Subject:

Year. Month. Date. ( )

www.Etcivil.com

«بسم الله الرحمن الرحیم»

دانشگاه علوم وفنون مازندران

نام درس: سدهای بتنی

نام استاد: جناب آقای دکتر نوایی نیا

نام دانشجو: سید مهرزاد حسینی بای

نیم سال دوم 96-93

PAPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

P4PCO

سدهای بتنی
دکتر نوایی نیا

به نام خدا

جلسه‌ی اول

Subject:
Year. 93 Month. 11 Date. 29 ( )

سرفصل ها:

پروژه در آخر ترم باید ارائه شود
طراحی با Ansys

1) آشنایی با تاریخچه سدهای بتنی
2) معرفی انواع سدها
3) معیارهای انتخاب ساختگاه سد (منابع آب، هندسه)
4) سدهای بتنی قوسی (مصالح، مکانیزم های باربری، خصوصیات ساخت و انواع سرریزها)
(معیارهای شکل قوس، شکل طره، تعریف ریاضی، شکل بندسد)
(کنترل کفان پایداری تکیه‌گاه)
5) بتن حجیم سدها: مسائل حرارتی، طرح روش های پیش سرد کردن و پس سرد کردن بتن
بتن غلتکی سدها
خرابی در بتن سدها
6) بارگذاری سدهای بتنی: شامل بارهای اصلی و فرعی (آب، وزن، زیرفشار، حرارت، زلزله)
7) بار زلزله
8) بارهای هیدرودینامیکی ناشی از زلزله
9) آسیب پذیری سدهای بتنی در مقابل زلزله
10) رفتار دینامیکی سدهای بتنی قوسی و سدهای وزنی
11) بارگذاری حرارتی شامل حرارت درون (و نحوه کنترل آن)، حرارت بیرون و نحوه تعیین آن
12) مدل ریاضی و روش‌های تحلیل سدهای بتنی شامل سازه، پی و دریاچه
13) آشنایی با روش آزمون بار
14) تحلیل پایداری تکیه‌گاه سدهای قوسی
15) ضرایب اطمینان
16) سدهای بتنی وزنی و پشت بندار
17) سدهای قوسی و قوسی وزنی
18) روش های اجرا
19) ارائه فیلم و اسلاید

P4PCO

Subject: 2

Year. Month. Date. ( )

مراجع:

کتاب های مخصوص طراحی pdf

۱) Design of small Dams سدهای کوتاه
۲) Design of gravity Dams سدهای وزنی
۳) Design of Arch Dams سدهای قوسی

United States Department of the Interior Buream of Reclemention (U.S.B.R)

۴) Design criteria of concrete Arch and Gravity Dams
۵) Earthquake Design and Evaluation of concrete Hydrolic
۶) Hydrolics structures by: Grishin انتشارات mir pub
۷) Earthquake Engineering for large Dams by: presco انتشارات میر jhon
۸) Design of Dam by: Burgin
۹) Hydroulics structures by: Novak. moffat & Nalayona pdf
ترجمه دکتر حبیب الله بیات (سازه های آبی)

۱۰) International commission in large Dams کمیته بین المللی سدهای بزرگ / IRcold کمیته ملی سدهای بزرگ ایران

۱۱) www.icold.cigb.net www.ircold.ir

۱۰) طراحی سازه های هیدرولیکی دکتر حسین محمدولی سامانی

۱۱) سدهای بتنی (طرح و اجرا) دکتر جلیل ابریشمی و مهندس نامدار وهابزاده

۱۲) سازه های بتنی خاص: فصل ۷ سدهای بتنی دکتر حسن محمدی دوستدار

~ نوایی نیا

سد:

* سد بنایی است که بخشی را از بخش دیگر جدا می کند که در سازه هیدرولیکی از حرکت بخش یا کل جریان آب جلوگیری می کند.

اهداف ساخت سد:

1. ذخیره کردن آب
2. تولید برق آبی
3. انحراف جریان
4. جلب توریست
5. کنترل جریان
6. تأمین آب مورد نیاز کشاورزی
7. تغذیه آب های زیرزمینی
8. حمل و نقل آبی

طبقه بندی انواع سدها براساس:

① جنس مصالح
② نوع استفاده
③ مورد استفاده
④ خصوصیات هیدرولیکی
⑤ طبقه بندی براساس Icold

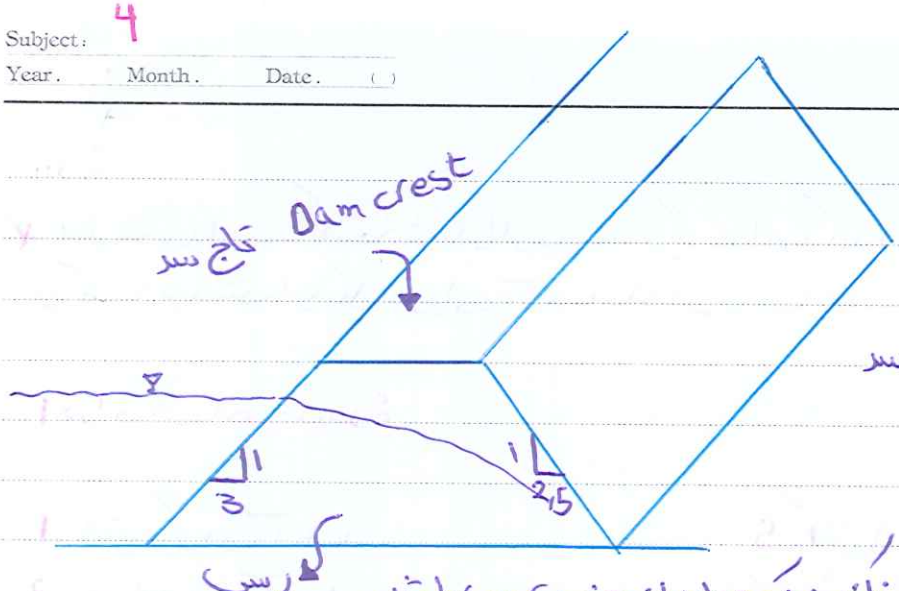
طبقه بندی براساس جنس مصالح:

① سدهای خاکی — Earth Dams
② سدهای سنگ ریزه ای — Rack Fill Dams
③ سد بتنی — concret Dams
④ سدهای لاستیکی — Rubber Dams
⑤ سدهای بنایی — Mesonary Dams
⑥ سدهای چوبی (فلزی) — Timber Dams

Subject: 4

Year. Month. Date. ( )

## ۱. سدهای خاکی




* لزوماً شیب بدنه سد این اعداد نیست

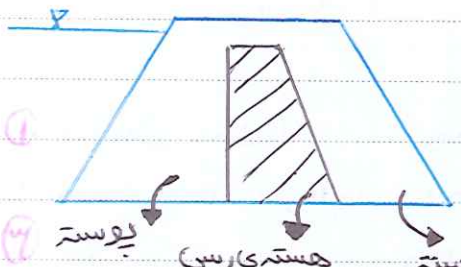
* برای اینکه آب نفوذ نکند خاک باید از جنس رس باشد.
* ابعاد این سدها معمولاً زیاد است. (سد نارعرض سد 700m است و ارتفاع 113m)

$$\frac{700 \times 100}{2} \times 1000 = 35 \times 10^6$$ ← میزان رس مورد نیاز

(ارتفاع ↑ ، طول سد)

* برای کم کردن حجم سد هسته سد را از رس می‌سازند و پوسته را از شن و ماسه برای مقاومت هسته رس این کار انجام می‌شود.

* سدهای خاکی
  - همگن ← تماماً از جنس رس
  - غیرهمگن ← پوسته شن، هسته رس




* بعدها به جای هسته رس از هسته آسفالتی هم استفاده کردند
* پوسته سدهای گاهی از مصالح سنگ‌ریزه است.
می‌سازند که به آن سدهای سنگ‌ریزه‌ای می‌گویند.
* بلندترین سد خاکی سد روگان هست در شوروی سابق که بعداً به تاجیکستان تعلق گرفت با ارتفاع 335m.
* هسته‌ی اصلی را می‌توان از هر مصالح نفوذ ناپذیر گیر ماسه کرد.

پوسته: تأمین مقاومت

هسته‌ی رس: جلوگیری از خارج شدن آب از سد

PdPCO

Subject:

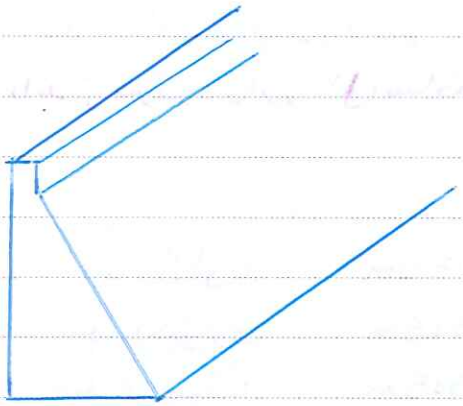
Year. Month. Date. ( )

سد بتنی:

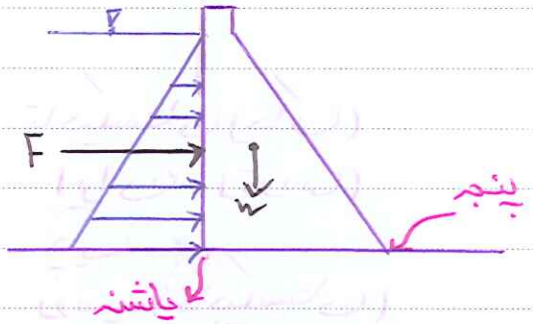
وزنی Gravity Dams

پشت بندار Buttel Dams

قوسی Arch Dams



سد وزنی



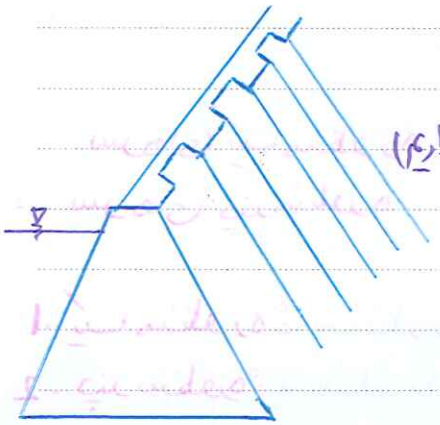

* سد وزنی آرماتور استفاده نمی شود
* عامل پایداری در مقابل فشار آب وزن سد است که به خاطر همین به عنوان سد وزنی نام گذاری شده است.
* بلندترین سد بتنی وزنی گراند ویسون 285 m در کشور سوئیس
* اگر ارتفاع سد 100 متر باشد عرض سد حدود 70m می شود.

حجم مصالح از $\frac{100 \times 70}{2} \times 1000 = 3{,}5 \times 10^6$ برابر شد ولی قیمت مصالح بیشتر شده

* به همین دلیل سدهای بتنی وزنی غیر اقتصادی است از سدهای بتنی پشت بندار استفاده می کنیم.

سدهای پشت بندار:

* اجرای این سد سخت تر است (در سد پاشنه دار آرماتور داریم)
* سد دانیل جکسون در کشور کانادا با ارتفاع 219 m بلندترین سد بتنی پشت بندار است.
* در سد بتنی پشت بندار از 20 تا 50 % نسبت به سد بتنی وزنی صرفه جویی بتن خواهیم داشت.
* وزن 15 تا 35 % صرفه جویی اقتصادی
* سر پشت بندار هر 4 تا 15 متر یک پشت بندار دارد.

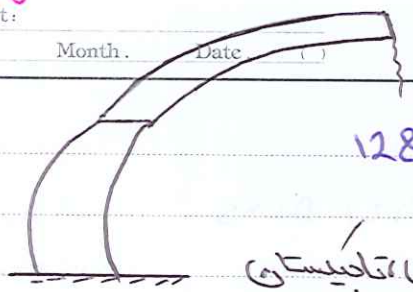


دو پاشنه دار

مثل سد سپیدرود

Subject:
Year. Month. Date ( )

* سد قوسی:



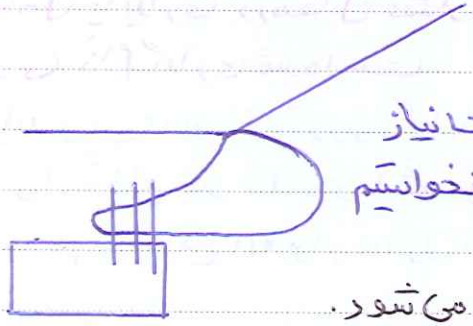
* سد شهید رجایی از نوع وقوسی است به ارتفاع 128 m و ضخامت در کف 26m
* بلندترین سد قوسی ساخته شده در شوروی سابق تاجیکستان فعلی با ارتفاع 272 متر.
* بلندترین سد قوسی در حال ساخت در ایران در چهارمحال بختیاری به ارتفاع 315m

قوس

بلندترین سدهای دنیا:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | سد روگان | 335m | تاجیکستان (خاکی) |
| 2 | سد بختیاری | 315m | ایران (قوسی) |
| 3 | سد جینپنگ | 305m | چین |
| 4 | سد نورک | 300m | روسیه (تاجیکستان) |

سدهای لاستیکی:



* برای ارتفاع های کم ساخته می شود هر وقت نیاز داشتیم با شیم داخلش را از آب پر می کنیم و نخواستیم خالی می کنیم و جمع می شود.
* حداکثر ارتفاع سدهای لاستیکی 1 تا 5 متر می شود.

طبقه بندی براساس نوع استفاده:

1. سدهای یک منظوره single purpose dams
2. سدهای چند منظوره muiti purpose dams

1. یک منظوره: به منظوره تنها یک هدف ساخته می شود مثلاً فقط برای برق آبی
2. چند منظوره: به منظوره استفاده ی چند منظوره مثلاً ذخیره آب تولید برق و...

* معمولاً سدها را چند منظوره ساخته می شوند

PAPCO

Subject: 7

Year. Month. Date. ( )

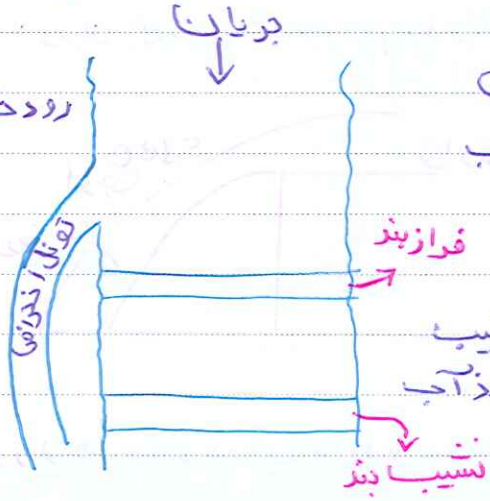
## طبقه بندی براساس مورد استفاده

1. Storage Dams : سد های ذخیره ای
2. Diversion Dams : سدهای انحرافی
3. Detention " : سدهای تأخیری
4. Temporary Dams : سدهای موقتی

* ① سدهای ذخیره ای برای ذخیره کردن حجم قابل توجهی آب ساخته می شوند.
* ② سدهای انحرافی برای منحرف کردن بخشی یا کل جریان آب استفاده می شوند.
* معمولاً یک سد ذخیره ای ساخته می شود و در طول سال آب به روخانه ها منتقل می شود باید در پایین دست سدهای انحرافی ساخته شود که آب را به مناطق بالادست و پایین دست منحرف کند.

* ③ سدهای تأخیری تنها منظوره هستند و سیلاب و جریان را به تأخیر می رسانند.
* در سدهای تأخیری برعکس سدهای ذخیره ای باید آب در سطح پایین قرار بگیرند.

* ④ **سدهای موقتی** یا جمع می شوند یا ملحق می شوند به سازه هیدرولیکی دیگر.

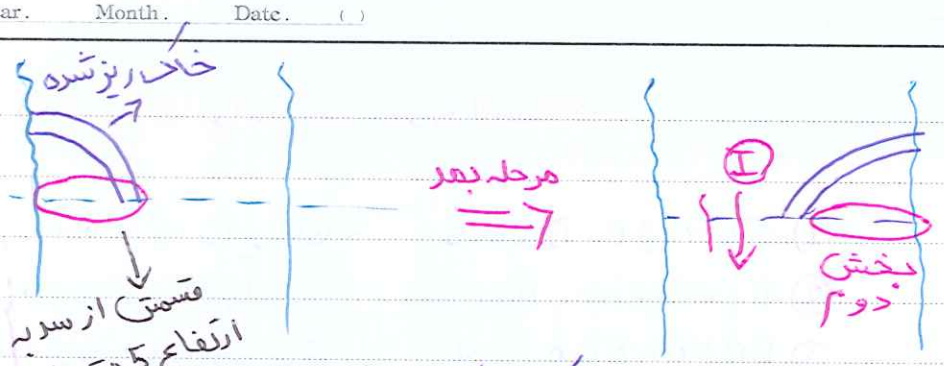



* برای ساخت سراول یک مسیر انحرافی ایجاد می کنیم برای منحرف کردن آب بعد یک فرازبند با ارتفاع 5 - 6 متر می سازیم تا پشت آن خشک شود و بتوانیم سد را بسازیم و می توانیم نشیب بند را برای بسازیم برای جلوگیری از نفوذ آب این در هنگام پس زدن آب

PdPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

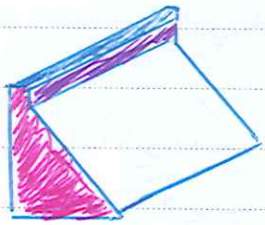



I آب از دریچه ای ایجاد شده عبور می کند تا خاکریز بخش دوم را می توانیم برداریم و می توانیم برنداریم

طبقه بندی براساس خصوصیات هیدرولیکی:

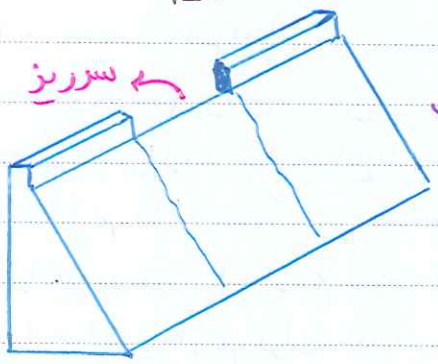
① * سدهای سرریز شونده over flow Dams

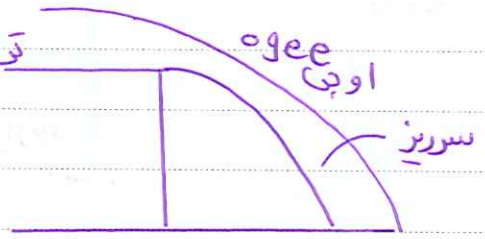
② * غیر سرریز شونده Non over flow Dams



* سدخاکی بیشترین آمار فرار را دارد و علتش روی گذری آب است. برای جلوگیری از این فرار یک سرریز در تاج سد درست می کنند که اگر سیلاب اتفاق افتاد و آب پشت سد بالا آمد از سرریز عبور کند

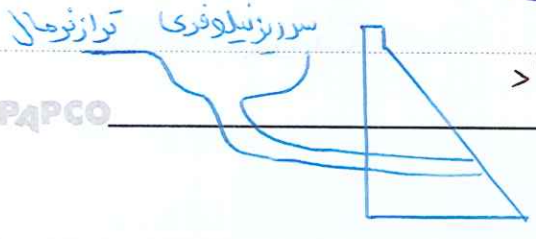
* اگر سرریز برروی خود جسم سد باشد سرریز شونده می گوییم




* سرریزها عضو جدایی ناپذیر سدها هستند

* گاهی اوقات نمی شود سرریز را روی سد قرار داد به هرعلتی نبود جا و...




PAPCO

تاج سد: برای دسترسی سد می باشد که حمل و نقل روی آن انجام گیرد با قرار دادن سرریز بایدروی سرریز پل (پایه پل) بسازیم تا حمل و نقل و امکان دسترسی به سمت دیگر سد امکان پذیر باشد.

طبقه بندی براساس ICOLD:

* Large Dams: ارتفاع بیش از $15_m$ داشته باشد یا تاج سد 500m و بیشتر باشد یا ظرفیت سیلاب $1,000,000 m^3$ باشد یا تخلیه سیلاب حداقل $2000 m^3/s$ باشد. یا پی سد دارای مشکلات خاص باشد یا طراحی سد دارای پیچیدگی خاص باشد.

* Small Dams:

* از این شروط بالا اگر یکی برقرار باشد سد بزرگ است.

PdPCO

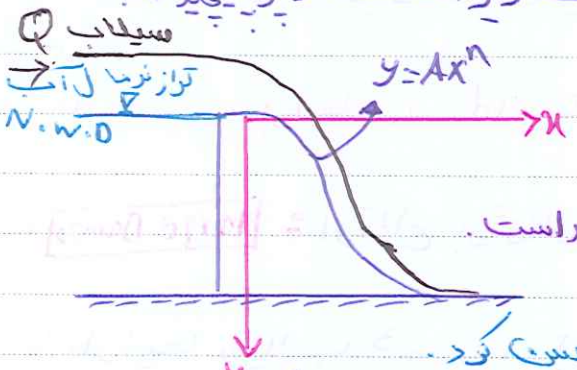
به نام خدا

Subject:

Year. 93 Month. 12 Date. 6 ( )

# جلسه دوم

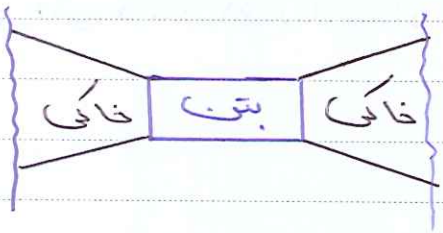
* در سدهای بزرگ ظرفیت مخزن در حد میلیارد است
* در مورد تخلیه سیلاب وقتی بارندگی اتفاق می افتد از بالا به پایین جاری می شود. حالا پراشکل به صورت زیر است؟ و پراپیده؟




* وقتی ذره ی آب را پرت می کنیم معادله ی در بی ۲ داریم.
* A و n وابسته به دبی و شیب پشت سد است.
به تراز آب بالا و پایین وابسته است.
* دبی را باید با دوره بازگشت سیلاب تعیین کرد.
* قبل ترها سیلاب ۱۰۰۰ ساله را برای تعیین دبی انتخاب می کردند.
* ولی الان از حداکثر سیلاب محتمل $Q_{MPF}$ برای طراحی سرریز انتخاب می کنند.

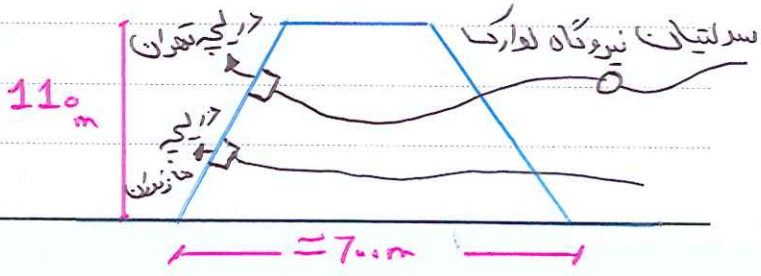
## طرح سد دارای پیچیدگی خاصی باشد:

* امکان دارد به خاطر مسائل اقتصادی سد را بخشی اش را بتنی و بقیه را با مصالح خاکی بسازیم.




## بی سد دارای مشکلات خاصی باشد:

* سد خاکی کارون ۳ (۵۰ کیلومتری تهران)، دو رودخانه کارون و دز به هم وصل می شوند و سد کارون ۳ در آن ساخته شده است.




PAPCO

* پس از ساخت سد متوجه شدند که مخزن پرنمی شود و این در حالی بود که در مناطق پایین دست چشمه هایی بوجود آمده بود که با انجام آزمایش متوجه شدند که این چشمه ها از همان آب پشت سد است و با انجام مطالعات زمین شناسی متوجه شدند در زیر سد حفره خیلی بزرگی در حدود $7_{0,000,000} m^3$ است که زمین زیر سد از جنس آهک است. یکی از روش های پر کردن این حفره بزرگ تزریق بنتونیت در خاک است که هنوز نتوانستند به نتیجه برسند.
* اگر سد کمی بالاتر ساخته می شد دیگر این مشکل به وجود نمی آمد.
* در اصل علت شکست سد بار عدم مطالعات دقیق زمین شناسی بود.
* وظیفه این سد تأمین آب و انتقال آن به تهران و مازندران بوده است که بدلیل عدم مطالعات درست زمین شناس نتوانسته وظیفه خود را به درستی انجام دهد.

بزرگترین سدهای دنیا:

| نام | کشور | سال | حجم (میلیون مترمکعب) |
|---|---|---|---|
| Three gorge | چین | 2008 | 39300 |
| syncrude Tailing | کانادا | 1978 | 540 |
| chapeton | آرژانتین | - | 297 |
| pati | آرژانتین | - | 238 |

نیروگاه نصب شده:

| نام | سال | ظرفیت (مگاوات) | کشور |
|---|---|---|---|
| SAMXIA | 2010 | 18200 | چین |
| WANGQIAHE | 2008 | 12630 | چین |
| XILUODU | 2010 | 12600 | چین |
| ITAIPU | 1991 | 12600 | برزیل |

PAPCO

Subject: 12

Year. Month. Date. ( )

## حجیم‌ترین مخازن دریاچه

| نام | کشور | سال | $m^3$ |
|---|---|---|---|
| Kariba | زیمباوه | 1959 | $180 \times 10^9$ |
| Bratsk | روسیه | 1964 | $169 \times 10^9$ |

* حجم ظرفیت مخزن بیشتر از میلیارد است
* حجم مصالح مصرفی در حد میلیون
* ارتفاع سد بین 300 تا 200 متر است.

## مطالعات جهت طراحی سد

1- نیازمندی های آبی منطقه.
2- هیدرولوژی منطقه
3- فرسایش و حمل مواد رسوبی
4- مطالعات اجتماعی و زیست‌شناسی
5- مطالعات زمین شناسی
6- نوع سد
7- تأمین مصالح مورد نیاز
8- برآورد اقتصادی طرح.

* مطالعات اولیه سد در حالت عادی 4 تا 5 سال طول می‌کشد.

## محل سد

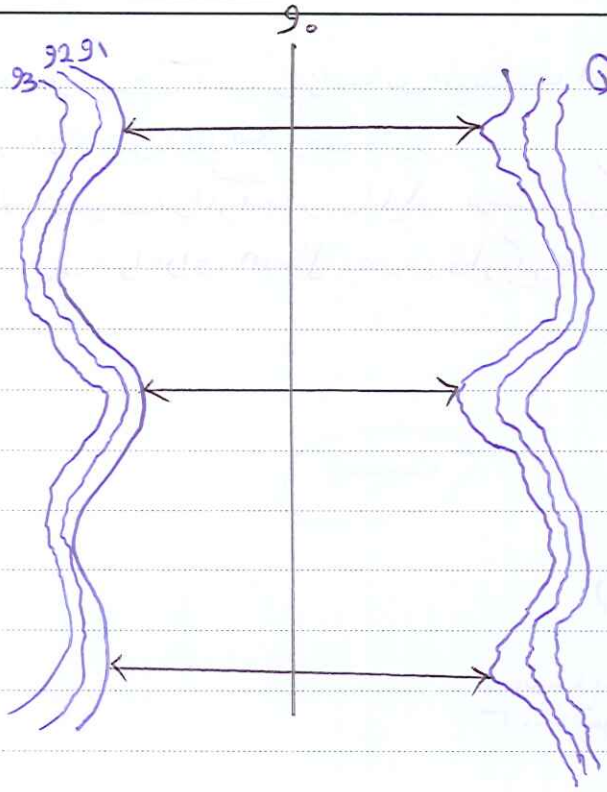
1. نشت آب از کف مخزن باید حداقل باشد (یا بستر سنگی یا بستر رس)
2. عرض دره کوچک باشد (شیب عرضی دره تند باشد).
3. شب رودخانه حتی الامکان کم باشد.
4. تبخیر از سطح دریاچه کم باشد.
5. فضای کافی برای احداث سرریز وجود داشته باشد.

* در مرحله اول تهیه نقشه‌های توپوگرافی به مقیاس $\frac{1}{250000}$ تا $\frac{1}{500000}$.

PdPCO

Subject: 13

Year. Month. Date. ( )




* در جاهایی که خطوط خاکی توپوگرافی به هم نزدیک هستند شیب دره تند است و محل مناسبی برای سد است و مصالح معرفی کم است

① خاکی

② خاکی

③ بتنی

* در شیب طولی کم، آب بیشتری ذخیره می شود
* هر جا جاذبه ی زمین کم باشد باید سد خاکی زد و برای بتنی نیاز به باربری زیاد داریم.
* وقتی همه گزینه ها بررسی شد اقتصادی است که تخمین می کند هر جا متر مکعب آب ارزان تر تمام شد آن سد مناسب تر است.
* سد بتنی را نمی توان هر جا ساخت ولی خاکی را می توان هر جا ساخت. پس هر جا بتنی بسازیم خاکی را هم می سازیم.

گزینه بتنی ⑤

$V = V_1 + V_2 + V_3 + V + V + \dots + V + V$

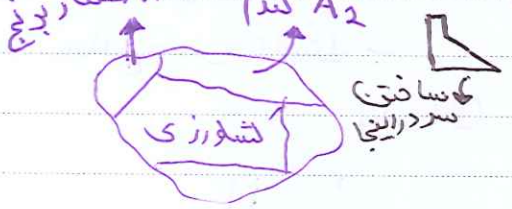
$V_1$ لشاورزی، $V_2$ شرب، $V_3$ صنعت، $V$ بخش از نیروگاه، $V$ زیست محیطی، $V$ تبخیر، $V$ نشت آب، حجم آب مورد نیاز

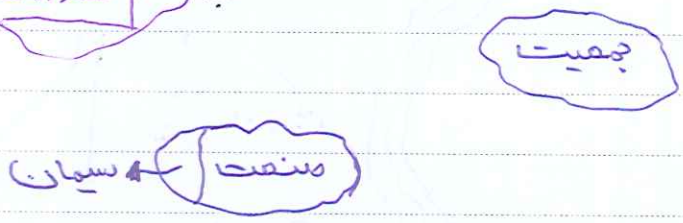
P4PCO

Subject: 14

Year. Month. Date. ( )

* برآورد ظرفیت آب را براساس جمعیت انتخاب می‌کنیم منظور جمعیت است که در زمان عمر مفید سد وجود دارد.
* تعداد جمعیت را از آمار سالیانه برست می‌آوریم و با توجه به سال طرح (n) باید جمعیت را برای n سال بعد در نظر بگیریم.




مصرف سالیانه آب شرب = $P_n \times 250 \times 365$ (Lit/روز)

$P_n$: جمعیت در n سال طرح ($V_2$)

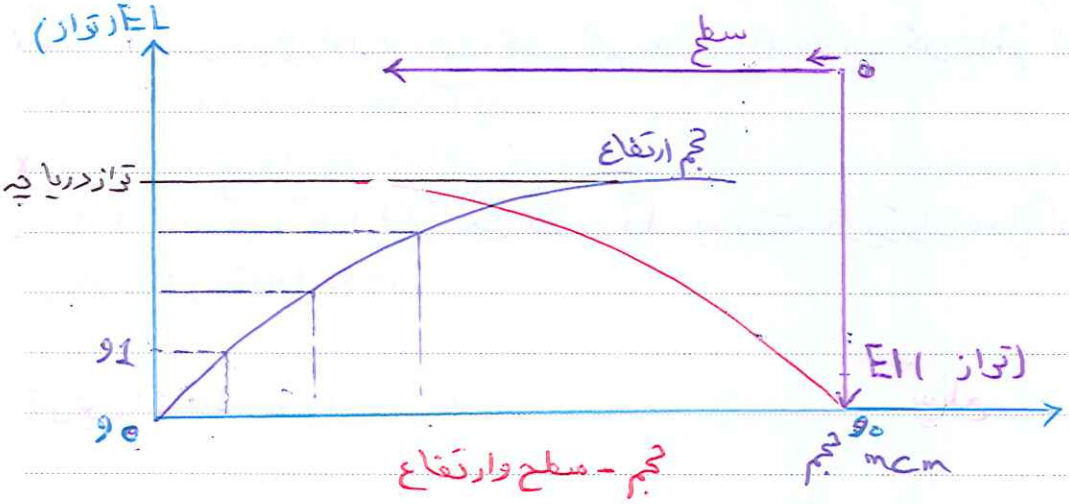
250: مصرف روزانه

* برای تعیین حجم مورد نیاز آب کشاورزی باید مشخص شود هر هکتار مثلاً برنج چقدر آب نیاز دارد

$$A_1 x\text{---} + A_2 x\text{---} + A_3 x\text{---} = V_1$$

* صنعت: باید مشخص شود به کارخانه‌ای است چقدر آب نیاز دارد و... و تعداد کارخانه‌ها حجم آب را حساب کرده
* برای نیروگاه یا حجم خرس می‌زنیم چون هنوز ارتفاع سد طراحی نشده نمی‌توانیم حجم مورد نیاز نیروگاه را دقیق حساب کنیم.
* بعد از محاسبه همه انجام به $V_1$ (نیاز آبی منطقه) می‌رسیم.
* با این ظرفیت می‌خواهیم به ارتفاع سد برسیم.

PaPCO




* خط افق سطح همان مساحت را به ما می دهد

| خط تراز | سطح دریاچه | حجم بین دو خط تراز | حجم تجمعی |
|---|---|---|---|
| ... | ... | ... | 91 |
| | | | 92 |

هرم ناقص $V = \frac{1}{3} h \varepsilon (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2})$

* با یک دستگاه GPS مخروط کامل را در نظر می گیرند و حجم تقریبی را بدست می آوردن از یک متر شروع می کنند.
* حجم مخزن را از حجم هرم ناقص بدست می آوریم.
* البته نرم افزارهای قوی هستند که نیازی به این محاسبات نیست.
* برای محاسبات اولین هرم، هرم کامل است بعدی ها هرم ناقص است
* حجم بین دو تراز محاسبه می شود.
* پس از محاسبه حجم مخزن در هر قسمت حجم تجمعی را محاسبه کرده که این حجم مورد استفاده است.

PdPCO

Subject: 16
Year. Month. Date. ( )

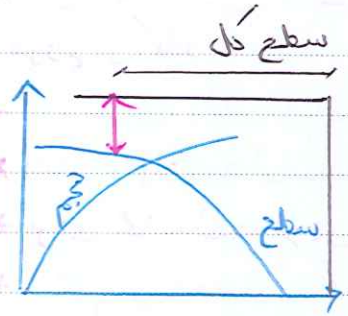
* ما حجم مورد نیاز را داریم روی محور حجم علامت زده و یک محور قائم کشیده ترازآب پشت سر بدست می آید.
* که از این نمودار بعد از حجم تراز سطح و بعد مساحت سر بدست می آید.
* نقاط شکستگی که ایجاد می شود ربط به نقشه توپوگرافی دارد که به یکباره زیاد یا کم شده است.

تمرین: $\alpha=10$ برای من

| EL | سطح |
|---|---|
| 90 | 0 |
| 91 | $28.5+\alpha^2$ |
| 93 | $85+\alpha^2$ |
| 95 | $161+\cdots$ |
| 97 | $255+\cdots$ |
| 99 | 378 |
| 101 | $509+\alpha^2$ |
| 103 | $673+\cdots$ |
| 105 | $854+\cdots$ |
| 107 | 1016 |
| 109 | 1189 |
| 111 | 1412 |

منحنی حجم سطح ارتفاع را برای اعداد مقابل رسم کنید.

$SC=\frac{1}{1000}$




* این سطح که از نمودار بدست می آید سطح و حجم تبخیر رو هم به ما می دهد. ارتفاع سد را باید از ارتفاع طراحی بیشتر در نظر بگیریم به خاطر امواجی که ناشی از وزش باد روی سطح دریاچه در نظر بگیریم، به ارتفاعی به خاطر حجم سیلاب عبوری از روی سد باید در نظر بگیریم.

PAPCO

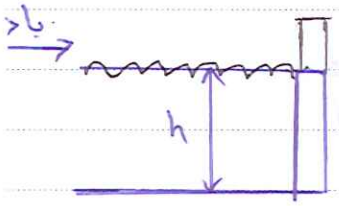
به نام خدا

Subject:

Year. 93 Month. 12 Date. 13( )

جلسه سوم

* V سرعت باد را با اطلاعات هواشناسی پیدا می کنیم.
* هواشناسی سرعت باد را در ارتفاع ده متر نشان می دهد یا در سطح زمین
* FV را اگر داشته باشیم می توانیم ارتفاع موج را بدست آوریم.
* F به جهت باد غالب مخزن بستگی دارد




* $h_w$ در اکثر ایا ۲ متر است پس باید به ارتفاع مخزن ایا ۲ متر اضافه کنیم تا ارتفاع موج آب را تأمین کنیم.

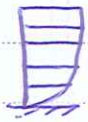
$F<32km$ $h_w = 0/032\sqrt{FV} + 0/763 - 0/271\sqrt[4]{F}$ ارتفاع موج

V سرعت باد $(km/hr)$ Fetch = F(km) طول بادخور

$V = 160 \sim 80 \ km/hr$

$F>32km$ $h_w = 0/032\sqrt{FV}$

* همان طور که گفته شد سرعت باد را از اطلاعات هواشناسی منطقه و یا آیین نامه 802 می توانیم بدست آوریم سرعت 80 برای مناطق معمولی و 160 برای منطقه‌ای مثل فجیل است
* سرعتی که از اطلاعات هواشناسی و یا آیین نامه بدست می آوریم در سطح زمین است و با پروفیل سرعت در ارتفاع را بدست می آوریم.

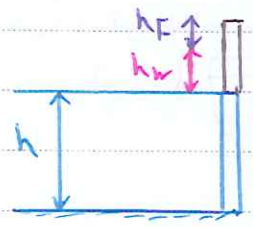


P4PCO

U.S.B.R جدول زیر را برای محاسبه‌ی $h_w$ ارائه کرده است.

| طول دریاچه Km | سرعت باد Km/hr | ارتفاع موج m |
|---|---|---|
| 1.5 | 80 | 0/8 |
| 1.5 | 120 | 0/9 |
| 2.5 | 80 | 1 |
| 2,5 | 120 | 1,1 |
| 2,5 | 160 | 1,2 |
| 5 | 80 | 1,1 |
| 5 | 120 | 1,3 |
| 5 | 160 | 1.45 |
| 10 | 80 | 1.35 |
| 10 | 120 | 1.6 |
| 10 | 160 | 1.8 |

تمرین: به جدول صفحه قبل یک ستون اضافه کنیم و ارتفاع $h_w$ را از رابطه بدست آوریم و مقایسه کنیم.




* باید یک ارتفاع دیگر به نام ارتفاع آزاد برای ضریب اطمینان نیز حساب کرد.
* هر چه طول بیشتر ضریب اطمینان باید بیشتر شود.

$h_f$: ارتفاع آزاد Free board

PdPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

جدول U.S.B.R

| طول F (Km) | متوسط $h_{FM}$ | $h_{F_{min}}$ |
|---|---|---|
| <1.6 | 1.2 | 0.9 |
| 1.6 | 1.5 | 1.2 |
| 4 | 1.8 | 1.5 |
| 8 | 2.4 | 1.8 |
| 12 | 3 | 2.1 |

* پس در کل به ارتفاع مخزن حدوداً 6-5 متر باید اضافه کنیم تا برسیم به تاج سد

*در این فاصله از این ارتفاع اضافی مورد نیاز را کلاً $H_F$ در نظر گرفته است.

* هر کدام که بزرگترین شد همان را انتخاب می کنیم.

$$H_F \geq h_1 + (h_w \text{ یا } \frac{h_e}{2}) + h_a + h_i$$

یا

$$H_F \geq h_w + \frac{h_e}{2} + h_a + h_i$$

$h_i$: ارتفاع بلندشدگی مخزن در اثر سیلاب (به کمک روش: روندیابی سیل و مخزن)

$h_w$: با استفاده از این گراف بدست می آید

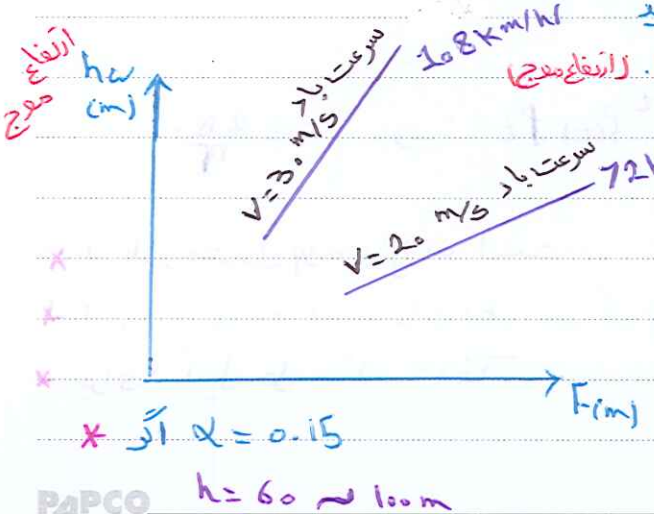
کمی کمتر از سرعت باد در کشور ما است. (ارتفاع موج)

$h_e$: ارتفاع در اثر زلزله

$\alpha$: ضریب زلزله (حدوداً 0.15)

$T$: پریود ارتعاش زلزله

$g$: شتاب ثقل




* اگر $\alpha = 0.15$

$h = 60 \sim 100$ m

$$h_e = \frac{\alpha T}{2\pi}\sqrt{gh}$$

P4PCO

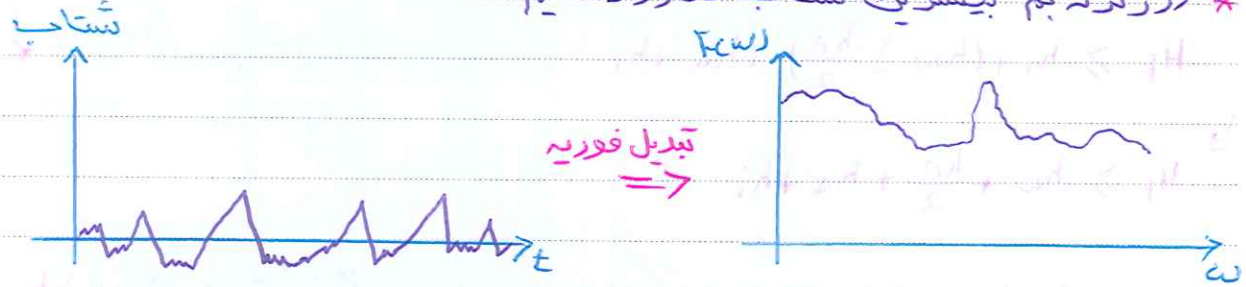
Subject: 20

Year. Month. Date. ( )

* وقتی دریا یا سیلاب می خواهد تخلیه شود نمی تواند همه را تخلیه کند در چند روز تخلیه می شود که کمی سطح تراز آب زیاد می شود این مقدار از ارتفاع را برست بیاوریم با روش پوشش

* سدهای بتنی روی خاک ساخته نمی شوند بلکه روی بستر سنگی اجرا می شود. به خاطر همین نمی توانیم پریود سازه را از مبحث ششم در آنالیز پریود وابسته به نوع خاک استفاده کرد.
* پس اگر بستر سنگی نباشد گزینه ی سد بتنی منتفی است
* پریود بلند تر باعث ایجاد موج بیشتر می شود (مثل تکان دادن لیوان)

* پس از شتاب نگاشت نگاشت ها می توانیم شتاب زلزله و پریود زلزله را بیابیم.
* شتاب نگاشت بیشترین کاربرد را برای مهندسین سازه دارد.
* در زلزله بم بیشترین شتاب خود را داشتیم




شتاب نگاشت

فرکانس زلزله $F(\omega) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} e^{i\omega t} f(t)\,dt$ و $\omega = \frac{2\pi}{T}$

* به طور معمول 0.39g یا 0.4g است.
* اونی که max است را در نظر می گیریم.
* برای تکمیل حل مسئله $T=1s$

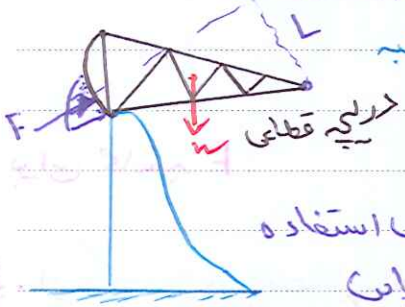
PqPCO

برنامه سیمسو سیگنال. شتاب نگاشت را به F(w) تبدیل می کند.

تمرین: برنامه سیمسو سیگنال را دانلود کرده و شتاب نگاشت یک زلزله را از سایت peer berkeley گرفته و با توجه به برنامه F(w) را تبدیل کنیم (زلزله های معروف: Taft، El centro، نورث ریج، بم)

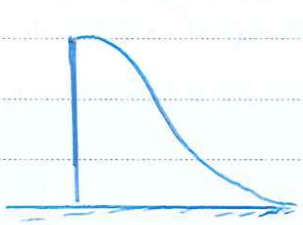
اگر $\alpha = 0/15$
$h = 60 \sim 100m$ $\Rightarrow$ $he = 0/6 \sim 0/7m$
$T = 1s$

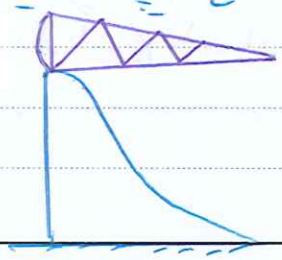
* $f(w)$ یک تابع ای است که نحوه ی تغییرات $w$ را به ما می دهد
* $h_a$: افزایش ارتفاع ناشی از حوادث غیر مترقبه




* برای $h_a$: مثلاً سرریزی داشته باشیم که دریچه ای داشته باشد برای کاهش هزینه ها یک دریچه قطاعی استفاده می شود که صفحه پوسته ای است که با سیستم فرمان مفصل میشود.
* وقتی ارتفاع آب زیاد می شود اتوماتیک دهانه باز شده و آب تخلیه می شود
* اگر نیروی F لنگ F را وارد کند، اگر بر وزن سد قالب شود دریچه اتوماتیک باز شده و آب تخلیه می شود

* در هنگام زلزله امکان دارد این دریچه عمل نکند بخاطر همین آیین نامه ژاپن یک ارتفاع اضافی برای اینگونه حوادث غیر مترقبه در نظر گرفته است.
* دلیل استفاده از این نوع دریچه ها این است که از نظر اقتصادی هزینه ها کمتر می شود





PAPCO

Subject: 22

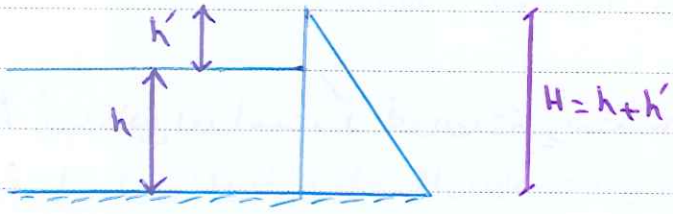
Year. Month. Date. ( )

| ارتفاع سد | نوع سد | |
|---|---|---|
| | سد بتنی | سد خاکی |
| $<50^m$ | 1 | 2 |
| $50 \sim 100^m$ | 2 | 3 |
| $>100^m$ | 2.5 | 3.5 |

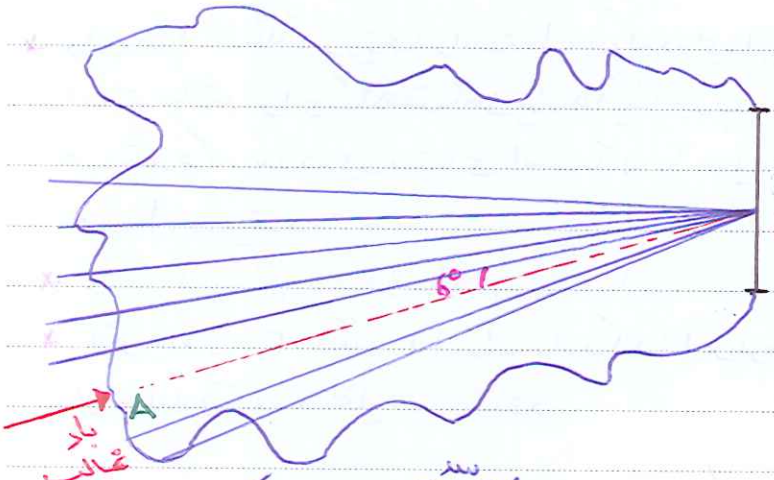
* $\delta h_i$ ضریب اهمیت

* ارتفاع سد خاکی باید بیشتر از سد بتنی باشد چون امکان دارد باعث تخریب و شسته شدن خاک باشد

* با یکی از این روش ها می توانیم ارتفاع نهایی سازه را بدست آوریم.




برای محاسبه F




1. از مرکز سد در جهت باد غالب خطی رسم می کنیم

2. از مرکز خط طی با زاویه $6^\circ$ رسم می کنیم.

* از طریق Zaid جهت باد غالب را می فهمیم از مرکز خط رسم می کنیم.
* خط ترمز شعاع مرکزی است.
* 8 تا خط داریم $42^\circ$ زاویه
* اگر در حالت عادی که جهت باد را در نظر نگیریم باید طول شعاعی را ماکزیمم بگیریم
* زاویه $6^\circ$ دلخواه بود هر چه زاویه کمتر باشد دقت بیشتر است.

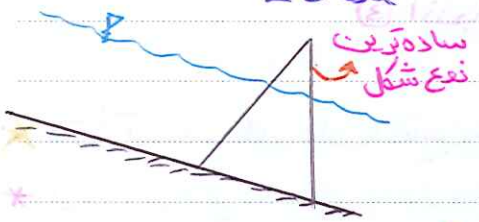
P4PCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

| زاویه با محور شعاع مرزی | $\cos\alpha$ | طول شعاعی $x_i$ | $\sum x_i \cos\alpha_i$ |
|---|---|---|---|
| آخری $42^\circ$ | 0/743 | 2,65 | 1,97 |
| 36 | 0/809 | 2,35 | 1,9 |
| 30 | 0/866 | 2,05 | 1,78 |
| $24^\circ$ | 0/916 | 1,85 | 1,69 |
| 18 | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 12 | ⋮ | 6 | ⋮ |
| 6 | ⋮ | ⋮ | ⋮ |
| 0 | ⋮ | 1,5 | ⋮ |
| | | | 47,7 |

$$F = \frac{\sum x_i \cos\alpha_i}{\sum \cos\alpha} = 3,5\,km \Rightarrow$$ میانگین وزنی می‌گیریم




## سدهای بتنی

* فرض کنیم تمام این کارها را انجام دادیم و رسیدیم به گزینه‌ی سد بتنی به ارتفاع H. ابعاد را چقدر بگیریم؟
* فرض رودخانه‌ای داریم که ارتفاع را H گرفته است. راحت‌ترین ابعاد را انتخاب کرده مثلاً مثلث چون سه تا ضلع دارد.
* برای اینکه ابعاد مثلث را بدست آوریم باید تحلیل سازه را بدست آوریم (لرنش و...) را بدست آوریم.
* کلا زمینه‌ی آن داشتن بار است.

بارگذاری
- بارهای ثابت ← وزن سازه و کلیه تجهیزاتی که روی آن نصب شده
- بارهای ثابت ← فشار آب و نیروهای ناشی از آن
- بارهای وابسته به زمان ← طویل المدت
- بارهای وابسته به زمان ← کوتاه مدت
- بارهای وابسته به زمان ← فوق العاده

PAPCO

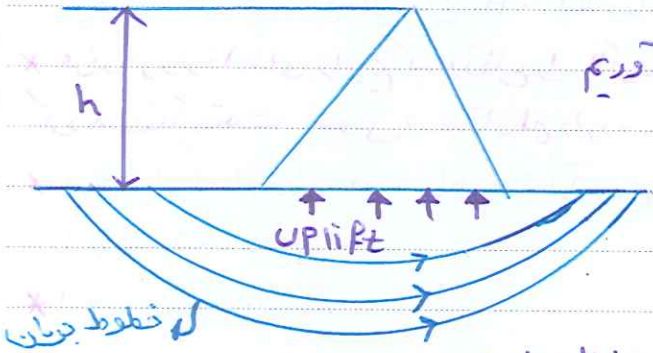
* تجهیزات نصب شده روی سد مثل دریچه ها، ترانسورماتورها

بارهای ثابت:
① وزن سازه و تجهیزاتی که روی آن نصب شده
② فشار آب و نیروهای ناشی از آن
③ وزن خاک و فشار ناشی از آن

بارهای کوتاه مدت:
① فشار امواج
② فشار یخ
③ فشار باد و برف

بارهای فوق العاده:
① زلزله
② تسونامی
③ انفجار

★ فشار آب به طور عادی تغییر می کند ولی بارهای طویل المدت در نظر می گیریم.
* برای شروع محاسبات بارهای طویل المدت را در نظر می گیریم.



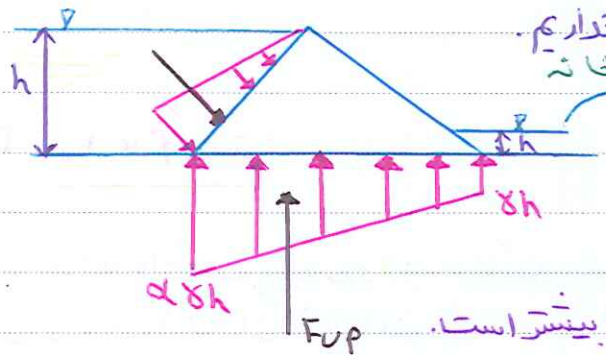

* می خواهیم هندسه ی این سد را بدست آوریم که در برابر بارهای اصلی مقاومت کند.

نیروی زیرفشار یا uplift:
بعد از پر شدن آب پشت مخزن
بعد از مدتی آب به هر دلیلی به علت خلل و فرج
آب در خاک نفوذ کرده، ترک هایی در سیستم بستر به وجود آورده و آب
به زیر سد نفوذ کرده که این آب یک نیرویی به زیر سد وارد می کند که به آن
نیروی زیرفشار یا uplift می گوییم این نیرو می خواهد سد را بلند کند.

PAPCO

Subject: 25

Year. Month. Date. ( )




* ما در این درس با خطوط جریان کاری نداریم.
سطح آب زیرزمینی
ضریب زیرفشار ← $0 < \alpha < 1$
* $\alpha$ به نفوذپذیری بستگی دارد
* هر چقدر نفوذپذیری بیشتر باشد $\alpha$ بیشتر است.

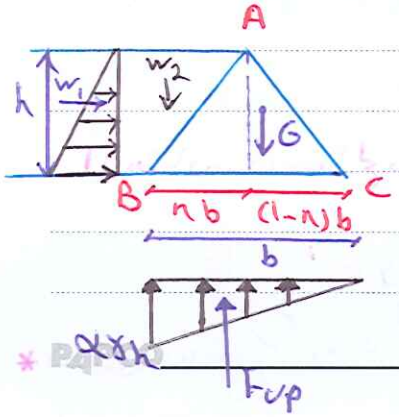
* تمام آیین‌نامه‌ها همه با هم اتفاق دارند که می‌توان زیرفشار تضعیف‌اتش را خطی فرض کرد.

بارگذاری: وزن + فشار آب + زیرفشار
* فعلاً می‌خواهیم برای این سه نیرو سد را طراحی کنیم.
* برای بارهای زنده فقط چکی شود.
سؤال: چرا سد را وزنی انتخاب کردیم.

| بستر سنگ | وزن | واحد فشار | مقاومت فشاری بستر سنگ |
|---|---|---|---|
| | وزنی - پشت بتنی | 5-7 ~ MPa | 3 ~ 4 |
| | وزنی، پشت بتنی، قوسی | 7-10 ~ | |

* فقط مقاومت فشاری بستر مهم نیست بلکه ابعاد و شکل دره نیز مهم است مثلاً برای سد بتنی قوسی باید دره U شکل ساخته شود.

انتخاب هندسه سد:




* با ارتفاع مشخص h و بارگذاری: وزن + فشار آب + زیرفشار
* سطح آب زیرزمینی حذف فرض شود.

## ضوابط:

### ۱ شرط عدم کشش

* اگر نخواهد واژگون شود روی پنجه واژگون می شود پس در پنجه ترک اتفاق می افتد که این ترک ناشی از کشش است.

### ۲ شرط عدم لغزش: ممکن است $W_1$ آنقدر زیاد شود که باعث لغزش شود.

* بلند شدگی باید کنترل شود ولی معمولاً اگر کنترل عدم کشش را انجام دهیم این هم کنترل می شود.

### ۳ حداقل هزینه با بتن ریزی یا مصالح

* محاسبات نیروها برای واحد طول سطح است.
* تنها اطلاعات ورودی همان ارتفاع مخزن است.

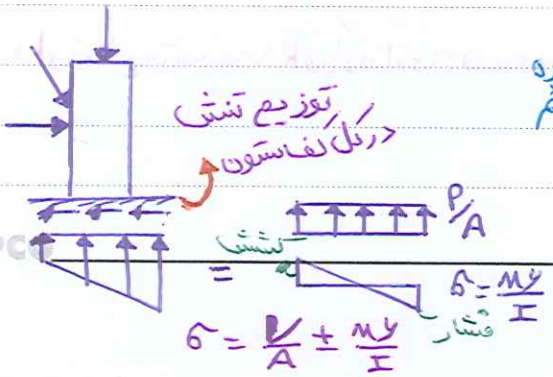
$$W_1 = \frac{1}{2}\gamma h \times h = \frac{\gamma h^2}{2}$$

$$W_2 = \frac{1}{2}\gamma \times nb \times h = \frac{n\gamma bh}{2}$$

$$G = \gamma_c \times \frac{bh}{2}$$

$$F_{up} = \frac{\alpha \gamma h}{2} \times b$$

* مجموعه ای از نیروها را داریم که آنها به سازه می رسد یا نیروی کوری، یا کنترخش و یا نیروی عمودی در زیر سازه وارد می شود.




از مقاومت مصالح داریم: نیروی فشارنده محاسبه

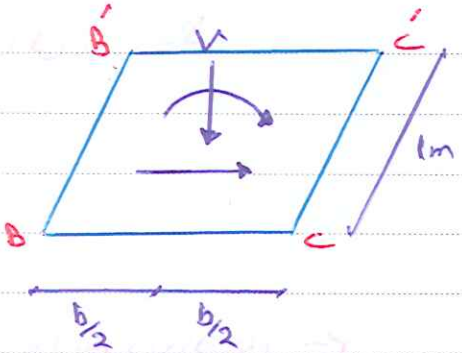
$$\sigma = \frac{V}{A} \pm \frac{My}{I} \quad \rightarrow \quad y = \frac{b}{2}$$

$b \times 1$ در سد

* ما نمی خواهیم کشش اتفاق بیافتد.

Subject: 27

Year. Month. Date. ( )




اتفاقی که در لنگر می افتد

$$I = \frac{1}{12} \times 1 \times b^3 = \frac{b^3}{12}$$

$$\sigma_{max,min} = \frac{V}{b} \pm \frac{6M}{b^2} \Rightarrow$$ تنش در پنجه و پاشنه سد

کل نیروی قائم به لنگر سد

$$V = G + W_2 - F_{up} = \gamma_c \frac{bh}{2} + \frac{n\gamma bh}{2} - \frac{\alpha \gamma h b}{2}$$

$$V = \frac{bh}{2}(\gamma_c + n\gamma - \alpha\gamma)$$

لنگر حول مرکز سطح

$$M = \frac{b^2 h}{12}\left(2\gamma\frac{h^2}{b} + \alpha\gamma - 3\gamma n + 2\gamma n^2 - \gamma_c + 2\gamma_c n\right)$$

تنش در B

$$\sigma_{min} = \sigma'_{up} = \frac{V}{b} - \frac{6M}{d} = h\left[\gamma_c(1-n) + \gamma n(2-n) - \alpha\gamma - \gamma\frac{h^2}{b^2}\right]$$

بالادست Upstream

تنش در

$$\sigma_{max} = \sigma''_d = \frac{V}{b} + \frac{6M}{d} = h\left[\gamma_c n - \gamma n(1-n) + \gamma\frac{h^2}{b^2}\right]$$

* اگر سد خالی باشد در پنجه کشش اتفاق می افتد.
* برای سد پر طراحی می کنیم و برای حالت خالی چک می کنیم.

PqPCO

سر خالی $\gamma = 0$

$B \Rightarrow \sigma'_r = \gamma_c h(1-n)$

$C \Rightarrow \sigma_r = \gamma_c h(n)$

ادامه‌ی سد در حالت پر =

* چون از شرط 1 عدم کشش پاشنه است پس $\sigma_r$ را مساوی صفر قرار می‌دهیم

$$h\left[\gamma_c(1-n)+\gamma n(2-n)-\gamma\frac{h^2}{b^2}\right]=0$$

$$\Rightarrow \gamma_c(1-n)+\gamma n(2-n)-\alpha\gamma-\frac{\gamma h^2}{b^2}=0$$

$$\Rightarrow b=\frac{h}{\sqrt{\frac{\gamma_c}{\gamma}(1-n)+n(2-n)-\alpha}}$$

$$\sqrt{u} \Rightarrow (\sqrt{u})' = \frac{u'}{2\sqrt{u}} = 0$$

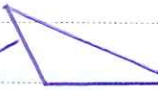
$u' = 0$

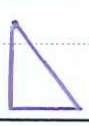
* با شرط اول بیشتر از این به نتیجه نمی‌رسیم از شرط سوم کمک می‌گیریم و برای اینکه از نظر اقتصادی ok شود باید b مینیمم شود و در صورتی $b_{min}$ است که مخرج کسر ماکزیمم شود یعنی مشتق مساوی صفر شود.

$$\frac{d\left(\frac{\gamma_c}{\gamma}(1-n)+n(2-n)-\alpha\right)}{dn}=0 \Rightarrow -\frac{\gamma_c}{\gamma}+2-2n=0 \Rightarrow \boxed{n=1-\frac{\gamma_c}{\gamma}}$$

$\gamma_{آب} = 1000\ N/m^2$ و $\gamma_c = 2400\ N/m^2$ $\sim 2500$

$n = 1 - 2{,}4 = -1{,}2$

* $n$ منفی یعنی این شکل  هر چقدر خواستیم که از نظر اقتصادی کنترل کنیم ولی این شکل اجرایش خیلی هزینه دارد و از نظر اجرایی مشکل است پس محافظه کارانه $n=0$ می‌گیریم یعنی مثلث قائم‌الزاویه



P4PCO

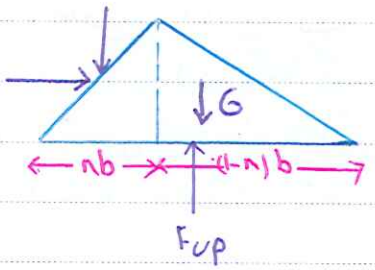
به نام خدا

Subject:

Year. 93 Month. 12 Date. 20

جلسه پنجم

* این روابط برای $n=0$ صادق است




تنش پاشنه $\sigma'_{up} = h\left(\gamma_c - \alpha\gamma - \gamma\frac{h^2}{b^2}\right)$

تنش پنجه $\sigma''_d = \gamma\frac{h^3}{b^3}$

مخزن پر

شرط عدم لغزش $\rightarrow b = \frac{h}{\sqrt{\frac{\gamma_c}{\gamma} - \alpha}}$

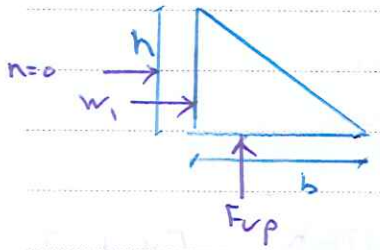
---

تنش پاشنه $\sigma'_F = \gamma_c h$

تنش پنجه $\sigma''_F = 0$

مخزن خالی

برای $n=0$




$\frac{\gamma_c}{\gamma} = 2,4$

$\alpha = 0/5$

شرط عدم لغزش $\rightarrow b = 0/72h$

* یعنی اگر یک سد ۱۰۰ متری داشته باشیم عرض آن باید 72 متر باشد.
* حال می خواهیم شرط عدم لغزش را کنترل کنیم.

برای تعادل باید $\Rightarrow \sum F_x = 0 \Rightarrow w_1 = \frac{\gamma h^2}{2}$

* نیرویی که مقاومت می کند اصطکاک است.
* $w_1$ باید با نیروی اصطکاک در حال تعادل باشد. نیروی اصطکاک در مجموع نیروهای قائم است.

PqPCO

Subject: 30

Year. Month. Date. ( )

$sf\ w_1 = f\ V$

$sf$: ضریب اطمینان

$f$: ضریب اصطکاک

$V$: مجموع نیروهای قائم

* اگر شرط بالا برقرار باشد سد در آستانه لغزش است.

$$V = \frac{bh}{2}(\gamma_c + \gamma_n - \alpha\gamma)$$

$$sf\ \frac{\gamma h^2}{2} = f\ \frac{bh}{2}(\gamma_c + \gamma_n - \alpha\gamma)$$

$$\rightarrow \text{باشرط عدم لغزش} \quad \boxed{b = sf\ \frac{h}{f(\frac{\gamma_c}{\gamma} + n - \alpha)}} \quad \bigstar$$

* پس تا الان دوتا $b$ داریم یکی ناشی از عدم لغزش و دیگری عدم کشش

* رابطه ★ خیلی هم کامل نیست چون فقط اصطکاک نیست که مقاومت می‌کند (هرچه وزن بیشتر اصطکاک نیز بیشتر) علاوه بر این اصطکاک، چسبندگی هم داریم مانند مکانیک خاک.

معمولا $\frac{\gamma_c}{\gamma} = 2{,}4$ و $\alpha = 0{,}5$ و $sf = 1$ ضریب اطمینان

اگر $n = 0$ راگرفتیم

- $f = 0{,}7$ برای بستر سنگ معمولی ✓
- $f = 0{,}4 - 0{,}5$ برای بستر شن و ماسه
- $f = 0{,}2 - 0{,}3$ برای بستر خاک رس

$f = 0{,}7 \Rightarrow$ $\boxed{b = 0{,}75h}$ شرط عدم لغزش

$\boxed{b = 0{,}72h}$ شرط عدم کشش

* $f = 0{,}7$ قابل قبول بود چون سد بتنی بلند است و بستر سنگ است

* با توجه به $b$ بدست آمده اگر شرط عدم کشش را کنترل کنیم شرط عدم لغزش هم کنترل می‌شود.

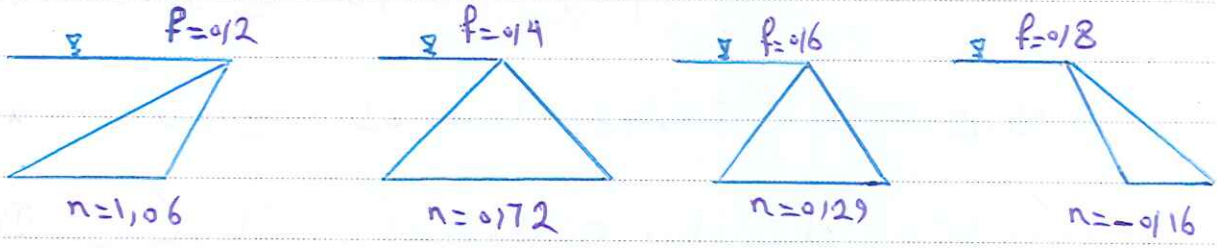
تمرین ۵: با برابر قرار دادن h ها یی که از شرط عدم لغزش بدست می آید و مقایسه آن با شرط عدم لغزش n را بدست آورید
$s_f = 1$ (جلسه ی بعد تحویل)

$$b = \frac{h}{\sqrt{\frac{\gamma_c}{\gamma}(1-n)+n(2-n)-\alpha}} \quad , \quad b = s_f \frac{h}{f(\frac{\gamma_c}{\gamma}+n-\alpha)}$$

* راهنمایی: از شرط عدم لغزش و کشش دوتا h بدست می آید که اگر درست باشد با برابر قرار دادن هر دو n بدست می آید.
به یک معادله درجه ۲ می رسیم و دوتا n بدست می آوریم با n جلسه قبل مقایسه می کنیم.

* اگر بستر سنگی نباشد کدام شرط برقرار است

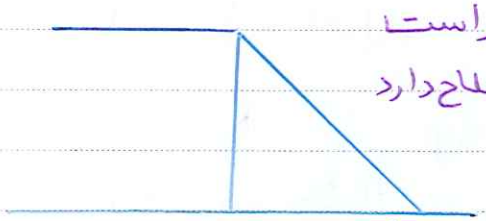
★ هر چه بستر ضعیف تر باشد شرط عدم لغزش مهم تر می شود چون f کوچک تر می شود و h بزرگتر




* چون بستر سنگی است $f=0/7$ و بالا تراست

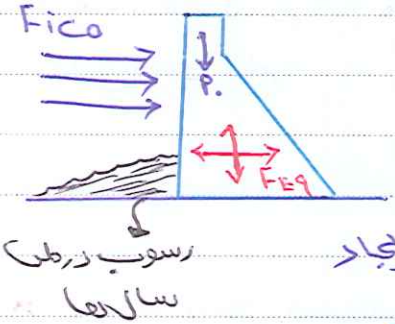
* با این مقادیری که داریم شکل سد به صورت زیر است. سد قائم الزاویه

* این شکل فقط برای سه تا ترکیب بار است و نیروهای دیگر وجود دارد که نیاز به اصلاح دارد



نیروهای وزن + فشار + زیرفشار

* اگر نیروی یخ زدگی وجود داشته باشد باید ۱ برگت انتخاب شود.
* نیروی زلزله
* نیروی رسوب



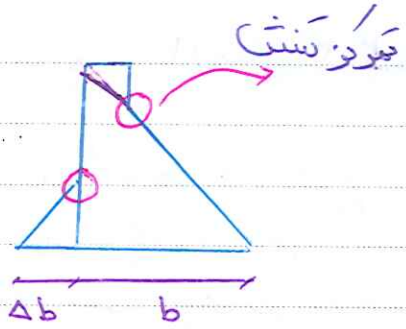

* اگر ارتفاع اضافی برای سد داشته باشیم باهمان کله گیر لغزش را بهتر می کند و مانع از لغزش می شود ولی لنگر یا خمش در پنجه بیشتر می شود و باعث ایجاد کشش می شود.
* رسوب در طی سال‌ها ثر وضعیت را بدتر می کند.
* علاوه بر این فشار باد و موج هم تأثیر دارد.

* با این وضعیت برای سرخالی دچار مشکل می شویم. راه حل ؟

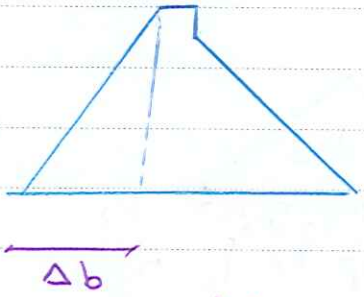
① برای اینکه پاشنه به کشش نیافتد سطح مقطع را بیشتر می کنیم یعنی تا رخنش را جابجا کنیم.

② برای کنترل واژگون در پنجه بهتر است به قسمت پاشنه سد یک مثلث قائم الزاویه به عرض $b_2$ اضافه کنیم.

P4PCO




الف)



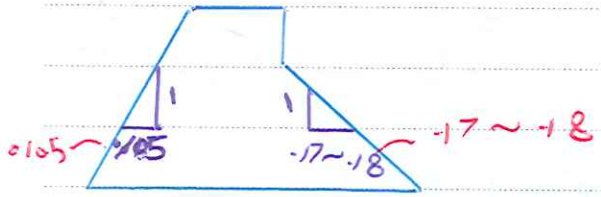

ب)

این شکل بهتر است

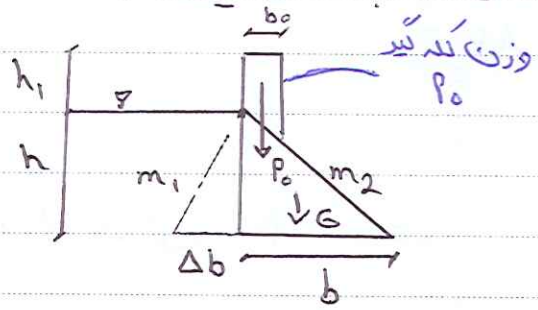
الف) در هنگام زلزله در نقاطی که تیز گوشی هستند تمرکز تنش به وجود می آید و سر ممکن است ترک بخورد بهتر است گرد گوشه باشد.

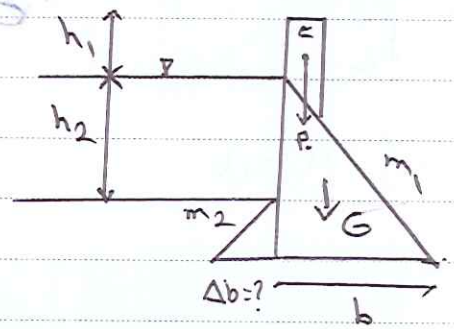
ب) از نظر لرزه‌ای این شکل بهتر است.

* در نهایت شکل نهایی سدهای بتنی وزنی به این صورت است




تمرین: Δb چقدر باشد که در حالت خالی سد به کشش نیافتد.



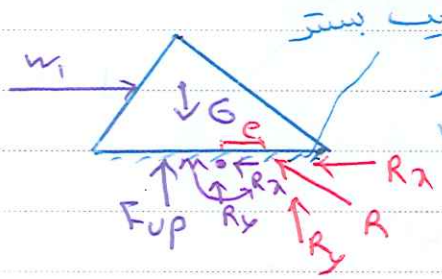




* وزن مشتق را با G نشان می دهیم

Subject: 34

Year. Month. Date. ( )

راهنمایی ۵: از مقاومت ۲ داریم

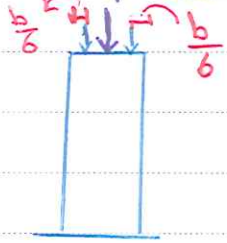



فرض کنید بستر گیردار در مکانیک سیالات

★ در تکیه گاه هم لنگر داریم هم نیروی محوری هم نیروی افقی که می توانیم لنگر را حذف کنیم و یک نیرو با خروج از مرکزیت نشان دهیم.

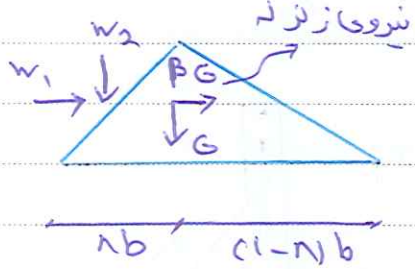
* e در اکثر چقدر می تواند باشد که کشش اتفاق نیافتد.

* با نمونه ریز در مقاومت ۲ هسته مرکزی داشتیم که برای مقطع مستطیلی برای این سد بالا (صفحه ی قبل) که مقطع مستطیلی دارد خروج از مرکزیت اگر به اندازه $\frac{b}{6}$ باشد سد به کشش نمی افتد. P




* پس عکس العمل نهایی باید $\frac{b}{6}$ نهایی از لبه باشد تا سد به کشش نیافتد.

سؤال پایان ترم ۵: یک سد بتنی با توجه به بارگذاری شکل زیر را در نظر بگیرید. n را بدست آورید




$\frac{ABI}{R}$

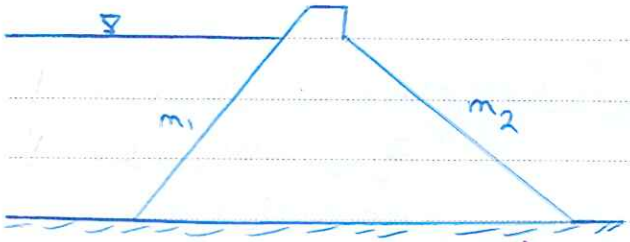
$\alpha$

* $\alpha$ همان $\beta$ است

Subject:

Year. Month. Date. ( )

## تعیین تنش در جسم سد




* فرض نهایتاً به چنین سدی رسیدیم با شیب $m_1$ و $m_2$

* می خواهیم تنش را در هر نقطه سد بدست آوریم.

* بحرانی ترین مقطع سد، کف سد است زیرا عمق، وزن آب، وزن سد همه در کف بیشتر است.

① لازم نیست که کل سد را با یک عیار بتن، بتن ریزی پس لازم است توزیع تنش را بدانیم.

* پس در جاهایی که توزیع تنش بیشتر است عیار بتن بیشتر است و جایی که تنش کمتر است از عیار بتن کمتری استفاده می کنیم.

★ پس توزیع تنش برای منطقه بندی کردن بتن ریزی لازم است.

② تمام تلاشمان این است که از آرماتور در سد استفاده نکنیم و نمی کنیم مگر جاهایی خاص که تمرکز تنش داریم.

③ سد را تکه تکه می سازیم که در هنگام اجرا درز هایی ایجاد می شود که منجر به تنش برش شود و سعی کنیم در حین اجرا درزهایی را که ایجاد شده اند بدانیم که توزیع تنش در کجاها بحرانی تر است که در آن محل ها درز اجرایی کمتر داشته باشیم.

PAPCO

Subject: 36

Year. Month. Date. ( )

# روش های تعیین تنش

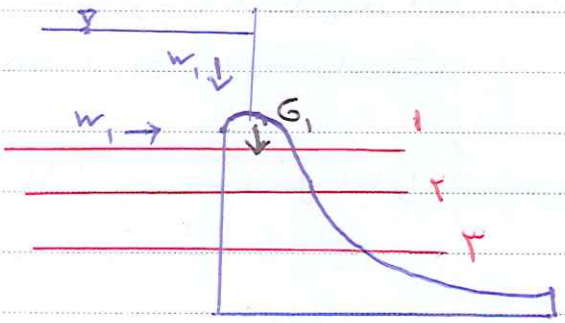
۱ روش مقاومت مصالح (الاستیسیته)

۲ تئوری الاستیسیته

۳ روش های انرژی

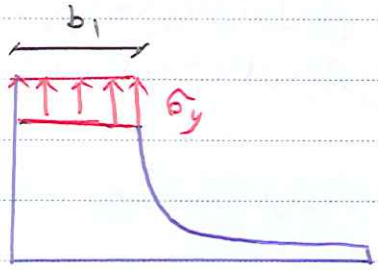
۴ روش های عددی
- به اجزاء محدود F.E.M
- روش اختلاف محدود F.D.M
- به اجزای مرزی B.E.M
- به انجام محدود
- به بدون شبکه

## ۱- روش مقاومت مصالح




* می خواهیم وضعیت را در جسم سرریز بدست آوریم

* به همین علت پنداتا مقطع می زنیم



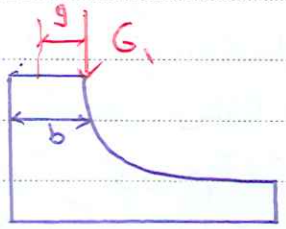

$$\sigma = \frac{V}{b} \pm \frac{6M}{b^2}$$

$$\sigma_{y_1} = \frac{G_1 + w_0}{b_1} \pm \frac{6(w_1 \omega_1 - G_1 g_1 - w_0 \omega_0)}{b_1^2}$$

$w_0$ : وزن آب بالای سرریز

* توزیع تنش خطی است مثل تیر

$\omega_1$ و $g_1$ و $\omega_0$ : بازوهای لنگر هستن



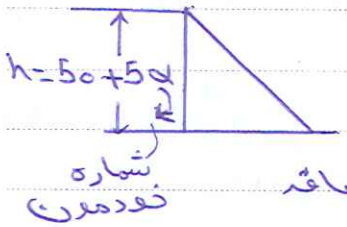

$g_1$ : فاصله لنگر گیری $G_1$

PAPCO

پروژه ۵: هرچی که از اول فرض کردیم تا آخر نگه داریم

ضریب زیرفشار $\alpha = 0.5$

بتن $E = 2 \times 10^{10}$




سربار طراحی (همان h) را باید بدست آوریم پس به $\alpha$ ضریب اطمینان نیاز داریم. تا آخر ترم نگه می‌داریم و شیب را بدست می‌آوریم و بصورت کلی بهش اضافه می‌کنیم و یک شیب بالادست اضافه می‌کنیم.

و بعد ۵ تا مقطع زده و به روش مقاومت مصالح تنش‌ها را در ۵ مقطع بدست می‌آوریم.

* همانطور از شکل همان ارتفاع اضافی است

* جایی که هندسه یا بارگذاری عوض می‌شود بهتر است یک مقطع بزنیم وگرنه اگر مشکلی نبود اندازه مقاطع رویی می‌گیریم.

* $\sigma_y$ را در این ۵ تا مقطع بدست می‌آوریم

## مسائل صفحه‌ای Plane problem

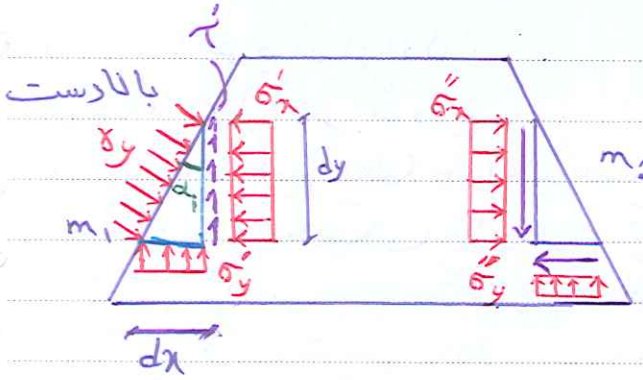
کرنش مسطح ← $\varepsilon_x$ ، $\varepsilon_y$ ، $\varepsilon_{xy}$ — سه جز مسائل صفحه‌ای است

تنش مسطح ← $\sigma_x$ ، $\sigma_y$ ، $\tau$

* سقف‌ها و تونل‌ها جزء کرنش مسطح هستند
* سدها می‌توانند هم کرنش مسطح و هم تنش مسطح تعریف می‌شوند

* فعلاً در هر نقطه سه تا تنش داریم.

PAPCO




* چون المان خیلی کوچک است
و۵ مستطیلی در نظر گرفته شد

و۵ : فشار آب
و۵ فاصله‌ی المان تا سطح مقطع

* تنش در بالا دست پی‌م و در پایین دست زگانت

در بالادست

$\Sigma F_y = 0 \quad \gamma_y \frac{dx}{\sin\alpha_1} \sin\alpha_1 - \sigma'_y\, dx - \tau' dy = 0 \Rightarrow \tau' = (\gamma_y - \sigma'_y) m_1$

تنش — مساحت — مؤلفه قائم — شدت نیرو

✓ شیب بالادست

* تمام اینها ضرب در طول واحد شد ی مساحت

* $\sigma'_x$ و $m_1$ را بدست آوردیم

$\sin\alpha_1 = \frac{dx}{w_x} \Rightarrow w_x = \frac{dx}{\sin\alpha_1}$

$\Sigma F_x = 0 \qquad \sigma'_x = \gamma_y - (\gamma_y - \sigma'_y) m_1^2$

$\sigma_y = \frac{V}{b} \pm \frac{6M}{b^2}$

در پایین دست

* مانند قبلی کپ المان مثلث برای راحتی کار گرفته

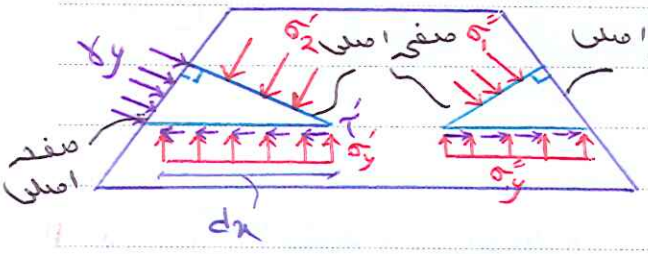
از تعادل پایین دست ⟸

$\sigma''_x = \sigma''_y m_2^2$

$\tau'' = \sigma''_y m_2$

* بعد از این مراحل باید به سراغ تنش های اصلی برویم.

* دوباره همان شکل را کشیده این بار المان مثلث را به صورت زیر می‌گیریم.




* صفحه‌ای، صفحه‌ی اصلی است که تنش برشی در آن صفر باشد و از آنجا که بر نه سر تنش برشی صفر دارد و فقط فشار آب را تحمل می‌کند یک صفحه اصلی است و صفحه عمود بر آن هم جز صفحه اصلی است.

* پس با المان گیری به فرم بالا می‌توانیم تنش اصلی دوم بزنیم.

عدم وجود تنش برشی کافی است که آنجا را صفحه اصلی بگیریم $\Rightarrow \sigma''_2 = 0$

$\sigma''_1 = \sigma''_y (1+m_2^2)$

$\tau''_{max} = \frac{\sigma''_1 - \sigma''_2}{2} = \frac{\sigma''_y (1+m_2^2)}{2}$

تنش اصلی اول $\sigma'_1 = \gamma y$

تنش اصلی دوم $\sigma'_2 = \sigma'_y (1+m_1^2) - \gamma y m_1^2$

$\tau'_{max} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_2}{2} = \frac{(\sigma'_y - \gamma y)(1+m_1^2)}{2}$

* در داخل جسم سد تغییرات تنش خطی است و تنها $\sigma_y$ را می‌توانیم بدست آوریم و نمی‌توانیم تنش $\sigma_x$ و $\tau$ را بدست آوریم که این ضعف روش مقاومت مصالح (المان گیری) است.

معایب روش مقاومت مصالح:
- عدم امکان محاسبه تغییر مکان ها در جسم سد
- عدم امکان محاسبه تنش ها در جسم سد

PdPCO

Subject: 40

Year. Month. Date. ( )

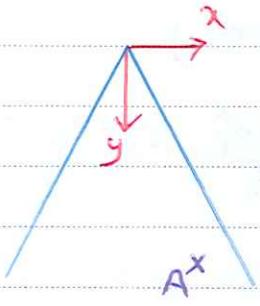
## روش تئوری الاستیسیته:

* این روش تئوری الاستیسیته نقطه روش مقاومت مصالح را برطرف کرده و می توانیم کرنش، تنش و تغییرمکان را در هرنقطه را بدست آوریم.

## فرضیات:

1. پیوستگی: حفره و سوراخ ندارد
2. ایزوتروپ بودن مصالح
3. قانون هوک

* در درس تئوری الاستیسیته چیزی به نام گوه ی بینهایت است که بصورت زیر است:




* اگر محور x و y را داشته باشیم در نقطه ای مثل A می توان تنش، کرنش و تغییرمکان را بدست آورد

تابع تنش ایری را از کتاب دکتر اسکندری بخوانیم واسه سال 96

PdfCO

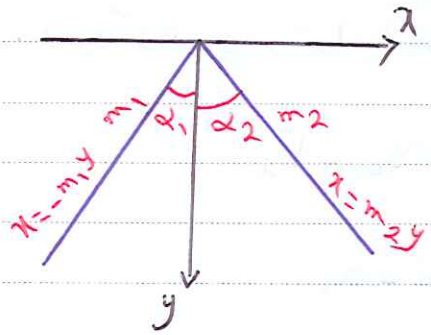
بنام خدا

Subject:

Year. 94 Month. 01 Date. 19

## جلسه پنجم

مسئله گوه بینهایت:




معادلات تعادل

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} = 0 \quad (I) \\ \frac{\partial \tau}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} - \gamma_c = 0 \quad (II) \end{cases}$$

$\rightarrow \nabla^4 \phi = 0$

تابع پتانسیل تنش

$m_1 = \tan\alpha_1$

$m_2 = \tan\alpha_2$

* سرهای بتنی وزنی جزء معادلات صفحه‌ای دوبعدی هستند.

* تابع پتانسیل تابعی است که اگر از آن مشتق بگیریم به پارامترهای مورد نظر می‌رسیم

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \quad , \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} \quad , \quad \tau_{xy} = \frac{-\partial^2 \phi}{\partial x \partial y}$$

برای گوه بینهایت داریم:

فرض تابع تنش: $\phi = ax^3 + bx^2y + cxy^2 + dy^3$

$\sigma_x = 2cx + 6dy \xrightarrow{\text{بازنویسی}} \sigma_x = a_1 x + b_1 y$

$\sigma_y = 6ax + 2by \rightarrow \sigma_y = a_2 x + b_2 y$

$\tau = -2bx - 2cy \rightarrow \tau = a_3 x + b_3 y$

تنش‌ها خطی است

* 6 تا ضریب $a_3, a_2, a_1, b_3, b_2, b_1$ را باید بدست آوریم.

Subject:
Year. Month. Date. ( )

* این تنش های خطی باید در معادلات تعادل I و II صفحه قبل صدق کند و در شرایط مرزی برقرار باشد.

از $\sigma_x, \sigma_y, \tau \xrightarrow{I \text{ و } II}$ $a_3 = \gamma_c - b_2$

$b_3 = -a_1$

$\sigma_x = a_1 x + b_1 y$

$\sigma_y = a_2 x + b_2 y$

$\tau = (\gamma_c - b_2) x - a_1 y$

} ۶ تا مجهول به ۴ تا تبدیل شد که باید از شرایط مرزی بدست آوریم.

$\sigma_x = (a_1 \frac{x}{y} + b_1) y$

$\sigma_y = (a_2 \frac{x}{y} + b_2) y$

تنش در بالادست $\sigma'_x = (-a_1 m_1 + b_1) y$

$\sigma'_y = (-a_2 m_1 + b_2) y$

---

تنش در پایین دست $\sigma'_x = (a_1 m_2 + b_1) y$

$\sigma'_y = (a_2 m_2 + b_2) y$

PAPCO

* جلسه قبل از روش مقاومت مصالح داریم $\sigma_x' = \gamma y - (\gamma y - \sigma_y')m_1^2$

* 4 معادله و 4 مجهول داریم که با استفاده از مطلب 4 تا مجهولات بدست می آید.

$$a_1 = \frac{\gamma_c}{(m_1+m_2)^2} m_1 m_2 (m_2 - m_1) + \frac{\gamma}{(m_1+m_2)^3} m_1 m_2 (m_1 m_2 - m_2^2 - 2)$$

$$a_2 = -\frac{\gamma_c}{(m_1+m_2)^2}(m_2 - m_1) - \frac{\gamma}{(m_1+m_2)^3}(m_1^2 + 3m_1 m_2 - 2)$$

$$b_1 = \frac{\gamma_c}{(m_1+m_2)^2} 2m_1^2 m_2^2 - \frac{\gamma}{(m_1+m_2)^3} m_2^2 (2m_1^2 m_2 - 3m_1 - m_2)$$

$$b_2 = \frac{\gamma_c}{(m_1+m_2)^2}(m_1^2 + m_2^2) - \frac{\gamma}{(m_1+m_2)^3}(m_2 - m_1 - 2m_2^2 m_1)$$

* در حالت خاص مخزن خالی به ازای $\gamma = 0$ حاصل می گردد.

برای کنترل عدم لغزش در پنجه است

* در همه مسائل تنش های اصلی مهم است و از $\sigma_x$ ، $\sigma_y$ و $\tau$ بدست می آید

$$\sigma_1, \sigma_y = \frac{\sigma_x + \sigma_y \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2}}{2}$$

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2}}{2}$$

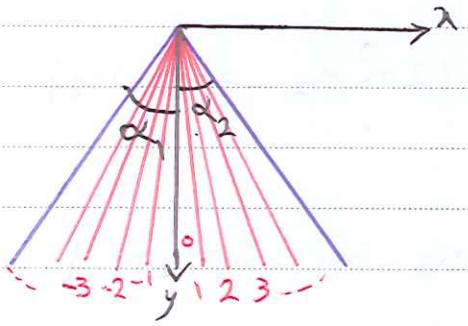
PdPCO

* آن سطوحی که تنش های اصلی بر آن اعمال می شود صفحات اصلی هستند

* $\theta$ را حساب کنیم $45^\circ$ برخانیم صفحاتی بدست می آید که $\tau$ در آن ها ماکسیمم است.

صفحات اصلی $\tan\theta = \frac{2\tau}{\sigma_x - \sigma_y}$

* با استفاده از نرم افزارهای طراحی خطوط هم تنش را بدست می آوریم تا برای بتن ریزی با عیارهای مختلف منطقه بندی کنیم.




* می خواهیم روی گوه مجموعه نقاطی را پیدا کنیم که یک تنش مشخص مثلاً $\sigma_x^\circ$ یا سکال داشته باشد.

$$\sigma_x = \left(a_1 \frac{x}{y} + b_1\right) y = \sigma_x^\circ y$$

$$\sigma_y = \left(a_2 \frac{x}{y} + b_2\right) y = \sigma_y^\circ y$$

$$\tau = \left(a_3 \frac{x}{y} + b_3\right) y = \tau^\circ y$$

$$\longrightarrow \sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x^\circ + \sigma_y^\circ \pm \sqrt{(\sigma_x^\circ - \sigma_y^\circ)^2 + 4\tau^2}}{2} y$$

$$\Rightarrow \sigma_1, \sigma_2 = \sigma_{1,2}^\circ y$$

$$\rightarrow \tau_{max} = \frac{\sqrt{(\sigma_x^\circ - \sigma_y^\circ)^2 + 4\tau^{\circ 2}}}{2} y = \tau_{max}^\circ y$$

PdPCG

* بر روی شعاع مورد نظر $\sigma_1^\circ$ معلوم می شود و با داشتن $\sigma_1 = 1\,MPa$ ، نقطه y مربوط به آن شعاع بدست می آید.

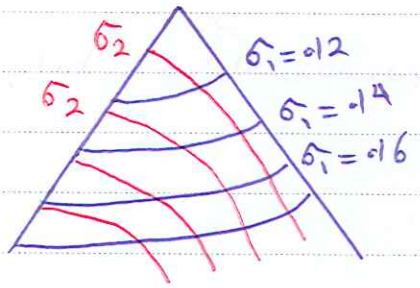
$\sigma_1 = \sigma_1^\circ\, y$

به این ترتیب برای کلیه شعاع ها می توانیم y های مربوط به هر کدام را حساب کنیم و از بهم وصل کردن این y ها منحنی هم تنش مثلاً امگا پاسکال بدست می آید.

$\sigma_2 = \sigma_2^\circ\, y$

$\tau_{max} = \tau_{max}^\circ\, y$

* برای پروژه خودمان با کنار گذاشتن کلگی خطوط هم تنش به صورت زیر است



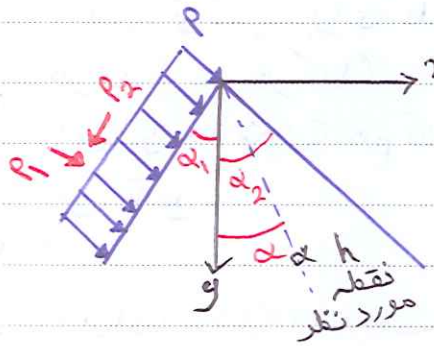

تمرین: منحنی هم تنش را برای پروژه خودمان بدون در نظر گرفتن کلگی یکبار با فرض پر بودن و یکبار با فرض خالی بودن مخزن حساب کنید.

* در روش المانهای محدود کلگی را در نظر نگرفتیم و به راه حل های صفحه قبل رسیدیم.

* برای در نظر گرفتن کلگی یک گوه بینهایت باریک متشکل از روی سرگوه در نظر می گیریم.

## حل حالات مختلف بارگذاری گوه بی نهایت:

### ۱- حل لوی:




تنش در نقطه h:

$$\sigma_x = -p_1 \frac{(\alpha_2 - \alpha + \frac{z}{1+z^2})A - m_2}{B}$$

$$\sigma_y = -p_1 \frac{(\alpha_2 - \alpha_1 - \frac{z}{1+z^2})A - m_1}{B}$$

$$\tau = -p_1 \frac{\frac{A}{1+z^2} - 1}{B}$$

$$A = 1 - m_1 m_2$$

$$B = m_1 + m_2 - (\alpha_1 + \alpha_2)(1 - m_1 m_2)$$

$$z = \tan\alpha$$

* این روابط برای بارگسترده عمود بر سطح است

### حالت خاص گوه تحت بارگسترده مماس:

$$\sigma_x = -p_2 \frac{C m_2^2 - D + m_1 m_2}{B}$$

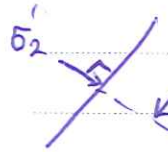
$$\sigma_y = -p_2 \frac{C - D - 1}{B}$$

$$\tau = -p_2 \frac{C m_2^2 + \frac{m_1 z^2 - m_2}{1+z^2}}{B}$$

$$C = (\alpha_1 + \alpha_2)\frac{1 + m_1^2}{m_1 + m_2}$$

$$D = (\alpha_2 - \alpha - \frac{z}{1+z^2})(m_1 + m_2)$$

تنش در صفحه اصلی بالادست:



$$\sigma_1' = P_1 \frac{(\alpha_1+\alpha_2)A}{B}$$

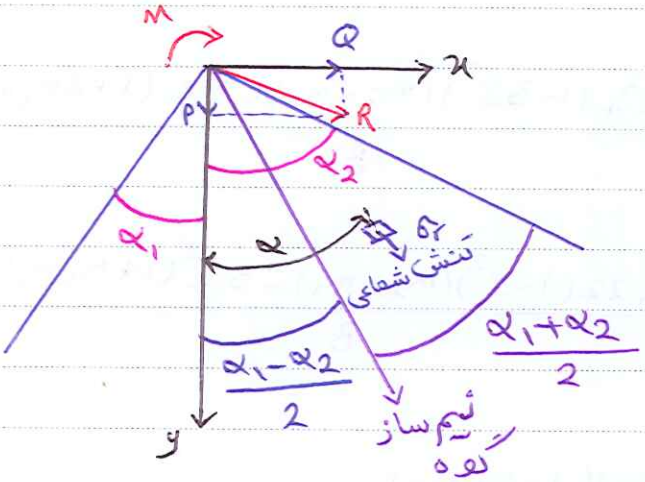
$$\sigma_2' = P_1$$

تنش در صفحه اصلی پایین دست:

$$\sigma_2'' = 0$$

$$\sigma_1'' = -P_1 \frac{m_1+m_2}{B}$$

۲- حل میشل:




$$\sigma_{r,P} = \frac{-2P}{y(1+z^2)} \frac{z(m_2^2-m_1^2)-A_1+B_1}{C_1}$$

$$\sigma_{r,Q} = \frac{-2Q}{y(1+z^2)} \frac{m_2^2-m_1^2-z(A_1+B_1)}{C_1}$$

$$A_1 = (\alpha_1+\alpha_2)(1+m_1^2)(1+m_2^2)$$

$$B_1 = (1+m_1m_2)(m_1+m_2)$$

$$C_1 = (\alpha_1+\alpha_2)^2(1+m_1^2)(1+m_2^2)-(m_1+m_2)^2$$

$$\sigma_{x,M} = -\frac{2M}{y^2(1+z^2)^3}\,\frac{z^2(3-z^2)(m_2-m_1)-2z^3(2+m_1m_2)+2z\,m_1m_2}{B}$$

$$\sigma_{y,M} = -\frac{2M}{y^2(1+z^2)^3}\,\frac{2z^3+(1-3z^2)(m_2-m_1)-2z(1+2m_1m_2)}{B}$$

$$\tau_{xy,M} = -\frac{2M}{y^2(1+z^2)^3}\,\frac{z^4+2z(1-z^2)(m_2-m_1)-3z^2(1+m_1m_2)+m_1m_2}{B}$$

$$B = m_1+m_2-(\alpha_1+\alpha_2)(1-m_1m_2)$$

$$\sigma_x = \frac{z^2}{1+z^2}\sigma_r = \sigma_r\sin^2\alpha$$

$$\sigma_y = \frac{\sigma_r}{1+z^2} = \sigma_r\cos^2\alpha$$

$$\tau = \frac{z}{1+z^2}\sigma_r = r\sigma_r\sin\alpha\cos\alpha$$

$$\sigma'_{1,P} = \frac{2P}{y(1+m_1^2)} \frac{m_1(m_2^2 - m_1^2) + A_1 - B_1}{C_1}$$

$$\sigma'_{2,P} = 0$$

$$\sigma''_{1,P} = \frac{2P}{y(1+m_2^2)} \frac{m_2(m_1^2 - m_2^2) + A_1 - B_1}{C_1}$$

$$\sigma''_{2,P} = 0$$

$$\sigma'_{1,Q} = \frac{-2Q}{y(1+m_1^2)} \frac{m_2^2 m_1^2 + m_2(A_1+B_1)}{C_1}$$

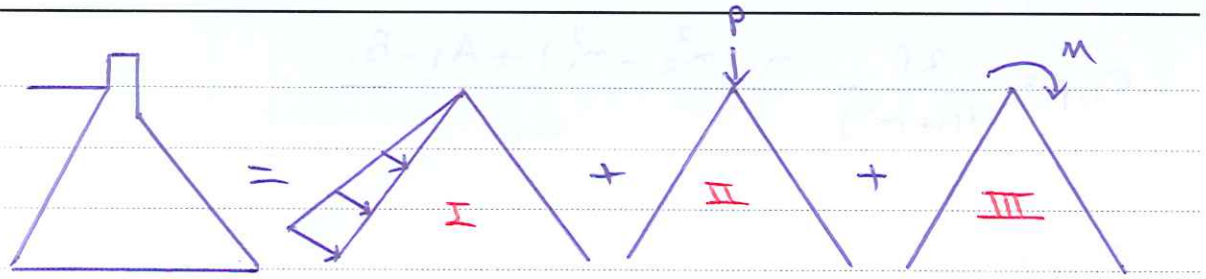
$$\sigma'_{2,Q} = 0 \quad , \quad \sigma''_{2,Q} = 0$$

$$\sigma''_{1,Q} = \frac{-2Q}{y(1+m_2^2)} \frac{m_2^2 - m_1^2 - m_2(A_1+B_1)}{C_1}$$

$$\sigma'_{1,M} = -\frac{2M(m_1+m_2)}{y^2(1+m_1^2)B} \qquad \sigma''_{1,M} = \frac{2M(m_1+m_2)}{y^2(1+m_2^2)B}$$

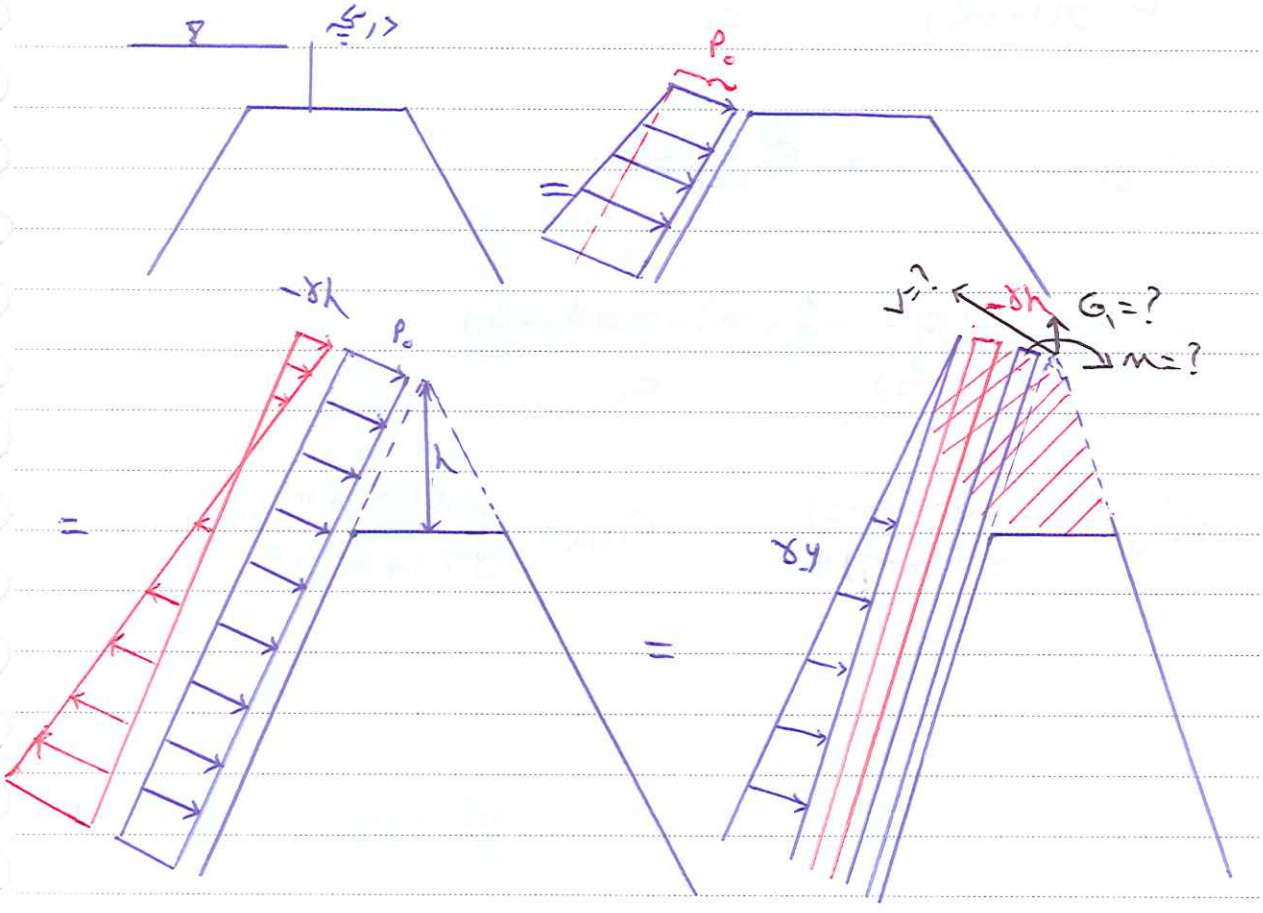
Subject: 5o

Year. Month. Date. ( )




* در مسائل کلی باید جمع ۳ بارگذاری بالا را در نظر بگیریم.

* همه مسائل مثل حالت بالا نیست ممکن است سطح آب پایین تر باشد. در سد پشت سدو نیروی زلزله مواردی است که تئوری الاستیسیته در حل آن به مشکل برمی خورد.




PdPCG

51 بنام خدا

Subject:
Year. 96 Month. 01 Date. 26

جلسه ششم

مزایا روش الاستیسیته

1. حل به فرم بسته closed form
2. تنش و کرنش را در هر نقطه دلخواه داریم.

معایب

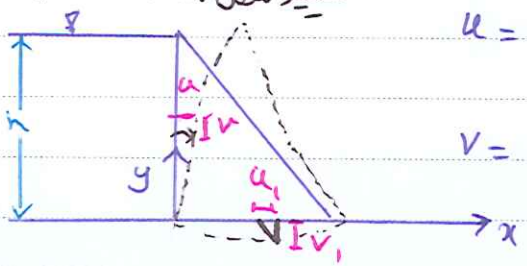
1. پیچیده شدن هندسه سد، تحلیل بسیار پیچیده می‌شود
2. پیچیده شدن بارگذاری (خصوص بارها وابسته به زمان) تحلیل بسیار پیچیده می‌شود.
3. وجود ناپیوستگی در جسم سد (مثل ترک، گالری و ...) خطا در روش به وجود می‌آید.
4. تحلیل غیرخطی قابل استفاده نیست.
5. سرگوه بینهایت نیست.

غیرخطی: هادی (مصالح)، هندسی $\frac{\delta v}{\delta x} + (\dots)^2 + (\dots)$

* اولین بار شخص آلمانی به نام Toelkeh میزان خطا ناشی از گوه بی‌نهایت نبودن سد را بررسی کرد
* بدست آوردن تغییرشکل‌ها $\sigma_x, \sigma_y, \tau \rightarrow \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_{xy}, \varepsilon_z$ (با $\frac{\delta}{\delta x}$)
* با انتگرال‌گیری $u$ بدست می‌آید
* فقط یک سد قائم الزاویه را در نظر گرفت یا یک گوه قائم را در نظر گرفت.

h مخزن سد

تغییرشکل براثر نیروی آب




تغییرمکان فقط با $u$ است

$$u = a + cy - \frac{y^2}{2Em}\left(\beta \delta v - \frac{2\delta}{m^2} + \gamma_1'\right)$$

$$v = \frac{y}{E}\left(h - \frac{y}{2}\right)\left[(1-\beta)\gamma v + \frac{\delta}{m^2} - \gamma_1'\right)$$

PAPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

تغییر مکان سدّ کف

$$u_1 = a - \frac{x}{E}\left[\left(\frac{2\gamma}{m}\left(1-\frac{\upsilon}{m^2}\right)+\left(h-\frac{x}{2m}\right)x\left[(1-\beta)\gamma+\upsilon\left(\frac{\gamma}{m^3}-\gamma_1\right)\right]\right.\right.$$

$$v_1 = \frac{x(mh-x)}{2E}\left[(1-\beta)\gamma - \frac{\gamma}{m^2}(2+\upsilon) - \upsilon\gamma_1\right]$$

$$a = \frac{mh^2}{2E}\left[\left(3\beta - \frac{\upsilon}{m^2}\right)\gamma - \upsilon\gamma_1'\right]$$

$$c = -\frac{mh}{2E}\left[(1-\beta)\gamma - \frac{\gamma}{m^2}(2+\upsilon) - \upsilon\gamma_1'\right]$$

$m = \frac{b}{h}$

$E$ مدول الاستیسیته بتن

$\gamma$ وزن مخصوص آب

$\gamma_1'$ وزن مخصوص بتن با احتساب فشار منفذی

$\beta$ تخلخل بتن

$\upsilon$ ضریب پواسون

* روابط بالا برای مخزن پر است.

برای مخزن خالی:

$$a' = \frac{-mh^2\upsilon\gamma_1}{2E} \qquad u' = a' + c'y - \frac{y^2\gamma_1}{2Em}$$

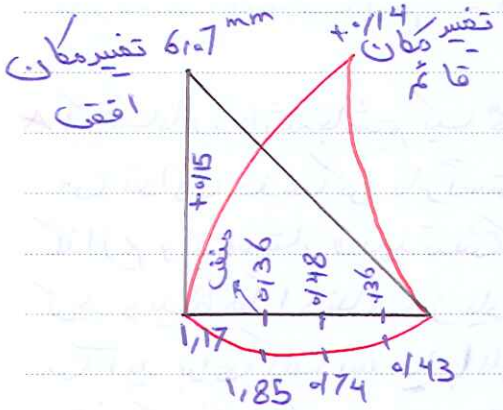
$$v' = \frac{-y\gamma_1}{E}\left(h - \frac{y}{2}\right)$$

مثال عددی:

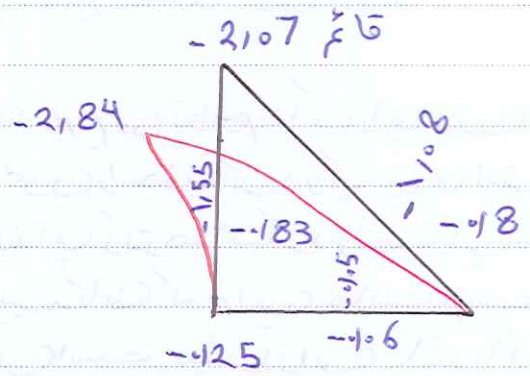
$h=60m$ $E=20\ mpa$ $m=0/73$

$\gamma=10000\ N/m^3$ $\gamma_1=2,3\times10^4\ N/m^3$ $\gamma_1'=1,8\times10^4\ N/m^3$

$\upsilon=\frac{1}{6}$ $\beta=0/6$




مخزن پر




مخزن خالی

*این نتایج محاسبات بود

*+ به این معنا است که در جهت مثبت محور ها است.

*برای سد خالی تاج سد به سمت پایین می رود. کرنش منفی شد و تغییرمکان منفی داشتیم -2,84

Subject:
Year. Month. Date. ( )

★ هرف از این فرمول ها این بود که ما اومدیم تغییر مکان نقطه ی بالای سد را حساب کردیم

★ آقای دکتر یک مسئله ای طرح کرد سد واقعی ما یک چنین شکلی است و تغییر شکل پی را حساب کردیم مخزن یک سدوین . . .

★ اگر یک بار داشتیم می توانیم تغییر مکان و تنش و کرنش را در خاک با تئوری بوزینسک حساب کنیم به کمک توابع پتانسیل معمولاً نمی شود

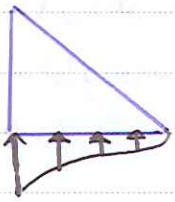
★ اگر یک بار را داشته باشیم یک محیط بینهایت داریم می توانیم خاک یا پی وزن سد را می توان حذف کرد بار گسترده بگذاریم مخزن را حذف کرده و یک نیروی افقی بگذاریم و یک فشار و بعد تنش کرنش را در کف پی دکتر حساب کرد و بعد با این مقایسه کرد دیدگاهها اختلاف زیاد است . تغییر مکان که در این حالت بدست می آید برای کف سد یا بالای بستر ممکن است بیشتر از این باشد یا کمتر باشد که ما از تئوری الاستیسیته چنین چیزی را بدست می آوریم در این به آن معناست که اگر اختلاف زیاد باشد محاسبات تئوری الاستیسیته ما دقیق نخواهد بود

★ فرض یک سد داریم پی می خواهد تغییر مکان بیشتری دهد ولی پی نمی خواهد از آن پیروی کند دقیقاً همراه با آن پیش می رود یا پاره می شود یا اینکه هر دو تا کوتاه بیایند و شرط اساس برقرار شود که بها دارد بهای آن این است که تنش کشش زیادی در سطح سد ایجاد شود باعث ایجاد تمرکز تنش برای ایجاد شرایط همسازی اون تنش هایی که بدست آوردیم در تئوری الاستیسیته حداقل در این محدوده درست است از یک ارتفاعی روش الاستیسیته درست است . و تزدیک های کف پی دیگر آن تغییر مکان و تغییر شکل هایی که بدست آوردیم درست نیست. یک دوتا از این تمرکز تنش ها را نشان داده و این بحث تموم می شود

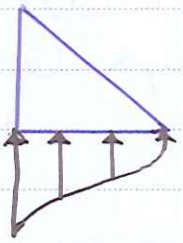
Subject:

Year. Month. Date. ( )

## مخزن خالی

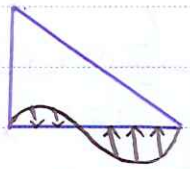


$\frac{\text{سرع}}{\text{بی}} = 0.15$

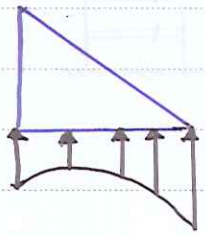


$\frac{\text{سرع}}{\text{بی}} = 2$

## مخزن پر

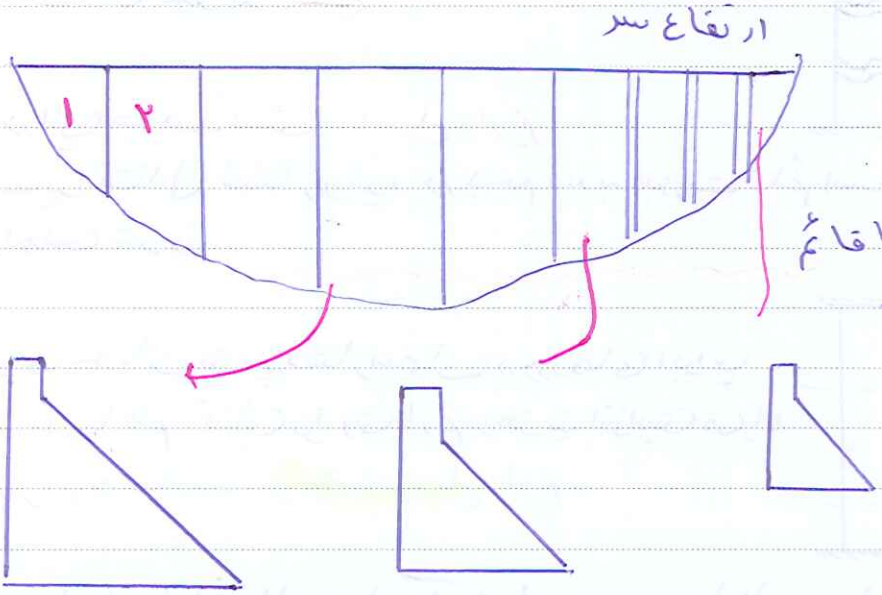


$\frac{\text{سرع}}{\text{بی}} = 0$ بی خیلی قوی



$\frac{\text{سرع}}{\text{بی}} = \infty$ سگدہ بی نہا یت

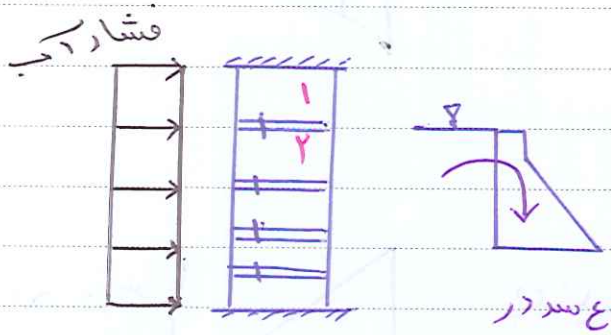
* نتیجه می گیریم روش الاستیسیته در تئوری کف سد جواب درستی به ما نمی دهد




* سد را به بلوک ها قائم تقسیم می کنند.

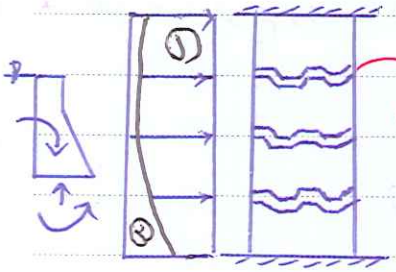
PAPCO

★ قسمت میانی نسبت به قسمت‌های کناری تغییرمکان بیشتری دارد که این از نظر مهندسی خوب نیست در حین اجرای سد درزهایی در بدنه سد قرار می‌دهیم. برای کنترل تنش‌های حرارتی. هم به خاطر تغییرمکان‌های مختلف بلوک‌ها و هم شکستگی در سرخ ندهد.



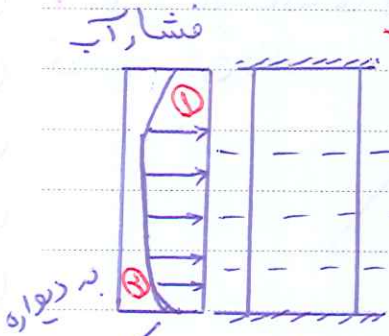

* برای عبور ندادن آب باید درزها را آب بندی کنیم.

* می‌توان لاستیک ضخیمی در ارتفاع سد در محل درزها قرار داد تا آب بندی شود
* در این حالت تنش مسطح داریم.




* عمداً سدهای وزنی با این صورت ساخت می‌شوند ←

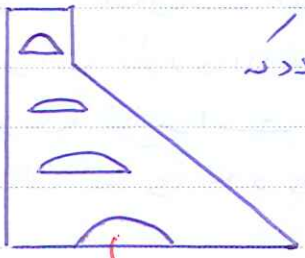
* در این حالت تنش مسطح داریم
* مسیر انتقال فشار و نیرو در جسم سد به صورت قائم است و به دیواره‌ها فشار وارد نمی‌شود.




* برای سد با تزریق پرفشار سیمان در درزهای اجرایی سد. اما هم تنش داریم و هزینه افزایش می‌یابد
* در این حالت تنش مسطح داریم.

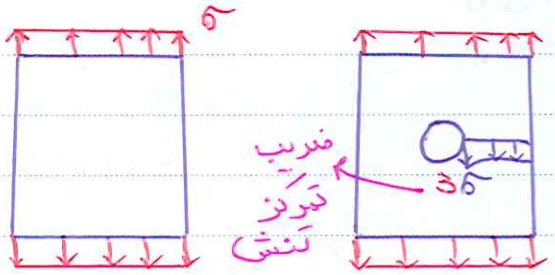
* به جای درز انقطاع ساده آن را به صورت با طاق می‌سازند و هر بلوک برای جا گیر شدن به بلوک بعدی فشار می‌آورد پس با این مقداری از نیرو به دیواره‌ها می‌رود که قسمت یک سوم کف سد و قسمت دو سوم دیواره‌هاست

* به دلایل زیادی نیازداریم که در بدنه سرگالری های برای تلسین ها یا نصب تجهیزات مختلف داشته باشیم



* این حفره ها (تونل) باعث گسستگی می شود که مشکل ساز است.

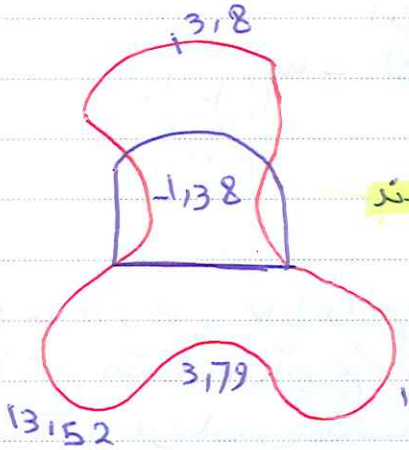
گ تونل یا گالری




$K=3$ ضریب تمرکز تنش

تنش در نزدیکی حفره

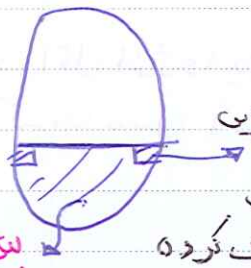
$\sigma$ : تنش متوسط در سوراخ




$\sigma = K\sigma$ متوسط ← تنش در هر نقطه

* سرهای پیش وزن معمولاً غیرمسلح هستند به بتن در محل گالری ها که برای جلوگیری از تمرکز تنش سر را مسلح می سازیم

★ یکی از روش های کنترل و کم کردن تمرکز تنش، برای تونل به شکل بیضی است و برای رفع مشکل رفت و آمد و نصب دستگاه ها استفاده از بتن غیر سازه‌ای کف است.



کانال هایی برای انتقال آب نشت کرده به خارج سر.

بتن غیرسازه‌ای

Subject: 58

Year. Month. Date. ( )

# تحلیل تنش و کرنش:

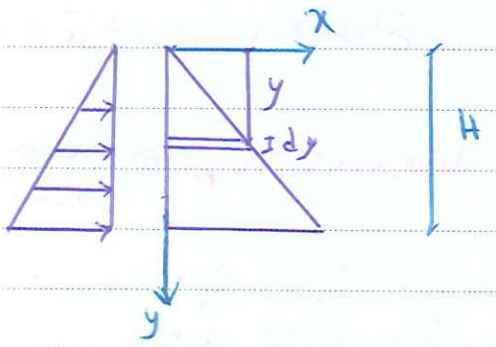
- روش مقاومت مصالح
- روش تئوری الاستیسیته
- روش تغییرات
- روش های عددی

روش اختلاف محدود (FDM) Finite Difference method

روش اجزا محدود (F.E.M) Element

روش اجزای مرزی (B.E.M) Boundary Element method

## روش تغییرات




انرژی کرنشی

پتانسیل انرژی $\Pi = U - W$ پتانسیل کار خارجی

$U = \frac{1}{2}\int_V \sigma_{ij}\,\varepsilon_{ij}\,dv$

$W = \int P u$

* ما u و v و w را داریم اگر داشته باشیم مشتق می گیریم کرنش بدست می آید از قانون هوک استفاده کنیم تنش ها بدست می آید.

* اصل حداقل انرژی پتانسیل می گوید باید تغییر مکان ها را به گونه ای انتخاب کنیم که پتانسیل انرژی حداقل شود

اصل مینیمم انرژی پتانسیل $\delta\Pi = 0$

* از $\sigma_x$ را به $\sigma_y$ تقلیل می دهیم و فقط یک مؤلفه تنش را در نظر می گیریم.

$$U = \frac{1}{2}\int \sigma_y \varepsilon_y \, dv = \frac{1}{2}\int \sigma_y \frac{\sigma_y}{E} A \, dy$$

$\sigma_y = \frac{My}{I}$ ⟶ $U = \frac{1}{2}\int_0^H \frac{M^2}{EI} dy = \frac{1}{2}\int_0^H EI (U'')^2 dy$

$\frac{1}{2}\int_0 \frac{M^2 y^2}{EI} A dy \xrightarrow{\int_A y^2 dy = I^2} = \frac{1}{2}\int_0^H \frac{M^2}{EI} dy$

$$U = \frac{1}{2}\int_0^H EI (U'')^2 dy - \int_0^H \rho U \, dy$$

$$U(y) = \sum A_j \Phi_j(y) = A_1(\varphi_1(y)) + A_2(\varphi_2(y)) + \cdots + A_n \varphi_n(y)$$

$\frac{\partial \Pi}{\partial A_1} = 0$ , $\frac{\partial \Pi}{\partial A_1} = 0$ , ... $\frac{\partial \Pi}{\partial A_n} = 0$ ⟶ ضرایب $A_1$ تا $A_n$ بدست می آید.

مثال عددی:

$$U = A_1 \varphi_1 + A_2 \varphi_2$$

$$U'' = A_1 \varphi_1'' + A_2 \varphi_2''$$

$$\Pi = \frac{1}{2}\int_0^H EI (U'')^2 dy - \int_0^H \rho (A_1 \Phi_1 + A_2 \varphi_2) dy$$

* چون مقطع مثلثی است نمی توانیم I را از انتگرال بیرون بیاوریم.

$\frac{\partial \Pi}{\partial A_1} = 0$ , $\frac{\partial \Pi}{\partial A_2} = 0$

P4PCO

www.Etcivil.com

Subject: 60
Year. Month. Date.

مشتق گرفت 2 اینجا دیگر

$$\rightarrow \frac{\partial \Pi}{\partial A_1} = 0 \rightarrow \frac{1}{2}\int_0^H EI\,2\,[A_1\Phi_1'' + A_2\Phi_2'']\,[\Phi_1'']\,dy = \int_0^H p\Phi_1\,dy$$

$$= A_1 \underbrace{\int_0^H EI\,\varphi_1''\varphi_1''\,dy}_{a_{11}} + A_2 \underbrace{\int_0^H \Phi_2''\varphi_1''\,dy}_{a_{11}} = \underbrace{\int_0^H p\,\varphi_1\,dy}_{\bar{P}_1}$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial A_2} = 0 \quad A_1 \underbrace{\int_0^H EI\,\varphi_1''\varphi_2''\,dy}_{a_{21}} + A_2 \underbrace{\int_0^H EI\,\varphi_2''\varphi_2''\,dy}_{a_{22}} = \underbrace{\int_0^H p\,\varphi_2\,dy}_{\bar{P}_2}$$

$$A_1 a_{11} + A_2 a_{12} = \bar{P}_1$$

$$A_1 a_{21} + A_2 a_{22} = \bar{P}_2$$

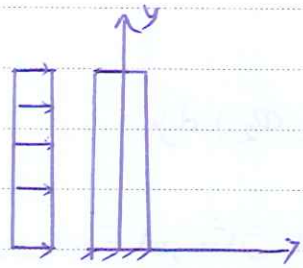
$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{P}_1 \\ \bar{P}_2 \end{bmatrix}$$

تمرین: در حالت کلی ثابت کنید که:

$$[a_{ij}]\{A_{ij}\} = \{\bar{P}_i\}$$

$$\bar{P}_i = \int_0^H p\,\varphi_i\,dy$$

$$a_{ij} = \int_0^H EI\,\varphi_i''\,\varphi_j''\,dy$$




مثال:

درس تغییر مکان $U(y) = A_1 y^2 + A_2 y + A_3$

* در $y=0$ ← $U=0$ ← همان اول $A_3 = 0$ باید صفر شود
* در $y=0$ ← $U'=0$ ← $A_2 = 0$ است

$\Rightarrow u(y) = A_1 y^2$

$\Phi_1 = y^2 \quad , \Phi_1' = 2$

$a_{11} = \int_0^H EI \times 2 \times 2 dy = 4EIH$

$\bar{P}_1 = \frac{PH^3}{3}$

$[4EIH]A_1 = \frac{PH^3}{3} \rightarrow A_1 = \frac{PH^3}{12EI}$

$U = \frac{PH^2}{12EI} y^2$ $\qquad y = H \rightarrow u = \frac{PH^4}{12EI}$

مقاومت مصالح $u = \frac{PH^4}{8EI}$

$\frac{U \text{ دقیق}}{U \text{ محاسباتی}}$ $\qquad M_{\text{دقیق}} = 0$

تمرین: این مساله را با فرضیات زیر برای $u$ حل کنید و لنگر و تغییرمکان را با مقدار مقاومت مصالح کنترل کنید

$U(y) = A_1 y^2 + A_2 y^3$

$U(y) = A_1 y^2 + A_2 y^3 + A_3 y^4$

P4PCO

به نام خدا

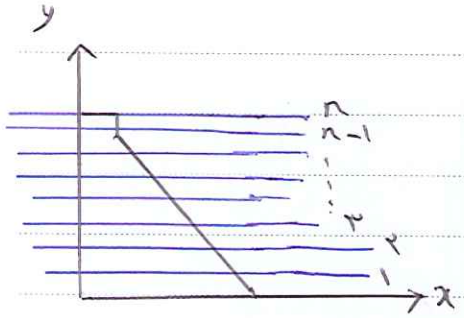
Subject: 62

Year. 94 Month. 02 Date. 02 ( )

جلسه هفتم

روش های عددی: F.D.M

F.E.M



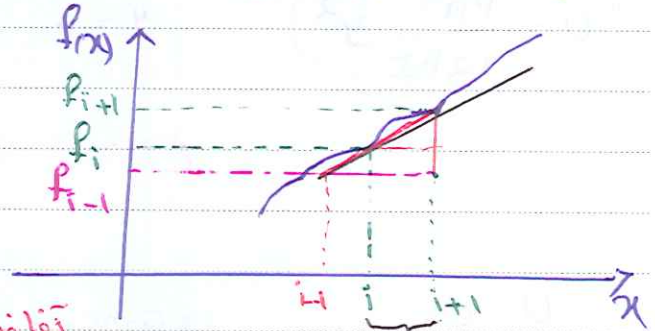

1 تبدیل محیط پیوسته به گسسته

در تیرها $\frac{d^4y}{dx^4} = \frac{P}{EI}$

در ستون: $(EIu'')'' = P(y)$

* چون مقطع متغیر است I هم متغیر است و مشتق دارد.

$$\frac{du}{dx} = \frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{u_{i+1} - u_i}{x_{i+1} - x_i}$$




تفاضل پیشرو

$$\frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2} = \Delta x \frac{df}{dx} \leftarrow \begin{cases} f_{i+1} - f_i = \Delta x \frac{df}{dx} \leftarrow \frac{df}{dx} = \frac{f_{i+1} - f_i}{\Delta x} \\ f_i - f_{i-1} = \Delta x \frac{df}{dx} \leftarrow \frac{df}{dx} = \frac{f_i - f_{i-1}}{\Delta x} \end{cases}$$

تفاضل مرکزی

تفاضل پسرو

* تفاضل مرکزی دقتش نسبت به دو تفاضل دیگر بیشتر است.

$$u' = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2\Delta y}$$

$$u'' = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{\Delta y^2}$$

فعلاً بپذیریم

$$(EIU'')_i = \frac{(EIU'')_{i+1} - 2(EIU'')_i + (EIU'')_{i-1}}{\Delta y^2}$$

$$\Rightarrow (EIU'')_i = EI_{i+1}\frac{U_{i+2} - 2U_{i+1} + U_i}{\Delta y^2} - 2EI_i\frac{U_{i+1} - 2U_i - U_{i-1}}{\Delta y^2}$$

$$+ EI_{i-1}\frac{U_i - 2U_{i-1} - U_{i-2}}{\Delta y^2} = \Delta y^2 p(y)$$

* $n+1$ تا از این معادله برای $n+1$ (چون مقاطع از صفر شروع می‌شود) مقطع داریم.

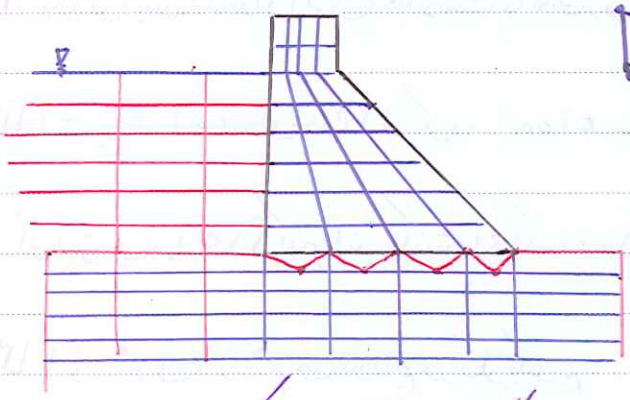
برای $n+1$ مقطع ← $n+1$ معادله — $n+5$ معادله

⇐

$n+1$ مجهولات و شرایط مرزی ۴ معادله — $n+5$ مجهول

* در مهندسی سازه دیگر این روش اختلاف محدود کمتر استفاده می‌شود.

روش اجزا محدود:



سه ضلعی
سه گرهی

۴ ضلعی
۴ گرهی

۴ ضلعی
۸ گرهی ✓

* عموماً در محاسبات سه‌ازالمان ۴ ضلعی ۸ گرهی استفاده می‌کنیم.

## عیوب روش FDM (اختلاف محدود)

۱) اقناع شرایط مرزی همیشه ساده‌تر می‌باشد.

۲) برای سازه‌هایی با هندسه نامنظم یا پیچیده‌تر، تقریب کار بیشتر می‌شود.

۳) بارگذاری دینامیکی مسأله بسیار پیچیده‌تر می‌شود.

ماتریس سختی
$KU = F$

تعداد المان‌ها
$K = \sum_{i=1} K_i$ $\quad K_i = \int B^T D B \, dV \rightarrow$ برای هر المان $K_i$ معلوم است.

۴) ماتریس نیروهای گرهی

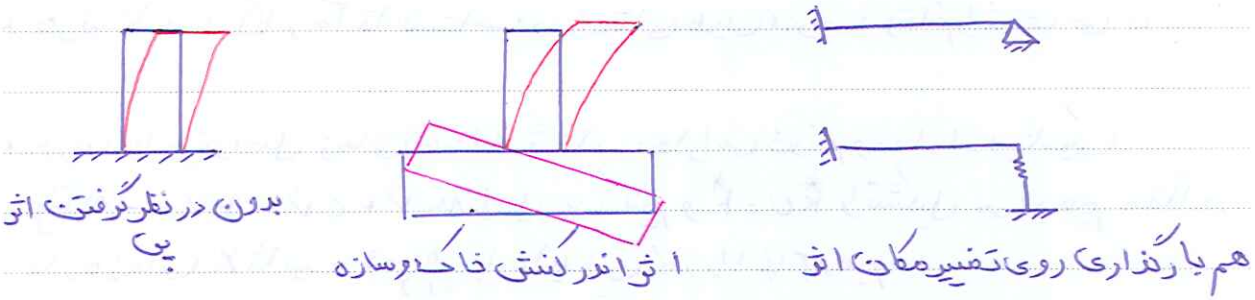
$KU = F \xrightarrow[\text{معادله } n \text{ مجهول}]{\text{حل دستگاه}} U$ بدست می‌آید $\Rightarrow \varepsilon_x = \frac{\partial U}{\partial x}$ و ... $\Rightarrow \sigma = D\varepsilon$

۱) با افزایش تعداد المان‌ها دقت بالا می‌رود.

۲) اثر پی را می‌توان لحاظ کرد. Interaction

اگر اثر پی را لحاظ کنیم اندرکنش خاک و سازه را در نظر گرفته‌ایم.

۳) اثر مخزن را هم می‌توانیم در نظر بگیریم.

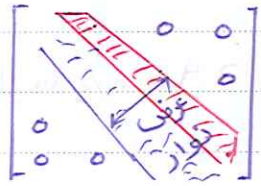



* اگر ۲۰۰۰ گره داشته باشیم هر گره ۲ درجه آزادی دارد می شود ۴۰۰۰ درجه آزادی

$KU = F \hookrightarrow 4000$

$4000 \times 4000$ — $4000$

* اعمال شرایط مرزی در جاهایی که تکیه گاه داریم سختی را بی نهایت می گیریم و جابجایی صفر است.

$K =$ 

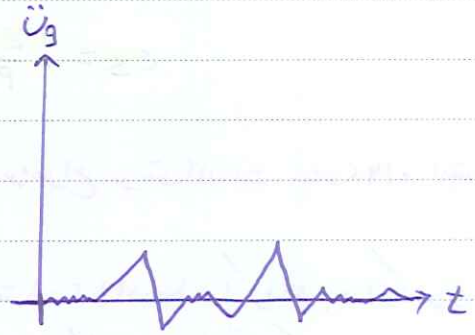
* برای دادن اطلاعات ماتریس سختی باید گره ها را بدرستی شماره گذاری کنیم و فقط نیمی از باندناری ماتریس سختی را وارد کنیم.

تحلیل دینامیکی

$\downarrow$

$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g$

$\overset{*}{K}\overset{*}{U} = \overset{*}{F}$



* هر شتاب نگار ۳۰ تا شتاب در راستای طولی، عرضی و قائم را ثبت می کند.

* در سدها در فواصل زمانی $\Delta t = 0.02$ شتاب ها را می خوانیم و معادله دینامیکی $M\ddot{V} + C\dot{V} + KV = -M\ddot{V}_g$ را حل می کنیم و $KU = F^*$ را تشکیل می دهیم مثلاً در بازه زمانی ۶۰ ثانیه $\frac{60}{0.02} = 3000$ بار باید این کار را انجام دهیم.

$$\begin{cases} M\ddot{V} + C\dot{V} + KV = -M\ddot{V}_g & \text{سازه} \\ \nabla^2 p = \frac{\ddot{p}}{c^2} & \text{مخزن} \end{cases}$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$$

c: سرعت امواج اکوستیک در مخزن

* در جامدات دو موج طولی و عرضی منتشر می شود
در مخزن فقط و فقط موج طولی ~

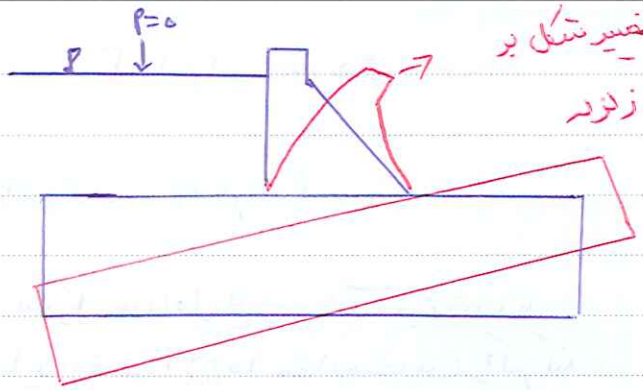
* c در گازها 340 m/s و در آب مخزن 1440 m/s

c در جامدات ← امواج فشاری ← به E و υ بستگی دارد $c_p$
← امواج برشی $c_s = \sqrt{\frac{c}{\rho}}$

* در مصالح ایزوتروپ امواج فشاری 1.9 برابر امواج برشی است یعنی 0.6 بیشتر.

* یعنی اگر شتاب نگاشت قرار دهیم اول موج فشاری را احساس کرده و بعد از کسری از ثانیه موج برشی را احساس می کنیم و اگر شتاب نگاشت را نگاه کنیم ابتدا تغییرات نسبتاً منظم تر است سپس نامنظمی تغییرات زیاد می شود علتش آن است که موج برشی و فشاری با هم جمع می شوند.

* موج برشی سرعتش کمتر است ولی قدرت تخریبش بیشتر از امواج فشاری است




تغییر شکل بر اثر زلزله

$m\ddot{V}+c\dot{V}+KV=-m\ddot{V}_g$

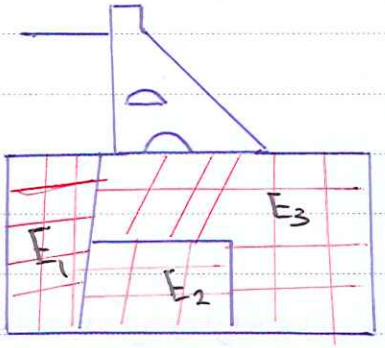
$\nabla^2 p = \frac{\ddot{p}}{c^2}$

روش لاگرانژی اویلری

* بعدها اومدن معادله بالارو ساده کردن به فرم زیر برای سازه و سیال

$m\ddot{V}+c\dot{V}+KV=-m\ddot{V}_g$

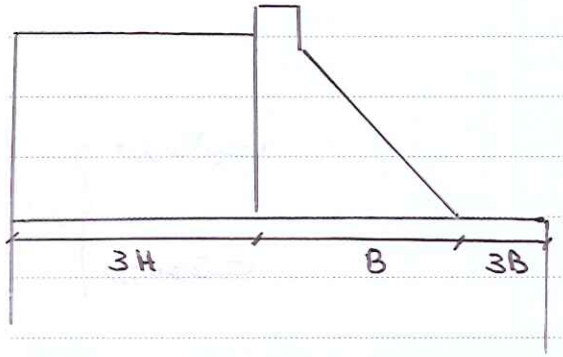
لاگرانژی - لاگرانژی




روی تونل ها شبکه بندی نمی کنیم و به راحتی می توانیم گسستگی ها رو نشون بدیم.

* در این روش می توانیم مسائل با تحلیل دینامیکی غیر خطی با مصالح غیر ایزوتروپ را حل کنیم.

* این سایت berkeley ، peer ، شتاب نگاشت زلزله های مهم را دارد.




ادامه پروژه: B عرض کف است که اگر $\Delta B$ هم اضافه شود باز هم B است

$B = b + \Delta b$

با روش ابزار محدود و نرم افزار sap (البته در حالت مخزن خالی) حل کنیم

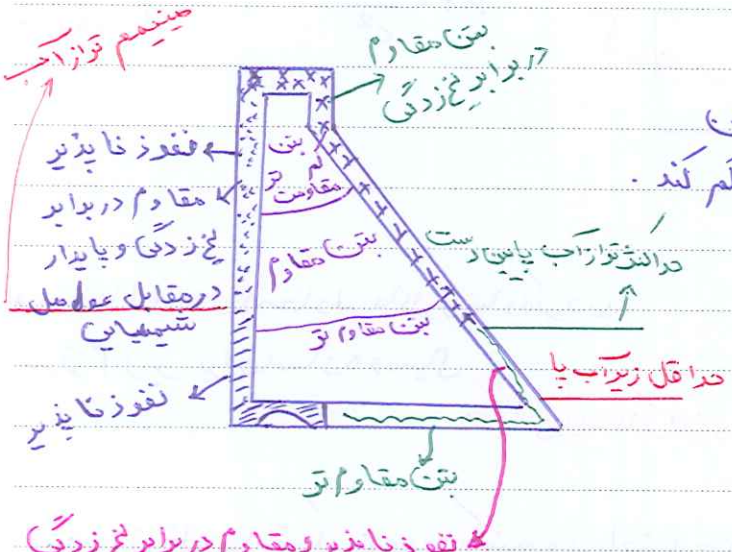
* B هر پی کف سر است می شود کل عرض سد

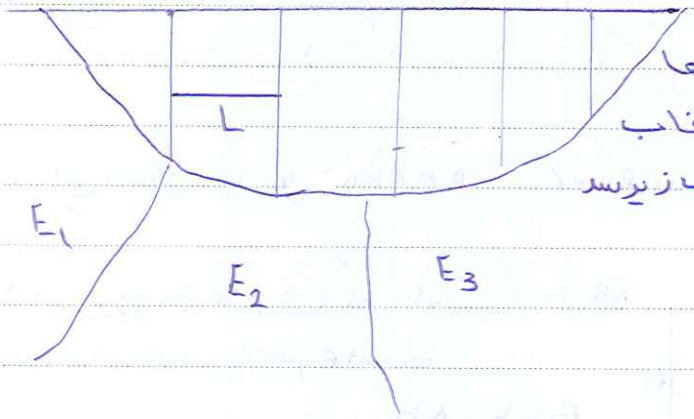
# مسائل اجرایی سرهای بتنی:

## بتن ریزی جسم سد:

* سیکل متداول یخ زدن و آب شدن نباید بیشتر از ۱۰٪ مقاومت بتن را کم کند.

* برای جسم سد ریز بتن باید علاوه برمقاومت دربرابر یخ زدگی در مقابل رسوب هم مقاوم باشد




* برای جلوگیری از اختلاف نشست ها بهتر است درزهای قائم را طوری انتخاب کنیم که در محل تغییر الاستیسیته خاک زیرسد بیافتد.

درز { درز ثابت
درز موقت

* درز ثابت هم برای مسائل اجرایی است هم برای انبساط و انقباض که در آینده اتفاق می افتد.

PdPCO

Subject:

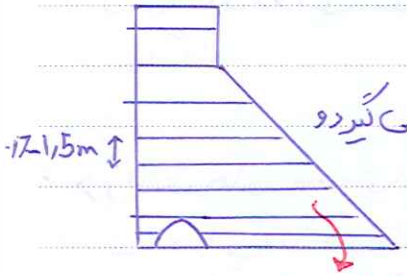
Year. Month. Date. ( )

* فاصله بلوک ها حدوداً ۱۲-۱۰ متراست. فاصله درزها $\alpha L \Delta T$ است.

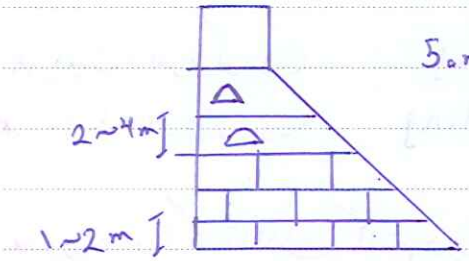
ضریب انبساط حرارتی — طول بلوک — اختلاف دما

* کف بلوک ها را باید مسطح کنیم و بعداً بتن ریزی کنیم.

* چون حجم بتن ریزی زیاد است حرارت هیدراسیون لایه پایین را دور می‌شود توانیم در ارتفاع زیاد بتن ریزی کنیم. لایه به لایه بتن می‌ریزیم و هر لایه را بعد از کم شدن حرارت هیدراسیون لایه پایین.

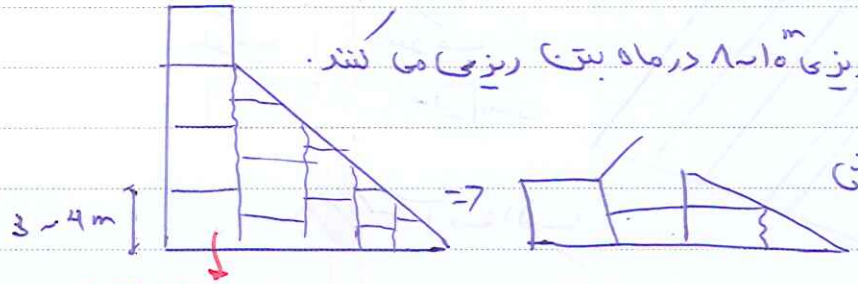



* چون انتقال حرارت در کف سد به سمت پایین صورت نمی‌گیرد و زمان بیشتری برای کاهش حرارت نیاز دارد لایه‌های پایین را کم ضخامت تر می‌ریزیم. این روش بتن ریزی دیگر برای اجرای وزن انجام می‌شود.




این روش بتن ریزی برای سدهای با ارتفاع 50m کاربرد دارد.

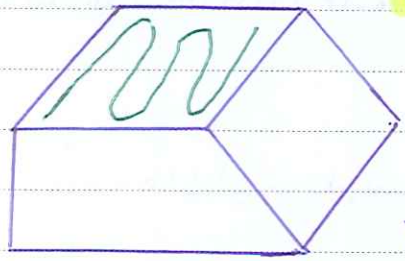
* در این روش بتن ریزی $10^{m}$ ~ 8 در ماه بتن ریزی می‌کنند.




سرعتش بیشتر از دو روش دیگر است

Subject: 7.

Year. Month. Date. ( )



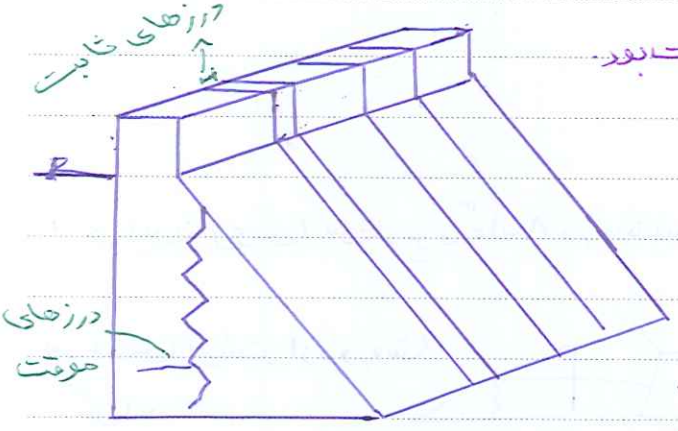
* برای افزایش سرعت خنک شدن و کاهش حرارت بتن لوله‌هایی روی سطح بتن قرار می‌دهیم و آب خنک رودخانه را به داخل این لوله‌ها پمپاژ می‌کنند تا بتن زودتر خنک کند برای بتن ریزی بعدی این لوله‌ها در داخل بتن می‌ماند و بعد از اتمام سرد و غاب سیمان با فشار وارد لوله‌ها می‌کنند و سوراخ‌هایی که در لوله‌ها تعبیه شده از یک فشاری به بالا را تحمل نمی‌کند باز می‌شود و این دوغاب سیمان در محل درزها نفوذ می‌کند و این درزها را پر می‌کند.

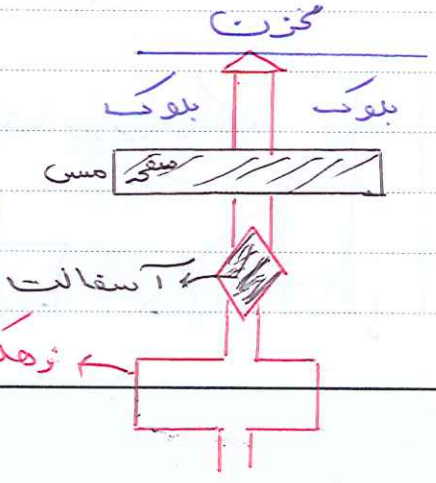
* در کشورهای صنعتی بعد از ساخت ارتفاع مشخصی از سد، شروع به آبگیری می‌کنند چون در این کشورها نیروهای برق آبی خیلی اهمیت دارد از یک طرف آبگیری می‌کنند از طرف دیگر به ساخت سد ادامه می‌دهند.

## روش‌های خنک کردن بتن:

* پیش سرد کردن — pre cooling
* پس سرد کردن — post cooling

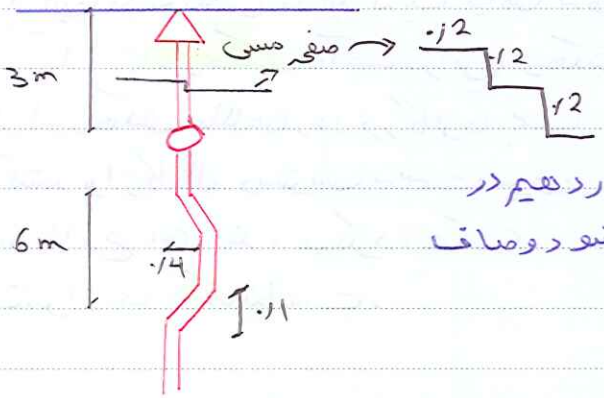
* درزهایی که تا آلان گفتیم درزهای موقت بود.




P4PCG

* صفحه مسی را به این علت قرار می دهند تا در اثر انبساط صفحه اعوجاج پیدا کند. اما نشکند و در اثر انقباض به حالت اولیه برگردد.

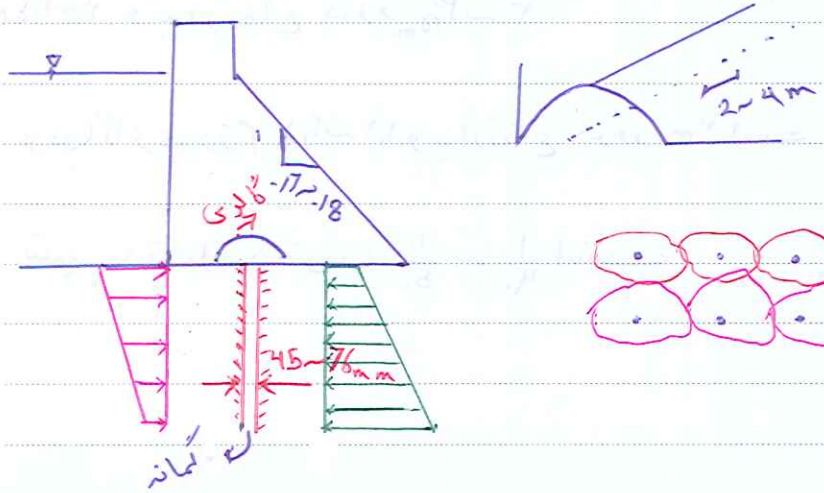


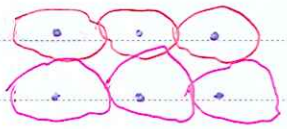

* اگر صفحه مس را به حالت شکسته قرار دهیم در زمان انقباض حداکثر کشیده می شود و صاف می شود

* هدف کاهش نیروی uplift است. یکی از اهداف ساخت گالری ایجاد چاه گمانه در کف سد است که از طریق این چاه گمانه دوغاب سیمان در بستر سد تزریق می کنیم و این باعث می شود که نفوذپذیری خاک کم شود.

روش های کاهش زیرفشار:

1. احداث پرده تزریق:



1.5~6
فاصله افقی چاه های گمانه

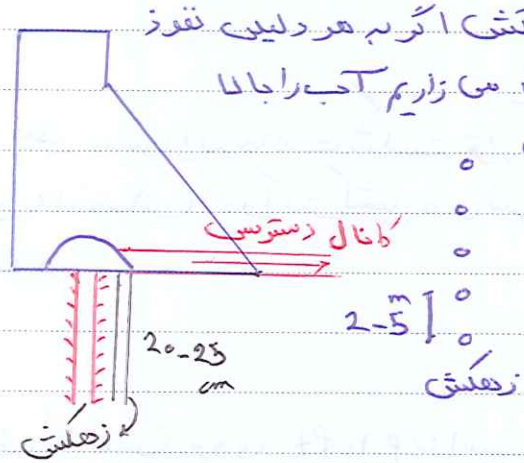
PAPCO

Subject:

Year. Month. Date. ( )

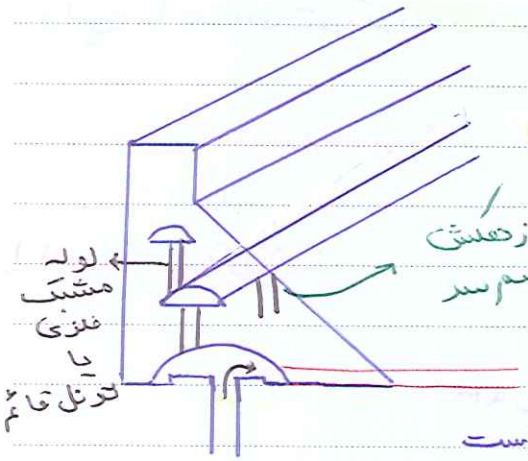
* فشار دوغاب سیمان بین ۱۰ تا ۳۰ اتمسفر است که فشار خیلی زیاد است.

* آیین نامه ها می گویند که یک چاه به قطر بیشتر از چاه گمانه در کف سرا حداث کنیم به نام چاه زهکش. آب زیر زهکش اگر به هر دلیلی نفوذ کند از زهکش بالا می رود در گالری پمپ می زاریم آب را بالا می کشد و از کانال دسترسی به سمت بیرون سرخارج می کند. عملکرد زهکش بیشتر از چاه گمانه است.




* لوله مشبک فلزی را برای این قرار می دهیم که آب نفوذ کرده به تونل های بالایی از طریق لوله ها به تونل های پایین منتقل می شود.

لوله های مشبک فلزی به قطر ۱۵ تا ۳۰ cm و در فواصل ۲ تا ۲٫۵ m عرض گالری پایین ۲ تا ۲٫۵ m و به ارتفاع حدود ۳ تا ۳٫۵ m




عرض گالری دوم ۱٫۲ تا ۲٫۵ و به ارتفاع حدود ۲ m است

شیب تونل دسترسی $\frac{1}{40}$ تا $\frac{1}{50}$ است

به نام خدا

Subject:

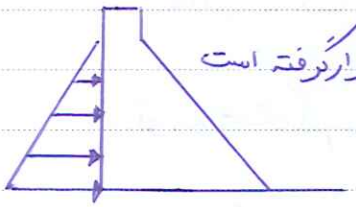
Year. 94 Month. 02 Date. 09 ( )

جلسه هشتم

- پایداری لغزش
  - روش برش اصطکاکی Shear Friction
  - روش تعادل حدی Limit Equibvrium method

- بارگذاری

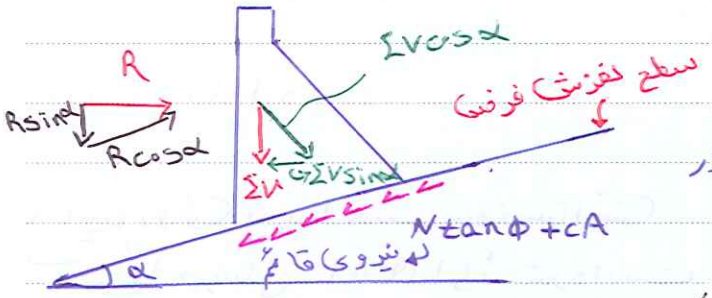
* روش برش اصطکاکی ازسال ۱۹۳۵ مورد استفاده قرارگرفته است



ضریب اطمینان $S_F = \frac{R}{\Sigma H}$

R → حداکثر نیروی مقاومی که می‌تواند بسیج شود

ΣH → حداکثر نیروی افقی موجود




* نیروهای اصطکاک و چسبندگی در مقابل لغزش مقاوم هستند

موهر کلمب $\tau = \sigma \tan\phi + cA$

$$R\cos\alpha - \Sigma V\sin\alpha = \Sigma V\cos\alpha \tan\phi + cA + R\sin\alpha\tan\phi$$

ضریب زاویه خاک

تمرین: ثابت کنید $R = \Sigma V \tan(\phi+\alpha) + \frac{cA}{\cos\alpha(1-\tan\phi\tan\alpha)}$

| محل لغزش | ترکیب بار | | |
|---|---|---|---|
| | معمول | غیرمعمول | فوق العاده |
| سطح تماس بتن-سنگ پی | 4 | 2 | 1.3 |
| | 2 | 2 | 1.7 |

U.S.B.R

Subject:
Year. Month. Date. ( )

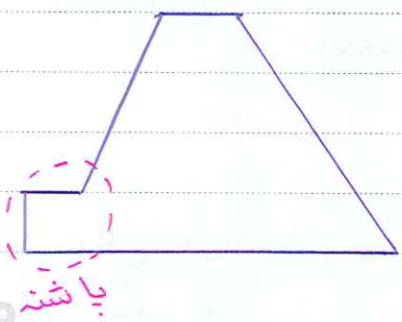
| | c (واحد مگانیوتن بر مترمربع $MN/m^2$) | tanϕ |
|---|---|---|
| بتن حجیم دست نخورده | 1.5-3.5 | 1-1.5 |
| تماس سنگ ـ بتن | 1-3 | 0.8-1.8 |
| توده مستحکم سنگ | 1-3 | 1-1.8 |
| " سنگ نامرغوب | <1 | <1 |
| درزا جدایی | 0.8-2.5 | 1-1.5 |

روش تعادل حدی

$F_s = \frac{\tau_d}{\tau}$ ← تنش مقاوم / تنش برشی موجودی

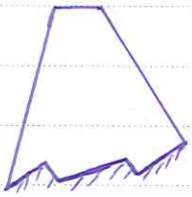
* این روش توسط هنگ مهندس ارتش آمریکا در سال ۱۹۸۱ ارائه شده است. این روش نسبت به روش برش اصطکاکی دقیق تر است.

* اگر ضریب اطمینان کم باشد برای افزایش آن یک راهکار این است که یک پاشنه در بالادست سد ایجاد کنیم تا سطح تماس بیشتر شود و وزن بالای آن کمک کند.



Subject
Date

* راه حل بعدی ساخت دندانه‌ای کف سد است. که سطح تماس افزایش می یابد و اصطکاک بیشتر می شود.



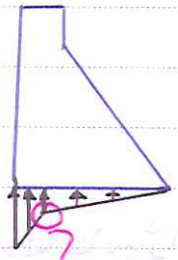
بارگذاری:

۱) بارمرده: $\gamma_c = 2403\ kg/m^3 \simeq 150\ pcf$ ↑ $lb/ft^3$ برای طرح مقدماتی

* برای طرح نهایی که از نتایج آزمایشگاهی بدست می آید.

* برای سدهای قدیمی که نیاز به بازسازی سد دارند مقداری که را با بازسازی و نمونه برداری از بتن موجود بدست می آوریم.

۲) فشار داخلی آب: در زیر فشار مطرح می شود.



* تمام آئین نامه‌ها معتقدند زیر فشار بعد از پرده تزریق باید کم شود

کاهش ۵۰٪ تا ۲۰٪

* این فشار داخلی آب در سطح مشترک سد و پی اتفاق می افتد.

* اگر در پایین دست به اندازه $h$ آب داشته باشیم این وقت گراف زیر فشار به اندازه $kh$ در پایین دست، پایین می آید.

PAPCO

۳) فشار آب (فشار هیدرواستاتیک)

$\gamma = 1000\ Kg/m^2 = 62.5\ pcf$

۴) فشار رسوب (سیلت)

* رسوب رو می‌ذاریم کنار بجای رسوب غلط می‌کنیم سیالی به وزن مخصوص 85 pcf است.

سیال جایگزین رسوب
- نیروی افقی: 85 pcf
- نیروی قائم: 120 pcf

$$F_s = K_a \frac{\gamma'_s h_s^2}{2}$$ نیروی افقی

زاویه اصطکاک داخلی رسوب $\phi_s = 30^\circ$

$$K_a = \frac{1-\sin\phi_s}{1+\sin\phi_s}$$

$h_s$ ارتفاع رسوب

$\gamma'_s = \gamma_s - \gamma_w$ وزن مخصوص غوطه‌وری رسوب

$\gamma_s = 18 \sim 20\ KN/m^3$ وزن مخصوص رسوب

* نیروی قائم همان وزن رسوب است.

* آئین نامه ژاپن فشار در کف سد، پایین‌ترین نقطه رسوب را به صورت زیر حساب می‌کند.

$$P = c_e \gamma_1 h_s$$

* ضریب اطمینان آئین نامه ژاپن کمتر است

$\gamma_1 = \gamma_s - (1-v)\gamma_w$
- $\gamma_1$: وزن مخصوص معادل
- $(1-v)\gamma_w$: تخلخل

$v = 0.13 \sim 0.95$

$c_e = 0.16 \sim 0.6$

۵) فشار ناشی از یخ: یک برآورد تقریبی از نیروی یخ به صورت زیر است:

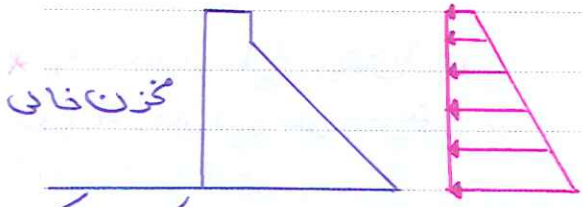
* باید بدانیم در سردترین فصل سال ارتفاع آب پشت سد چقدر است.

$F_{ice} = 145\ KN/m^2$ یا $F_{ice} = 5000\ h_t$ (ضخامت یخ) $\frac{Lb}{Ft}$

درهنگام ذوب یخ

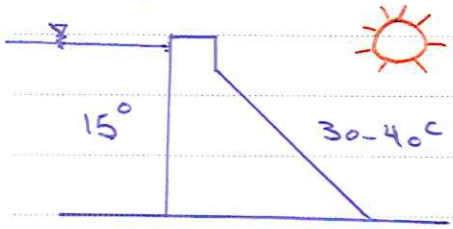
* درهنگام یخ زدگی نیرو وارد نمی شود بلکه از فشار آب کم می کند نیروی ناشی از یخ به سد وارد می شود

۶) فشار ناشی از باد: $P_w = 146\ kg/m^2 \simeq 30\ psf$




* فشار آب در حالت مخزن خالی با توجه به شکل مقابل در نظر می گیریم.
* و به صورت یکنواخت به کل سد اعمال می شود و برای مخزن خالی از پایین دست به بالادست جمع می کنیم

۷) حرارت

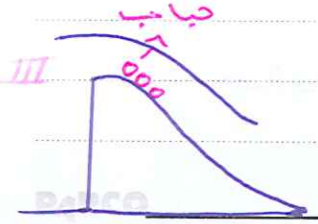



* اختلاف در جه حرارت در روی سد و پشت سد باعث بوجود آمدن تنش حرارتی می شود
* اگر در طول نداشته باشیم تنش حرارتی نداریم ولی در قسمت عرض اختلاف حرارتی آب و بتن

۸) فشار لمتر از اتمسفر:*

* این فشار فقط روی سرریزها اتفاق می افتد و تنها زمانی که سرریزها به درستی طراحی نشده باشند اتفاق می افتد.

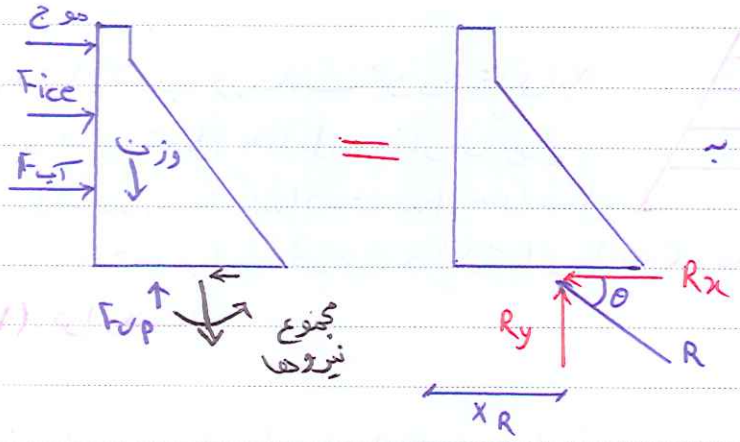
کاویتاسیون: هروقت فشار آب سمت فشار بخار نزدیک شود، آب شروع به جوشیدن می کند



* روی تراز نرمال آب بیشتر سد کن پایین تراز تراز نرمال آب پدیده کاویتاسیون رخ می‌دهد ولی هر چقدر به کف سد نزدیک شده و h بیشتر می‌شود (افزایش فشار آب) پدیده کاویتاسیون رخ نمی‌دهد.

* پدیده کاویتاسیون ایجاد حباب کرده که این حباب باعث تخریب بتن می‌شوند که اصلاً خوب نیست

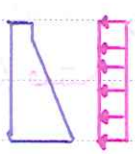
## ترکیب بارگذاری:




* $x_R$ نباید از $\frac{2}{3}h$ بیشتر باشد چون در غیر این صورت پنجه به کشش می‌افتد

## حالات بارگذاری:

I حالت ساخت سد: سدساخته شده، مخزن خالی + باربار



SF=3

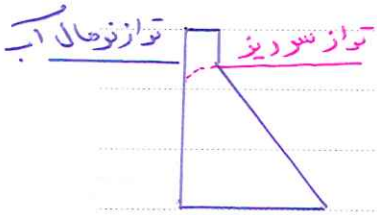
II حالت ساخت سد + زلزله: سدساخته شده، مخزن خالی + بارزلزله

III حالت بهره‌برداری: تراز آب نرمال، فشار آب + زیرفشار + بار مرده + بار زنده + یخ (در صورت وجود و در تراز منطقی) + رسوب + خاک + آب پایین دست + نیروهای حرارتی

SF=3

Subject
Date

IV : شرایط سیلاب : تراز آب بالادست و پایین دست + وزن خود + بار مرده + زیر فشار خاک + رسوب + حرارت



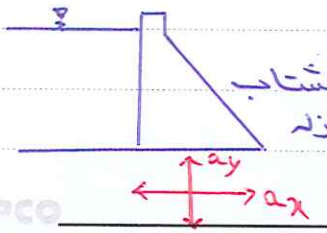

V : شرایط بهره برداری + زلزله : تمام ترکیب بارهای حالت III به اضافه زلزله می شود. ولی جهت اثر زلزله از پایین به بالا است (از بالادست به پایین دست) و وضعیت بحرانی تر می شود.

تنش مجاز :

| | | |
|---|---|---|
| I, III | $\frac{f'_c}{\sigma_{\text{فشاری موجود}}} > 3$ | $\frac{f_t}{\text{تنش کشش موجود}} > 3$ |
| IV, II, V | $\frac{f'_c}{\sigma} > 2$ | $\frac{f_t}{\text{تنش کشش موجود}} > 2$ اگر تحلیل استاتیکی معادل |
| | $\frac{f'_c}{\sigma} > 1$ | $\frac{f_t}{\sigma} > 1$ اگر تحلیل دینامیکی باشد |

* از حالت های بارگذاری با زلزله جا مونده

با زلزله :



Subject
Date

معادل استاتیکی :

$V = \alpha W$ ← ضریب زلزله

$\alpha = \frac{ABI}{R}$

| منطقه | $\alpha$ |
|---|---|
| 0 | 0 |
| 1 | 0/05 |
| 2 | 0/1 |
| 3 | 0/15 |
| 4 | 0/2 |

در آمریکا

این روش تقریبی و منسوخ شده است و فقط برای طرح اولیه مناسب است

- طیفی

- تاریخچه زمانی : آنچه که الان استفاده می شود این روش هست .

* شتاب ها توسط شتاب نگاشت ها ضبط می شود

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = -M\begin{Bmatrix} a_x \\ a_y \end{Bmatrix}$$

Subject
Date

حل به روش نیومارک $\hat{K}^{t+\Delta t} = \hat{R}^{t+\Delta t}$

$$\hat{K} = K + \frac{4}{\Delta t^2} M + \frac{2}{\Delta t} C$$

$$\hat{R}^{t+\Delta t} = -M \begin{Bmatrix} a_x \\ a_y \end{Bmatrix} + M\left(4\frac{u^t}{\Delta t^2} + 4\frac{\dot{u}^t}{\Delta t} + \ddot{u}^t\right) + C\left(2\frac{u^t}{\Delta t} + \dot{u}^t\right)$$

* در تحلیل خطی معمولاً $\Delta t = 0.02\,s$ است.

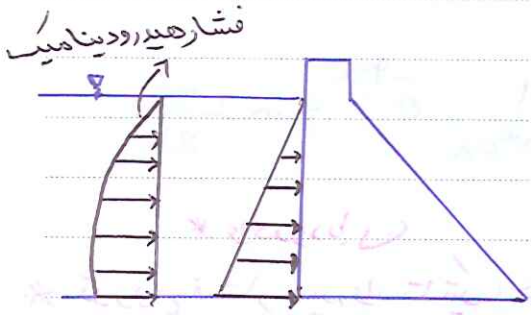
* این برای حالت مخزن خالی بود اما اگر آب داشته باشیم شرایط فرق می‌کند.

سد: $M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -M\ddot{u}_g$ ← شتاب زمین

مخزن: $\nabla^2 p = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$

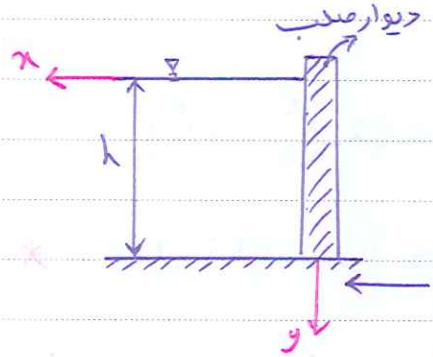
مدول بالک

سرعت موج $c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} = 1440\ m/s$




فشار هیدرودینامیک ← فشار دینامیکی ناشی از زلزله از آب به سد

* در سال ۱۹۳۳ وسترگارد این مسئله را ساده کرد و به جای سد یک دیوار صلب در نظر گرفت تا از اندرکنش آب و سازه صرف نظر کند.




$\nabla^2 p = \frac{\ddot{p}}{c^2}$

* فرض کرد فقط شتاب افقی داریم

$a_x = \alpha g \cos\left(\frac{2\pi}{T_s}\right)$

فرض وسترگارد

(اثر موج رادر نظر گرفت) فشار هیدرودینامیک

شرایط مرزی:

| | |
|---|---|
| $y=0$ | $p=0$ |
| $x\to\infty$ | $p=0$ |
| $x=0$ | $\frac{\partial p}{\partial x} = -\rho a_x$ |
| $y=h$ | $\frac{\partial p}{\partial y} = 0$ |

* چون دیوار صلب است هر شتاب و سرعت و تغییر مکانی که دیوار دارد، آب چسبیده به آن هم همین مقدار را دارد.

چون شتاب بر حسب x است

فشار دینامیکی / ضریب زوده

$$p_d = 8\rho\alpha g h \cos\frac{2\pi t}{T_s} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{n^2 c_n} e^{-q_n x} \sin\frac{n\pi y}{2h}$$

* واحد را دارد

* توزیع فشار هیدرواستاتیکی خطی است (حالتی که سد صلب باشد صحیح)

$$c_n = \sqrt{1 - \left(\frac{4h}{nCT_s}\right)^2} \qquad q_n = \frac{n\pi c_n}{2h}$$

Subject
Date

تمرین ۵: برای پروژه خودمون توزیع فشار هیدرودینامیکی رادو مقاطع $x=3h$، $x=nh$، $x=h$، $x=0$ رسم کنید.

* امکان این است که زیرا دیکال $c_n$ منفی شود و زمانی زیرا دیکال منفی نمی شود که $0$ (آنوزیرا دیکال منفی شود امکان محاسبه ی فشار هیدرودینامیکی وجود ندارد)

$$1-\left(\frac{4h}{nCT_s}\right)^2>0$$

$$T_s>\frac{4h}{nC} \xrightarrow{\text{برترین حالت}} n=1 \rightarrow T_s>\frac{4h}{C_{\to 1440}}$$

$T_s$: پریود تحریک معمولاً $0.5$، $1$ تا $2$ ثانیه است.

* دانش $p_d$ در $x=0$ و $\cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right)=1$ به سد وارد می شود

$$p_{dmax}=8\rho g\alpha h\ \frac{1}{n^2 c_n}\sin\frac{n\pi y}{2h}$$

تقریبی → سهمی $p=\frac{7}{8}\alpha\gamma\sqrt{hy}$ $\qquad \gamma=\rho g$

بیضی $p=0.707\alpha\gamma\sqrt{y(2h-y)}$

* در سال ۱۹۶۷، چوپرا نقص روش وستگارد را برطرف کرد

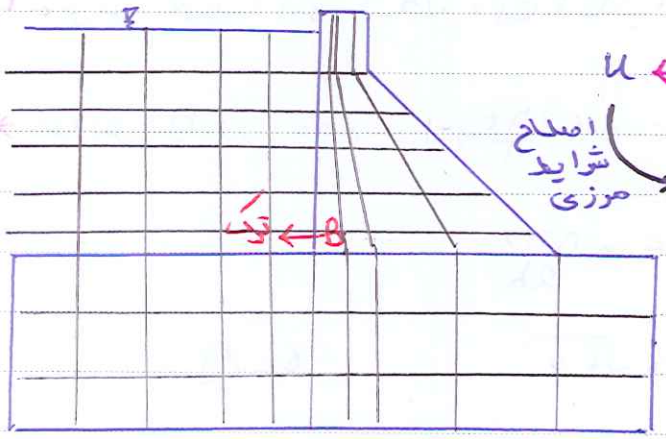
چوپرا $a_x=\alpha g e^{i\frac{2\pi}{T_s}t}$

* چون پرا، اثر انعطاف پذیری سد و بعد اثر پی و بعد اثر رسوب پشت سد را در نظر گرفت.

* در هنگام زلزله یک مقدار جذب انرژی توسط رسوب داریم.

* در سازه های طویل مثل پی ها و پل ها، شتابی که به سازه می رسد در همه جا یکسان نیست و به آن زلزله انتقالی غیر همگن گویند.

* یک زلزله دیگر داریم به اسم زلزله دورانی که مقدارش خیلی ناچیز است.




لاگرانژی - اویلری

$$M\ddot{u}+C\dot{u}+Ku=-M\ddot{u}_g+R \rightarrow u$$

اصلاح شرایط مرزی

$$\nabla^2 p=\frac{\ddot{p}}{c^2} \rightarrow p$$

لاگرانژی - لاگرانژی

$$M\ddot{u}+C\dot{u}+Ku=-M\ddot{u}_g$$

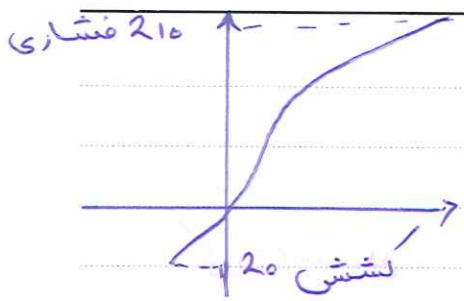
* اگر مثلاً در ثانیه ۱۵ام زلزله در پاشنه پی ترک اتفاق بیافتد، ترک روی سختی سد اثر می گذارد.

* در تحلیل غیر خطی باید در هر قسمت ترک خورده سختی المان ترک خورده را اصلاح کرد.

$$K_{\text{المان}}=\int B^T D B\, dA$$

* وقتی ترک می خورد، E به سمت صفر میل می کند در نتیجه K صفر می شود.

Subject
Date




رفتار غیرخطی
ناشی از مصالح
کشش
فشاری
تغییرشکل یا تغییرمکان‌های بزرگ

* عمده رفتار غیرخطی سدهای وزنی ناشی از کشش ضعیف بتن است. در فشار رفتار غیرخطی رخ می‌دهد اما در سدهای بتنی قوس امکان این اتفاق است.

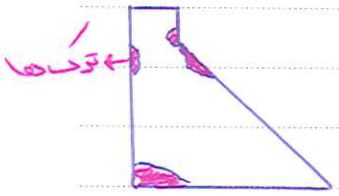
* وقتی زلزله رخ می‌دهد یا کاویتاسیون در مخزن سد اتفاق می‌افتد. در اثر زلزله مولکول های آب به فشار و کشش می‌افتد. مولکول‌ها به هم نزدیک و از هم دور می‌شوند.

$P_d + \gamma h < P_v$ ⇐ زلزله

$P_d$: فشار هیدرواستاتیک — $P_v$: فشار بخار

* وقتی $P_d$ منفی شود (کشش) ممکن است از $P_v$ کمتر شود و آب بخار شود سپس وقتی فشار وارد شود می‌ترکد که کاویتاسیون ناشی از امواج الاستیک نام دارد و در ارتفاع بالا بیشتر اتفاق می‌افتد چون $\gamma h$ کمتر است.

* اگر زلزله اتفاق ترک بیشتر در پاشنه و در مناطق تغییر شیب اتفاق می‌افتد.




* روابطی تجربی برای محاسبه پریود یک سد وجود دارد برای یک سد حدود ۱۰۰ متری در آمریکا $T = 0.13s$ توسط آقای چوپرا محاسبه شده

$$T = \frac{H^2}{2000\,B}$$

H: ارتفاع سد — B: عرض کف سد

$$K = \int B^T D B \, dA$$

$$D = \frac{E}{(1+\upsilon)(1-2\upsilon)} \begin{bmatrix} 1-\upsilon & \upsilon & 0 \\ \upsilon & 1-\upsilon & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\upsilon}{2} \end{bmatrix}$$

کرنش مسطح

$$D = \frac{E}{1-\upsilon^2} \begin{bmatrix} 1 & \upsilon & 0 \\ \upsilon & 1 & 0 \\ 0 & 1 & \frac{(1-\upsilon)}{2} \end{bmatrix}$$

تنش مسطح

* برای سدا گردرزهای ثابت را پر کنیم کرنش مسطح است چون سازه طویل است

* " " " " " " " " تنش " چون ضخامت درمقابل طول و عرض کم است.

87

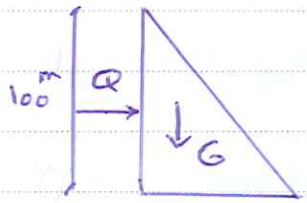
به نام خدا

Subject:

Year. 96 Month. 2 Date. 16( )

جلسه نهم

## معایب و محاسن سدهای بتن وزنی:




$$Q = \frac{\gamma h^2}{2} = 5000 ton$$

$$Sf \times Q = Gf$$

Sf: ضریب اطمینان — Q: نیروی افقی — Gf: ضریب اصطکاک

$$V = \frac{G}{\gamma_c} = \frac{Sf \cdot Q}{f} = \frac{1,25 \times 5000}{0,7} = 9000$$

V: حجم مورد نیاز — f: بستر سنگی

* برای اینکه پایداری لغزش را فراهم کنیم باید $9000 m^3$ بتن ریزی کنیم یعنی حجم بتن ریزی زیاد است. درحالیکه نمی توانیم از کل ضریب بتن (مقاومت بتن) استفاده کنیم.

## محاسن سدهای بتنی:

1. سادگی در طرح
2. سادگی در اجرا

## معایب سدهای بتنی:

1. حجم مصالح مصرفی فوق العاده زیاد
2. عدم یکپارچگی سد
3. عدم استفاده از ظرفیت کامل مقاومت مصالح

P4PCO

## روش های اصلاح سدهای بتن وزنی

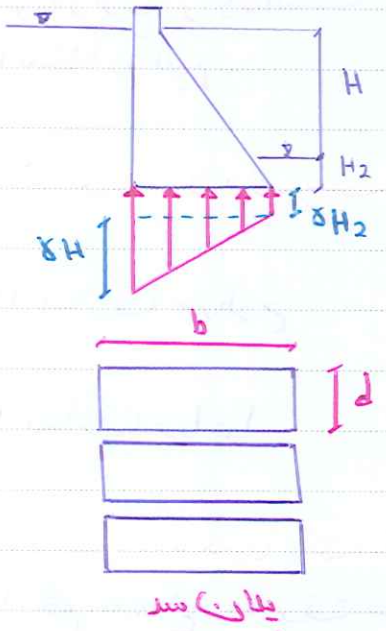
۱) کاهش زیرفشار ← پرده آبریق، زهکش، گمانه

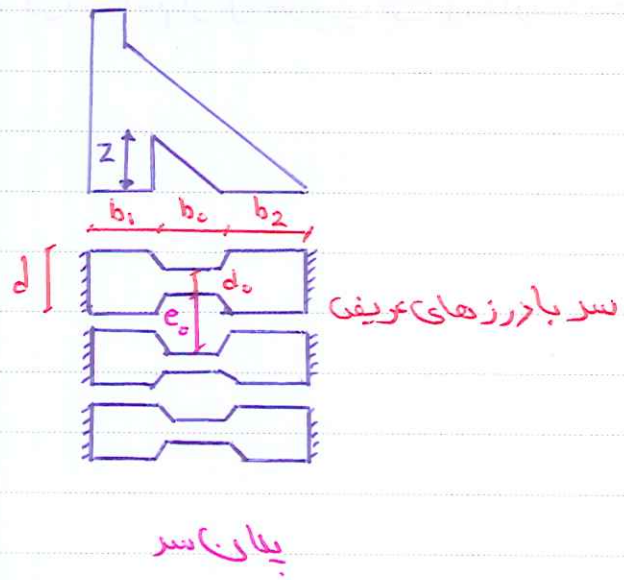
۲) حذف تنش کشش (پیش تنیدگی، پس کشیدگی)

۳) استفاده از مصالح محلی (ارزان) در ساخت سد

۴) قرار دادن سالن ماشین آلات نیروگاه در جسم سد

### کاهش زیرفشار در جسم سد




* درزهای عریض در سد قرار می دهیم که آب نفوذ کرده و به قسمت های خالی می رود و از آن جا به بعد زیرفشار نداریم و می توان از بتن کمتری استفاده کرد اما قالب بندی آن سخت است و در مجموع ارزان تر تمام می شود

Subject
Date

بدون درز عریض

$w_b = \gamma H_2 b d$

$w_f = 0/5 \gamma H [b_1 + \alpha_d (b - b_1)] d$

با درز عریض

$w'_b = \gamma H_2 b_1 d$ ← از قسمت درز عریض به بعد دیگر نیروی زیر فشار نداریم.

$w'_f = \gamma H_2 (bd - b_0 e)$

نیروی آبلیفت (سبک / سنگین)

$w'_f + w'_b$

کاهش زیرفشار در دو حالت:

① $w_f + w_b - w'_f - w'_b = 0/5 \gamma H \alpha_d (b - b_1) d + \gamma H_2 b_0 e$ = مقدار کاهش وزن

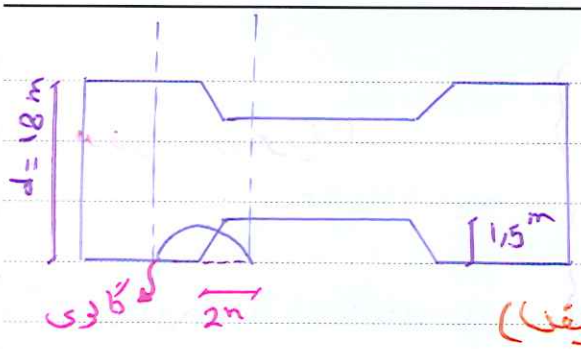
② مقدار کاهش وزن $= 0/5 \gamma_c b_0 e z$

① = ② ⇒ $z = \dfrac{0/5 \gamma H \alpha_d (b - b_1) d + \gamma H_2 b_0 e}{0/5 \gamma_c b_0 e}$

* با این روش ۱۷ تا ۱۵٪ صرفه جویی بتن داریم.

* و بین ۵ تا ۱۲٪ صرفه جویی ریالی داریم.

Subject 90
Date



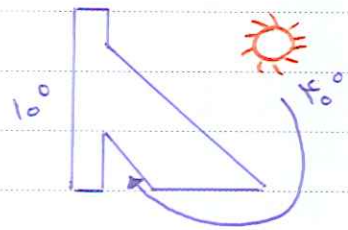

معایب این روش اجراء (سد بادرز مریف)

۱) اگر قرار باشد گالری در طول سد بسازیم این گالری‌ها در بعضی قسمت‌ها نیاز به پل دارد که اجرای آن دشوار است.

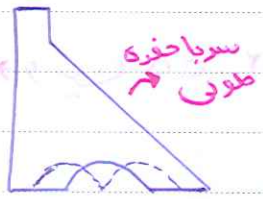
۲) هزینه متر مکعب بتن تمام شده کمی بیشتر است اما در مجموع کمتر است.

۳) تنش وارده در قسمت‌های سر بیشتر می‌شود چون هوا به داخل سد نفوذ می‌کند

۴) و همچنین تحلیل سر نیز سخت می‌شود.

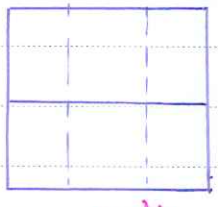



* روش در جهت کاهش زیرفشار اجرای سد به شکل زیر است
برای پیدا کردن موقعیت حفره باید جاهای مختلف را در نظر بگیریم و بهترین را انتخاب کنیم.




* اگر حفره در وسط باشد بدلیل وجود تاثیر خنثی تنش کمتر می‌شود
اما اگر حفره در سمت چپ باشد، زیرفشار کمتر ولی تنش‌ها بیشتر می‌شود

* صرفه‌جویی در بتن ۱۰٪ است.



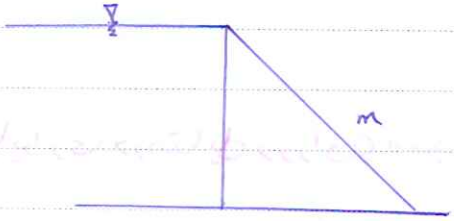
Subject
Date

## روش پیش تنیدگی و پس تنیدگی

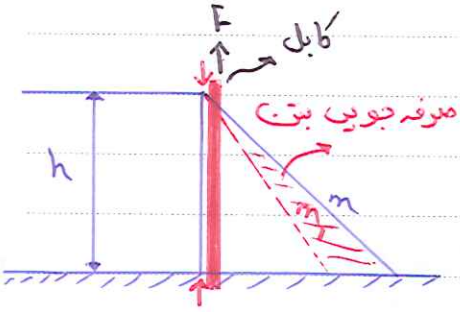
* تاریخچه این روش به ۱۹۳۴ برمی‌گردد

* یک روش ابتدایی اجرای یک لایه خاک روی سطح پایین دست و افزایش ارتفاع سد است. کابل هایی در داخل سد قرار دادند که کشیدند و ارتفاع سد زیاد شد.

* در سد شرفه در الجزایر کابل هایی را در سد قرار دادند که تنش فشاری ایجاد کند که در هنگام کشش خنثی شود.

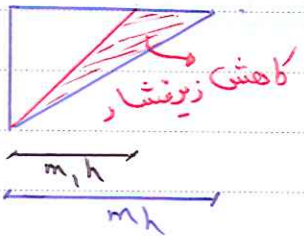



* اگر سطح مقطع را از m به $m_1$ کاهش دهیم چون سطح مقطع کم می شود در پاشنه کشش رخ می دهد. می توانیم کابل هایی قرار دهیم تا تنش فشاری ایجاد کند.




* مجم بتن ریزی کم می شود به همان نسبت زیر فشار کاهش می یابد

* برای قرار دادن کابل ها حفره‌ای در زمین ایجاد کرده و با بتن پر می کنیم و کابل را در آن قرار می دهیم و با قرار دادن کابل و تنظیم پیچها یک نیروی کشش در میگرد و یک نیروی فشاری در بتن به وجود می آید.



Subject
Date

۱ پایداری لغزش:

$$\frac{\gamma h^2}{2} = f\left(\gamma_c \frac{m_1 h^2}{2} - \alpha \frac{m_1 h^2}{2} + A_c\right)$$

ضریب اصطکاک

* پایه سد در مقابل لغزش هم قوی باشد

$A_c$: نیرویی که در کابل ایجاد کردیم تا بتوانیم پایداری لغزش را کنترل کنیم.

$$A_c \geq 0{,}5h^2\left[\frac{\gamma}{f} - (\gamma_c - \alpha\gamma)m_1\right] \Rightarrow$$

نیروی مورد نیاز کابل برای تامین پایداری در مقابل لغزش

۲ پایداری در مقابل دوران نسبت به پنجه:

$$M_{\text{محرک}} = \underbrace{\frac{\gamma h}{2}}_{m\ \text{آب}} \frac{h}{3} + \alpha \underbrace{\frac{\gamma m_1^2 h^3}{3}}_{m\ \text{زیرفشار}}$$

(آب uplift)

$$M_{\text{مقاوم}} = \underbrace{\frac{\gamma_c m_1^2 h^3}{3}}_{\text{نیروی وزن}} + \underbrace{A_0 m_1 h}_{\text{نیروی کابل}}$$

(وزن و کابل)

$A_0$: نیروی مورد نیاز در کابل برای جلوگیری از دوران

$$A_0 \geq \frac{h^2}{6m_1}\left[3 - 2m_1^2(\gamma_c - \alpha\gamma)\right]$$

P4PCO

Subject 93
Date

## ۳ شرط عدم کشش در پاشنه

$$\sigma = \frac{V}{A} \pm \frac{6M}{b^2}$$

نیروی قائم $V = \frac{1}{2} m_1 h^2 (\gamma_c - \alpha\gamma) + A_H$

$A_H$ نیروی مورد نیاز در کابل برای جلوگیری از کشش

$$M = \frac{h^3}{6}\left[\gamma - \frac{m_1^2}{2}(\gamma_c - \alpha\gamma)\right] - A_H \frac{m_1 h}{2}$$

* چون نمی خواهیم در پاشنه کشش اتفاق بیافتد به خاطر همین از منفی استفاده می کنیم

$$\sigma' = \frac{V}{m_1 h} - \frac{6M}{m_1^2 h^2} = \frac{h}{2}(\gamma_c - \alpha\gamma) + \frac{AH}{m_1 H} - \frac{h}{m_1^2}\left[\gamma - \frac{m_1^2}{2}(\gamma_c - \alpha\gamma)\right] + \frac{3A_H}{m_1 h}$$

$$\sigma' = h(\gamma_c - \alpha\gamma) + \frac{4A_H}{m_1 h} - \frac{\gamma h}{m_1^2}$$

$$\sigma' = 0 \longrightarrow A_H = \frac{h^2}{4}\left[\frac{\gamma}{m_1} - m_1(\gamma_c - \alpha\gamma)\right]$$

$$\Gamma = max(A_c, A_0, A_H)$$

PdPCO

به نام خدا

Subject

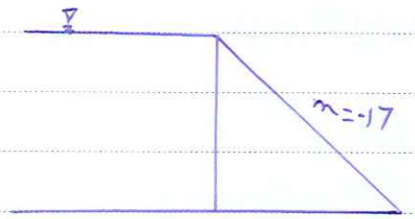
Year 94 Month 2 Date 18

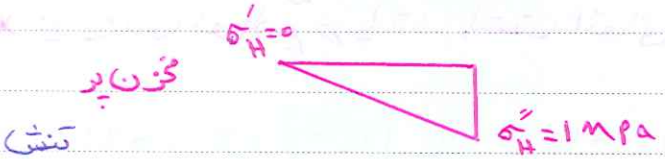
جلسه دهم

مثال: یک سد بتنی وزنی قائم الزاویه داریم که شیب $m=0.7$ است

$h=50^m$ $\quad \gamma_c=25\ KN/m^3$ $\quad \gamma=10\ KN/m^3$ $\quad \alpha=0.5$

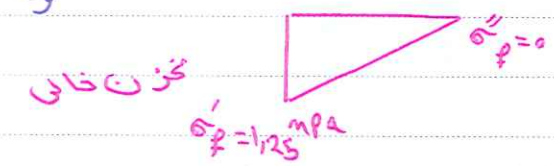
اگر شیب را به 0.5 کاهش دهیم نیروی مورد نیاز در کابل چقدر است؟



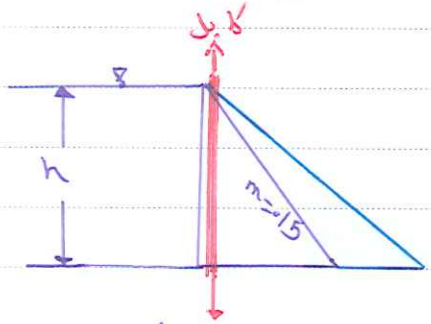




* هیچ مشکلی در تنش $\sigma_y$ نه در بالادست و نه در پایین دست وجود ندارد

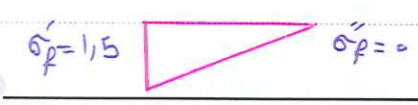
تنش $\sigma_y$




* حال اگر m را به 0.5 برسانیم.



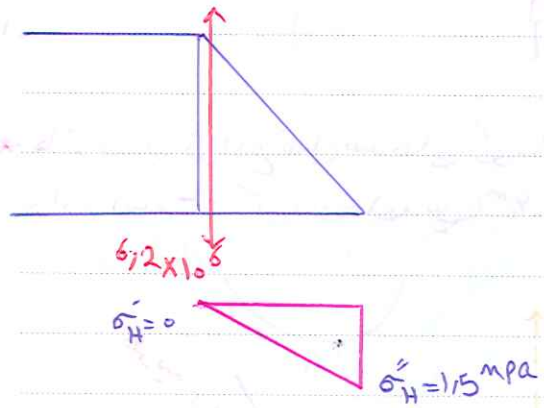

* تنش های $\sigma_y$



* به کمک سه رابطه ی قبل نیروی موردنیاز کابل را محاسبه می کنیم

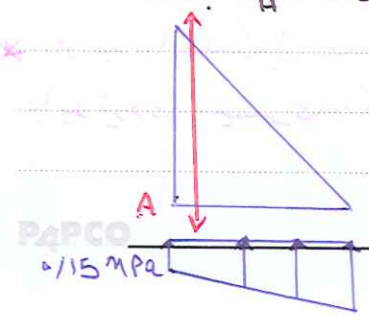
$$A_H = 6{,}2\ MN = 6{,}2 \times 10^6\ N = 620\ ton$$

* برای شیب $m_1 = 0{,}5$ اگر تنش ها را حساب کنیم.




* چون در پایین دست کمی آب داریم می توان از کشش پنجه صرفه نظر کرد اما اگر نخواهیم صرف نظر کنیم می توان نیروی کابل را مرحله‌ای اعمال کرد ابتدا $300\ ton$ وارد کرد هنگامی که سر ۳۰-۴۰٪ آبگیری شد سپس کابل را بکشیم و $620\ ton$ را اعمال کنیم تا کشش به وجود نیاید.

تمرین: A چقدر باشد تا در پاشنه مخزن پر $\sigma'_H = -1{,}15\ MPa$ باشد.



Subject
Date

## چقدر می‌توان شیب را در پس تنیده کردن کم کرد؟

مزایا:
1. برای صرفه جویی کردن در بتن
2. کاهش زیر فشار

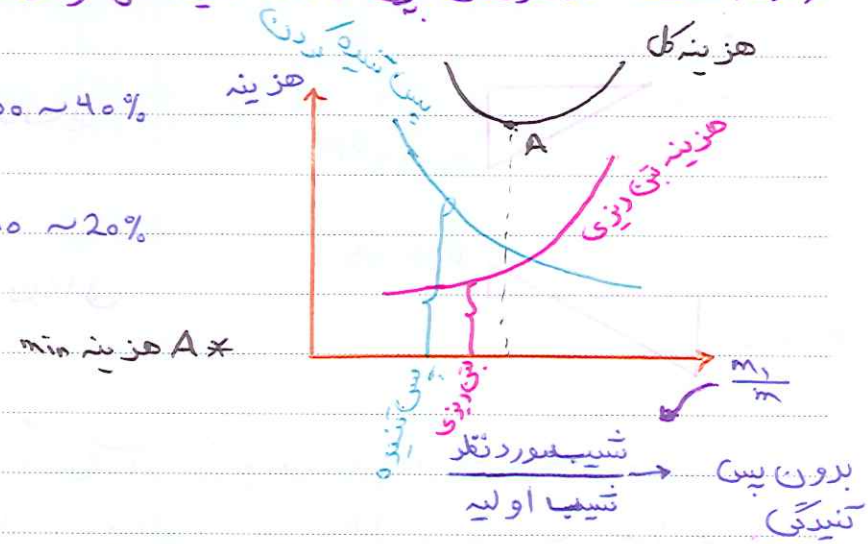
معایب:
1. خرید و نصب کابل ها

هزینه کارهای بتن = $f(h^2)$ تابعی از توان 2 ارتفاع
هزینه پس تنیده کردن = $f(h^3)$ ~ ~ ~ ~ 3 ~ ~ ~ ~

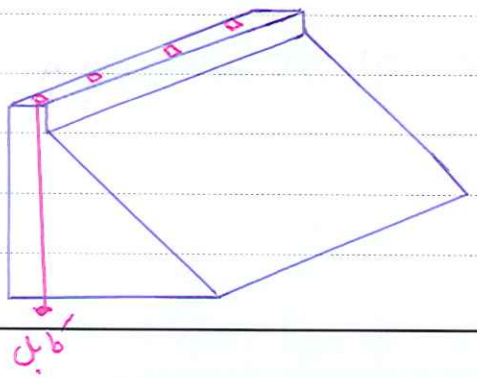
* با توجه به توابع قبل سدهای کوتاه برای پس تنیده کردن مناسب‌ترند. تجربه نشان داده است که سدهای بین $50-60\ m^3$ ایده آل و سدهای بین $50-60\ m^3$ خوب است

* صرفه جویی بتن → 30 ~ 40%

* کاهش هزینه → 10 ~ 20%




* مجموع هزینه بتن ریزی و پس تنیده کردن هزینه کل می شود. جایی بهترین است که هزینه کل کمترین یا مینیمم باشد بنابراین می توان مقدار $m_1$ را از روی نمودار از محل مینیمم هزینه کل پیدا کرد.

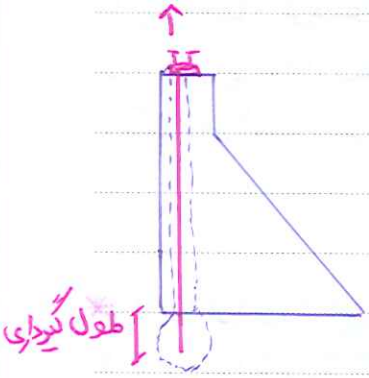



* هر چه فاصله کابل ها بیشتر باشد باید نیروی بیشتری به کابل اعمال شود

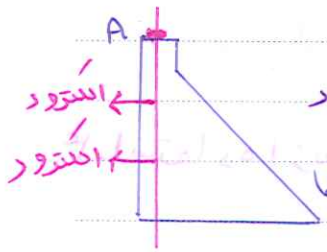
* و نیروی بیشتر در کابل باعث تمرکز تنش می شود و ممکن است بتن نیروی فشاری را نتواند تحمل کند. می توان دو ردیف کابل استفاده کرد اما این اتفاق به ندرت می افتد کاری که بیشتر صورت می گیرد کم کردن فاصله بین کابل هاست.

* عمرتاً از پس تنیدگی برای بهسازی سد موجود استفاده می شود و در بعضی موارد برای افزایش ارتفاع سد استفاده شده است.

* برای اجرا، گمانه ای در سد ایجاد می کنند مقداری در سنگ بستر پایین رفتند که به اندازه طول گیرداری باشد سپس با فشار در گمانه بتن را تزریق می کنند پس از گرفتن بتن صفحه ای در بالای سد قرار داده و پیچ هایی روی آن قرار دارند برای محکم کردن کابل ها پیچ ها را محکم کرد.

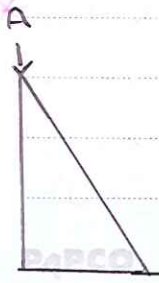



* روش دیگر این است که کابل را گرم کرده و با گذاشتن الکترود در کابل و سپس بالای کابل را بسته و کابل پس از سرد شدن پس تنیده می شود از مشکلات این روش گرم نشدن تمام مناطق کابل به یک اندازه و نحوه گرم کردن کابل است




* برای محاسبه این روش می توان از المانیسیته استفاده کرد با استفاده از گره بینهایت واعمال نیروی A در سرگره

* بهتر است کابل وگالری را در جایی قرار دهیم که کابل ها از گالری ها عبور نکنند



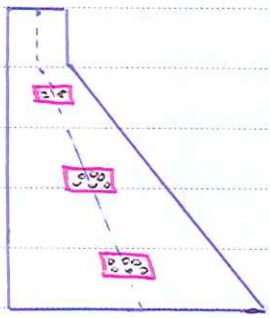

تمرین: نیروی A را محاسبه کنیم با تئوری المانیسیته تنش ها را بدست آوردیم. برای ∠ حالت داریم باید α را صفر کنیم.

## روش های کاهش حجم بتن ریزی

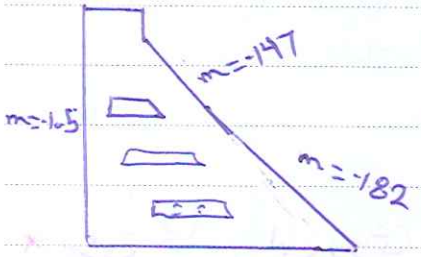
۱- کاهش زیرفشار: * درزهای عریض
* حفره طولی

۲- پس تنیده کردن

۳- استفاده از مصالح ارزان تر (گل)

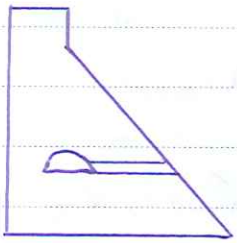


* می توان در اطراف تارخنش با مصالح ارزان قیمت پرکرد حتی بدون بتن ریزی. بهتر است بازوایای گردگوشه باشد نه مستطیل این اتفاق در سدزیر با ارتفاع $47^m$ رخ داده که در سه منطقه از سنگ درشت دانه کرده اند




* اجرا کردن این روش سخت است ونیاز به ۲ نوع ماشین آلات دارد و همچنین ناهمگن است و تحلیل آن دشوار است.

۴- استفاده از نیروگاه در جسم سد



* در این روش نیروگاه ارتعاش خود را به جسم سد اعمال می کند و سد همیشه تحت ارتعاش است و باعث ایجاد نیروی پس ماند در سد می شود وهمچنین نیاز به تونل دسترسی فقط برای نیروگاه دارد

## ۵- استفاده از بتن ارزان تر

* چون ما از تمام توان بتن استفاده نمی کنیم می توان عیار سیمان را کم کرد و بتن را ارزان تر کرد و همچنین تنش های حرارتی هم کاهش می یابد.

* نوعی بتن در بازار وجود دارد به نام Rcc که بتن با عیار حدود ۱۰۰ است که اسلامپ آن حدود صفر است و به لایه هایی حدود ۲۰ تا ۳۰ سانتی متر ریخته می شود و توسط گریدر پخش می شود و توسط غلتک کوبیده می شود و به همین ترتیب لایه به لایه ریخته می شود. (دقیقاً شبیه سدهای خاکی است) (بتن مشابه بتن هگر)

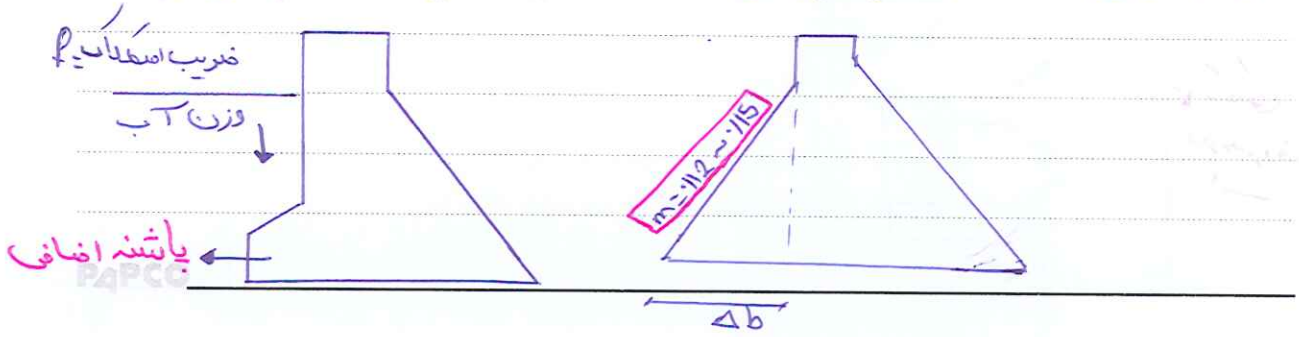
Rcc → Rouler compacted concrete

* از سال ۱۹۵۰ برای سد بتنی متوقف شد اما در سال ۱۹۸۰ با ابزاری این روش توسط ژاپنی ها این روش در جهان گسترش یافت.

* در قسمت گالری ها باید بتن را مسلح کرد و می توان کمی بتن قوی تر ریخت

* در بعضی موارد f کم است مثلاً ۰/۶ و لغزش بیشتر در خطر است برای این که لازم نباشد ابعاد سد را بیشتر کنیم پاشنه ای در انتهای سد قرار می دهیم تا آب بالای آن هم کمک به لغزش کند

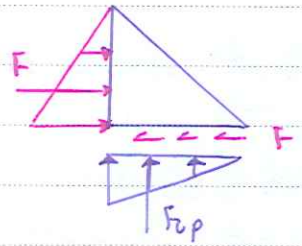
* یا می توان Δb را با شیب بیشتری ادامه داد تا سطح کف سد افزایش یابد



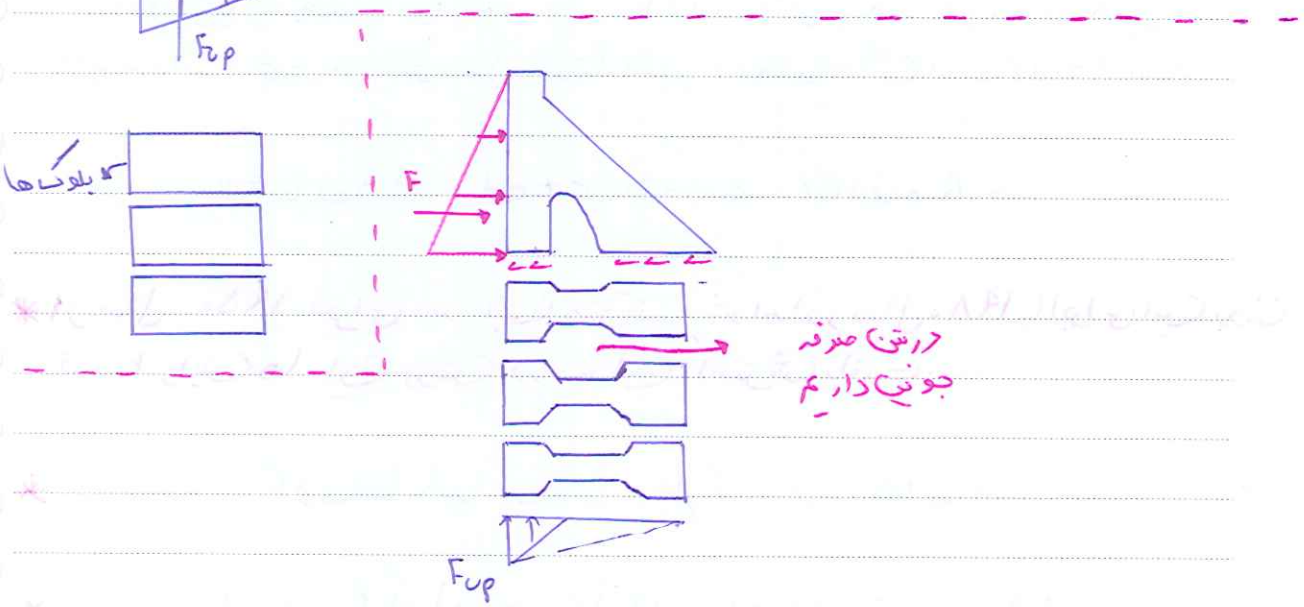
Subject 100
Date

انواع سد:

* سد پشت بندار
* سد وزنی
* سد قوسی

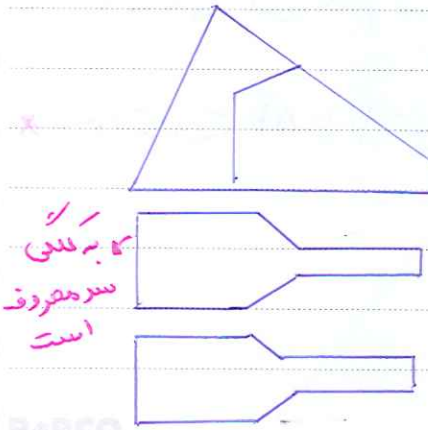


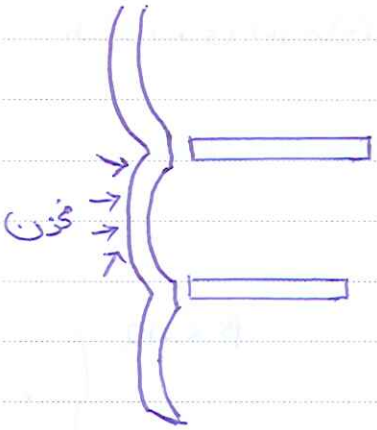

* برای سد بتنی وزنی چنین کار این انجام می دادیم.




* سدهای پشت بندار توسعه روش های قبلی است.

* در این روش نیروی F را علاوه بر توزیع افقی به طرفین هم توزیع می کنیم.






* باز هم برای صرفه جویی در بتن می توان کلگی ها را به صورت قوس ایجاد کرد چون قوس ها بهترین انتقال نیرو را دارند در این روش ها علاوه بر بتن قوی تر نیاز به فولاد تیز هست در واقع حجم بتن ریزی کم شده است

*در سر بیشت بند دار اما متر مکعب بتن با قیمت بیشتری اجرا می شود اما باز هم در مجموع سد ارزان تر می شود

* چون قالب بندی سخت تر، فولاد استفاده می شود، بتن با عیار بیشتر است قیمت تمام شده، متر مکعب بتن بیشتر است.

سد های قوس:

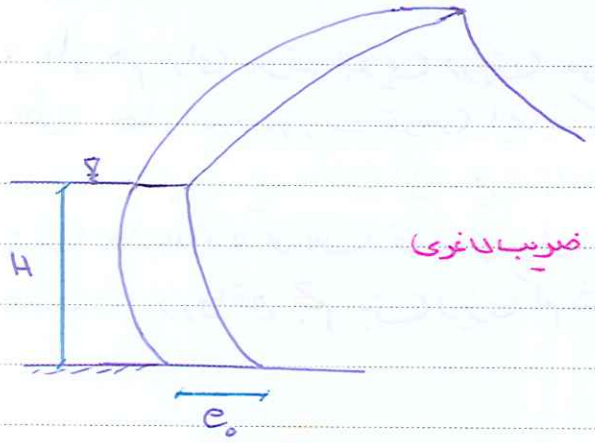
خواص بتن در سدهای قوس: مقاومت مشاری بتن $f'_c$ باید بین ۲۱ تا ۳۵ MPa می تواند باشد. مقاومت کشش بین ۵٪ تا ۷٪ $f'_c$ است و ضریب چسبندگی $c = \%10\, f'_c$ و $\tan\phi = 1$ و مدول الاستیسیته دینامیک $E_d$ و مدول الاستیسیته استاتیک $E_s$ که $E_d = 25\,GPa$ و $E_s = 21\,GPa$ و ضریب انبساط حرارتی $\alpha = 9 \times 10^{-6}\,1/^\circ C$ و وزن مخصوص بتن $\gamma_c = 24\,KN/m^3 = 150\,lb/ft^3$

* اگر رو نمونه ای استوانه ای یک نیروی دینامیک و یک نیروی استاتیک اعمال کنیم نمونه زیر بار استاتیک تغییر مکان بیشتری می پذیرد چون فرصت جا بجایی مولکول ها در خود نمونه وجود دارد.

Subject: 102

Year. Month. Date. ( )

طبقه بندی سدهای بتنی قوسی




ضریب لاغری $\beta = \frac{e_0}{H}$

* $\beta < 0.12$ سد لاغر خازک
* $0.12 < \beta < 0.135$ سد ضخیم یا جاق
* $\beta \geq 0.135$ قوسی - وزنی

* برای سدهای وزنی $\beta = \frac{V_0 \sim V_5}{100} \leftarrow 0.7 \sim 0.75 \leftarrow$ در گروه سدهای قوسی وزنی است.

* ما علاقه مندیم در $\beta > 0.135$ قرار بگیرد.

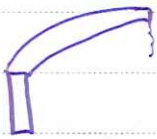
* سد Tolla که ضریب لاغری آن $\beta = 0.023 \sim 0.048$ است.

* ~ واپونت ~ ~ ~ ~ ~ $\beta = 0.084$ ~ .

* ~ گاژ ~ ~ ~ ~ ~ $\beta = \frac{1.8}{38} = 0.047$ ~ .

* ~ شهیرجان ~ ~ ~ ~ ~ $\beta = \frac{26}{138} = 0.18$ ~ .

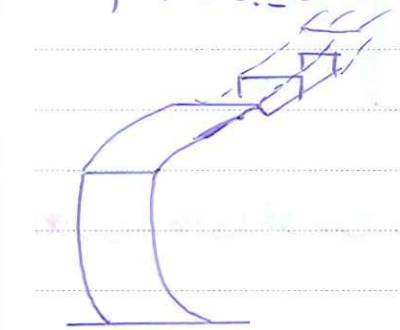
قوس
- کوتاه ← $H < 40^m$
- متوسط ← $40 < H < 100^m$
- بلند ← $H > 100^m$

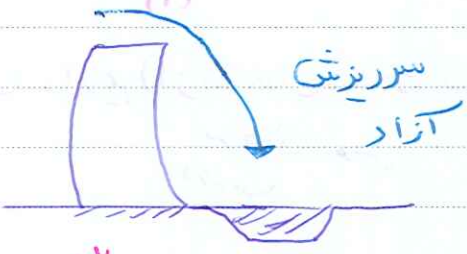


قوس
- تک‌قوس ← فقط در پلان دارای قوس است
- دوقوس ← هم در پلان هم در ارتفاع قوس دارد.

* مکانیزم باربری در سدهای قوس بسیار بهتر از تک‌قوس است.

سدهای قوس
- غیرسرریزشونده ۱) non over flow Dam ← سرریزپذیری جسم سداست
- سرریزشونده ۲) over flow Dam



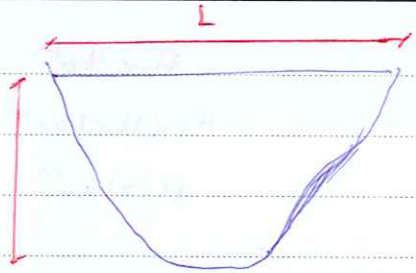

* در سرریزش آزاد آب مدام به پایین می‌ریزد باعث خوردگی می‌شود و ارتعاش به جسم سد منتقل می‌شود برای این کار در پایین دست یک حوضچه آرامش به ارتفاع حدود نه متر ایجاد می‌کنند که در آن آب ساکن وجود دارد در سرریز سد و حوضچه آرامش قرار دارد.

P4PCO

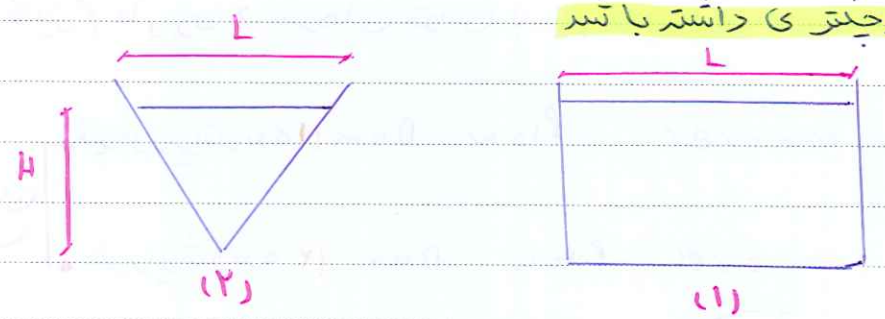
Subject: 104

Year. Month. Date. ( )

$n = \frac{L}{H}$

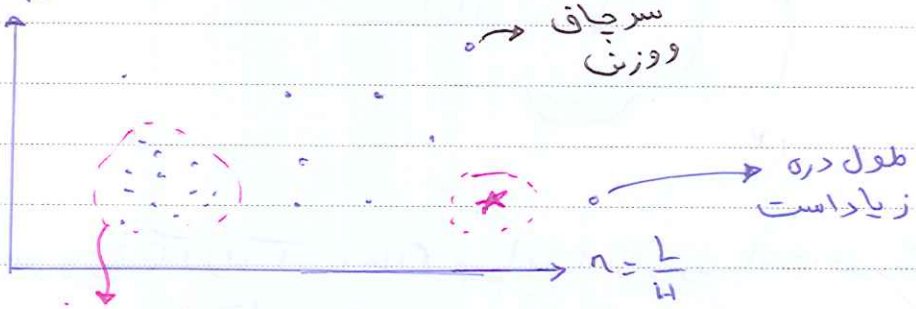



* n شاخص خوبی نیست چون در دو حالت زیر $\frac{L}{H}$ یکسان است اما دو عملکرد مناسب‌تری وجود دارد ← از این دره‌ها برای سدهای قوس دره مثلثی مناسب‌تر است و از بین دره‌های مثلثی دره‌ای مناسب‌تر است که n کوچکتری داشته باشد



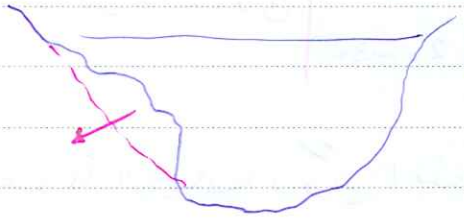

* در سدهای قوسی داریم (از سدهای ساخته شده در دنیا)

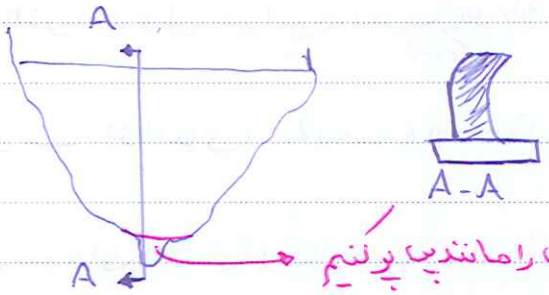
$\beta = \frac{e_0}{H}$



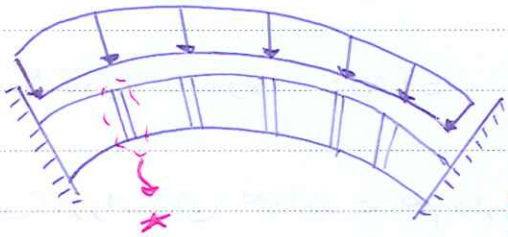

* در جداول $\beta$ و n هم داریم اما در سمت راست و پایین ★ نقاط کمی داریم یا اصلاً نداریم چون هر چه طول سد زیاد شود به اجبار عرض آن هم افزایش می‌یابد

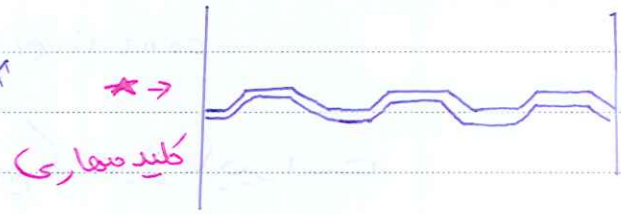
* اگر در ۵ به صورت رو به رو باشد پیشنهاد می شود قسمت برآمده را برداریم و دره‌ای هموار ایجاد کنیم تا تمرکز تنش کاهش یابد





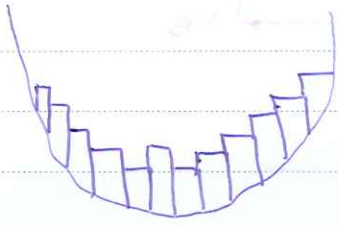

* سرهای قوس شبیه سرهای وزنی ساخته می‌شوند.






* در سرهای قوس که به صورت بلوک بلوک ساخته می شوند باید درزها را حتماً پر کنیم تا فشار به جداره ها برود و ما عملکرد قوس را داشته باشیم و بی تنش وارتی ایجاد می شود که در سرهای قوس تنش وارتی بسیار مهم است.

* روش های ساخت آن مانند سروزنی به صورت بلوک ها در ارتفاع ساخته می‌شود.



* حتی الامکان تزریق بین بلوک ها در زمان سرد سال باشد تا تنش وارتی کمتر باشد و در تابستان به کشش نیافتد

PdPCO

Subject: 106

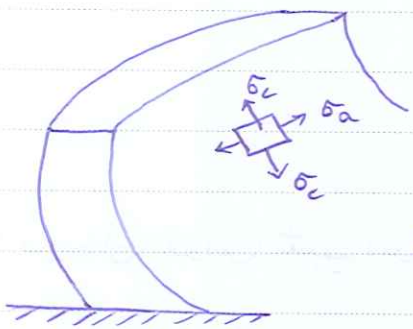
Year. Month. Date. ( )

* حداکثر دانه‌بندی { وزنی 50cm / قوسی 20~30cm }

* معمولاً از سیمان دیرگیر استفاده می‌شود تا تنش حرارتی کنترل شود

* به‌طور معمول در این سدها $P'_c = 250 - 350 \frac{kg}{cm^2}$ است

* ضریب پواسون $\nu = 0.16 \sim 0.2$ است.



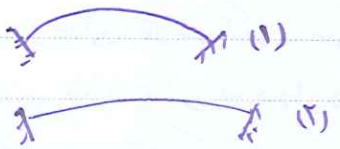

* در سدهای قوسی رفتار، رفتار سه‌بعدی است

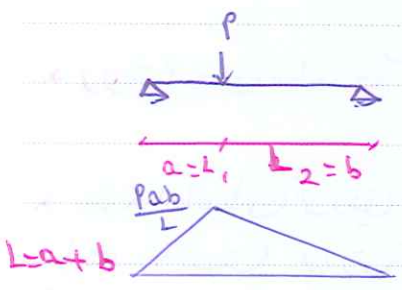
$\sigma_a$ = Arch stress = تنش قوسی

$\sigma_c$ = contiliver stress تنش کنسولی

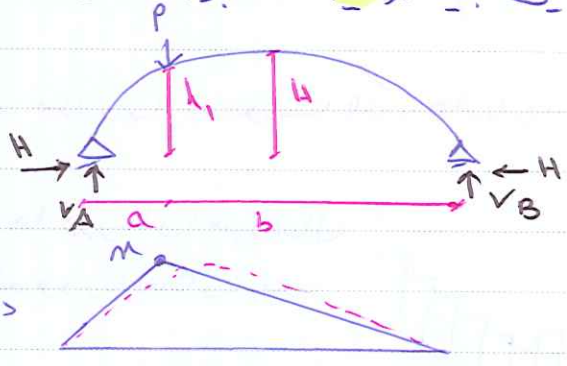
* تنش در راستای ضخامت هم داریم که بسیار ناچیز است.

* سدهای قوسی و سدهای دانه را باید کنترل کرد که هر چه قوس بیشتر باشد (۱) خطرناک‌تر است و همچنین باید در تکیه‌گاه‌ها بررسی شود.



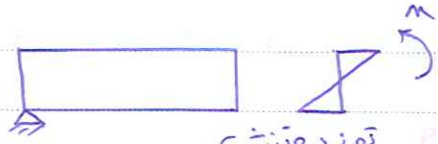




دیاگرام لنگر

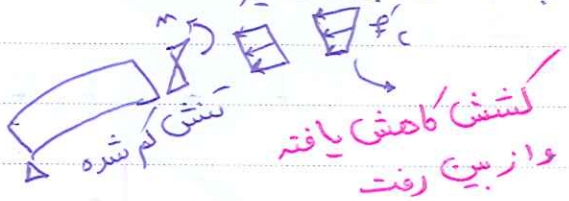



$$M = \frac{Pab}{L} - Hh_1$$

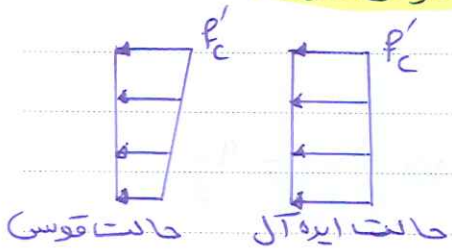
Subject
Date

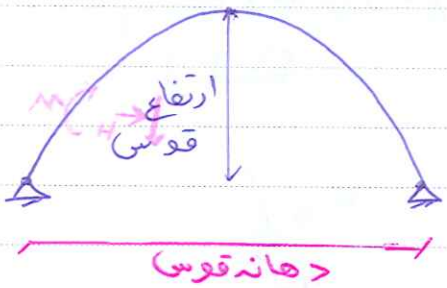


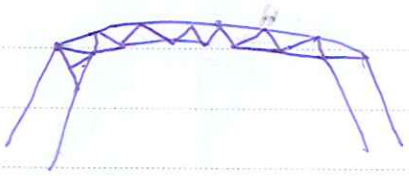

هر چه $h$ را بیشتر کنیم کمتر می‌شود

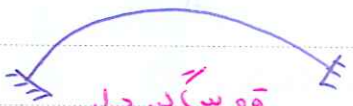



* به همین دلیل سازه‌های قوس برای مصالح بتن‌آرمه بهتر است چون به کشش نمی‌افتد و همچنین به حالت ایده‌آل نزدیک‌تر می‌شود



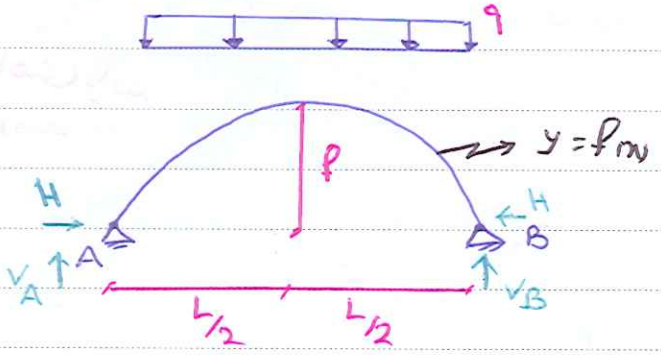



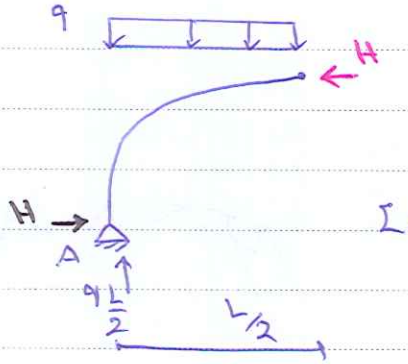



*

Subject 10 8
Date

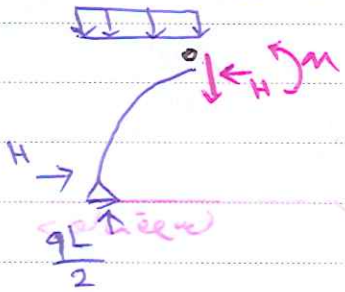
* آیا می توان قوس طراحی کرد که کشش نداشته باشد؟ (بنابر نگرانی باشیم)




$$V_A = V_B = \frac{qL}{2}$$

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow H \times f = \frac{qL}{2} \times \frac{L}{4} \Rightarrow H = \frac{qL^2}{8f}$$




$$\sum M_o = 0 \Rightarrow \frac{qL}{2}x - qx\frac{x}{2} - \frac{qL^2}{8f}y = 0$$

$$\Rightarrow y = \frac{8f(Lx - x^2)}{4L^2}$$

$$y = \frac{4f(Lx - x^2)}{L^2}$$

سهمی درجه ۲

* یعنی با فرم دهی مناسب قوس ها می توان کاری کرد که لنگر صفر شود و یا کمتر شود که بهینه سازی شود.

* اما مشکل ابرای این نوع توابع در این است که نمی توان در وسط مفصل ایجاد کرد و همچنین تنوع بارگذاری داریم و فقط بار آب نیست بلکه زلزله و رسوبات و ...

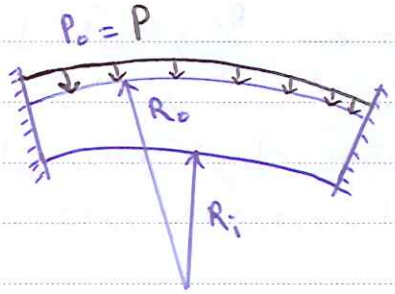
به نام خدا

Subject: 109

Year. 94 Month. 02 Date 30 ( )

# جلسه یازدهم

## تنش در حلقه‌های ضخیم:




$$\sigma_r = \frac{P\left(R_o^2 + \frac{R_o^2 R_i^2}{R^2}\right)}{R_o^2 - R_i^2} \qquad R_i < R < R_o$$

در تئوری الاستیسیته می‌توان ثابت کرد به کمک تابع تنش ایری

$$t = R_o - R_i$$

$$\sigma_{max} = \frac{P\left(R_o^2 + \frac{R_o^2 R_i^2}{R_i^2}\right)}{R_o^2 - R_i^2} = \frac{2PR_o^2}{R_o^2 - R_i^2} = \frac{2PR_o^2}{\underbrace{(R_o - R_i)}_{t \text{ ضخامت}}(R_o + R_i)}$$

حالت خاص

$$\sigma_{max} = \frac{2R_o^2 P}{t(R_o + R_i)} \xrightarrow{P=\gamma h} \sigma_{max} = \frac{2\gamma h R_o^2}{t(R_o + R_i)} \quad (2) \qquad R_m \gg t \text{ شعاع متوسط}$$

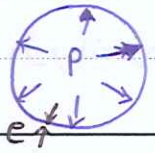
* $R_i \simeq R_o \simeq R_m$ ← در حالت خاص ← یعنی قوس نازک یا جدار نازک شود

* $R_m$ شعاع میان تار یا شعاع متوسط است.

$$\sigma = \frac{2\gamma h R_m^2}{t\,2R_m} = \frac{\gamma h R_m}{t} \quad (1) \Rightarrow \text{تنش در همه جا تقریباً یکسان است}$$

در دوره کارشناسی در لوله‌ها

$$\sigma = \frac{Pr}{e} \Leftarrow$$




P4PCO

www.Etcivil.com

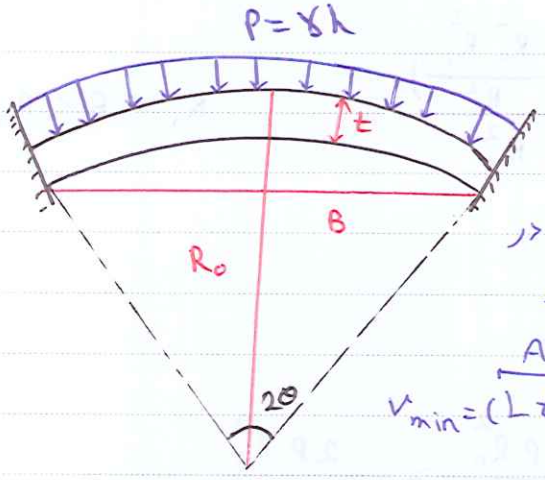
www.Etcivil.com

Subject: 11o

Year. Month. Date. ( )

مثال: اگر $\frac{R_0}{t} \geq 25$ ← معادله ① نسبت به ② ۲٪ خطا دارد.

* این روابط که برای تنش بدست آمده برای تیر با ابعاد و ضخامت مشخص است در حالیه در سد ارتفاع زیاد است که باعث خطا می شود




حجم بتن ریزی در واحد ارتفاع: $V = L \cdot t \cdot h_1 = L \cdot t \times 1$

($h_1$: ارتفاع قوس، $L$: طول قوس، $t$: ضخامت قوس)

$$V_{min} = (Lt)_{min} \Rightarrow A = Lt = 2\theta R_0 * \frac{P R_0}{\sigma}$$

$$R_0 = \frac{B}{2\sin\theta} \qquad \sigma = \frac{P R_0}{t} \qquad L = 2\theta R_0$$

* B از روی نقشه های توپوگرافی معلوم است پس بهتر است $R_0$ را برحسب B بنویسیم.

$$A = \frac{B^2 P \theta}{2\sigma \sin^2\theta}$$

σ : تنش مجاز بتن است.

P=γh : فشار است.

* برای اینکه A مینیمم شود باید مشتق نسبت به θ صفر شود

$$\frac{dA}{d\theta} = \frac{d\left(\frac{B^2 P \theta}{2\sigma \sin^2\theta}\right)}{d\theta} = 0 \qquad \frac{d}{d\theta}\left(\frac{\theta}{\sin^2\theta}\right) = 0$$

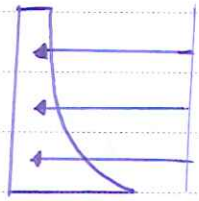
$2\theta = \tan\theta \longrightarrow 2\theta = 133^\circ 34'$

* 2θ زاویه ای مرزی است اگر به اندازه $133^\circ 34'$ باشد حجم بتن ریزی حداقل می شود.

Subject
Date

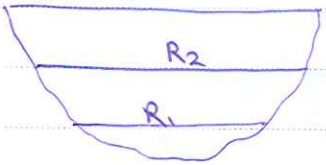
## انواع سدهای قوسی در ارتفاع:

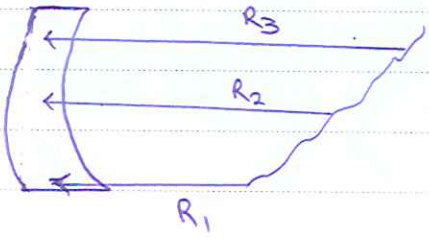
### ۱ سد قوسی با شعاع ثابت:



* از پایین تا بالا شعاع انحنا ثابت باشد.
* در ارتفاع قوس ندارد و ضخامت متغیر است و شبیه استوانه است و منسوخ شده است و در این سدها ثابت است ولی بهینه نیست.

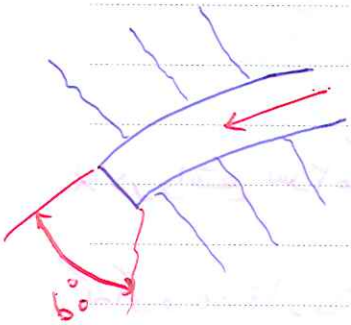
### ۲ سد قوسی با زاویه مرکزی ثابت:

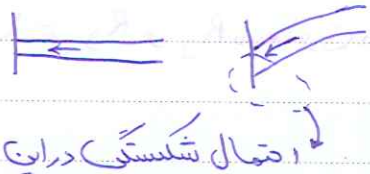



* در پایین عرض B کمتر است و به همین ترتیب $R_0$ کمتر می شود. مرز قوس روی یک منحنی است.
* واقعیت این است که همیشه اعمال زاویه مرکزی $133^\circ 34'$ امکان پذیر نیست

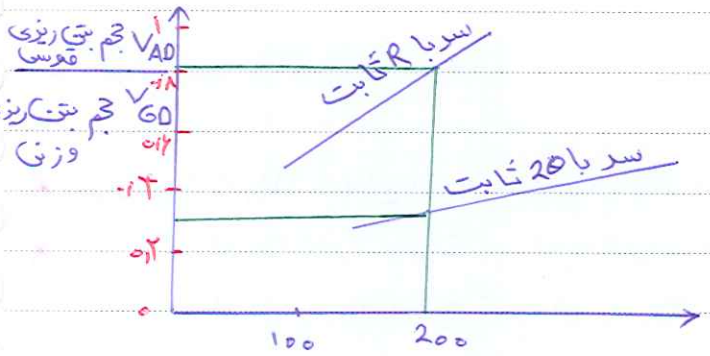
* شکل روبه رو سد قوسی در محل اتصال به تکیه گاه است نیروی ناشی از فشار به تکیه گاه می رسد و نمودار توزیع تنش به صورت روبه رو است و نیرو با زاویه $60^\circ$ را در سنگ ایجاد کرد و ممکن است محل تکیه گاه و اتصال سد بشکند.



احتمال شکستگی در این قسمت زیاد است

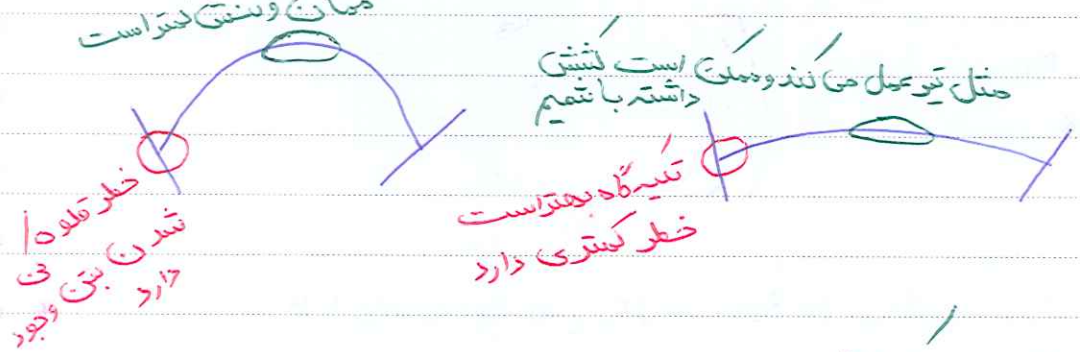
* بنابراین همیشه نمی توان زاویه ۱۳۳° داشت و معمولاً در اکثر پروژه ها بین $90 < 2\theta < 110$ می شود.




$V_{AD}$ ← حجم بتن سرقوس

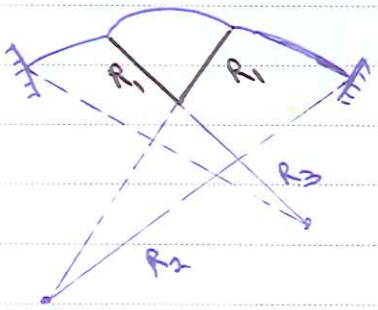
$V_{GD}$ ← " " "

* به همین علت است که دیگر سر با شعاع ثابت نمی سازند چون حجم بتن ریزی ثابت است.




۱) سرقوس سه مرکزی:

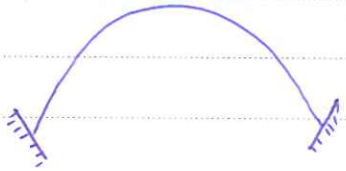
* آمریکایی ها این نوع سر را پیشنهاد داده اند. از ۳ قوس دایره ای استفاده کرده اند. قوس وسط را با انحنای بیشتر ساختند و دو قوس کناری را با انحنای کمتر ساختند تا در گوشه ها به مشکل نخورد.




* در واقع سر ۳ مرکزی یک سرقوس مرکب است

که اگر دره متقارن باشد $R_3$ و $R_2$ مساوی می شود

## ۴ سرهای قوس سهموی:

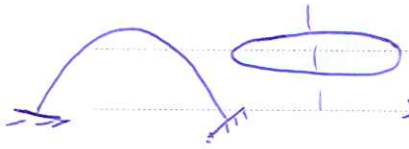


$y=Ax^2+Bx+c$

* برای بدست آوردن معادله‌ی سهمی از سهمی وخطا استفاده می کنند تا تنش ها در وسط وتکیه‌گاه مجاز شود و یا حداقل گردد

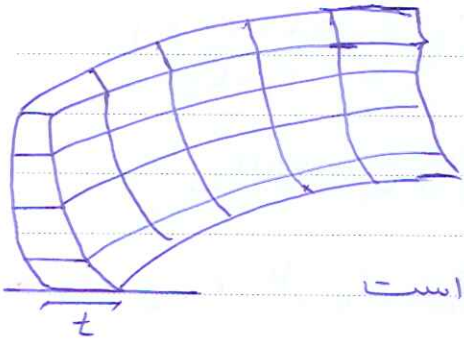
## ۵ سرهای قوس نیمدوری

* توسط سوئیس ها، اتریش ها و فرانسوی ها مطرح شده



این شیوه خیلی موفق عمل نکرده است وسهمی بیشتر رواج دارد

## ۶ سرهای لگاریتمی:




* که توسط چینی ها مطرح شده است.

* اگر بخواهیم سر سهمی بسازیم باید معادله رادر

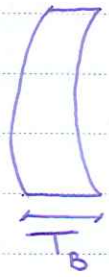
هر مقطع تغییرداد معادله‌ی کل $y=Ax^2+Bx+c$ است

یعنی برای ابرای سر هر ۳ متر، یک مقطع با A و B و C مشخص $(y=Ax^2+Bx+c)$ ابرامی شود.

و یک شکستگی ایجاد می شود.

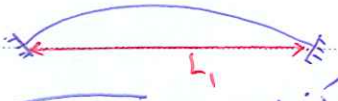
* در ابتدا ابعادی را باید فرض کنیم و با آن حل کنیم اما چون دقت در انتها کم است به سراغ اجزای محدود می رویم.

* برای حرس اولیه U.S.B.R ابعادی را پیشنهاد داده است که بتوان از شدت و رفعات محاسبات کاست.

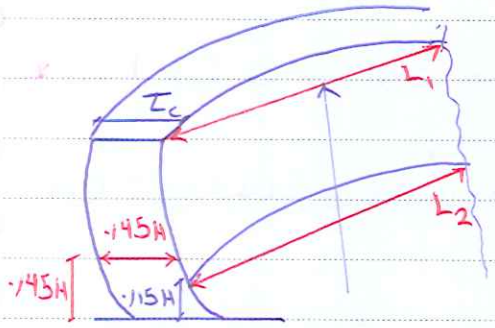


$$T_B = \sqrt[3]{0.0012 H L_1 L_2 \left(\frac{H}{400}\right)^{\frac{H}{400}}}$$

$L_1$: فاصله مستقیم در تراز تاج سد



$L_2$: فاصله مستقیم (وتر) در تراز $0.15H$ از کف



$$T_C = 0.01 \left[H + 1.2 L_1\right] \quad (ft)$$

$T_C$ ← قوس crest

$$T_{0.95H} = 0.95 T_B$$

برحسب یارد مکعب

$$V_1 = 0.000002 H^2 L_2 \left[\frac{(H + 0.18 L_1)^2}{L_1 - L_2}\right]$$

$$V_2 = 0.0004 H L_1 \left[H + 1.1 L_1\right]$$

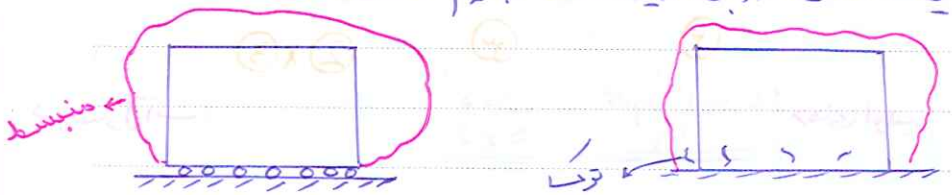
حجم بتن ریزی $V = V_1 + V_2$

* $L_1$، $L_2$، $H$ و $T_B$ و $T_C$ برحسب فوت است.

Subject 115
Date

## تحلیل حرارتی سدها

* بعد از بتن ریزی، حرارت هیدراتاسیون بالاست بتن تمایل به انبساط دارد و افزایش حجم پیدا می کند تا چند روز بعد که این حرارت کم می شود و بتن شروع به جمع شدن می کند اگر روی غلتک باشد به راحتی منقبض می شود اما اگر گیردار باشد تنش ایجاد می شود در نتیجه در تکیه گاه ها تنش کشش و میکرو ترک هایی بوجود می آید که به مرور افزایش می یابد. پس برای جلوگیری از این انبساط یا انقباض شدید از روش های زیر استفاده کنیم. این اتفاق در بتن ریزی های حجیم محسوس تر است.




* پس باید پس سرمایش و پیش سرمایش انجام دهیم.

۱ پیش سرمایش Pre cooling

۲ پس سرمایش Post cooling

* می توان از سیمان کندگیر استفاده کنیم که گرمای ویژه کمتری داشته باشد یا مصالح را خنک کنیم یا از آب سرد استفاده کنیم تا گرمای هیدراتاسیون را کم کنیم.

گرمای ویژه آب 4,18 kJ/kg°c

" " سیمان 0/88 kJ/kg°c

" " سنگدانه { کوارتز 0/64 (27°c) (127°c) 0/72
گرانیت 0/65

## * عملیات مخلوط کردن بتن

* این عملیات باعث افزایش دما می شود که بسیار ناچیز است تقریبا $139^{kJ}/_{kg}$ به بتن انرژی می دهد که باعث $0.16^{\circ}C$ افزایش دما می شود.

افزایش دمای ناشی از مخلوط کردن $= \frac{1390}{555 \times 9.18} = 0.16^{\circ}C$

## گرمای نهان ذوب یخ:

* مقدار گرمایی که یخ صفر درجه را به آب صفر درجه تبدیل می کند برابراست با $334^{kJ}/_{kg}$

یخ $50kg \rightarrow \frac{50 \times 334}{555 \times 9.18} = 7.2^{\circ}C$ یخ صفر به آب صفر دراثر کاهش دما

آب $21^{\circ}$ آب صفر $\rightarrow \frac{50 \times 21}{555} = 1.9^{\circ}C$ $7.2 + 1.9 = 9.1^{\circ}C$

کاهش دما فقط دراثر استفاده از یخ $25 - 9.1 = 15.9$ دمای اولیه بتن

* از یخ پودر و گرد گوشه استفاده می کنند تا زودتر آب شود.

* با ترکیب این روش ها می توان دمای بتن را به طور قابل ملاحظه ای کاهش داد در نتیجه انبساط و انقباض بتن کاهش می یابد

## روش های پیش سرد کردن :

۱. سرد کردن آب مخلوط

۲. جایگزین کردن بخش از آب با یخ پودری

۳. سرد کردن سنگدانه ها

۴. تولید انباشت مصالح سنگی در فصول سرد سال

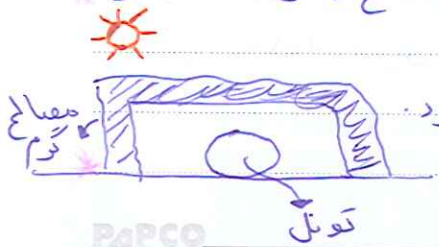
۵. جلوگیری از تابش نور خورشید بر روی مصالح

۶. آب پاشی بر روی مصالح دپو شده

۷. سرد کردن رشته را نه هوای خنک (گران تر) با

* در هنگام انتقال مصالح از سنگ شکن به کارخانه بتن بر روی تسمه نقاله، در مسیر عبور آب پاشی می کنند که هم شسته می شوند و هم سرد می شوند.

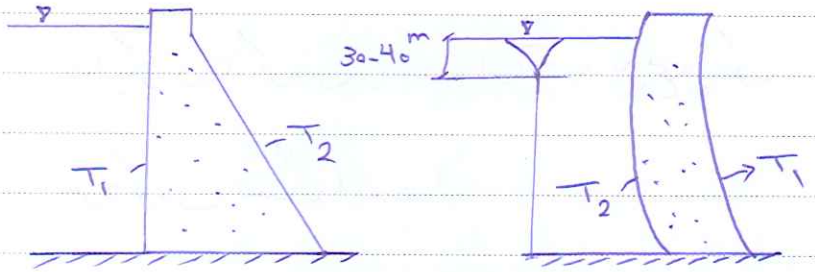
* سرد کردن آب مخلوط رایج نیست چون سرها در ارتفاعات است و آب آنجا سرد است. آب پاشی کردن سنگدانه هم باعث شسته شدن مصالح می شود و هم خنک کردن آن اگر مصالح را دپو کنیم. ۴،۳ متر اولیه دما بالا می رود و داخل دپو مصالح سردتر است می توان تونل زد و از مصالح داخل استفاده کرد.




* اگر حجم مصالح کم باشد می توان از سایبان استفاده کرد.

* با همه اقدامات باز هم تنش حرارتی داریم.

تنش حرارتی :




* دما در سمت بالادست با پایین دست متفاوت است در نتیجه گرادیان حرارتی است چون دما در دو سمت متفاوت است. و همچنین در روزهای سال فرق می کند.

* اگر $\Delta T$ داشته باشیم در نتیجه $\sigma$ داریم اما ما $\Delta T$ را نداریم.

$$\varepsilon = \alpha \Delta T$$

$$\sigma = E \varepsilon$$

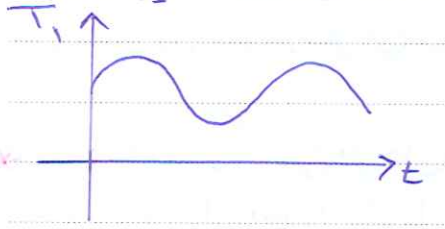
معادله انتقال حرارت یک بعدی : $\frac{\partial T}{\partial t} = K \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$

اگر دو بعدی : $\frac{\partial T}{\partial t} = K \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$

* در سدها معادله یک بعدی کافی است و می توان حرارت را در هر نقطه بدست آورد و با حل این معادله دیفرانسیل می توانیم حرارت را در هر نقطه از بتن بدست آوریم.

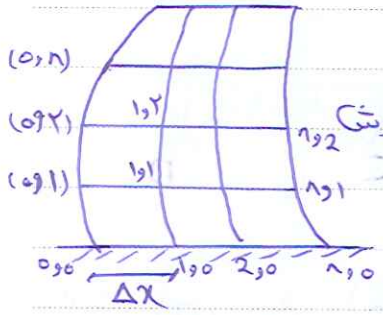
*

* $T_1$ را می توان از نتایج هواشناسی بدست آورد و منحنی تغییرات دما را بدست آوریم.




* تغییرات دمای آب نسبت به دمای هوا بسیار ناچیز است.

* در 30 - 60 متر اول تغییرات دمای آب داریم ولی از این ارتفاع به بعد دیگر تغییر در درجه حرارت ناچیز است.




* پس شرایط مرزی و معادله را داریم اما چون مرزها بی بی نهایت است نمی توان آن را دقیق حل کرد پس با روش اجزا محدود به حل این معادله می پردازیم.

* با روش اختلاف محدود المان ها را شماره گذاری می کنیم و معادله اصلی را گسسته می کنیم.

* فواصل بین گره ها $\Delta x$ است که در این روش $\Delta x$ ها مساوی باشند

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

$$\Delta t = f(x_{i+1}) - f(x_i)$$

$$\frac{1}{\Delta t}\left(T_{i,j+1} - T_{i,j}\right) =$$

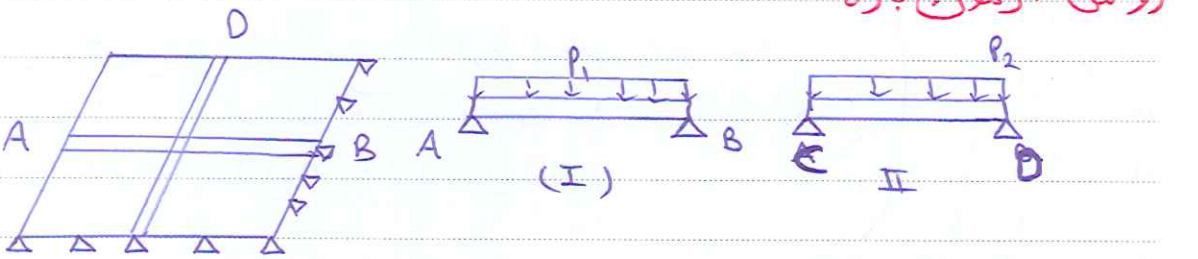
$$K \frac{1}{\Delta x^2}\left(T_{i-1,j} - 2T_{i,j} + T_{i+1,j}\right)$$

$$\Delta t = T - T_{\text{اولیه}}$$

* وقتی $\Delta t$ بدست آمد تنش بدست می آید برای دماهای مختلف در سال حساب می کنیم و در هر موقع می توان تنش را محاسبه کرد.

* در تونل هایی که در تراز های مختلف سر قرار دارد، دما سنج هایی وجود دارد که هم دمای داخل سر را کنترل می کند هم بیرون سر. و هدف از کار گذاشتن این دما سنج ها کنترل تغییرات دمایی و همچنین ثبت دما برای سرهایی که در آینده ساخته می شود

روش آزمون باره

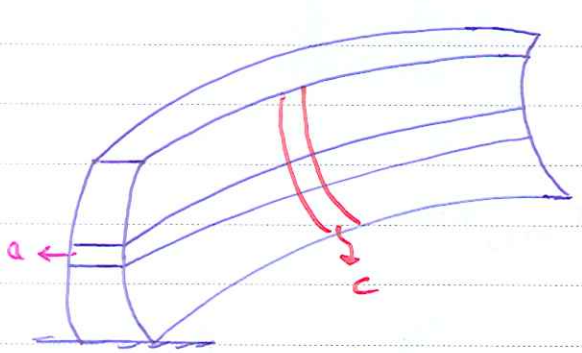


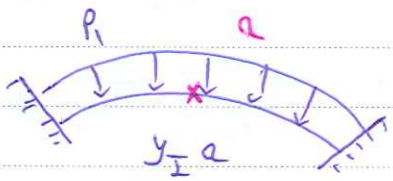

C بارمرده و زنده $P_1 + P_2 = P$ $y_{max}(I) = y_{max}(II) \rightarrow P_1, P_2$

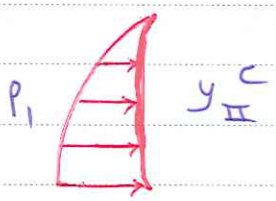
باید برابر باشند چون در آن نقطه باید تغییرمکان ها

برابر باشند. $\rightarrow \sigma = \frac{My}{I}$

* در سرهای قوسی هم می توان از این شیوه استفاده کرد




$P_2$ و $P_1$ رابطه‌ی بین $\Rightarrow y_I^a = y_{II}^c$

بدست می آید

تحت فشار هیدرواستاتیک

* پس با P های بدست آمده تیرها را طراحی می کنیم و ضخامتی که بدست می آید ضخامت اولیه در نظر می گیریم.

* از معایب آن در نظر نگرفتن نیروهای دیگر وارد بر تیر است برای همین می توان تعداد نوارها را افزایش داد و به جای یک نوار ۳ نوار در طول و سه نوار در عرض استفاده کنیم و معادله تعادل را برای نه نقطه بنویسیم که این روش، روش قوی در حال حاضر برای ضخامت اولیه است

(بزوه بسته) ۱۰ نمره تشریحی، ۱۰ نمره مسئله (بزوه باز)

سر تسمیر جان ← از فیلم هم امال ۲ نمره سؤال هست برای تشریحی سر سپید روح

پایان

www.Etcivil.com
ECHOTECH CIVIL
P4PCO

Subject

Date

Exp PEO