

فصل دوم: اصل اندازه حرکت

No.

Date

در این فصل به مفاهیم معادله اندازه حرکت در تحلیل پدیده‌های فیزیکی

در کانال‌های باز اشاره خواهد شد. نیروی از مائل مورد بررسی به گونه‌ای
مستند که در آنجا با توجه به مشخص بودن یا قابل صرف نظر کردن نیروها
رابطه اندازه حرکت می‌تواند در ارتباط دادن سایر پارامترهای هیدرولیکی
به کار رود از این نیرو می‌توان به پرس هیدرولیکی در کانال‌های با شیب
کم مثل زرد که در این ارتباط مفاهیم و روش‌های حاصله در مورد
کانال‌ها یا هر مقطع دلخواه ارائه خواهد شد.
در گروه دیگر از مائل، معادله اندازه حرکت می‌تواند در تعیین نیروهای مجعول
به کار رود از جمله مائل می‌توان نیروی وارد بر دریچه‌ها یا سایر ریزه‌ها یا هر
گونه مانع موثری قرار گرفته در مسیر جریان نام برد.

در بخش ارائه معادله اندازه حرکت، مفهوم مترادفی نیروی مخصوص نیز
معرفی شد، در کمیت انرژی مخصوص و نیروی مخصوص باید به تیر
مقایسه خواهند شد.

رابطه اندازه حرکت در کانال‌های باز و معرفی نیروی مخصوص

از اصل اندازه حرکت هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که نیروی خارجی
مؤثر بر حجم کنترل انتخابی از جریان مشخص و یا قابل صرف نظر
کرن باشد. در صورتی که سایر مشخصات هیدرولیکی مشخص باشد
این رابطه می‌تواند در تعیین نیروهای غیر مشخص نیز به کار رود.

No.

Date . . .

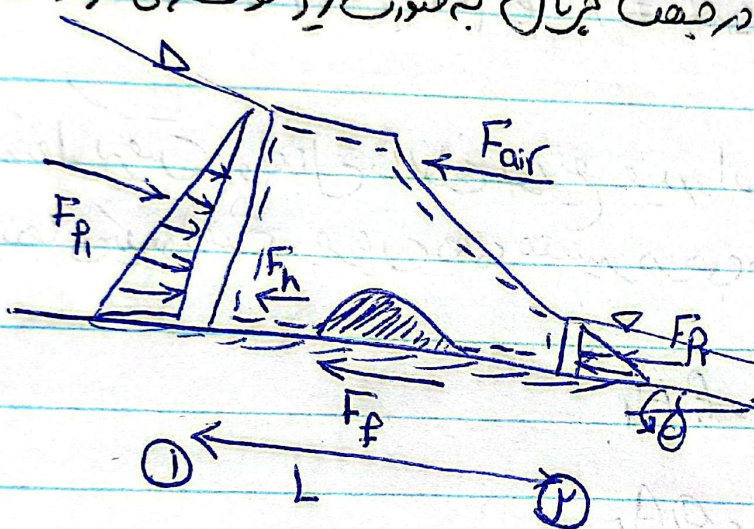
در بررسی کاملتر رابطه اندازه حرکت در جریان های دائمی حجم کنترل مشخص
بین مقطع او ۲ از جریان در قطره گرفته می شود.

در مسیر جریان یک مانع که نیروی رانش جریان بر روی آن اعمال می شود

نیتر در قطره گرفته شده است. این نیرو می تواند ناشی از پایه های بل، بلوک های
صنوبر گیر و یا نیروی فشاری ناشی از حبابه کانال در یک کانال غیر منشوری
باشد.

مستعمل از اینکه در مسیر جریان افت انرژی به صورت موضعی یا طولی
وجود داشته باشد.

رابطه ۲۴-۱ در جهت جریان به صورت زیر نوشته می شود:



(۱-۳)

$$F_{p1} - F_{p2} - F_f - F_h - F_{air} + W \sin \theta = \rho Q (\beta_2 V_2 - \beta_1 V_1)$$

که در آن F_{p1} و F_{p2} نیروهای فشاری در مقطع ۱ و ۲

F_f : نیروی اصطکاک (سایش) در یک کانال (در طول کانال کوتاه باشد $F_f = 0$)

F_{air} : نیروی ناشی از مقاومت هوا بر روی جریان (F_{air} ناچیز فرض می شود)

$w \sin \theta$: مؤلفه وزن در جهت شیب برابر صفر فرض شود.

F_h : نیروی ناشی از وجود مائع در مسیر جریان (در صورت عدم وجود

مائع $F_h = 0$ می باشد)

برآیند مقادیر F_p و F_h و $w \sin \theta$ از جهت اعمال آنها به

صورت نیروهای خارجی (F_{ext}) نشان داده می شود در نتیجه:

$$F_{p_1} - F_{p_2} + F_{ext} = \rho Q (B_2 V_2 - B_1 V_1) \quad (۲-۳)$$

با در نظر گرفتن اعمال قانون توزیع هیدرواستاتیکی مابین حاض
حریتهای یکدافت و جریان های متغیر در جی می باشد داریم.

$$F_{p_1} = \gamma \bar{d}_1 C \sin \theta A_1$$

$$F_{p_2} = \gamma \bar{d}_2 C \sin \theta A_2$$

$\bar{d}_1$ و $\bar{d}_2$ فاصله مرکز سطح مقطع A_1 و A_2 تا سطح آزاد مایع
می باشد با اعمال این مقادیر در رابطه ۲-۳ معادله زیر حاصل می شود

$$\gamma \bar{d}_1 C \sin \theta A_1 - \gamma \bar{d}_2 C \sin \theta A_2 + F_{ext} = \rho Q (B_2 V_2 - B_1 V_1)$$

$$F_{ext} = [(\rho Q B_2 V_2 + \gamma \bar{d}_2 C \sin \theta A_2) - (\rho Q B_1 V_1 + \gamma \bar{d}_1 C \sin \theta A_1)]$$

$$\frac{F_{ext}}{\gamma} = \left(\frac{B_2 Q^2}{g A_2} + \bar{d}_2 C \sin \theta A_2 \right) - \left(\frac{B_1 Q^2}{g A_1} + \bar{d}_1 C \sin \theta A_1 \right) \quad (۲-۴)$$

Date _____

$$(\varepsilon - \mu)$$

اِس مَقْطَعِ نَامِدِ مِی رُو د. یعنی :

(2-3)

سی بُد:

(4-4)

جواب

برای بیان رابطه تر مؤلفه های اندازه حرکت، کانال با مقطع مستطیلی
و عرض b در قله گرفته شده و $\cos \theta = 1$ فرض می گردد و از معادله F_{air}

F_h صرف نظر شود، اجرای تشکیل دهنده رابطه (۱-۳)

به صورت زیر خواهد آمد

$$F_p = \frac{1}{2} \rho b y^2$$

$$F_{p2} = \frac{1}{2} \rho b y_2^2$$

$$Q = VA = \frac{1}{2} (V_1 + V_2) b \left(\frac{y_1 + y_2}{2} \right)$$

$$W = y b L \left(\frac{y_1 + y_2}{2} \right)$$

$$\sin \theta = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{L} \right) \quad F_p = \rho b h_{p1} \left(\frac{y_1 + y_2}{2} \right)$$

که h مقدار انرژی اصطلاحی از سطح رفته بر حسب ارتفاع آب می باشد

رابطه فوق در تقسین F_p نیاز به مقداری دارد که در فصل چهارم به تفصیل

مورد بررسی قرار خواهد گرفت. با اعمال این معادله معادله (۱-۴) به از

علامه نمودن رابطه ذیل حاصل می شود

$$Z_1 + y_1 + \beta_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \beta_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_{p1}$$

همان طوره ملاحظه می شود، رابطه فوق بسیار شبیه معادله انرژی

بین دو مقطع (۱) و (۲) است. با این تفاوت که در این جا به جای h_{p1} معادله

~~h_{p1} و β معادله B و h به کار رفته است.~~

No

Date

با توجه به مطالب فوق می‌بایست با استفاده از هریک از درایم انژی یا اندازه حرکت مسائل مربوطه را حل نمود. اما عملاً یکی از این دو

رایج‌تر و مناسب در تحلیل مسله‌های خاص می‌باشد. متسفاً

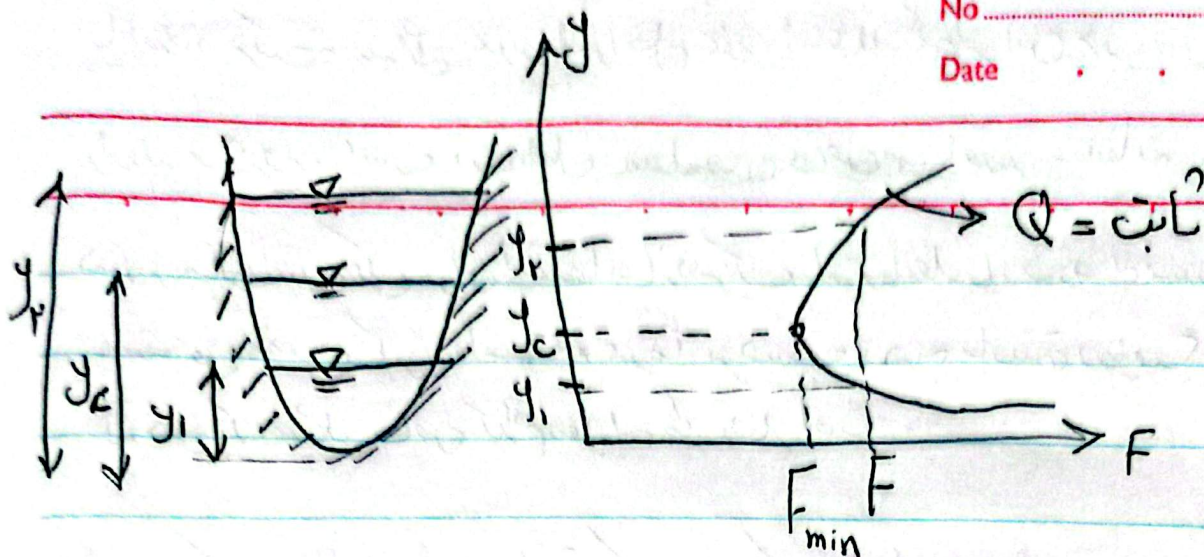
هنوز قانونی کلی برای استفاده از هریک از روابط یاد شده به صورت مشخص تعیین نگردیده است و عموماً بر حسب تجربه بایستی دریافت که حل یک مسله خاص کدام معادله کار ساز است.

احاطه‌مند می‌توان اظهار داشت که در هر جا که مقدار انژی بین دو مقطع مادی منفرد یا معلوم باشد بهتر است از رابطه انژی استفاده گردد. در غیر این صورت و در جاهایی که مقدار انژی نامشخص است (تغییر برش هیدرولیکی) بایستی از معادله اندازه حرکت استفاده کرد.

منحنی نیروی مخصوص در برابر عمق و اعمای فرسود

با توجه به معادله (۵-۳) و اینکه مقایسه سطح مقطع (A) و لنز اول سطح مقطع نسبت به سطح آزاد (A) تابعی از عمق جریان (y) هست، مقدار نیروی مخصوص (F) تابعی از لای بوده است و می‌تواند به ازای یک دین مشخص بر حسب ل رسم شود.

معادله نیروی مخصوص فقط دارای یک جانب افقی بوده و مستقیم منحنی لای به صورت منحنی نمایی را می‌شود در شکل ۲-۳ قابل ترسیم است.



$$F = \frac{Q^2}{gA} + \bar{y}A \quad (\text{شکل ۲-۳})$$

از منحنی F نتایج گیری های زیر حاصل می شود.

الف) مقدار F_{min} (حد اقل نیروی مخصوص) در عمق حاصل می گردد که همان عمق بحرانی است.

ب) به ازای هر نیروی مخصوص ثابت (F) دو عمق از جریان مشخص می شود یکی از آن دو عمق در وضعیت فوق بحرانی و دیگری در وضعیت زیر بحرانی قرار می گیرد.

که اسمها ق منرو دیح نامیده می شود.
در صورتی که این دو عمق متعلق به یک پرس هیدرولیکی باشند، این عمق اولیه پرس هیدرولیکی و در عمق ثانویه پرس هیدرولیکی نام میگیرد.

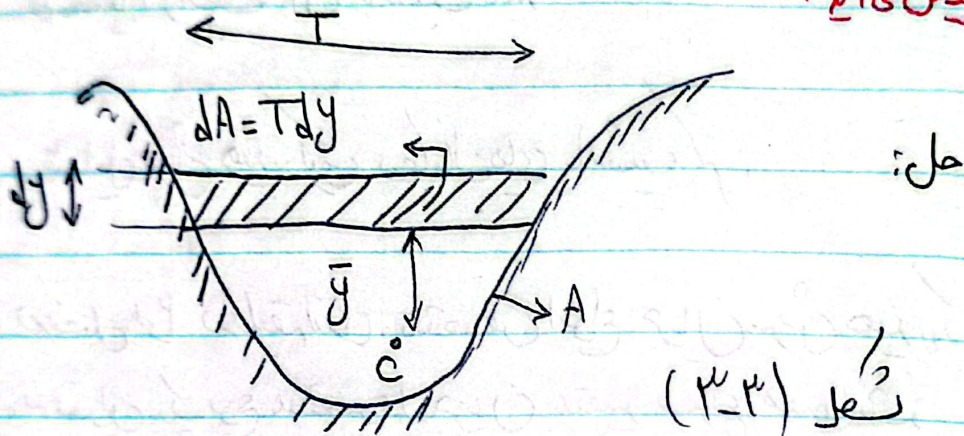
برای سهولت رسیدن به نتایج گیری های الف و ب می توان کانال با مقطع مستطیلی را در نظر گرفت که در این صورت:

$$y_c = \left(\frac{Q^2}{g}\right)^{1/3}, \quad F_{min} = F_c = \frac{3}{2} b y_c^3$$

برای F_{min} در y_c همجوش مقدار $F_{min} = \frac{3}{2} b y_c^3$ در مقطع

مستطیلی نیز تناسب نیروی مخصوص و انرژی مخصوص را می‌دهد که جهت معرفی بیشتر این تناسب مفهالی در مثال سوال ارائه شده است.

مثال: شل دهنده که در جریان دائمی آب در مانابی با هر سطح مقطع دلخواه و برای یک دیت نیروی مخصوص می‌نیم در عمق بحرانی پس می‌آید -



$$F = \frac{Q^2}{gA} + \bar{y}A$$

در موردی که از تابع بر حسب y مشتق‌گیری کنیم

$$\frac{dF}{dy} = -\frac{Q^2}{g} \left(\frac{dA/dy}{A^2} \right) + \frac{d(\bar{y}A)}{dy}$$

$$\frac{dF}{dy} = -\frac{Q^2}{g} \left(\frac{I}{A^2} \right) + \frac{d(\bar{y}A)}{dy} \quad *$$

$$\frac{d(\bar{Q}A)}{dy} = \frac{A dy}{dy} = A$$

No

Date . . .

با قرار دادن رابطه در رابطه خواصیم داشت.

$$\frac{dF}{dy} = -\frac{Q^2}{g} \left(\frac{1}{A^3} \right) + A \xrightarrow{\frac{dF}{dy} = 0} \frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \quad (10-3)$$

رابطه (10-3) از مشخصات جریان بحرانی است که در فصل قبل به تفصیل راجع آن صحبت شد.

تحلیل پرس هیدروکنی در کانال‌های با شیب کم:

در فصل اول در طبقه بندی و تشخیص انواع جریان پرس هیدروکنی به عنوان یک نوع مشخص از جریان متغیر سریع معرفی شد. همچنین در این فصل اشاره شد که بین کاربردهای رابطه اندازه حرکت و رابطه انرژی رابطه اندازه حرکت می تواند در تحلیل پرس هیدروکنی به کار رود. در این قسمت ضمن معرفی بیشتر پرس هیدروکنی از معادله اندازه حرکت در تحلیل این پدیده استفاده خواهد شد.

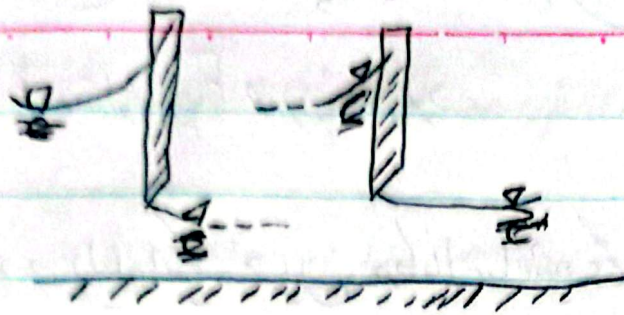
چنانچه دو درجه مطابق شکل (3-4 الف) در مسیر چرایی بادی ثابت در یک کانال منشوری برقرار شود قرار گیرد، جریان قبل از هر یک از درجه ها زیر بحرانی و بعد از درجه های فوق بحرانی خواهد بود مثل فصل قبل.

مشاهدات تجربی نشان می دهد که در فاصله بین دو درجه تبدیل سریع جریان از فوق بحرانی به زیر بحرانی پرس می آید و انبساط سریع جریان در این

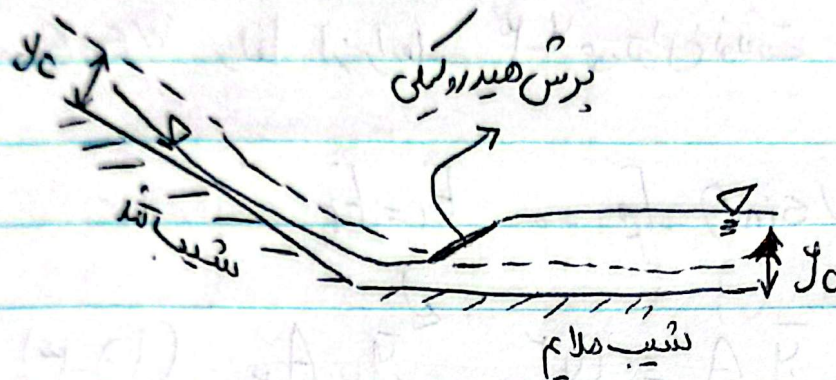
فاصله توأم با استتلی و افت انرژی مدلسی زیاده باشد که این پدیده
برش هیدرولیکی نامیده می شود

No

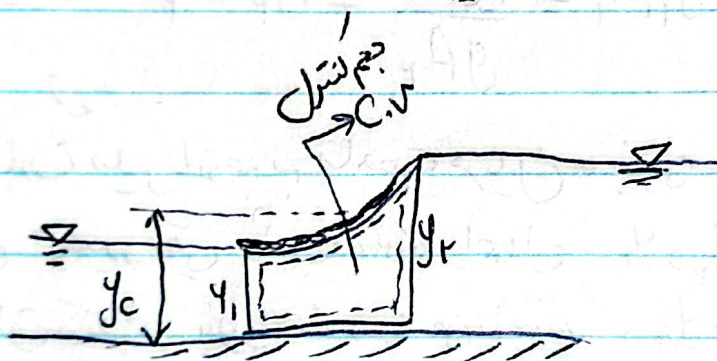
Date



(الف)



(ب)



(ج)

(شکل ۳-۴ - برش هیدرولیکی)

جرای آب در پای شیب های تند (شکل ۳-۴ ب) نیز مثال مشخصی
از برش هیدرولیکی می باشد که در این حالت جریان فوق بحرانی جاری شده
بر روی شیب تند، در رسیدن به عمق یکسان در کانال پایین دست ایجاد یک
برش هیدرولیکی می شود.

پا توجه به اینکه برش هیدرولیکی یک پدیده موضعی است و در طول کوتاه
از مسیر صورت می گیرد لذا می توان حجم کنترل مشخصی بین مقطع
۱ و ۲ یعنی مقطع قبل و بعد از برش انتخاب (شکل ۴-۳ ج ۱) و بین
ترتیب از مقدار F صرف نظر نمود

از طرفی به دلیل اینکه جریان در کانال با شیب کم مورد بررسی قرار می گیرد

$$W \sin \theta = 0 \quad \text{ولتا از رابطه ۴-۲ می توان نوشت}$$

$$F_{ext} = W \sin \theta - F_m = 0 \quad F_1 = F_2$$

$$\frac{Q^2}{gA_1} + \bar{y}_1 A_1 = \frac{Q^2}{gA_2} + \bar{y}_2 A_2 \quad (۱۵-۳)$$

به عبارت دیگر با توجه به ماهیت جریان، نیروی مخصوص در قبل و بعد
برش هیدرولیکی ثابت مانده و اعمال اول و دوم از اتمام مزدوج
متعلق به یک نیروی مخصوص می باشند که، لامبورت اول و دوم عمق
ناقص برش خاصه می شود یا معلوم بودن هر یک از اتمام اول و دوم

می توان اتمام دیگر را با استفاده از رابطه (۱۵-۳) تعیین و به دنبال آن
مقدار (۱-۲) که ارتفاع برش هست را به دست آورد.

برش هیدرولیکی از مباحث مهم در هیدرولیک کانال های باز می باشد در با توجه به
کاربردهای آن در زمینه های مختلف از جمله کاهش انرژی آب در جریان

سدها و سازه ها، افزایش سطح آب در کانال ها به منظور پیشگیری

محصول بخوان مواد شیمیایی در تصفیه خانه ها - - معادله دایره ای به

No

Date

روی آن صورت گرفته است.

اگر چه این بهره در فصل های بعد به صورت مفصل مورد بحث قرار می گیرد

ولی در این بخش به معرفی مختصری پرداخته می شود

(الف) پس از تعیین ابعاد مورد نیاز، مقدار انت انرژی در پمپ (از E_1)
و توان از دست رفته در طول پمپ (P_j) با استفاده از رابطه انرژی تعیین
می گردند.

$$E_1 - \Delta E_j = E_2$$

$$\Delta E_j = E_1 - E_2 = \left(y_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left(y_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right)$$

$$P_j = \gamma Q \Delta E_j$$

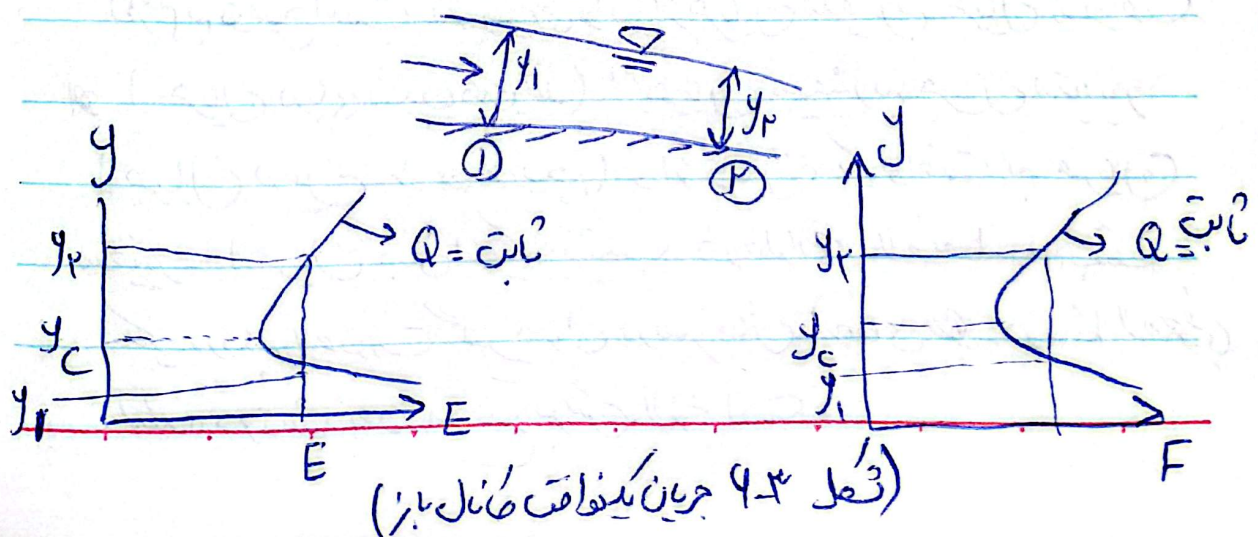
(- در مسیر جریان که فقط در عمق از جریان می تواند عمق اولیه و عمق
توان پمپ هیدرولیکی باشد علاوه بر تغییر وضعیت جریان از فوق بحرانی
به زیر بحرانی سرط عمودی $F_1 = F_2$ نیز لازم است در آن صادق باشد.
لازم به توضیح است که پمپ می تواند از جریان متغیر به جریان یکپارچه
یا (جریان در پای شیب های تند) از جریان متغیر به جریان متغیر
یا جریان در پهنه (در پهنه) و از جریان یکپارچه به جریان
متغیر (جریان پس از یک شیب تند حلالی بلافاصله به پشت
یک درجه) صورت گیرد ولی در هر حال ارضای دو شرط معرفی
شده در مشخصات پمپ لازم است.

ج) رابطه ۴-۱۵ می تواند در تفیس عمق y_1 و y_2 به کار رود حل این معادله نیاز به استفاده از روش آزمون و خطا یا روش های عددی دیگر است یکی از راه حل های مناسب می تواند تریسم منحنی $E-F$ باشد که به ازای یک دبی مشخص و تفیس y_1 یا y_2 ، گاه در بعضی مقاطع معمول جداول یا نمودارهای گامی نیز می تواند به کار گرفته شوند.

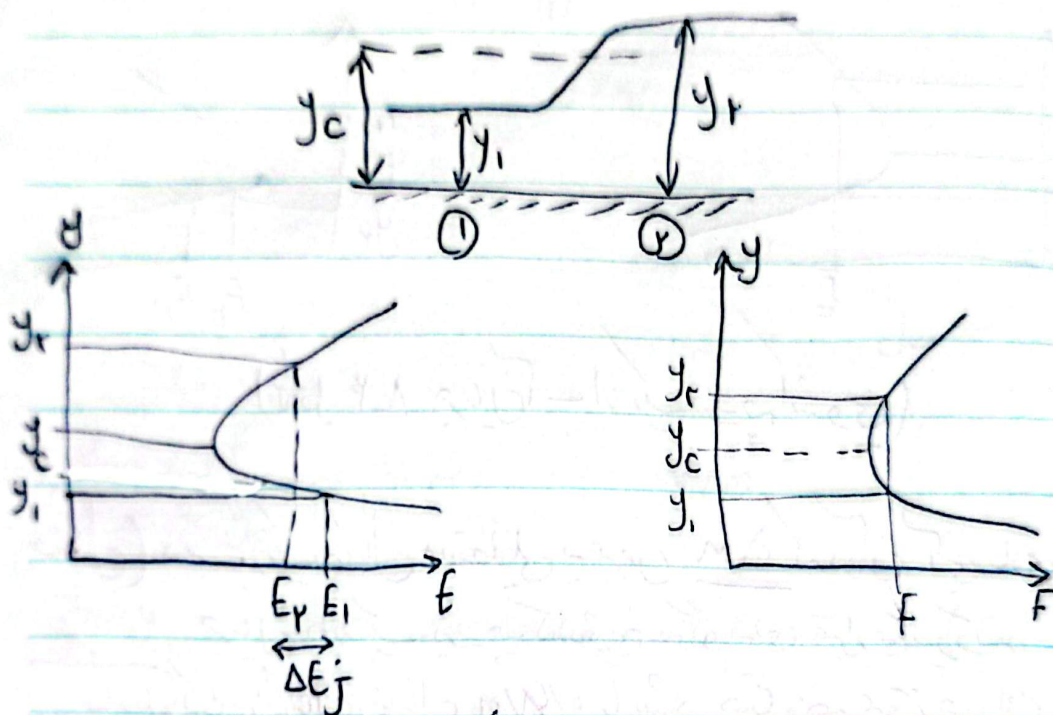
مقایسه بین منحنی های انرژی مخصوص ویندوی

حال به بررسی مقایسه بین دو منحنی $E-y$ و $F-y$ در برخی حالات تغییر جریان بکنوافت، پیرش هیدرولیکی و جریان آب از زیر یک درپوش کسویی پرداخته می شود.

در شکل ۴-۳ جریان بکنوافت در یک کانال باز همراه منحنی های انرژی مخصوص ویندوی مخصوص در برابر عمق نشان داده شده است. از آن جا که در دو مقطع ۱ و ۲ از جریان دو عمق یکسان می باشد، مقادیر انرژی مخصوص ویندوی مخصوص ثابتی را نیز بر روی منحنی ها نشان می دهند. با توجه به تقریب انرژی مخصوص ویندوی مخصوص باید در نظر داشت که تادی این دو کمیت در دو مقطع از جریان به منحنی عدم وجود افت انرژی یا عدم وجود دینردی های خارجی متغیر نمی باشد.



در شکل ۷-۳ برش هیدرولیکی در یک کانال باز را نشان می‌دهد. ماهیت جریان در عمق y_1 و y_2 یعنی عمق مزدهج برش بر روی منحنی منحنی E - y برده می‌شوند. مقادیر E_1 و E_2 مساوی خواهند بود. در شکل ۷-۳ هرگاه در عمق y_1 و y_2 بر روی منحنی E - y قرار داده شود انرژی مخصوص با عمق y به میزان ΔE_f بیشتر از انرژی مخصوص با عمق y خواهد بود.



(شکل ۷-۳ برش هیدرولیکی در یک کانال باز)

برعکس در حالات تغییر جریان آب از زیر یک دریچه کشویی که در شکل ۷-۴ نشان داده شده است به دلیل عدم وجود افت انرژی در عمق y_1 و y_2 عمای مشابه هستند.

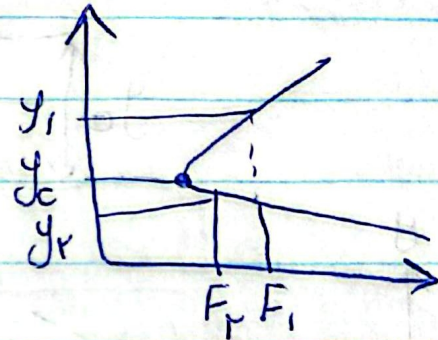
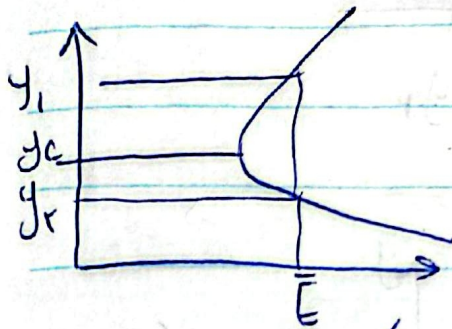
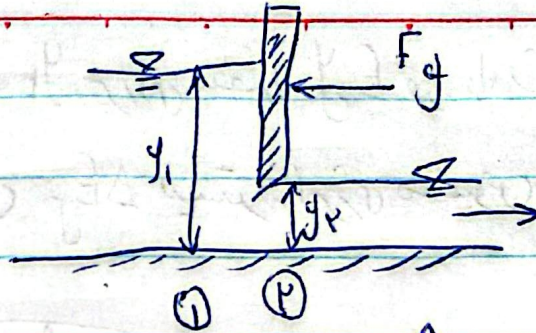
این در عمق پرروی منحنی E - y مقدار انرژی مخصوص ثابتی خواهند داشت ولی چنانچه بر روی منحنی E - y قرار گیرند مقدار E_1 بیشتر از E_2 خواهد بود این تفاوت به دلیل اعمال نیروی برابر F از سوی دریچه در خلاف جهت جریان بر حجم آب درون حجم کنترل انتخابی بین دو مقطع 1 و 2 می‌باشد. بر این

اساس ~~نظری~~ محض در میان نسبت مقطع (۱) به نسبت مقطع (۲)

به میزان $\frac{F_2}{F_1}$ کاهش پیدا می کند

No

Date



(شکل ۸-۴ جریان آب از یک دریچه کسوی)

صالح در سیدک کانال مستطیلی به عرض $5m$ که در آن آبی باری

$20m^3/s$ جریان دارد یک دریچه کسویی به گونه ای قرار می گیرد که

فاصله آن از کف کانال $1.47m$ باشد چنانچه عمق جریان

در مقطع انقباض برابر $4m$ و جریان در قسمت پایین دست

دریچه یکواقت با عمق معادل $2.5m$ فرض گردد موارد زیر را

تحقیق کنید

الف) اشیاء عمائید که در پایین دست دریچه پرسش هیچ روکنی ایجاد نمی شود

ب) افت انرژی در طول پرسش را به نسبت آبرده و توان مصرفی ملول پرسش

را محاسبه کنید

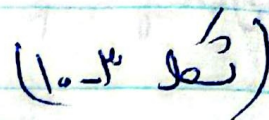
ج) اگر افت انرژی مد نظر در جریان آب از زیر دریچه تا مقطع انقباض برابر

$5m$ ارتفاع معادل انرژی بر عتی در مقطع انقباض باشد عمق

آب قبل از دریچه را محاسبه کنید

No

Date _____



حل :

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3} = \left(\frac{14}{9.81} \right)^{1/3} = 1.14 \text{ m}$$

الف) جریان در مقطع انقباض کمتر از عمق بحرانی است $1.177 < F_r$

لذا جریان در این محل فوق بحرانی است (Fr > 1) از طرفی جریان در محق

۲,۵ و فتن زیر بحرانی دارد $1,177 > 2,5$ است $(Fr < 1)$ برای

اساس جريان آيد پس از دريچه در جهت اسيل به عمق ۲۵م محبوس

اندر این حق و تبدیلی و نصیب حقوق برای به زیر برای می باشد و برش هیدرولیک

انجام می گردد.

که دارای عمق نا نوس ۲، ۵ بیس از ۴ باشد. تصویر دقیقاً مطابق
شکل ۱-۳ خواهد بود. No
Date

به کانال مستطیلی عمق اولیه برش حساب می شود

$$y_i = \sqrt{\frac{y_p^2}{4} + \frac{2q^2}{g y_p}} - \frac{y_p}{2} \quad \text{فرض اول یاد گرفته شود}$$

$$y_i = \sqrt{\frac{(2.15)^2}{4} + \frac{2 \times 14}{9.81 \times 2.15}} - \frac{2.15}{2} \Rightarrow y_i = 7.443 \text{ m}$$

$$\Delta E_j = \frac{(y_p - y_i)^3}{4 y_p y_i} = \frac{(2.15 - 7.443)^3}{4 \times 2.15 \times 7.443} = 1.97 \text{ m} \quad \text{فرض اول یاد گرفته شود}$$

$$P_j = \gamma Q \Delta E_j = 9804 \times 20 \times 1.97 = 388419.54$$

ح. معادله انرژی بین مقطع ۲، مقطع ازاب کت زیری نویسیم

$$E_1 - \Delta E = E_2 \Rightarrow E_1 = E_2 + \Delta E$$

$$y_1 + \frac{q^2}{2 g y_1^2} = y_2 + \frac{1105 q^2}{2 g y_2^2}$$

$$y_1 + \frac{14}{2 \times 9.81 \times y_1^2} = 0.4 + \frac{1105 \times 14}{2 \times 9.81 \times (0.4)^3}$$

با حل معادله درجه ۳ و آزمون خطا $y_1 = 5.173 \text{ m}$

ج) جهت قفس نیزی وارد بر درجه می توان راسله ۳۰ راسله خارج کرد.

No

Date

$$\frac{F_{ext}}{\gamma} = F_1 - F_2 \Rightarrow \frac{-F_g}{\gamma} = F_2 - F_1$$

علامت منفی در راسله F_g نشان دهنده آن است که جهت نیرو اعمالی بر روی آب در خلاف جهت جریان است.

$$F_g = \gamma (F_1 - F_2)$$

$$F_1 = \frac{Q_1^2}{gA_1} + \bar{p}_1 A_1 = \frac{20^2}{9.81 \times 5 \times 5.174} + 5 \times 5.174 \times \frac{5.174}{2}$$

$$F_1 = 18.51 \text{ m}^3$$

$$F_2 = \frac{Q_2^2}{gA_2} + \bar{p}_2 A_2 = \frac{20^2}{9.81 \times 5 \times 7.4} + 5 \times 7.4 \times \frac{7.4}{2} = 20.79 \text{ m}^3$$

$$F_g = 980.4 (18.51 - 20.79) = 4150.3 \text{ N}$$

نیروی اعمالی بر روی درجه که برابر 4150.3 kN است به سمت قفس در برگیرنده اثرات اصطکای بر روی درجه است.

ه) در صورتی که عمق پایین دست درجه 3 m تثبیت گردد عمق پرس

$$y_1 = \sqrt{\frac{(2)^2}{3} + \frac{2 \times 14}{9.81 \times 3}} - \frac{3}{2} = 0.227 \text{ m} \quad \text{اولیه}$$

بناوبه به اینکه عمق اولیه پرس کمتر از 4 m می باشد لذا پرس مستغرق هیچ داده است.