فشاری به صورت متناوب تولید ضربه کرده در فلز و در نتیجه فرسایش آن می شود.

* کاویتاسیون همراه با صدا، ارتعاش و لغزش در شناورها می باشد.



$$v = \sqrt{\frac{k}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^8}{10^3}} = 447.21 \text{ m/s}$$

suction side → 1000000

باجای کردن توبیخ که عوض می شود. (قبل و بعد از رسیدن هدیه تیک اداره می شود)

شرایط ہیدروکلیک : شکل ہیدروکلیک - شرایط جریان - زبرج

شرائط سیال : ویسکوزیٹی۔

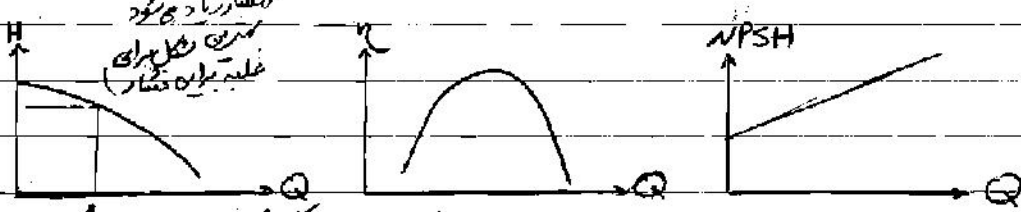
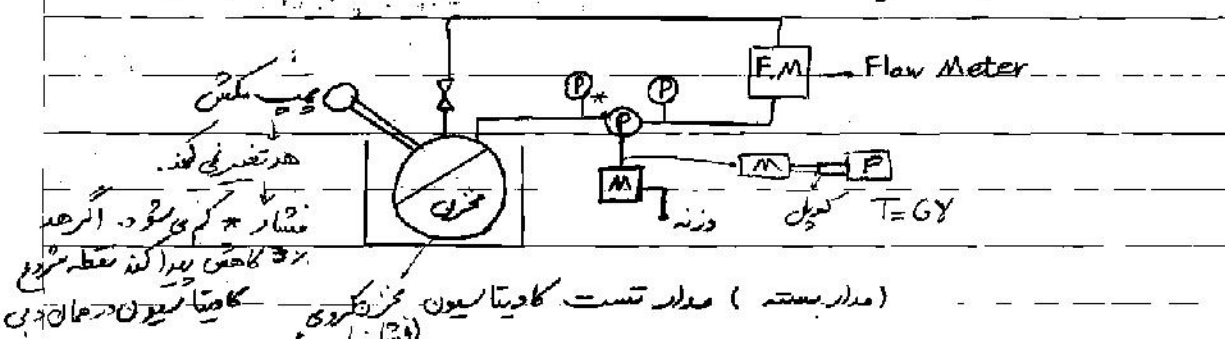
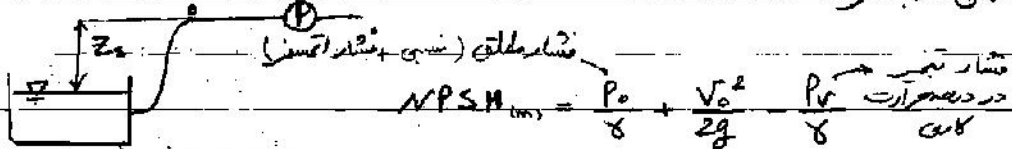
.....: کیفیت گانہ

و هر چه حجاب تشکیل شده بزرگتر باشد، فساد داخل آن کمتر است و بالعکس

کافیتا میں درج ہے:

(ارتفاع نسبت خالص کسوف) (VPSH): فشار کل در دهانه سکنش و بر نسبت به فشار اتمسفر

در همان درجه حرارت.



ایستاد فاضل و محترم

$$\Delta PSH_{(req)} = \frac{P_{o, min}}{\gamma} + \frac{V_o^2}{2g} - \frac{P_v}{\gamma} \rightarrow \text{circulation}$$

$$NPSH_{\text{available}} = \frac{P_0}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} - \frac{P_v}{\gamma}$$

برای اینکه کافیتا سیون رخ زرد و باریدالشت با ۵

$$NPSH_{(available)} \geq NPSH_{(req)} + 0.5m$$

٢٦

تجزیه حساب در دروازه
معمولاً خودی در قسمت بر فشار می‌دهد

محاسبه ارتفاع مکش بیشینه :

$$\frac{P_a}{\gamma} = Z_{max} + \frac{P_v}{\gamma} + \frac{V_o^2}{2g} + H_L$$

$$\frac{P_a}{\gamma} = Z_{max} + \underbrace{\frac{P_v}{\gamma} + \frac{V_o^2}{2g} + H_L}_{NPSH_{(req)} + \frac{P_v}{\gamma}}$$

ارتفاع دروازه مکش نصب می‌شود (در خروجی باشد) قطر مکش بزرگتر از قطر رانش

$$\Rightarrow Z_{max} = \frac{P_a}{\gamma} - \left(\frac{P_v}{\gamma} + NPSH_{(req)} + H_L \right)$$

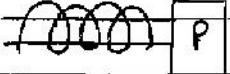
تلفات خطی

$$Z_{max} \downarrow \leftarrow H_L \uparrow$$

* برای راه اندازی پمپ ها در دهانه مکش یک شیر یکطرفه قرار می‌دهیم و سپس لوله را از آب پر می‌کنیم (زیرا در ابتدا لوله از هوا پر است) تا برای حالتی که پمپ بالای سطح آب است

روش های کم کردن $NPSH_{req}$:

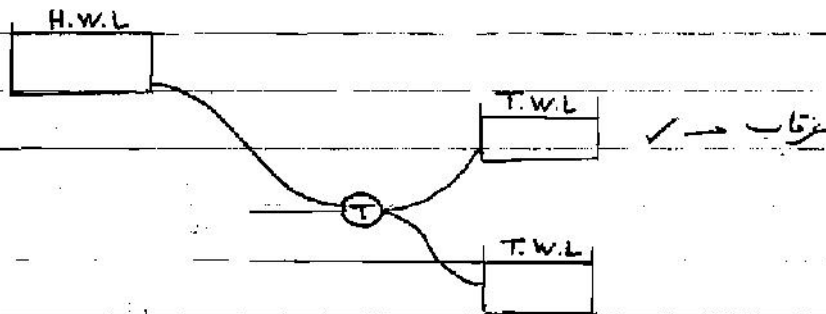
- ① پمپ با سرعت دوران کمتر انتخاب کنیم
- ② پمپ با دهانه مکش بزرگتر بگیریم (زیرا سرعت کمتر شود)
- ③ استفاده از مخزن با دهانه مخصوص (قبل از ورود به پمپ و فشار افزایش یابد)



روش های افزایش $NPSH_{avail}$:

- ① تحت فشار قرار دادن منبع مکش (مانند نصب پمپ زیر سطح آب)
- ② سرعت سیال در ورودی کاهش پیدا کند (افزایش قطر دهانه مکش)
- ③ کاهش تلفات در لوله مکش

کامیابی در توربین ها



نشار (توربین)

$$H_a - H_r = H_s$$

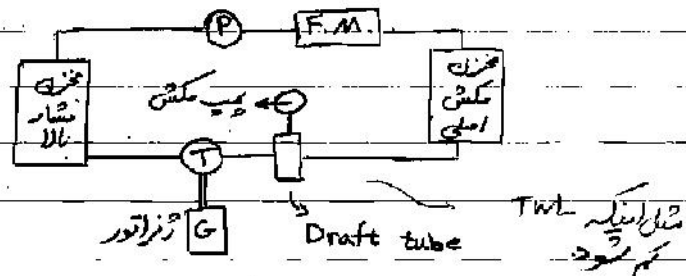
$$H_s = Z_{\text{turbine}} - Z_{\text{T.W.L.}}$$

Plant $H_n(\text{max})$

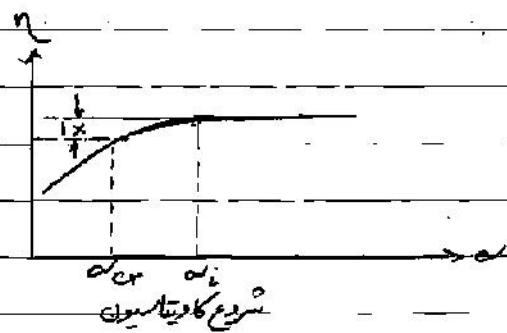
عدد توانایی کامیابی در توربین (توربین)

* در حالت غرقاب $H_s < 0$

عدد توانایی جریان (در)

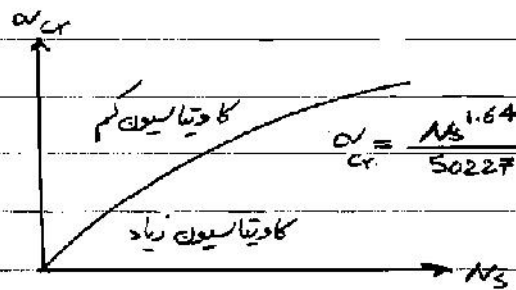


(مدل بسته تست توربین)



(Safety Margine) $S.M = H_n(\omega_p - \omega_{cr}) \rightarrow S.M = 4 \sim 5 \text{ m}$

حداکثر ω_{max}



HWL = 989.7 m

TWL = 964.23 m , TWL_{min} = 962.7 m

$Q = 30.44 \frac{m^3}{s}$, $H_L = 0.15 m$, $T = 21.1^\circ C$, $\eta = 0.9$

$H_{n,max} = HWL - TWL_{min} - H_L = 26.85 m$

$H_n = HWL - TWL - H_L = 25.32 m$

$P = \rho g H_n Q \eta = 6.8 MW$

$N_s = 3470 H_n^{-0.625} = 460.43$ $\xrightarrow{N_s = \frac{N \sqrt{P (kW)}}{H_n^{0.75}}}$ $N = 317 rpm$ $\xrightarrow{N_p = \frac{120 f}{N}}$ $N_p = 19$

$\rightarrow 4 \text{ سری } \rightarrow N_p = 20 \text{ تقریبی } N = 300 rpm \rightarrow N_s = 433.55$

$\alpha = \frac{N_s^{1.64}}{50227} = 0.42$

$\alpha_{cr} = \alpha_p = \frac{H_a - H_v - H_s}{H_{n,max}}$ $\xrightarrow{H_s = 2.016 = Z_{tur} - Z_{TWL}}$

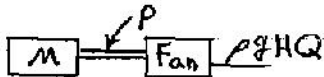
$\rightarrow Z_{tur} = \underbrace{962.7}_{TWL_{min}} - 2.016 = 960.68 m$

ارتفاع بزرگ

416

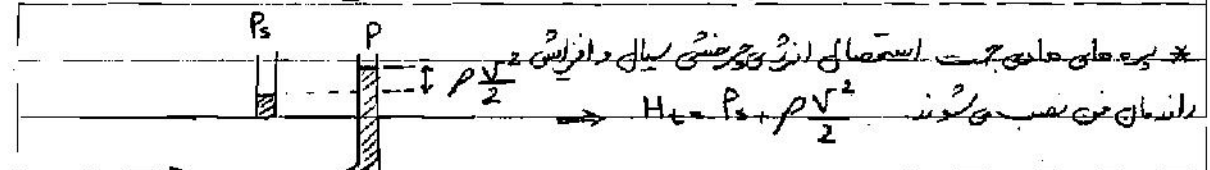
فن: (Fans)

دافع کار فن ها از ضغک کردن یک قطعه الکتریکلی که متریکب هوا را در یک ساعت جابجای کند
چند دات قدرت لازم دارد شروع می شود تا آن تهویه محفل که هوای یک متریکب را در یک دقیقه
جابجای کند و صدها کیلو دات توان لازم دارد

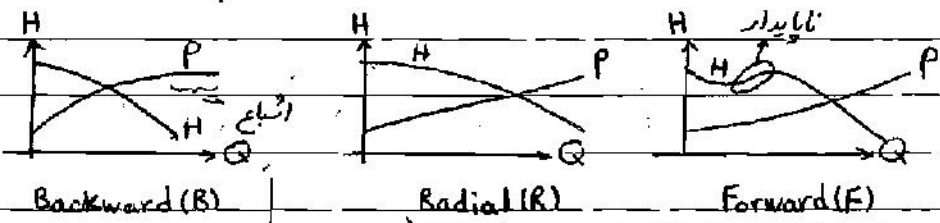


توان نایز
Fans → افزایش فشار کم
Blowers → افزایش فشار متوسط
Compressor → افزایش فشار زیاد

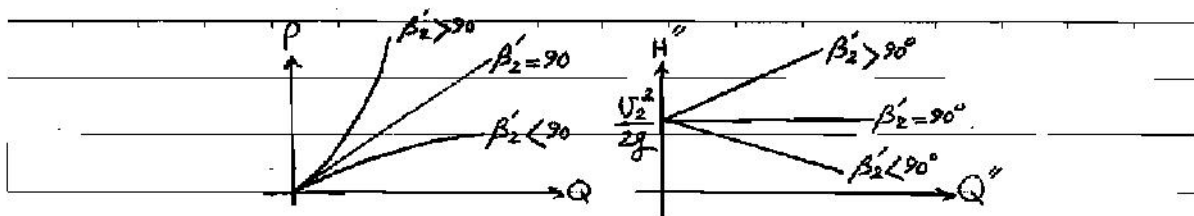
Radial
Forward
Backward
ساخته یورو
فن
ساده
لوله ای
پره ای
پره ها هدایت کننده قبل و بعد از چرخ



کولر مع فن ساخته یورو Forward

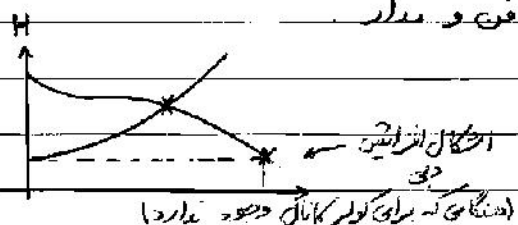
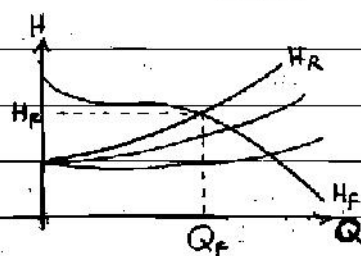


Backward (B)	Radial (R)	Forward (F)
دچار افزایش باد نمی شوند	دچار افزایش باد می شوند	دچار افزایش باد می شوند
راندمان بهتر	فضای کمتری اشغال می کنند	فضای کمتری اشغال می کنند
نویز کمتر	احتمال رسوب گرفتن کمتر است (R)	احتمال رسوب گرفتن کمتر است (F)
پایدار	پایدار	پایدار



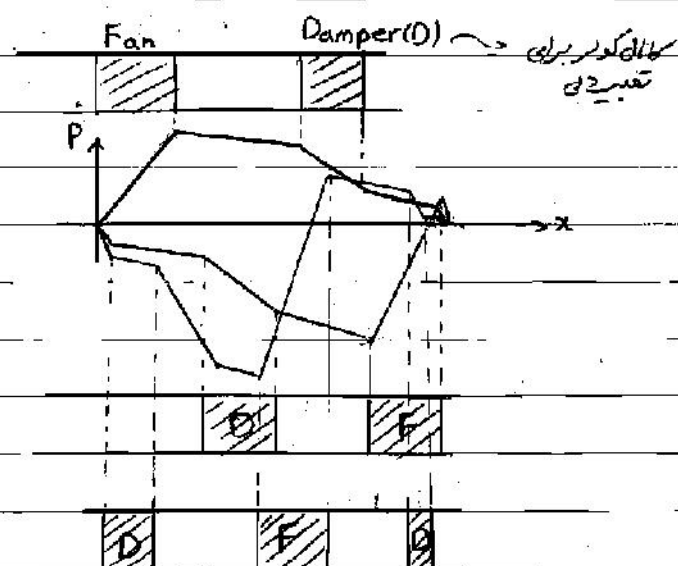
بهتر است پره به صورت ایرفویل ساخته شود → رانندگی بالا
نویز کمتر

در عقب	در میانی	در میانی	در جلو	
B	A	R	F	
4	2	3	1	اندازه
2	1	3	4	قدرت
2	1	3	4	صدا
8	4	9	9	



فن و مدار

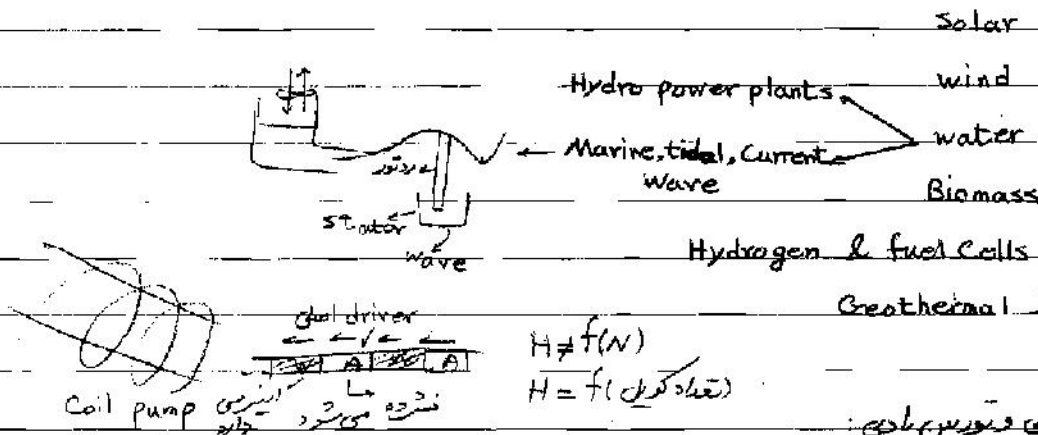
اشکال انرژی
دستگاه که برای تولید انرژی وجود ندارد



عمل نصب فن

کالک کور برای
تعبیه

انرژی های تجدید پذیر:

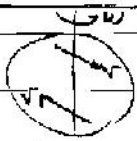


انرژی و تولید باد:

ایرانیان حدود ۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح از آسیاب ها و پمپ های بادی استفاده می کردند.
 بیستان میانه باد بزرگ که در آن باد آسیاب ها را گرداند و آب را از چاه کند.
 در قرون وسطی آسیاب های بادی در فرانسه، ایتالیا و اسپانیا و پرتغال متداول شد.

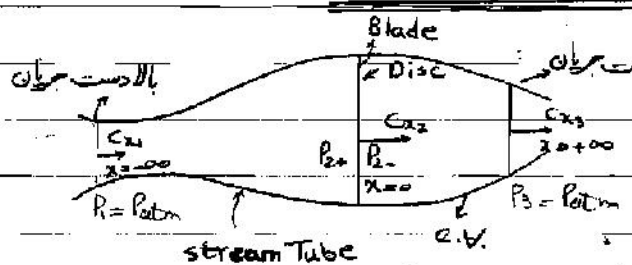
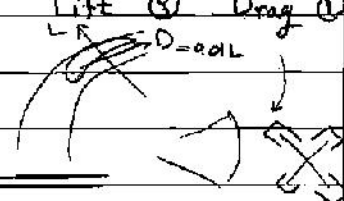
منشأ باد:

- تابش نور خورشید
 - حرکت فضا زمین
 - دوران زمین
 - جریان اقیانوسی
- شتاب گرانشی و گرین لانجر



تقسیم بندی تولید باد:

- VAWT
- HAWT
- Lift
- Drag



تئوری دیسک حرکت:

فرضیات:

جریان دائم و کینواخت در بالادست

در دیسک

جریان عرضی تولید نمی شود (بعد از دیسک)

تراکم ثابت

جریان دائم و کینواخت در پایین دست

$$\dot{m} = \rho C_{x_2} A_2$$

با در نظر گرفتن که Stream Tube به صورت یک حجم کنترل خواهم داشت

$$X = \dot{m} (C_{x_1} - C_{x_3}) \Rightarrow P = X C_{x_2} = \dot{m} (C_{x_1} - C_{x_3}) C_{x_2}$$

اتلافات کل در حجم کنترل نیز به صورت زیر است

$$P_w = \dot{m} \left(\frac{C_{x_1}^2 - C_{x_3}^2}{2} \right)$$

$$\Rightarrow P = P_w \Rightarrow \boxed{C_{x_2} = \frac{1}{2} (C_{x_1} + C_{x_3})} \Rightarrow \text{تئوری Betz}$$

روش دوم:

$$\textcircled{1} (P_1 - P_2) A_2 = \dot{m} (C_{x_1} - C_{x_3}) = (\rho A_2 C_{x_2}) (C_{x_1} - C_{x_3}) \Rightarrow \Delta P = \rho C_{x_2} (C_{x_1} - C_{x_3})$$

↓
قبل و بعد از دیسک

$$\left. \begin{array}{l} \textcircled{2} P_1 + \frac{1}{2} \rho C_{x_1}^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho C_{x_2}^2 \\ \textcircled{3} \frac{P_3}{= P_1} + \frac{1}{2} \rho C_{x_3}^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho C_{x_2}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{1}{2} \rho (C_{x_1}^2 - C_{x_3}^2) = P_1 - P_2 = \Delta P$$

$$\Rightarrow C_{x_2} = \frac{1}{2} (C_{x_1} + C_{x_3})$$

ضریب تخلیه جریان محوری $\bar{\alpha}$

$$\left\{ \begin{array}{l} P = \rho A_2 C_{x_2}^2 (C_{x_1} - C_{x_3}) \\ C_{x_3} = 2 C_{x_2} - C_{x_1} \end{array} \right. \Rightarrow C_{x_1} - C_{x_3} = C_{x_1} - 2 C_{x_2} + C_{x_1} = 2 (C_{x_1} - C_{x_2})$$

اگر C_p را بنویسیم

$$\Rightarrow P = 2 \rho A_2 C_{x_2}^2 (C_{x_1} - C_{x_2}) \Rightarrow P = 2 \bar{\alpha} \rho A_2 C_{x_1}^3 (1 - \bar{\alpha})^2$$

$$X = 2 \bar{\alpha} \rho A_2 C_{x_1}^2 (1 - \bar{\alpha})$$

در تئوری دیسک

توان انرژی جنبشی موجود در بالادست

$$P_o = \frac{1}{2} C_{x_1}^2 (\rho A_2 C_{x_1}) = \frac{1}{2} \rho A_2 C_{x_1}^3 \Rightarrow \boxed{C_p = \frac{P}{P_o} = 4 \bar{\alpha} (1 - \bar{\alpha})^2}$$

توان انرژی جنبشی در بالادست

ضریب توان

$$\frac{dC_p}{d\bar{\alpha}} = 4(1 - \bar{\alpha})(1 - 3\bar{\alpha}) = 0 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \bar{\alpha} = 1 \rightarrow \text{Min} \rightarrow C_p)_{\min} = 0 \\ \bar{\alpha} = \frac{1}{3} \rightarrow \text{Max} \rightarrow C_{p_{\max}} = \frac{16}{27} = 0.593 \end{array} \right.$$

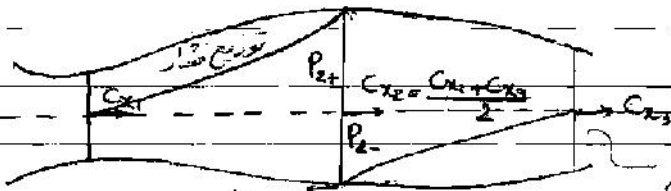
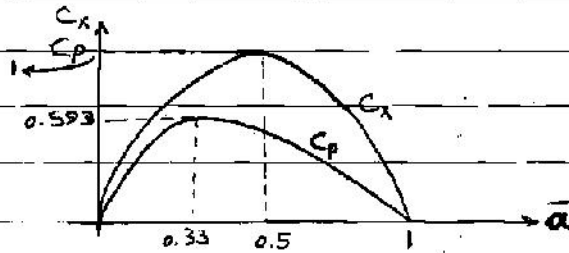
$$\bar{C}_p = \frac{C_p}{C_{pmax}} = \frac{27}{16} C_p$$

ضریب عملکرد

ضریب نیروی محوری

$$C_x = \frac{X}{\frac{1}{2} \rho C_{x1}^2 A_2} = 4\bar{a}(1-\bar{a})$$

$$\frac{dC_x}{d\bar{a}} = 0 \rightarrow \bar{a} = 0.5 \rightarrow C_{xmax} = 1$$



فلاں جلوس قبل:

اشارات لیدر اتوزیع
شمار ایدلوتد است

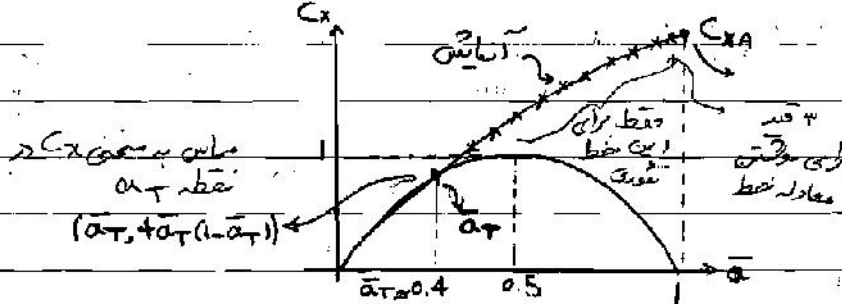
$$C_{x2} = C_{x1}(1-\bar{a})$$

$$C_p = \frac{P}{P_0} = 4\bar{a}(1-\bar{a})^2, \text{ Max @ } \bar{a} = \frac{1}{3}$$

$$C_x = \frac{X}{\frac{1}{2} \rho C_{x1}^2 A_2} = 4\bar{a}(1-\bar{a}), \text{ Max @ } \bar{a} = \frac{1}{2}$$

تصحیح مقادیر بالایی \bar{a}

$$C_{x3} = C_{x1}(1-2\bar{a}) \xrightarrow{\text{@ } \bar{a} = \frac{1}{2}} C_{x3} = 0$$



۴۱

$$\begin{cases} C_x = C_{xA} - 4(C_{xA} - 1)(1 - a) \\ \bar{a}_T = 1 - \frac{1}{2} C_{xA}^{0.5} \end{cases}$$

اندرهون پیشنهاد کنند: $C_{xA} = 1.816$ $\Rightarrow C_x = 0.4256 + 1.3904 \bar{a}$
 $\rightarrow \bar{a}_T = 0.326$

$$P = \frac{1}{2} \rho A_2 C_p C_{x1}^3 (= C_p \cdot P_0)$$

توان خروجی

$$P' = \frac{1}{2} \rho A_2 C_p C_{x1}^3 (\eta_g \eta_d)$$

Generator Driver

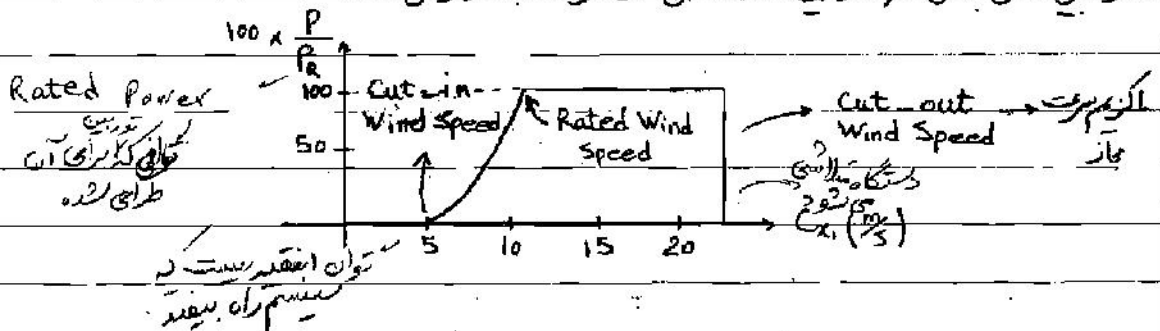
در بازه $C_p \in (0.3, 0.35)$ $\rightarrow C_{pmax} = 0.593$ متوسط

حال $P = 20 \text{ kW}$ ، $C_{x1} = 7.5 \text{ m/s}$ ، $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ ، $C_p = 0.35$ ، $\eta_g = 0.75$ ، $\eta_d = 0.85$ \rightarrow قطر توربین (d)؟

$$P' = \frac{1}{2} \rho A_2 C_p C_{x1}^3 (\eta_g \eta_d) \Rightarrow 20 \times 10^3 = \frac{1}{2} \times 1.2 \times A_2 \times 0.35 \times 7.5^3 \times 0.75 \times 0.85$$

$$\rightarrow A_2 = 354.11 \text{ m}^2 \rightarrow \frac{\pi}{4} d^2 = 354.11 \rightarrow d = 21.23 \text{ m}$$

توربین های بادی تنها در یک محدوده از سرعت باد کار می کنند



و

$$dZ = (dm) \frac{2a' r}{w} r^2 = \rho (2\pi r dr C_{x2}) 2a' r r^2$$

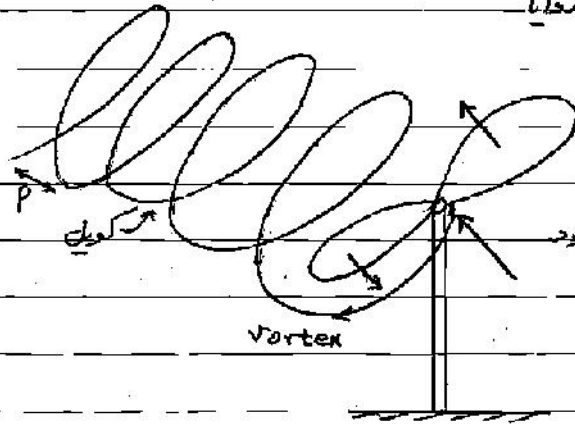
$$\Rightarrow dZ = 4\pi \rho C_{x2} (1-\bar{a}) a' r^3 dr$$

$$P = \int a dZ = 4\pi \rho r^2 C_{x2} \int_{r_{hub}}^{R_{tip}} (1-\bar{a}) a' r^3 dr$$

$r_{tip}: a, a' = f(r)$

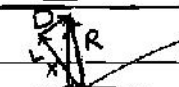
$$V_2 = U(1+a') = r\Omega(1+a') = r\Omega + \underbrace{r\Omega a'}_{\frac{r\omega}{2}}$$

میان بردار تغییرات



* با کمک سرعت جریان در نقاط مختلف

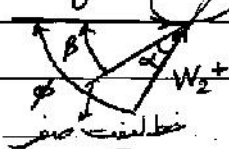
فاصله کویل ها (گام کویل ها) از هم کمتر شود



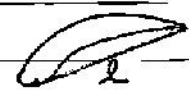
سرعت و گام، عمود و موازی W_2 دیگر

گرفته می شوند. (تغییرات)

$$W_{2+} = \left\{ C_{x2}^2 (1-\bar{a})^2 + (r\Omega)^2 (1+a')^2 \right\}^{0.5}$$



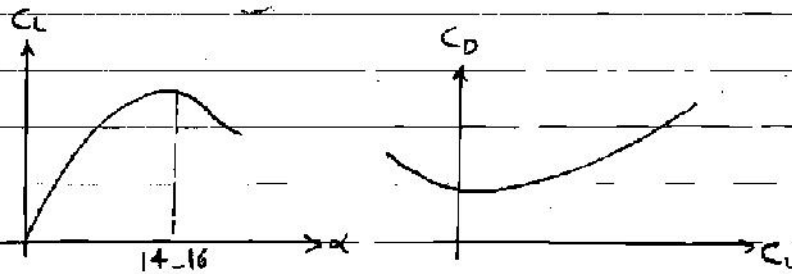
$$\begin{cases} \sin \phi = \frac{C_{x2}}{W_{2+}} = \frac{C_{x2}(1-\bar{a})}{W_{2+}} \\ \cos \phi = \frac{r\Omega(1+a')}{W_{2+}} \\ \tan \phi = \frac{C_{x2}}{r\Omega} \left(\frac{1-\bar{a}}{1+a'} \right) \end{cases}$$



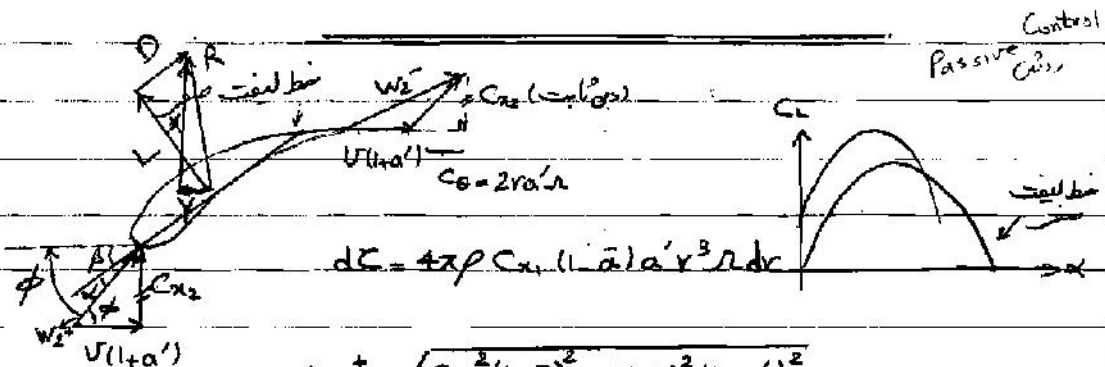
$$Y = L \sin \phi - D \cos \phi \Rightarrow C_L(\alpha) = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho W^2 l} \rightarrow \text{Chord دوطرف}$$

نیروی
دفعه

$$X = L \cos \phi + D \sin \phi \Rightarrow C_D(\alpha) = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho W^2 l}$$



$$D \approx 0.01 L$$



$$Y = L \sin \phi - D \cos \phi \rightarrow C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho W^2 l}$$

$$X = L \cos \phi + D \sin \phi \rightarrow C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho W^2 l}$$

ترکیب نیروی دینامیک و BEM:

$$\begin{cases} dX = (L \cos \phi + D \sin \phi) dr \rightarrow \text{نیروی دینامیک} \\ dC = r(L \sin \phi - D \cos \phi) dr \rightarrow \text{گشتاور تولیدی} \end{cases}$$

$$\begin{cases} dC = \frac{1}{2} \rho W^2 r (C_L \sin \phi - C_D \cos \phi) Z l dr \\ dP = r dC = \frac{1}{2} \rho W^2 r (C_L \sin \phi - C_D \cos \phi) Z l dr \end{cases} \quad \text{تئوری BEM}$$

$$dX = \frac{1}{2} \rho W^2 (C_L \cos \phi + C_D \sin \phi) Z l dr$$

تئوری دینامیک:

$$\begin{cases} dX = d(m(C_{x1} - C_{x3})) = d(m C_{x2} \left(\frac{2\alpha}{1-\alpha}\right)) \\ dC = (2\pi r dr) \rho C_{x2} (2r C_0) , C_0 = r\alpha' a' \end{cases}$$

$$C_0 = 2\pi r \alpha' a' \rightarrow \text{دقتاً غیر صاف}$$

or

تساوی در خواص داشت:

$$\frac{a}{1-a} = \frac{Zl(C_L \cos \phi + C_D \sin \phi)}{8\pi r \sin^2 \phi} \quad (dX = dX)$$

$$\frac{C_x C_D}{W^2} = \frac{Zl(C_L \sin \phi - C_D \cos \phi)}{8\pi r} \rightarrow \frac{a'}{1+a'} = \frac{Zl(C_L \sin \phi - C_D \cos \phi)}{8\pi r \sin \phi \cos \phi}$$

با استفاده از:

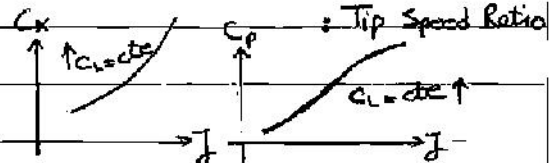
$$\lambda = \frac{Zl C_L}{8\pi r} \quad \text{و} \quad E = \frac{C_D}{C_L}$$

$$\frac{a}{1-a} = \lambda (\cos \phi + E \sin \phi) / \sin^2 \phi$$

$$\frac{a'}{1+a'} = \lambda (\sin \phi - E \cos \phi) / \sin \phi \cos \phi$$

$E \rightarrow \infty$ \Rightarrow ∞ \Rightarrow ∞

$$\left\{ \begin{aligned} J &= \frac{R^2}{C_{x1}} \\ \tan \phi &= \frac{R}{rJ} \left(\frac{1-a}{1+a'} \right) \end{aligned} \right.$$



$$\frac{C_x}{C_L} = \alpha = \frac{Z A_B}{2\pi R^2}$$

Turbine Solidity



$$A_B = \int l r dr = \frac{1}{2} R l a r$$

$$\alpha = \frac{Z l a r}{2\pi R}$$



$$D_R = 30m, J = 5, l = 1m, C_D \approx 0, r = 0.9, \beta = 2^\circ, 12.5 \text{ d}^2$$

$$a = ? \quad a' = ? \quad (\text{Chord } l) \quad Z = 3$$

$$\tan \phi = \frac{R}{rJ} \left(\frac{1-a}{1+a'} \right) \xrightarrow{C_D \approx 0} \tan \phi = 0.2105 \rightarrow \phi = 11.89^\circ \rightarrow \alpha = \phi - \beta = 9.89^\circ$$

$$C_L = 0.1 \alpha^\circ = 2\pi \sin \alpha = 0.981$$

$$\lambda = \frac{Zl C_L}{8\pi r} \rightarrow \lambda = 0.008743 \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{a}{1-a} &= \frac{\lambda (\cos \phi + E \sin \phi)}{\sin^2 \phi} \rightarrow a = 0.1677 \\ \frac{a'}{1+a'} &= \frac{\lambda (\sin \phi - E \cos \phi)}{\sin \phi \cos \phi} \rightarrow a' = 0.00902 \end{aligned} \right.$$

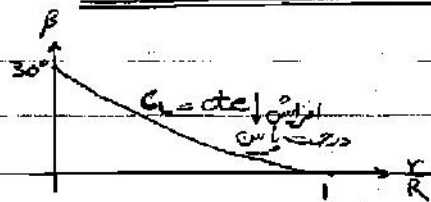
با قرار دادن دوباره در رابطه $\tan \phi = \frac{R}{r} \times \frac{1-a}{1+a'}$ ، ϕ جدید را حساب می‌کنیم.
پس از محاسبات:

$$a = 0.1925 \quad , \quad a' = 0.00685$$

نکته: برای ایرفویل با ضخامت و خط میانی کوچک، داریم:

$$C_L = 2\pi \sin \alpha = 2\pi \alpha (\text{rad}) = 0.1 \alpha (\text{degree})$$

$$\alpha \ll 1$$



زاویه پیچ و Twist (β):

عوامل مؤثر بر شکل پره:

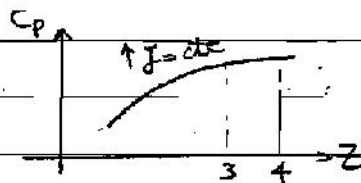


Taper

Twist

J

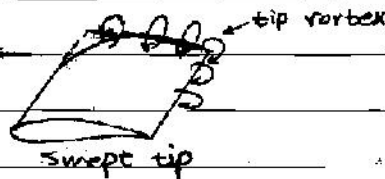
Solidity



* اگر طول پره کوچک به تعداد پره 40

* " " " " زیاد (1, 2, 3, 4)

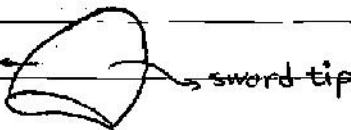
گرد کردن leading edge در انتها



swept tip

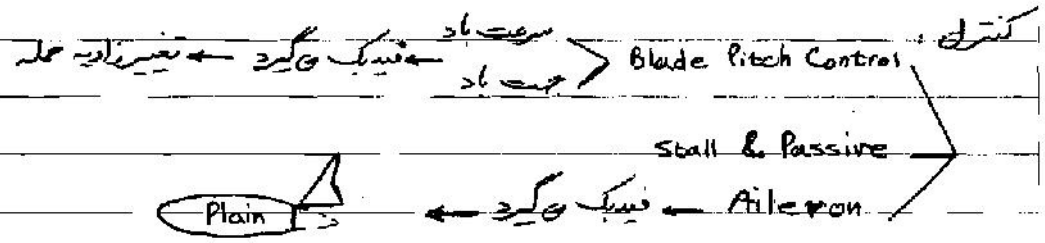
برای کاهش ریزش گردبیه‌ها، از sword استفاده می‌کنیم

نویز کمتر، رانندگی کمتر



sword tip

۵۲



بیشتر توربین‌ها استفاده از درایران شرکت صابریو 47-660 kW

$L_R = 22.2m$ $N = 28.5 \pm 10\% rpm$ $D_R = 47m$

کتر از 23.5 برای ارتفاع hub

نظراتور 660 kW

Pitch Control

$m = 1150kg$

گیربکس خوراکینه

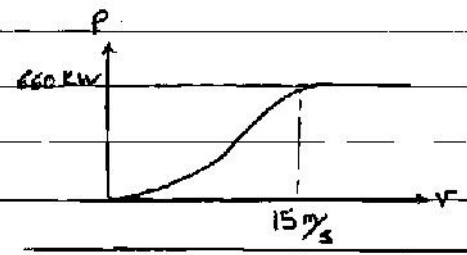
$V_{wind-Min} = 4 m/s$

$V_{wind-Rated} = 15 m/s$

$25 m/s = V_{wind-max}$

① $\frac{r}{R} = 1 \rightarrow \beta = 0$ $\alpha = 7-8^\circ$

② $\frac{r}{R} = 0 \rightarrow \beta = 15.17^\circ$



Wave power

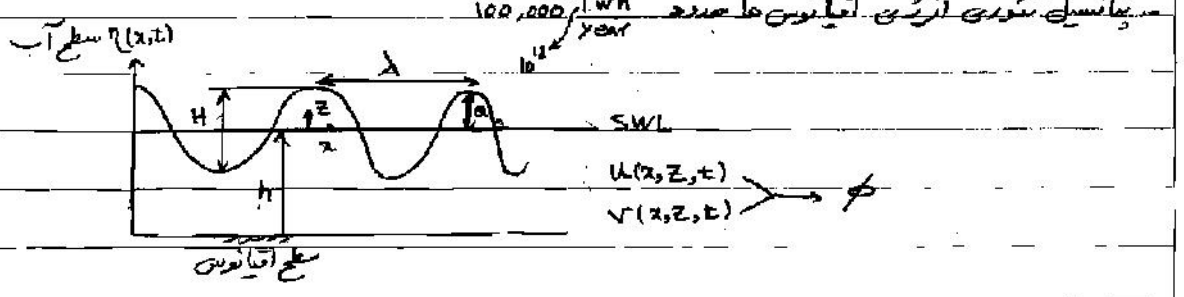
Current-tidal

(OTEC) Ocean Thermal Energy Conversion

Salinity Gradient Energy

انرژی اقیانوسی

حدود 70٪ سطح زمین را اقیانوس‌ها تشکیل می‌دهند که بزرگترین منبع جذب انرژی در دنیاست



با محل تقریب داریم:

$$\eta(x,t) = \frac{H}{2} \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

متوسط زمان انرژی جنبشی بر واحد سطح:

$$E_k = \int_{-h}^{\eta} \frac{1}{2} \rho v^2 dz$$

انرژی موج $\rightarrow E_k = \frac{1}{4} \rho g a^2$
 طول تقریب \rightarrow دامنه موج $a = \frac{H}{2}$

* موج با انرژی جریان باد روی سطح اقیانوس ایجاد می شود.

انرژی جزر و مد (tidal)

* تغییر وضعیت زمین و ماه ایجاد می شود.