مقدمه:

مهندسی سد خاکی یکی از گرایشهای مهندسی ژئوتکنیک است که در کشور ما بسرعت در حال پیشرفت می باشد. به علت وجود دره های گسله در کشور ما و همچنین نیاز مبرم و رو به افزایش کشور به آب برای صنعت، کشاورزی، شرب و غیره ، یکی از بهترین و اقتصادی ترین راهها استفاده از سد خاکی برای ذخیره و نگهداری آب در پشت این سدها می باشد. امروزه مهندسین این مرز و بوم توانسته اند با موفقیت سدهای بزرگی مثل سد کرخه ، سد دز و... را باموفقیت اجرا و به بهره برداری برسانند.

این پروژه کلاسی که برای درس مهندسی سد خاکی در مقطع کارشناسی ارشد دانشگاه صنعت آب و برق تهیه شده ، در دو قسمت تهیه و ارائه شده است . در قسمت اول سعی نویسنده بر این بوده که سد خاکی علویان را با استفاده از کتاب مهندسی سد خاکی (دکتر خرقانی - مهندس فخاری) و نرم افزار طراحی اولیه سد خاکی (Initial Design of Earth Dam) با فرض همگن بودن سد خاکی ، طراحی کندو در قسمت دوم این سد در برنامه Plaxis مدل شود و از خروجی ها این برنامه برای طراحی سد استفاده شود همچنین دستورهای برنامه Plaxis و روند مدل کردن این سد در این برنامه بصورت یک راهنما ، در این قسمت آمده است.

سد علویان:

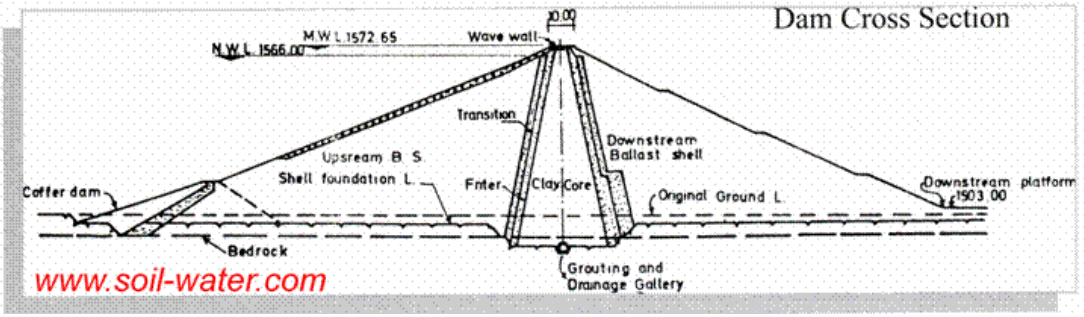
سد علویان بر روی رودخانه صوفی چای در ۳,۵ کیلومتری شمالغربی شهر مراغه در استان آذربایجان شرقی احداث گردیده است . رودخانه صوفی چای که از ارتفاعات سهند سر چشمه می گیرد پس از عبور از غرب شهر مراغه و جنوب شهر بناب به دریاچه ارومیه می ریزد. هدف از احداث سد علویان جمع آوری و کنترل جریان سطحی صوفی چای جهت تامین آب شرب شهر مراغه و پادگان نظامی ، جبران قسمتی از کمبود نیاز آبیاری و کشاورزی دشت مراغه و باغات اطراف آن و همچنین تولید انرژی برقابی می باشد.

سد علویان از نوع خاکی با هسته رسی مرکزی بوده و ارتفاع آن از سنگ بستر ۸۰ متر می باشد. طول تاج سد ۹۳۵ متر و عرض آن ۱۰ متر و حجم کل بدنه سد ۴,۸ میلیون متر مکعب می باشد. به منظور اصلاح کیفیت سنگ بستر در پی و جناحین سد ، پرده آب بند از طریق حفاری در یک ردیف اصلی با عمق ۴۹ متر و دو ردیف فرعی با عمق کمتر ، احداث شده است. رقوم تراز سرریز ۱۵۶۸ متر از سطح دریا ، تراز تاج سد ۱۵۷۲ متر از سطح دریا و تراز نرمال آب مخزن ۱۵۶۸متر از سطح دریا می باشد. حجم در تراز نرمال ۶۰ میلیون متر مربع و حجم مفید آن ۵۷ میلیون متر مکعب و حجم آب تنظیم شده در حدود ۱۲۳ میلیون متر مکعب در سال می باشد.

پی سد علویان را سه نوع تف خاکستر دار بارنگهای سفید، خاکستری و صورتی و با مشخصات فیزیکی_مکانیکی مختلف تشکیل می دهد. بر مبنای بررسی های انجام شده در محل سد علویان ، سه گسل اصلی و تعدادی گسل فرعی با امتداد کم و بیش شمالی_جنوبی وجود دارد که سه بلوک متمایز را بوجود آورده اند.

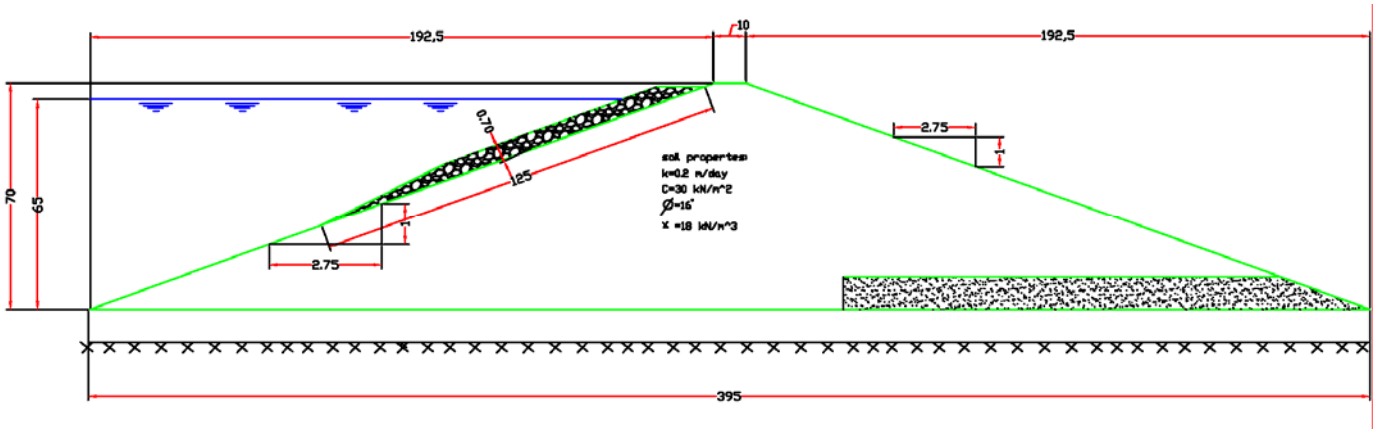
سرریز سد علویان از نوع جانبی به طول ۶۰ متر و حداکثر دبی تخلیه ۱۱۸۰ مترمکعب بر ثانیه طراحی و ساخته شده که در تکیه گاه سمت چپ سد قرار دارد . آب پس از سرریز شدن بوسیله یک کانال جانبی با عرض متغییر ۸ متر در بالا دست و ۲۰ متر در پایین دست و با شیب طولی ۱۰٪ می باشد. شوت از دو قسمت با مقاطع متفاوت ، ابتدا با مقطع مستطیلی به طوا ۷۰ متر و عرض ۲۰ متر با ۹,۴٪ و سپس تا

حوضچه آرامش به طول ۴۰ متر با مقطع ذوزنقه ای با شیب ۳۳٪ ، طراحی و اجرا گردیده است. در پـایین دست شوت حوضچه آرامش به طول ۵۰ متر و عرض ۳۰ متر قرار دارد.
در سد علویان گالری به منظور انجام عملیات تزریق ، نصب پیزومترهـا و جمـع آوری و هـدایت آبهـای نشتی ، بازدید و کنترول و تعمیرات احتمالی در دوران بهره برداری ، با مقطع U شکل به ابعـاد ۲,۴*۲,۹ متر و به طول ۹۷۰ متر در محور سد و زیر فونداسیون هسته رسی احداث شده است.
انحراف جریان رودخانه در دوره ساخت توسط دو گالری روی هم بطول ۳۷۰ متر (یکی با مقطع U شکل به ابعاد ۴*۳,۵ متر و دیگری با مقطع چهار ضلعی بدون گوشه به ابعاد ۴,۵*۲,۵ متر) با حداکثر ظرفیـت طراحی ۱۵۰ متر مکعب بر ثانیه ، حاصل گردید. پس از خاتمه عملیات احداث سد از گالریهـا بـه عنـوان تخلیه کننده عمقی ،خروجی مصارف آبیاری و آب شرب استفاده می شود.



۱,۱- مدل همگن سد مراغه:

در این مرحله سد علویان بصورت همگن مطابق شکل زیر فرض شوده و محاسبات اولیه بر اساس ابعـاد و خصوصیات مشخص شده در شکل صورت پذیرفته است.

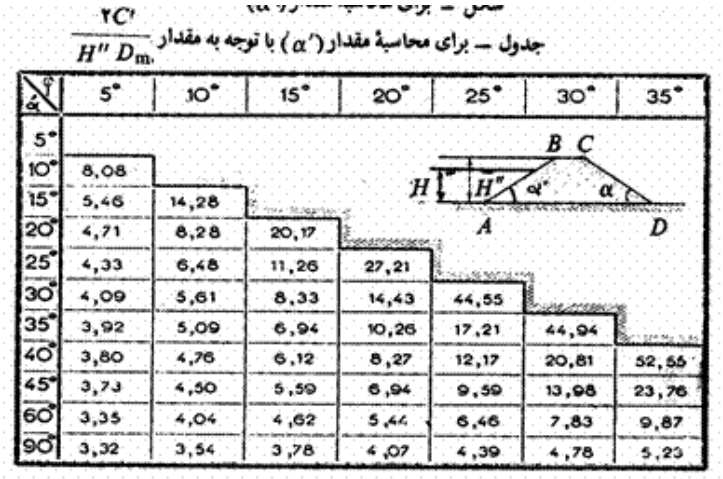


۱,۲- محاسبه شیب طرفین سد خاکی:

با توجه به جدول(۱-۶) صفحه ۱۹۰ داریم:

$$\frac{2C}{H\gamma}=\frac{2*30}{70*18}=0.048$$

مقدار α با توجه به جدول (۱-۶)تعیین می شود:



جدول — برای محاسبهٔ مقدار (α') با توجه به مقدار $\frac{2C'}{H''\,D_m}$

α' \ φ	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
5°							
10°	8,08						
15°	5,46	14,28					
20°	4,71	8,28	20,17				
25°	4,33	6,48	11,26	27,21			
30°	4,09	5,61	8,33	14,43	44,55		
35°	3,92	5,09	6,94	10,26	17,21	44,94	
40°	3,80	4,76	6,12	8,27	12,17	20,81	52,55
45°	3,73	4,50	5,59	6,94	9,59	13,98	23,76
60°	3,35	4,04	4,62	5,44	6,46	7,83	9,87
90°	3,32	3,54	3,78	4,07	4,39	4,78	5,23

$$\phi=16^o \Rightarrow \alpha=20^o$$

شیب طرفین سد خاکی باتوجه به مواد انتخاب شده ۱ به ۲,۷۵ می باشد.

۱,۳-محاسبه عرض تاج سد:

عرض سد با توجه به ارتفاع آن ، از فرمول تجربی زیر محاسبه می شود(صفحه ۱۹۰ کتاب مهندسی سد خاکی):

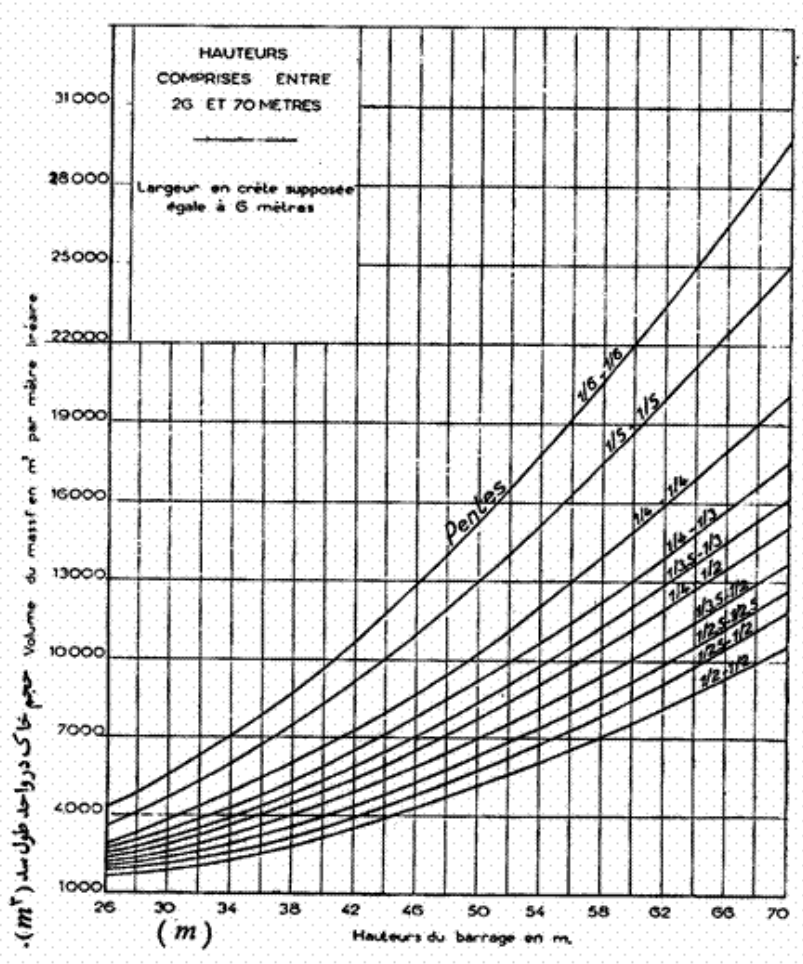
$$BC=3.64\sqrt[3]{H-1.83}$$

$$BC=3.64\sqrt[3]{70-1.83}=14.9\approx 15m$$

سد علویان با عرض تاج ۱۰ متر اجرا شده است و همچنین این سد با عرض ۱۰ متر در برنامه Plaxis مدل شده است.

۱,۴- برآورد حجم خاک مصرفی:

محاسبه و برآورد حجم تقریبی خاک مصرف شده در واحد طول در سد خاکی با توجه به ارتفاع و شیب دیوارهای جانبی و عرض تاج سد از دیاگرامهای شکل (۴-۶)و(۵-۶)صفحه ۱۹۶ کتاب مهندسی سد خاکی استفاده شده است:



$$H = 70m$$

$$m = \frac{1}{2.75} \qquad \Rightarrow V = 13000m^3 / m$$

Soil Volume

A Program for Soil Volume Estimate

Level of Water + Freeboard

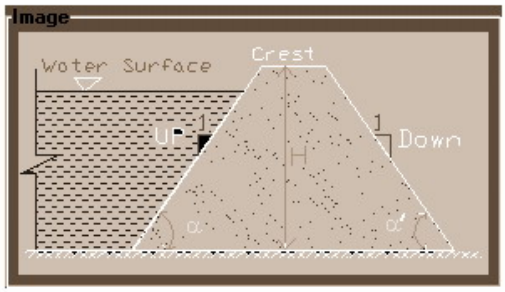
Height of Dam (6 m <= H <= 70 m) 70

Slope

Up	Down	Up	Down
1/2	1/2	1/3.5	1/3
1/2.5	1/2	1/4	1/3
1/2.5	1/2.5	1/4	1/4
1/3.5	1.2	1/5	1/5
1/4	1/2	1/6	1/6

Result

The Volume of Soil in Unit Length of Dam (m^3) 12718



۱,۵- ارتفاع آزاد:

ارتفاع آزاد ، اخلاف ارتفاع تراز حداقل تاج با تراز حداکثر دریاچه در هنگام سیلاب مـی باشـد. عوامـل موثر در تعیین ارتفاع آزاد عبارتند از:

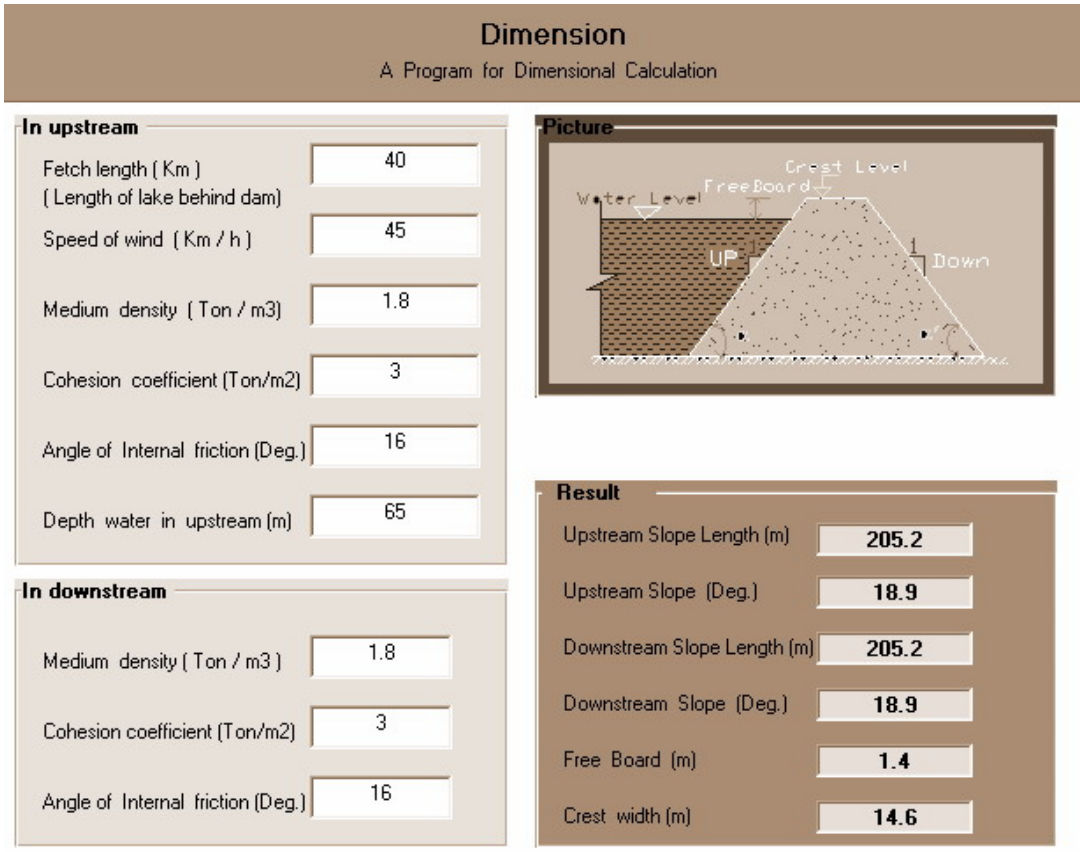
- **تراز آب در بالای سرریز در هنگام سیلاب**
- **ارتفاع موج**
- **نشت تابع زمان بدنه سد**
- **شرایط پایین دس**

ارتفاع موج نقش مهمی در انتخاب ارتفاع آزاد سد دارد. برای تعیین ارتفاع حداکثر مـوج از فرمـول (۱-۶)صفحه ۱۸۶ کتاب مهندسی سد خاکی استفاده می کنیم:

$$F \geq 32km \Rightarrow h_w = 0.032\sqrt{V.F}$$

$$h_w = 1.4m$$

سد علویان با ارتفاع آزاد 5m ساخته شده است ودربرنامه Plaxis نیز ارتفاع آزاد 5m مدل شده است.



۱,۶- طراحی سنگ چین بالا دست سد:

صرف نظر از طراحی سنگ چین ماشینی یا دستی ، اتفاق نظر بر این است کـه انـدازه قطعـات سـنگها بستگی به بزرگی عمل موج روی سد دارد. جدول (۱-۵)صفحه ۱۶۱ یکی از جداولی است که وزن قطعات ، اندازه آنها و ضخامت لایه سنگچین را بر اساس ارتفاع موج پیشنهاد می کند. بر اساس این جدول:

h_w=1.4m

اندازه متوسط قطعه سنگ D_{50}=38 cm

حداکثر وزن قطعات = 680.25 kg

ضخامت = 61 cm

- **قطعات سنگچین باید بصورت مناسبی دانه بندی شود. بطوریکه حـداکثر انـدازه آنهـا در حدود ۱,۵ برابر اندازه متوسط قطعه سنگ و کوچکترین اندازه قطعه سنگ در حـدود ۲,۵ سانتی متر باشد.**
- **لایه سنگچین اقلا ۲,۵ تا ۳ متر زیر پایین ترین تراز سطح آب مخزن ادامه یابد.**

۱,۷- تعیین ضخامت زهکش:

بطور کلی ما به دو دلیل از زهکش استفاده می کنیم : اول آنکه اب از شیب پایین دست خارج نشود و دوم ، جریان آب بین خاک سد و زهکش موجب جابجایی ذرات خاک نشود.

با استفاده از رابطه دارسی می توان حداقل سطح مقطع لازم برای زهکش را طراحی کرد طبق این رابطه داریم:

$$H_f = \sqrt{\frac{q.L_f}{K_f}} = \sqrt{\frac{8*150}{10}} = 11m$$

۱,۸- بررسی مواد تشکیل دهنده زهکش:

قطر دانه بندی لایه های مختلف زهکش بر مبنایه ۱۵٪ قطر دانه هایه ریز مواد تشکیل دهنده جسم سد ، مخصوصا در پایین دست آن محاسبه و براورد می شود. مثلا اگر ۱۵٪ دانه بندی مواد تشکیل دهنده جسم سد کمتر از ($d<0.01$) میلیمتر فرض شود ، در این حالت ۱۵٪ قطر دانه بندی لایه های مختلف زهکش به شرح زیر براوردِ خواهد شد:

- **لایه اول: این لایه که اولین لایه زهکش می باشد، باید ۱۵٪ قطر دانه بندی مواد بکار رفته در آن کوچکتر یا مساوی ($d_1>9d$) انتخاب شود.**

$$d_1=9d=9*0.01=0.09mm$$

- **لایه دوم: این لایه که بعد از لایه اول قرار گرفته است، باید ۱۵٪ قطر دانه بندی مواد بکار رفته در آن کوچکتر یا مساوی ($d_2<9d_1$)انتخاب شود:**

$$d_2=9d_1=9*0.09=0.81mm$$

- **لایه سوم:**

$$d_3=9d_2=9*0.81=7.3mm$$

ضریب نفوذپذیری(mm/s)	۱۵٪قطر دانه بندی(mm)	نوع مواد
$K=6*10^{-4}$	**0.01**	**سیلیت**
$K_1=7.5*10^{-2}$	**0.09**	**ماسه نرم**
$K_2=12.5$	**0.81**	**ماسه درشت**
بانفوذپذیری زیاد $K_3=$	**7.3**	**شن نخودی**

۱,۹- محاسبه و براورد ضخامت لایه های زهکش:

در عمل ضخامت لایه های مختلف زهکش را با توجه به ۱۵٪ قطر دانه بندی مواد تشکیل دهنـده آن ها بترتیب زیر براورد می نمایند. ضخامت هر لایه نباید از ۳۰ سانتی متر کمتر باشد.

$t_1 = 50d_1 = 50*0.09 = 4.5mm$ $t_1 = 30cm$

$t_2 = 50d_2 = 50*0.81 = 40.5\ mm$ $t_2 = 30cm$

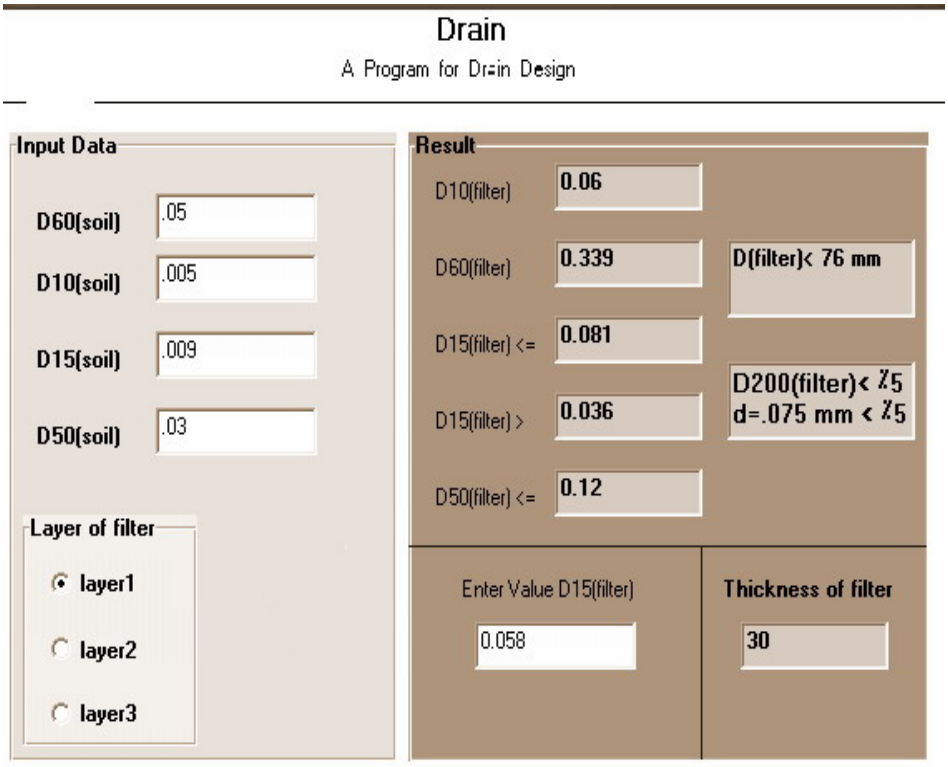
$t_3 = 50d_3 = 50*7.3 = 365mm$ $t_3 = 36.5cm$

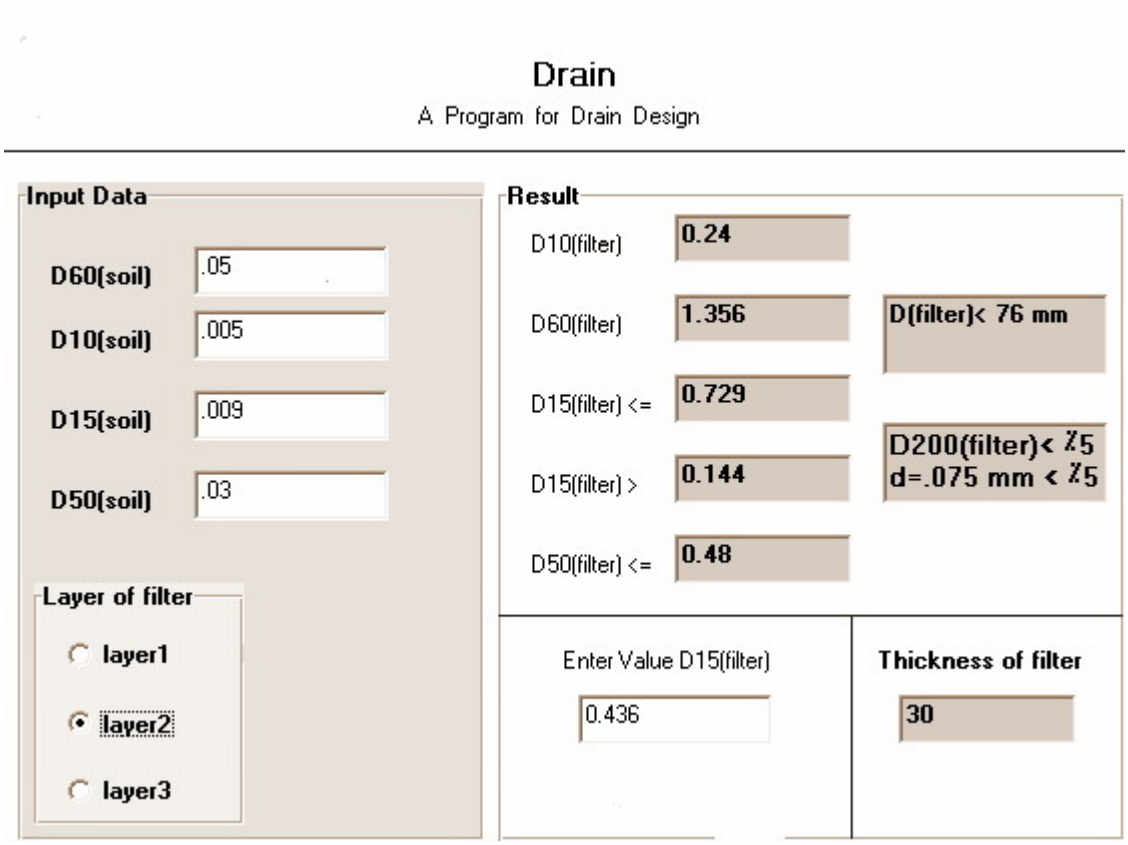
۱,۱۰- انتخاب مصالح فیلتر:

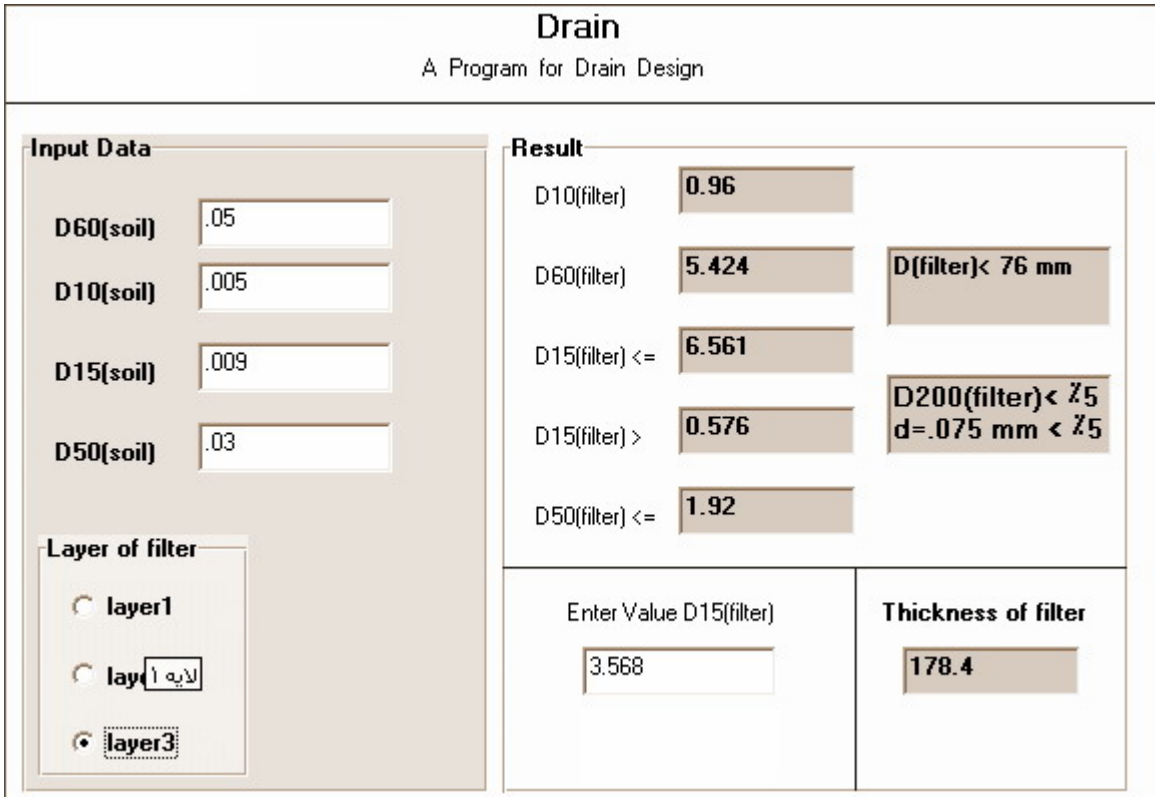
اندازه حفرات مصالح فیلتر باید به قدر کافی ریز باشد تا از شسته شدن خـاک مـورد محافظـت بـه داخل آن جلوگیری شود و مصالح فیلتر باید دارای نفوذپذیری بالا باشدتا از بوجود آمـدن نیروهـای نشت زیاد و فشار هیدرواستاتیک در مصالح فیلتر جلوگیری شود. معیارهای زیـر بـرای تعمـین دو شرط بالا لازم است:

$$\frac{(D_{15})_f}{(D_{85})_s} \leq 5$$

$$\frac{(D_{15})_f}{(D_{15})_s} \geq 5$$



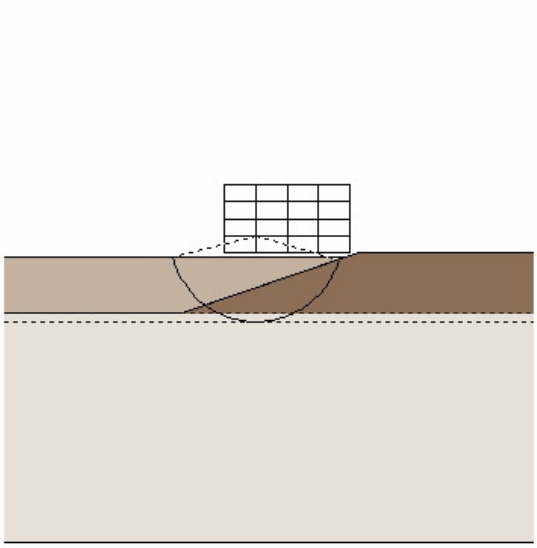

Drain
A Program for Drain Design
Input Data
D60(soil) .05
D10(soil) .005
D15(soil) .009
D50(soil) .03
Layer of filter
layer1
layer2
layer3
Result
D10(filter) 0.24
D60(filter) 1.356
D15(filter) <= 0.729
D15(filter) > 0.144
D50(filter) <= 0.48
D(filter)< 76 mm
D200(filter)< %5
d=.075 mm < %5
Enter Value D15(filter) 0.436
Thickness of filter 30


Drain
A Program for Drain Design
Input Data
D60(soil) .05
D10(soil) .005
D15(soil) .009
D50(soil) .03
Layer of filter
layer1
layer3
Result
D10(filter) 0.96
D60(filter) 5.424
D15(filter) <= 6.561
D15(filter) > 0.576
D50(filter) <= 1.92
D(filter)< 76 mm
D200(filter)< %5
d=.075 mm < %5
Enter Value D15(filter) 3.568
Thickness of filter 178.4

۱,۱۱- محاسبه ضریب اطمینان شیروانی:

SLOPE 1
A simple slope stability program

Input Data	
Length of slope (m)	205.000
Height of slope (m)	70.000
Water level left side (m)	65.000
Water level right side (m)	0.000
Unit weight of water (kN/m³)	10.000
Dry unit weight embankment (kN/m³)	18.000
Saturated unit weight embankment (kN/m³)	21.000
Cohesion soil in embankment (kN/m²)	30.000
Friction angle soil in embankment (degrees)	16.000
Neutral stress coefficient subsoil (-)	0.500
Dry unit weight subsoil (kN/m³)	16.000
Saturated unit weight subsoil (kN/m³)	20.000
Cohesion subsoil (kN/m²)	0.000
Friction angle subsoil (degrees)	20.000
Neutral stress coefficient embankment (-)	0.500
Lower left corner window - x (m)	50.000
Lower left corner window - y (m)	70.000
Upper right corner window - x (m)	195.000
Upper right corner window - y (m)	150.000
Deepest point of slip circles - y (m)	-10.000

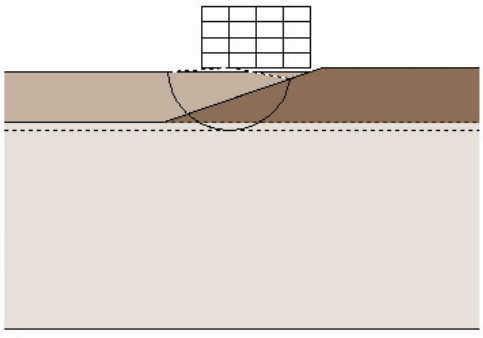


- ○ Fellenius
- ◉ Bishop
- ○ Double Sliding

Smallest Safety Factor
x = 86.250
y = 90.000
F = 1.627

SLOPE 1
A simple slope stability program

Input Data	
Length of slope (m)	205.000
Height of slope (m)	70.000
Water level left side (m)	65.000
Water level right side (m)	0.000
Unit weight of water (kN/m³)	10.000
Dry unit weight embankment (kN/m³)	18.000
Saturated unit weight embankment (kN/m³)	21.000
Cohesion soil in embankment (kN/m²)	30.000
Friction angle soil in embankment (degrees)	16.000
Neutral stress coefficient subsoil (-)	0.500
Dry unit weight subsoil (kN/m³)	16.000
Saturated unit weight subsoil (kN/m³)	20.000
Cohesion subsoil (kN/m²)	0.000
Friction angle subsoil (degrees)	20.000
Neutral stress coefficient embankment (-)	0.500
Lower left corner window - x (m)	50.000
Lower left corner window - y (m)	70.000
Upper right corner window - x (m)	190.000
Upper right corner window - y (m)	150.000
Deepest point of slip circles - y (m)	-10.000

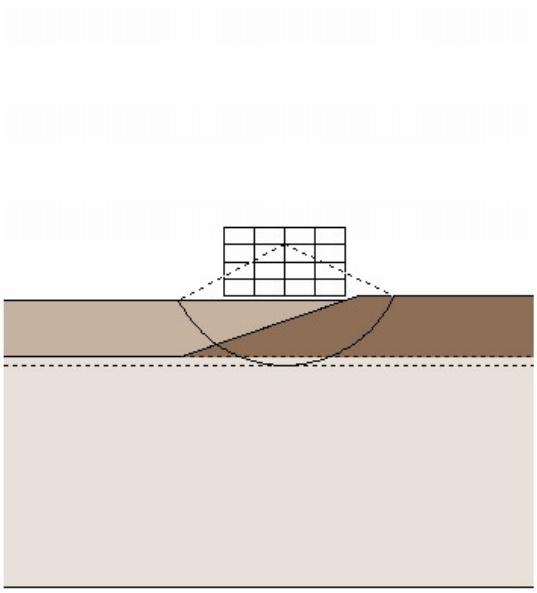


- ◉ Fellenius
- ○ Bishop
- ○ Double Sliding

Smallest Safety Factor
x = 85.000
y = 70.000
F = 1.415

A simple slope stability program

Input Data	
Length of slope (m)	205.000
Height of slope (m)	70.000
Water level left side (m)	65.000
Water level right side (m)	0.000
Unit weight of water (kN/m³)	10.000
Dry unit weight embankment (kN/m³)	18.000
Saturated unit weight embankment (kN/m³)	21.000
Cohesion soil in embankment (kN/m²)	30.000
Friction angle soil in embankment (degrees)	16.000
Neutral stress coefficient subsoil (-)	0.500
Dry unit weight subsoil (kN/m³)	16.000
Saturated unit weight subsoil (kN/m³)	20.000
Cohesion subsoil (kN/m²)	0.000
Friction angle subsoil (degrees)	20.000
Neutral stress coefficient embankment (-)	0.500
Lower left corner window - x (m)	50.000
Lower left corner window - y (m)	70.000
Upper right corner window - x (m)	190.000
Upper right corner window - y (m)	150.000
Deepest point of slip circles - y (m)	-10.000



- Fellenius
- Bishop
- (•) Double Sliding

Smallest Safety Factor

x = 120.000

y = 130.000

F = 1.005

Morgenstern Method for Sudden Drowndown

Data

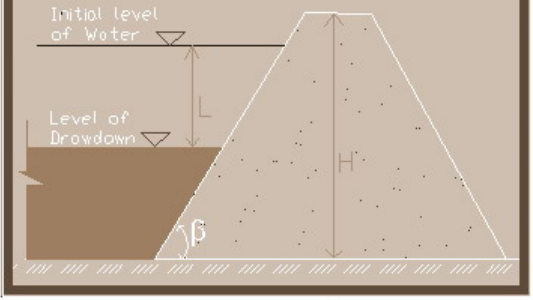
Initial Level of water H (m)	65
Drowndown Rate L (m)	30
Unit Weight of Soil Y (Kn/m3)	18
Cohesion Coefficient (Kn/m2)	30

Result

Stability Number (c/YH)	0.0256
Relative Drowndown (L/H)	0.4615

Solve

Picture



Stability Number

- ( ) 0.0125
- (•) 0.025
- ( ) 0.05

Angle of Slope

زاویه شیب

- ( ) 2/1
- (•) 3/1
- ( ) 4/1
- ( ) 5/1

Friction Angle

- (•) 20 (Deg.)
- ( ) 25 (Deg.)
- ( ) 30 (Deg.)
- ( ) 35 (Deg.)
- ( ) 40 (Deg.)

Safety Factor

1.11

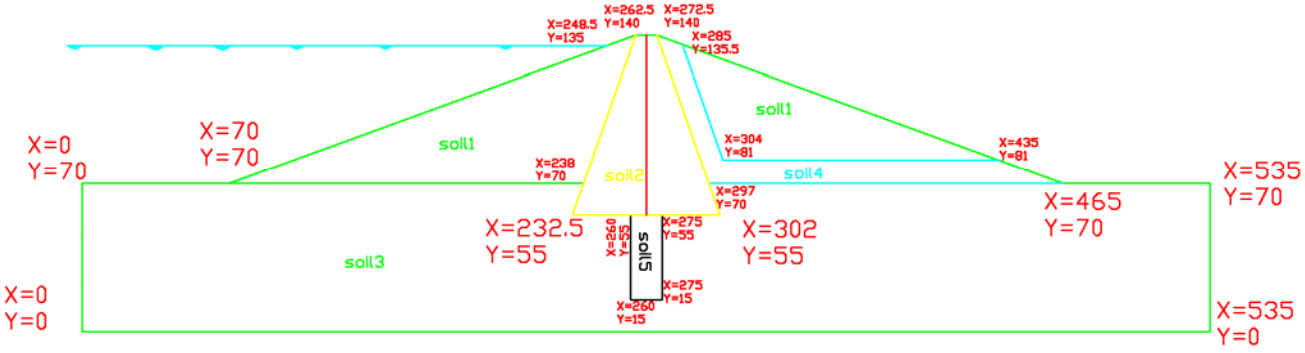
۱,۱۲- نکته هایی برای طراحی سد خاکی از کتاب مهندسی سد خاکی

- **حداقل قاعده هسته برای سدهای مطبق باید برابر ارتفاع سد باشد چنانچه این عرض از ارتفاع کوچکتر باشد بعنوان تیپ دیافراگمی تلقی می شود {۲۹}.**
- **ارتفاع هسته ترجیا تا بالای تاج سد باید ادامه یابد {۳۰}.**
- **در سد دیافراگمی ، قاعده هسته رس بین ۰,۳ تا ۰,۵ ارتفاع سد است {۳۱}**
- **بهترین نوع خاک برای سد خاکی به قرار زیر است {۳۱}**
  - **رس ۱۵٪**
  - **لیمون۱۵٪**
  - **ماسه نرم ۵۰٪**
  - **ماسه درشت ۲۰٪**

- **برای سد مطبق ، حداقل ۲۰٪ خاک هسته باید قطر کمتر از ۰,۰۵ میلیمتر داشته باشد.**
- **در صورتیکه هسته باریک باشد گرادیان هیدرولیکی قابل ملاحظه ای به وجود می آید و خط فرسایش قابل ملاحظه با خاک مجاور پیدا می کند . برای جلوگیری فرشلیش از یک لایه زهکش بین هسته و خاک پایین دست استفاده می شود {۸۱}.**
- **محل بحرانی ، مرز بین هسته و پوسته است ، برای جلوگیری از خطر از زهکش دودکشی استفاده می شود {۸۲}**
- **چون زهکش نفوذپری زیادی دارد لازم است ارتباط آن با بدنه (بخصوص هسته) باید بصورت تدریجی باشد {۸۳}.**
- **عملا می توان حداکثر طول زهکش افقی با اطمینان کامل ، ۳ برابر ارتفاع سد در نظر گرفت {۸۵}.**
- **ابتدای زهکش مایل تقریبا به محور سد یعنی زیر تاج سد می رسد و انتهای آن به زهکش افقی متصل می شود {۸۵}**
- **اندازه قطعات سنگهای تشکیل دهنده پنجه سنگی ۱۵ تا۲۰ سانتی متر است {۸۶}.**
- **مصالح فیلتر پنچه سنگی**
  - **یک لایه 30 cm ماسه ریز (D_{15}=0.009 mm)**
  - **یک لایه 45 cm ماسه درشت(D_{15}= 0.81mm)**
  - **یک لایه 60 cm شن درشت (D_{15}= 7.3 mm)**
- **ارتفاع پنجه سنگی را ۱/۳ تا۱/۴ ارتفاع سد در نظر می توان گرفت(با شیب ۱ به ۱) {۸۷}.**
- **آزمایشهای واقعی در مقیاس بزرگ در مورد نتیجه تزریق نشان داده صرفنظر از مقدار نفوذپدیری رسوبات شالوده ، مقدار نفوذپذیری بعد از تزریق 10^{-4} تا 10^{-5} cm/s می رسد**
- **ضخامت پرده تزریق ۱/۳ تا۱/۵ ارتفاع مخزن سد در نظر می گیرند.**

۲,۱- مشخصات ژئوتکنیکی و هندسی سد علویان:

در این قسمت سعی شده قبل از مدل کـردن سـد در برنامـه Plaxis کلیـه مشخـصات لازم از قبیـل مشخصات ژئوتکنیکی و مشخصات هندسی آورده شودتا در مراحل بعد با استفاده از اطلاعات این بخـش بتوان کار مدل سازی انجام شود. مشخصات هندسی سد در نقشه زیـر و مشخـصات ژئـوتکنیکی آن در جدولی که بعد از آن آمده نشان داده شده است.



نوع خاک	$E(kN/m^2)$	$C(kN/m^2)$	Φ	$K(m/day)$
Soil1_Silty sand	**5500**	**30**	**35**	*0.2*
Soil2_Clay	**2500**	**60**	**30**	*0.001*
Soil3_clayey sand	**3500**	**1**	**33**	*0.4*
Soil4_sand	**30000**	**1**	**35**	*10*
Soil5_ grouted ground	**4000**	**1**	**33**	0.05

اطلاعات فوق بر اساس جداول زیر تهیه شده است. این جداول بترتیـب از manual برنامـه Allpile و کتاب Advance soil mechanic نوشـته Das و کتـاب Foundation Analysis and Design نوشته Bowles نقل شده است.جداول زیر برای کمک در انتخاب خصوصیت خاکها آورده شده است.

Sand	وزن مخصوص (kNm2)	Φ	دانسیته نسبی	عدد SPT
Loose	**16.6<G<18.1**	**29<Φ<33**	**Dr<35%**	**4<N<10**
Medium	**18.1<G<19.3**	**33<Φ<38**	**35%<Dr<65%**	**10<N<30**
Dense	**19.3<G<20.4**	**38<Φ<40**	**65%<Dr<85%**	**30<N<50**

Clay	وزن مخصوص (kNm2)	C (kNm2)	e_{50}	عدد SPT
Soft	**15.1<G<17.8**	**4<C<21**	**1.65<e<4.38**	**1<N<4**
Medium	**17.8<G<20.2**	**21<C<57**	**0.9<e<1.65**	**4<N<10**
Stiff	**20.2<G<20.8**	**57<C<94**	**0.66<e<0.9**	**10<N<16**
Very stiff	**20.8<G<21.5**	**94<C<194**	**0.43<e<0.66**	**16<N<32**

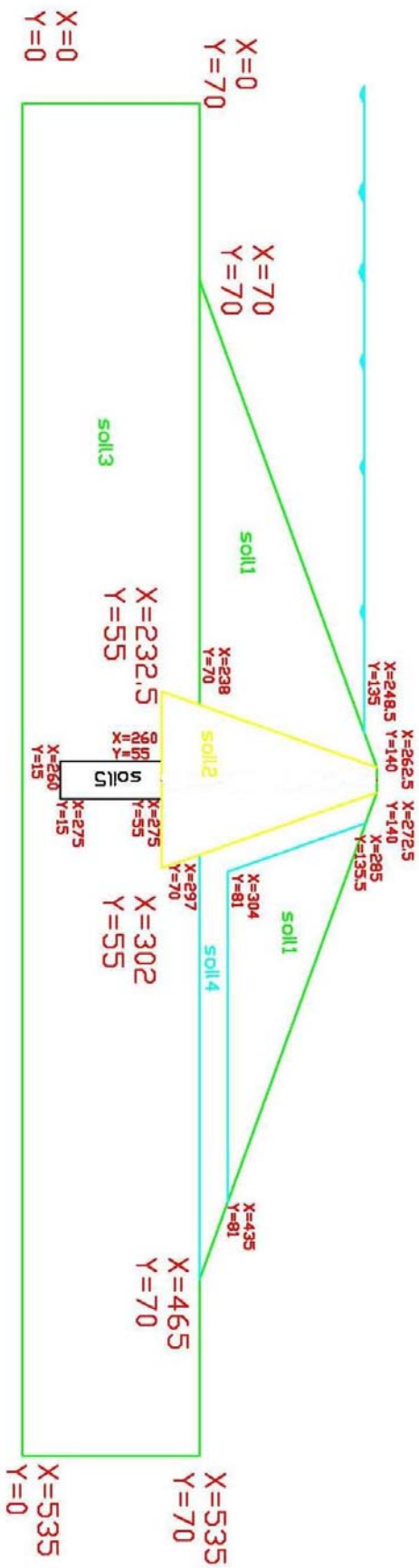
Silt	وزن مخصوص (kNm2)	C (kNm2)	Φ	عدد SPT
Medium	**17.9<G<20.2**	**10.4<C<29**	**27<Φ<30**	**4<N<10**
Stiff	**20.2<G<20.8**	**29<C<47**	**30<Φ<32**	**10<N<16**
Very stiff	**20.8<G<21.5**	**47<C<96**	**32<Φ<35**	**16<N<32**

نفوذپذیری برخی از خاکها در جدول زیر آمده است{ Advance soil mechanic نوشته Das}

نوع خاک	K(m/sec)
شن تمیز	**100-1**
ماسه درشت	**1-0.01**
ماسه ریز	**0.01-0.001**
رس لای دار	**0.001-0.00001**
رس	**<0.000001**

با استفاده از فرمولهای زیر می توان مدول الاستیسیته برخی از خاکها را با استفاده از عدد SPT تعیین کرد { کتاب Foundation Analysis and Design نوشته Bowles}

نوع خاک	$Es(kN/m^2)$
Sand	**Es=500(N+15)** **Es=18000+750N** **Es=(15200 to 22000)ln N**
Clayey sand	**Es=320(N+15)**
Silty sand	**Es=300(N+6)**
Gravelly sand	**Es=1200(N+6)**


X=0
Y=0
X=0
Y=70
X=70
Y=70
soil3
soil1
X=232.5
Y=55
X=238
Y=70
soil2
soil5
X=248.5
Y=135
X=262.5
Y=140
X=272.5
Y=140
X=285
Y=135.5
X=260
Y=15
X=275
Y=15
X=275
Y=55
X=297
Y=70
X=304
Y=81
soil1
X=302
Y=55
soil4
X=435
Y=81
X=465
Y=70
X=535
Y=70
X=535
Y=0

۲,۲- معرفی نرم افزار Plasix :

PLAXIS نرم‌افزاری المان محدود پیشرفته برای تحلیل تغییر شکل‌ها و پایداری در پروژه‌های مهندسی ژئوتکنیک کاربرد دارد. معمولاً در مسائل مهم ژئوتکنیک، یک مدل رفتاری پیشرفته برای مدل‌سازی رفتار غیرخطی و وابسته به زمان خاکها بسته به هدف مورد نظر لازم است. با این نرم افزار می‌توان خاکبرداری و خاکریزی مرحله‌ای با شرایط بارگذاری و شرایط مرزی مختلف را با استفاده از المانهای مثلثی ۶ گرهی و ۱۵ گرهی مدل سازی نمود. اولین ویرایش این نرم‌افزار به منظور آنالیز سدهای خاکی احداث شده بر روی خاک‌های نرم درقسمتهای کم‌ارتفاع و پست کشور هلند و به سفارش مدیریت منابع آب آن کشور در دانشگاه صنعتی Delft در سال ۱۹۸۷ تهیه و سپس در سال ۱۹۹۳ قابلیت‌های آن گسترش داده شده که توسط موسسه Center for Civil Engineering Research (CUR) and Codes نیز مورد تأئید و پشتیبانی قرار گرفته است.

در این نرم افزار مدلهای رفتاری موهر- کلمب، مدل سخت شوندگی هذلولی، مدل نرم شوندگی (مدل Cam-Clay) و مدل نرم شوندگی خزشی (Soft Soil Creep Model) قابل بکارگیری است، همچنین با این نرم افزار می‌توان فرایند ساخت و حفاری را توسط فعال کردن و غیر فعال کردن المانها در مرحله محاسبات مدل کرد. نمونه‌ای از کاربرد این قابلیت، انجام آنالیز لایه به لایه در پایداری شیبها ، سدها و تونلها می باشد.

جهت تحلیل لایه به لایه مراحل ساخت سد در نرم افزار Plaxis از دستور صفر کردن تغییر مکانها و همچنین دستور ویرایش منحنی بار- تغییر مکان برای ایجاد تنش های اولیه در بارگذاریها،درساخت مرحله ای وزنی سدها استفاده می شود.مثلا اگر تغییر مکان نقطه ای مانند Aمد نظر باشد ،باید تغییر مکانهای لایه های زیرنقطه A را صفر کرد.

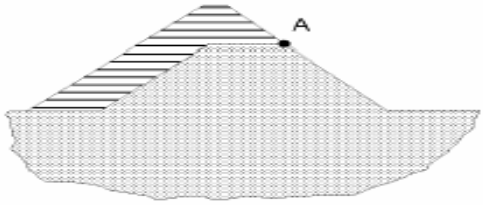


Figure 6.5 Raising an embankment

Plaxis از جمله بسته‌های نرم افزاری است که به منظور آنالیز تغییرشکل‌ها و نیز پایداری سازه‌های خاکی با استفاده از روش المانهای محدود تهیه و به بازار ارائه شده است. با این تفصیل که مسائل مربوط به ژئوتکنیک نیاز به مدلهای پیشرفته‌تری برای مدلسازی رفتار غیرخطی و تابع زمان خاکها دارد، چرا که خاکها تحت شرایط مختلفی نظیر بارگذاری و شرایط هیدرولیکی در محیط خاک، رفتارهای متفاوتی ازخود نشان می‌دهند به همین منظور این نرم‌افزار برای تحلیل دقیق‌تر رفتار خاک از مدلهای پیشرفته‌تری نظیر S.S.C. (Soft Soil Creep Model)، H.S. (Hardening Soil Model) و ... استفاده می‌کند.

در آنالیزهای دو بعدی امکان انتخاب دو نوع المان ۶ گره‌ای و ۱۵گره‌ای مثلثی در تحلیل‌ها وجود داردکه المان پیش فرض در این نرم افزار المان مثلثی ۶ گرهی می‌باشد برای دستیابی به دقت بیشتر در محاسبات تنشها و بارها و گسیختگی(خصوصاً در هندسه‌axisymmetric) از المانهای ۱۵ گرهی استفاده می‌شود ، در پیش فرض تابع تقریب جابجائی المانها از مرتبهٔ دوم در نظر گرفته شده است. ماتریس سختی این نوع المانها با استفاده از سه نقطهٔ تنش حاصل می‌شوند. در المانهای ۱۵ گرهی مثلثی، تابع تقریب جابجائی از مرتبه چهارم و نقاط تنش آن به منظور تعیین ماتریس سختی ۱۲ نقطه در نظر گرفته شده است. این نوع المان در آنالیزهای دقیق مهندسی بکار می‌رود و برای انجام آنالیزها توسط آن نیاز به حافظهٔ بیشتری از کامپیوتر بوده و وقت بیشتری برای تحلیل نیاز دارد. در شکل زیر موقعیت نقاط جابجائی و تنش در این دو نوع المان نشان داده شده است.

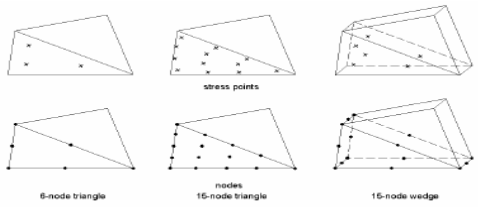


Figure 3.3 Position of nodes and stress points in soil elements

در محاسبات تراوش جریان و تحلیل‌های هیدرولیکی، Plaxis علاوه بر محاسبه فشارهای سیال در حالت ساکن که از روی خط آزاد جریان صورت می‌گیرد، اضافه فشارهای حفره‌ای ناشی از اعمال بار را نیز

در صورت زهکش نبودن خاک در نظر می‌گیرد و این دو فشار را با هم جمع می‌کند و به عنوان فشار سیال در محاسبات مربوط به تنش موثر بکار می‌گیرد.

$$P_{active} = P_{steady} + P_{excess}$$

پس فشارهای steady بر اساس خط آزاد جریان (Phreatic) و یا از روی محاسبات خطوط جریان آب محاسبه می‌گردند که در این نرم‌افزار این فشارها به صورت داده ورودی خواهند بود، درحالیکه اضافه فشارهای حفره‌ای آن دسته از فشارهای حفره‌ای هستند که در حالت رفتار زهکش نشده مصالح یا ضریب نفوذپذیری‌های پایین نظیر رس‌ها و در اثر بارگذاری این نوع خاک‌ها در آن ایجاد می‌شود.

نرم‌افزار امکان محاسبه جریان آب در داخل خاک را داشته و با استفاده از مفاهیم اساسی یاد شده، در صورت وجود اختلاف فشار بین دو محیط با در نظر گرفتن کلیهٔ شرایط مرزی ورودی و خروجی آب از یک محیط به داخل محیط دیگر که در بخش interface آن قابل معرفی است، سطح آزاد جریان را محاسبه و ترسیم می‌کند و در ادامه با استفاده از سطح آزاد جریان حاصل، به محاسبه و ترسیم خطوط جریان و هم پتانسیل در محیط می‌پردازد.

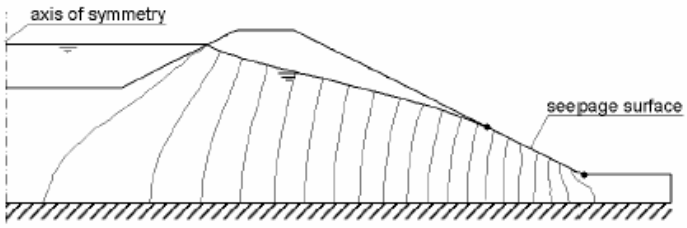


Figure 3.27 Flow through an embankment with indication of a seepage surface

شبکه جریان درخاکریز

نرم‌افزار در مدلهای مورد استفاده خود برای مدلسازی رفتار مکانیکی مواد از الگوی حالت بحرانی و حالت خاص آن الگوی بحرانی Cam-Clay اصلاح شده استفاده می‌کند. بنابراین سطح تسلیم در این نرم‌افزار معرف یک بیضی در فضای p', q' است که در شکل زیر نشان داده شده است.

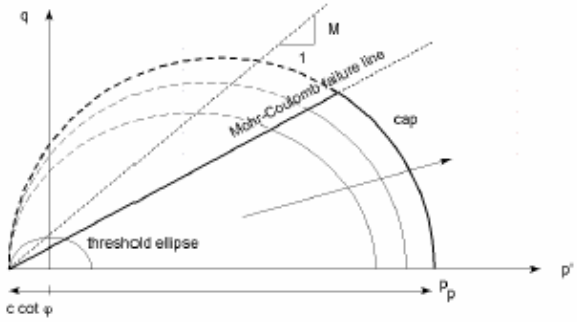
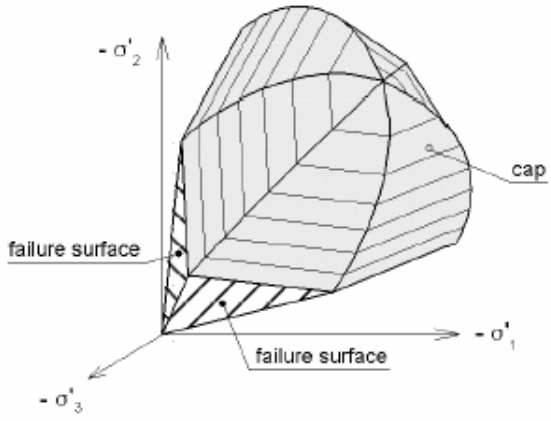


Figure 6.2 Yield surface of the Soft-Soil model in p'-q-plane

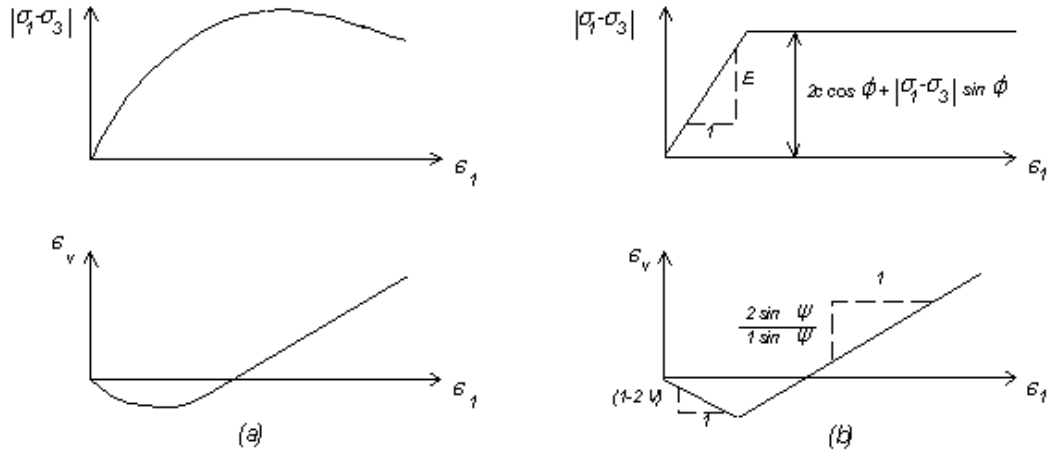


Representation of total yield contour of the Soft-Soil model in principal stress space

در سازه هایی مانند خاکریز، ضریب پایداری به صورت نسبت مقاومت برشی موجود به مقاومت برشی حداقل برای برقراری تعادل تعریف می شود. در نرم افزار Plaxis می توان برای محاسبه ضریب پایداری، روش phi-c Reduction را به کار گرفت، در این روش تغییر شکلهای کلی مفهوم فیزیکی ندارند، اما تغییر شکل های جزئی آخرین مرحله تحلیل (هنگام خرابی) در تعیین مکانیزم خرابی مورد استفاده قرار می گیرند، ضمناً این تحلیل ها بر اساس معیار موهر کولمب انجام می گیرد.

برای درک پنج پارامتر اساسی مدل، به منحنی‌های نمونه تنش ـ کرنش حاصل از آزمایشات سه محوری زهکشی شده توجه می‌کنیم. ابتدا خاک توسط فشار جانبی σ_3 تحت تاثیر قرار گرفته و سپس فشار محوری σ_1 افزایش یافته است. در این مرحله خاکها نمودارهایی همانند نمودار (a) از خود نشان می‌دهند تغییرات حجمی (کرنش حجمی) ماسه‌ها و بسیاری از سنگها همانند نمودار می‌باشد. نمودارهای (b) نتیجه مدل سازی نمودارهای (a) با استفاده از مدل مور – کولمک هستند این نمودارها تاثیرات پنج

پارامتر ذکر شده را نشان می‌دهند. توجه کنید که زاویهٔ اتساع ψ جهت مدلسازی افزایش حجمی برگشت ناپذیر استفاده می‌شود.



σ1	Axial stress	ε1	Axial strain
σ3	Constant confining pressure	εv	Volumetric strain

۲,۳-کلیات مدل کردن در Plaxis:

این قسمت کلیاتی از قسمتهای مختلف Plaxis و نمادهایی را که در آن موجود است معرفی می کند. برای آنالیز هر پروژه جدید نخست وارد کردن یک مدل هندسی اهمیت دارد. یک مدل هندسی نمایشی دو بعدی از نمونه سه بعدی واقعی است که شامل نقاط ، خطوط و کلاستر هاست که باید در برگیرنده نمونه ای از خاک بستر متشکل از لایه های مجزای خاک ، اجزای سازه ای ، مراحل ساخت و نوع بارگذاری باشد. مدل باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا مرزها روی نتایج نمونه مورد مطالعه تاثیری نگذارند. مولفه های یک مدل هندسی در زیر توضیح داده شده اند:

- **نقاط: نقاط در ابتدا و انتهای خطوط هستند. همچنین می توانند در تعیین موقعیت میل مهارها ، نقطه اثر نیرو ، نقاط گیرداری و آرایشهای محلی شبکه اجرای محدود ، بکار می رود.**
- **خطوط : برای تعریف مرزهای فیزیکی هندسه مدل ، ناپیوستگیها در هندسه مدل مانند دیوارها یا پوسته ها ، جداسازی لایه های مجزای خاک یا مراحل ساخت به کار می رود.**
- **کلاسترها: محیطهای متخلخلی هستند که بطور کامل توسط خطوط احاطه شده اند. Plaxis کلاستر ها را بر پایه خطوط هندسی مدل بطور خود کار تشخیص می دهد. خاک درون یک کلاستر دارای ویژگیهای همگن است. از این رو کلاسترها می توانند بعنوان بخشهای مجزای از لایه های خاک مورد توجه قرار گیرند . عملیات مربوط به یک کلاستر به کلیه المانهای درون آن مربوط می شود.**
- **المانها: در حین تولید مش ، کلاسترها به المان سه وجهی تقسیم می شوند. می توان بین المانهای ۶ گره ای یا ۱۵ گره ای یک گزینه را انتخاب کرد.**
- **گره ها: یک المان ۱۵ گره ای از ۱۵ گره تشکیل شده است و یک سه وجهی ۶ گره ای با ۶ گره تعریف می شود.**

ایجاد یک مدل هندسی بر پایه وارد کردن نقاط و خطوط است. این امر بوسیله نشانگر موس در محیط ترسیم انجام می گیرد. چندین ابزار کمکی جهت ترسیم مدل هندسی در منو یا نوار ابزار موجود می باشد. وارد کردن اغلب موضوعات هندسی بر پایه روش ترسیم خطوط است. در هر مود ترسیم با کلیک دکمه سمت چپ موس یک نقطه ایجاد می شود. با حرکت موس وکلیک دوباره دکمه سمت چپ موس یک نقطه جدید همراه با یک خط که دو نقطه مذکور را به هم متصل کرده است ایجاد می شود. رسم خط با کلیک راست موس یا بوسیله فشار دکمه<Esc> صفحه کلید پایان می پذیرد.

در برنامه Plaxis از کاربر پرسیده می شود که آیا یک پروژه جدید تعریف می شود یا یک پروژه تعریف شده قبلی اصلاح می شود. اگر مورد اخیر انتخاب شود برنامه چهار پروژه آخر را لیست می کند . انتخاب گزینه <more file> که در ابتدای لیست ظاهر می شود یک کادر درخواست فایل ایجاد می کند که کاربرمی تواندپرو ه های تعریف شده قبلی را برای ویرایش انتخاب کند.

هنگامی که یک پرو ه جدید درحال تعریف است . پنجره <General Settings> آشکار می شود . این پنجره شامل دو نوار برگه اول تنظیمات متنوعی برای پرو ه مورد نظر قابل انجام است.نام فایل در اینجا مشخص نمی شود بلکه هنگام ذخیره پروژه وارد می شود. کاربر می تواند توصیفی خلاصه از مسئله به منظور عنوان پروژه در جعبه Comment وارد نماید.این عنوان به صورت نام فایل پیشنهادی در نقشه های خروجی نمایان می شود. جعبه Comment یک مکان مناسب برای ذخیره اطلاعات مربط به آنالیز می باشد. در جعبه General نیز نوع آنالیز ونوع المانها مشخص می شوند. برای حل شبه استاتیکی مسائل دینامیکی امکان ورود ضرایب شتاب جداگانه ای علاوه بر گرانش زمین در جعبه Acceleration وجود دارد.

در دومین نوار برگه باید واحد های اصلی طول ، نیرو ، زمان وابعاد حداقل صفحه ترسیم مشخص شود. سیستم عمومی محورها به شکلی است که نقاط محورX به سمت راستومحورY به سمت بالا ومحور Z به سمت کاربر (عمود بر صفحه ترسیم) باشد. در Plaxis یک مدل دو بعدی در پلان X-Y ایجاد می شود ومحور Z تنها برای نمایش خروجی تنشها به کار می رود.

در عمل صفحه ترسیمی حاصل بزرگتر از مقادیر داده شده خواهد بود. بخشی از این مسئله به خاطر این است که Plaxis به صورت خودکار حاشیه ای کوچک به ابعاد صفحه اضافه می کند و قسمتی از آن هم به دلیل تفاوت نسبت عرض به ارتفاع بین مقادیر توصیفی وصفحه نمایش می باشد.

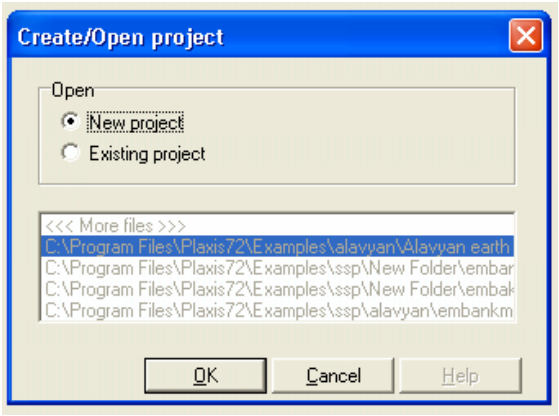
۲,۴- مدل سد علویان در برنامه Plaxis :

در این بخش سد علویان با سه مدل متفاوت برای برنامه Plaxis تعریف می شود. در مدل اول (Alavyan earth dam 1) ساختار کلی سد برای رفتار طولانی مدت سد بصورت زهکشی شده برای محاسبه مقدار تغییر شکلها و دبی آب خروجی و تعیین منحنی های هم پتانسیل و ضریب اطمینان شیروانی در طولانی مدت و ... مدل شده است.در مدل دوم (Alavyan earth dam2) مراحل ساخت سد علویان برای تعیین مقدار نشست تحکیم هر مرحله و تعیین ضریب اطمینان هر مرحله قبل و بعد از هر تحکیم به صورت زهکشی نشده (undrained) مدل شده است. مدل سوم برای (Alavyan earth dam) تعیین رفتار سد در تغییر ناگهانی سطح آب می باشد. در این مدل رفتار خاک بصورت زهکشی نشده (undrained) در نظر گرفته می شود و ضریب اطمینان سد بعد از تغییر سریع سطح آب تعیین می گردد.

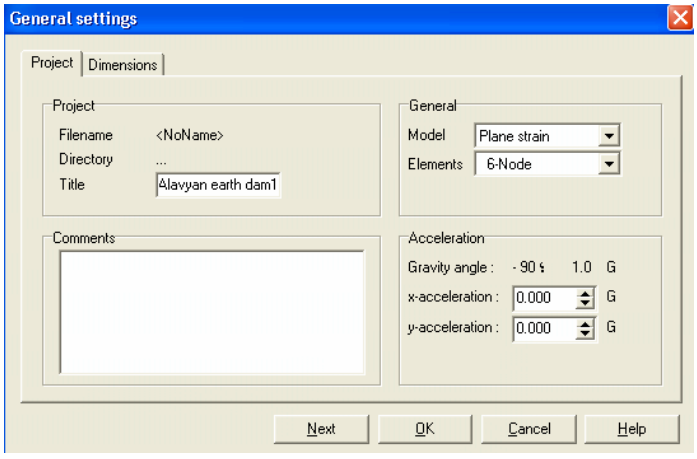
در مراحل مدل کردن سد، سعی شده ابزارهای لازم برای مدل کـردن در برنامـه Plaxis توضـیح داده شود تا بدینوسیله خواننده بتواند با مراحل مدل کردن در این برنامه آشنا شود.

۲,۵- مدل Alavyan earth dam1 :

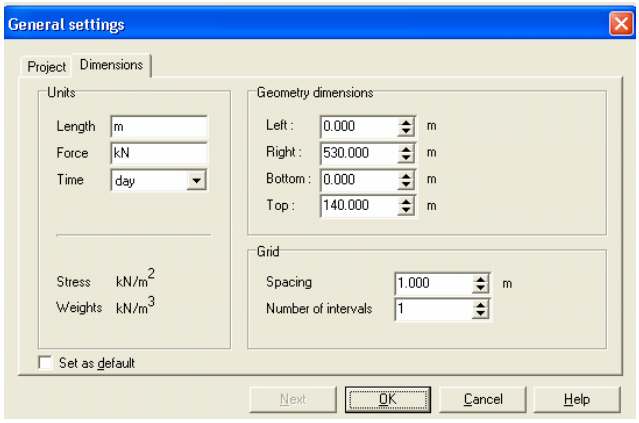
بعد از اجرای برنامه Plaxis پنجره Create/open project آشکار می شود. برای ایجاد پـروژه جدیـد باید گزینه New project را انتخاب کنید . در این پنجره می توانید پروژه قبلی را انتخاب کنید و آنهـا را برای مقاصد خود Edit کرد.(شکل ۱)



در پنجره بعد General setting می توان تنظیمات اصلی مدل را انجام داد. در برگه Project می توان عنوان پروژه و نوع مدل و نوع المانها را تعیین کرد. مطابق شکل ۲ عنـوان پـروژه را Alavyan earth dam و بصورت کرنش مسطح با المان ۶ گره ای مدل می شود.

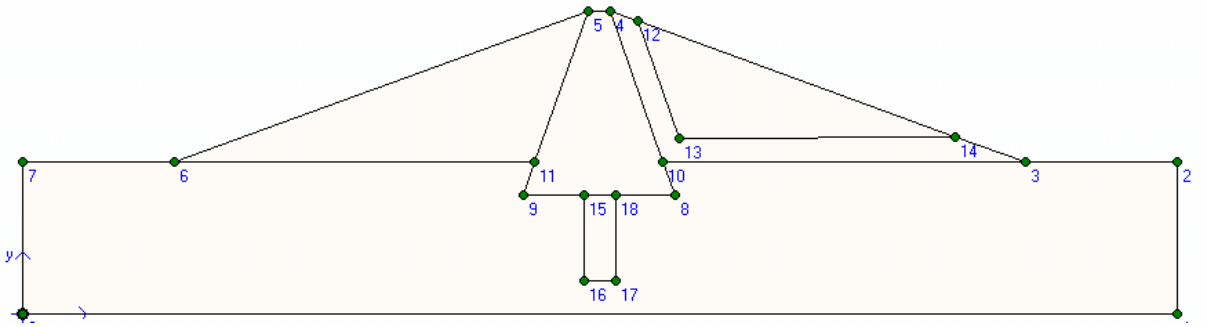


در برگه Dimensions واحد طول، نیرو و زمان تعیین می شود ابعاد کلی مدل نیز در این برگه وارد مـی شود(شکل ۳).

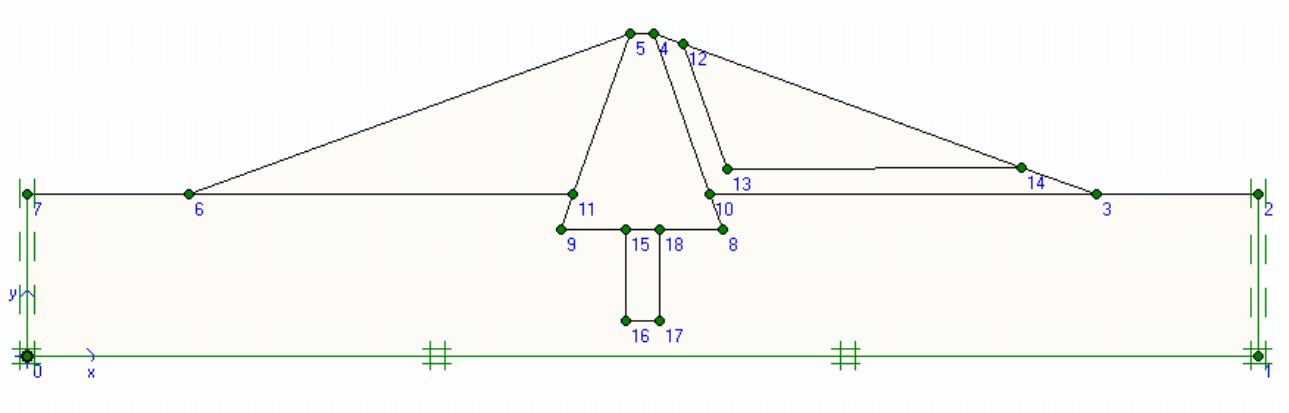


بعد از وارد شدن به صفحه اصلی ، برای ترسیم خطوط و ایجاد کلاستر ها باید Geometry Line را انتخاب کرد (بطور پیش فرض انتخاب شده است). برای شروع ترسیم در هر نقطه دلخواه از کلیک چپ موس استفاده می کنیم.

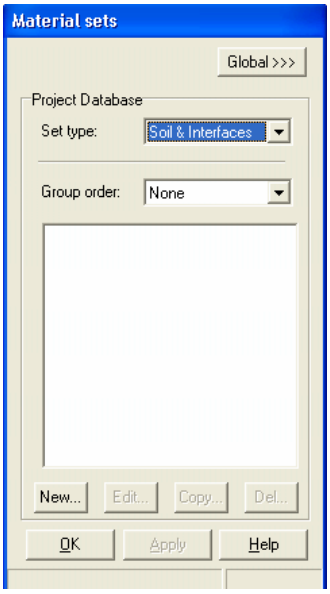
موس را به نقطه (0,0) برده و کلیک چپ می کنیم. موس را به نقطه (535,0) برده و دوباره کلیک چپ می کنیم(برای رسم خطوط صاف می توانیم از دکمه Shift کمک بگیریم) موس را به نقطه (535,70) برده و دوباره کلیک چپ می کنیم (برنامه بصورت اتوماتیک برای هر نقطه یک شماره در نظر می گیرد). به همین ترتیب بر اساس شکل کلی سد که در بخش ۲,۱ آمده است مدل هندسی سد کامل می شود. Plaxis بصورت اتوماتیک کلاسترها تشخیص میدهد .

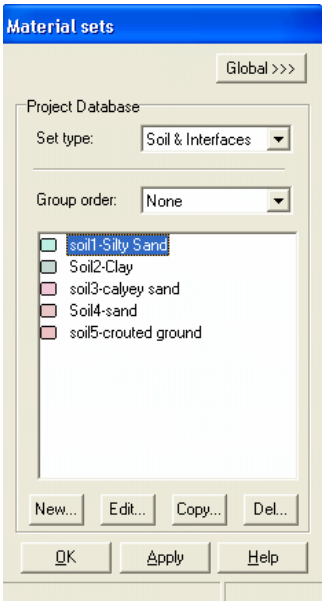


بعد از ایجاد مدل هندسی ، باید قیود تکیه گاهی سد به برنامه تعریف شود برای این منظور از منوی Loads گزینه standard fixities انتخاب کنید. این گزینه در اغلب پرزه های مهندسی کربرد دارد. Standard fixities تکیه گاه زیر سد را صلب در نظر می گیرد و تکیه گاهای اطراف سد را بصورت مفصلی تعریف می کند.



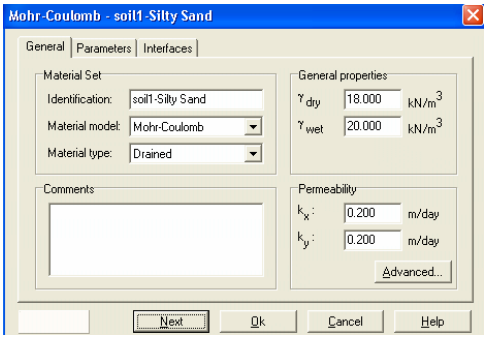
بعد از این مرحله باید مشخصات خاک هر کلاستر تعیین شود. برای این کار انواع خاکها تعریف می کنیم. برای اینکار از منوی Materials گزینه Soil&Interface را انتخاب می کنیم. پنجره Material set مطابق شکل زیر آشکار می شود.

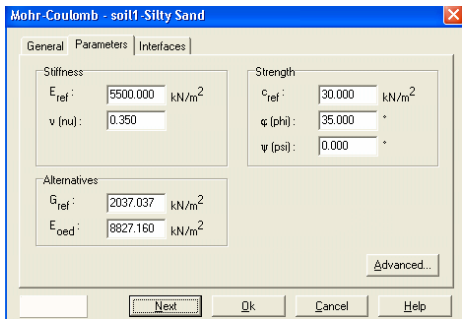




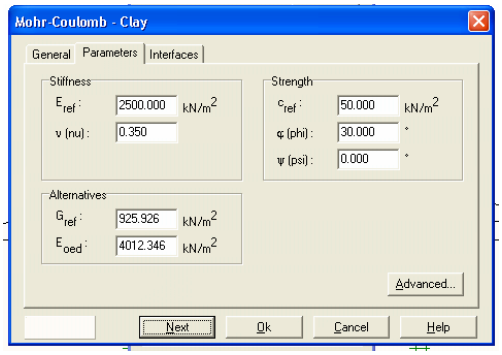
از گزینه New برای تعریف خاک جدید استفاده مـی شـود . در پنجـره General نـام خـاک و معیـار گسیختگی ، نوع خاک ، وزن مخصوص و نفوذپذیری خاک تعریف می شود.

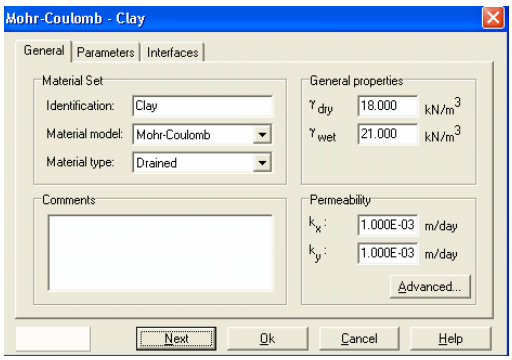
مـدول یانـگ ، ضـریب پواسـون ، چـسبندگی ، زایـه اصـطکاک داخلـی و زاویـه اتـساع در قـسمت Parameters تعریف می شود.

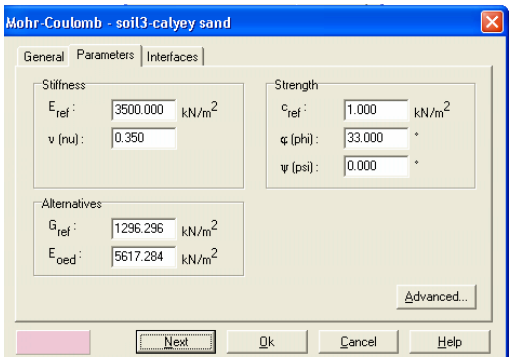


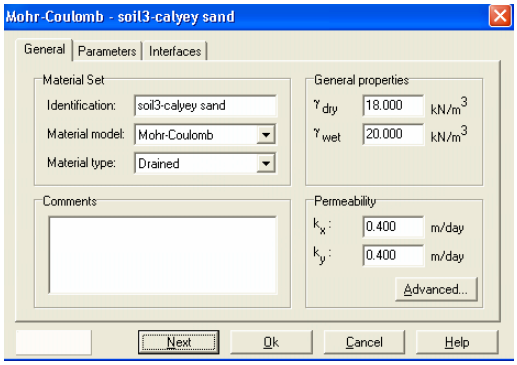


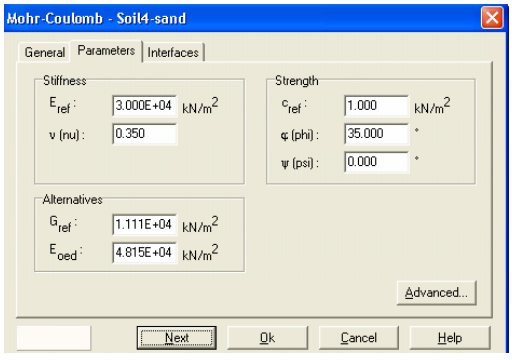
برای بقیه خاکها مطابق جدول ارائه شده و تصاویر زیر خاکها تعریف می شود.

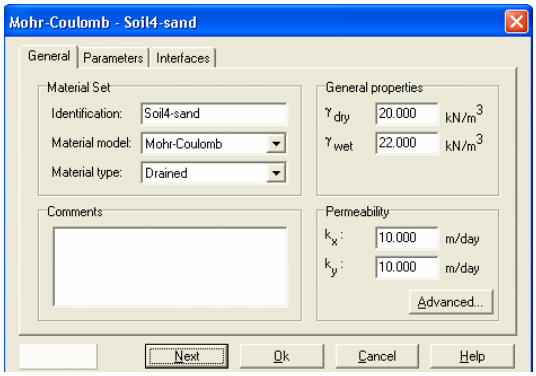




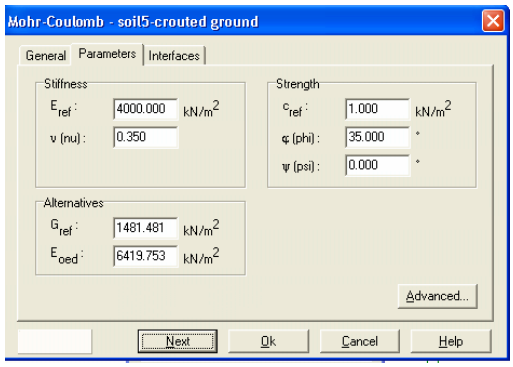


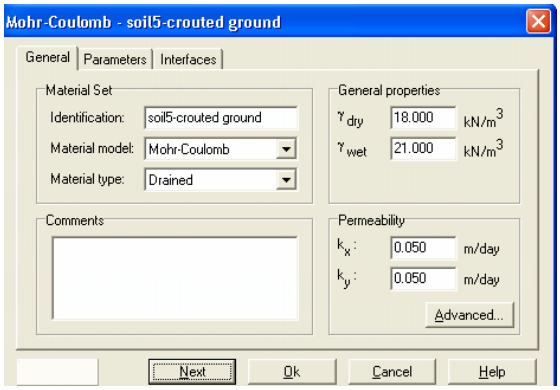


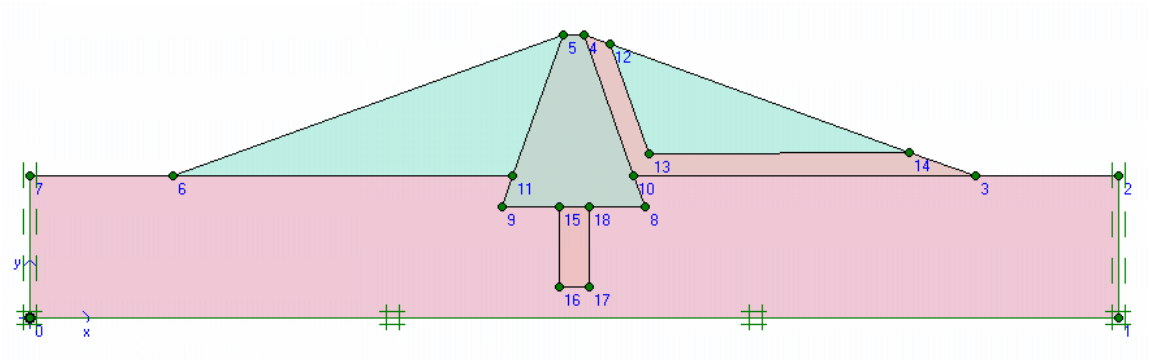




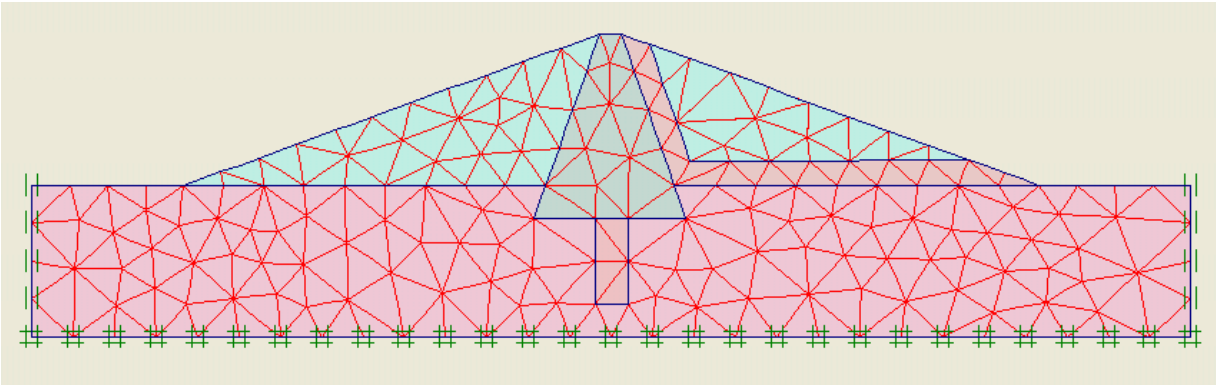
بعد از تعریف خاکها می توان می توان خاکهای هر کلاستر را بوسله دراگ (Drag) کردن به آن کلاستر منصوب کرد.



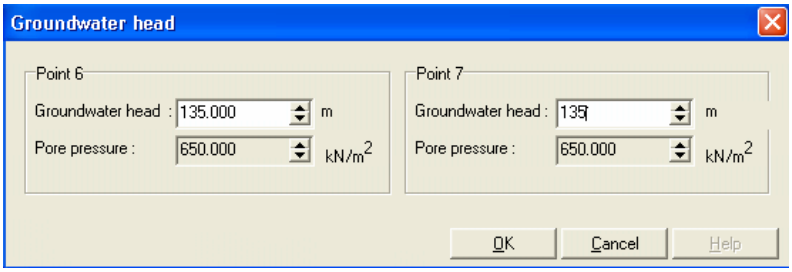




بعد از تعریف خاکها ، مش بندی کلاسترها انجام می پذیرد این کار بصورت اتوماتیک در برنامه Plaxis صورت می پذیرد. برای این کار از منوی **Mesh** گزینه **global coarseness** انتخاب کنید. اندازه مش را **Fine** انتخاب و روی گزینه **Generate** کلیک کنید.مش بصورت اتوماتیک ایجاد می شود. روی گزینه **update** کلیک کنید تا به صفحه **input** بازگردید



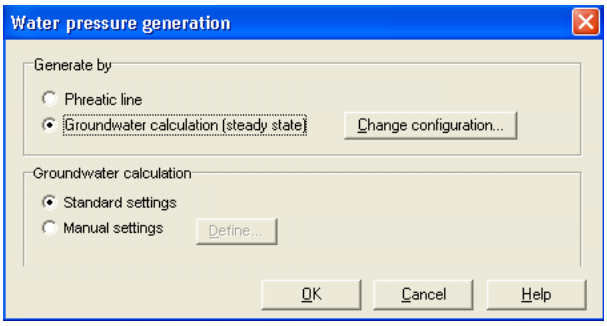
از منوی **Initial** گزینه **initial condition** انتخاب می شود.مقدار**10kN/m2** را برای وزن مخصوص آب قبول کنید. در این حالت می توان به روشهای مختلف سطح آب را تعریف کرد. برای مدل کردن جریان آب ،روی شیب بالادست دوبار کلیک چپ کنید ، چنجره ای مطابق شکل زیر آشکار می شود هد آب شیب بالادست را **135 m** وارد کنید.



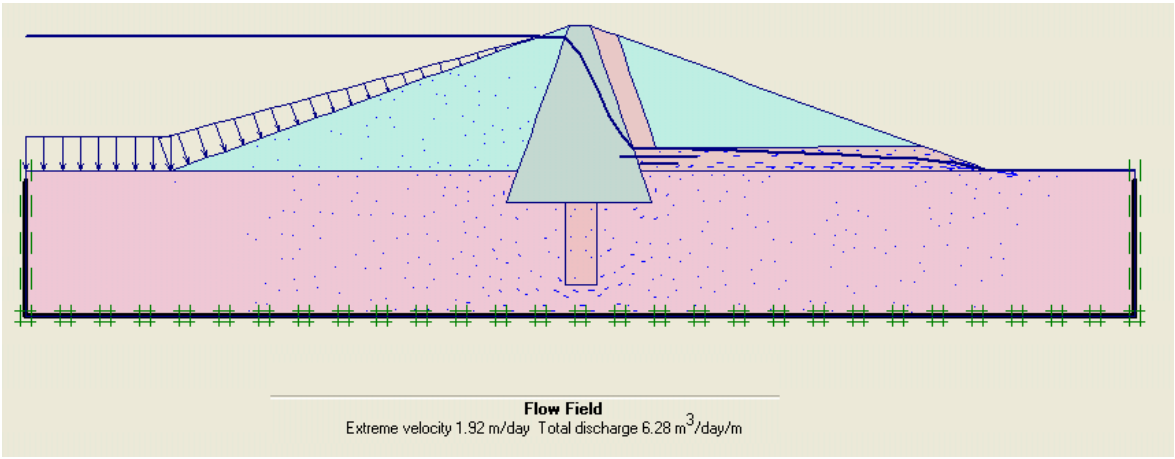
مناطقی که از آن آب عبور نمی کند را بوسیله **Closed flow boundary** مسدود کنید برای این کار از منوی **Geometry** گزینه **Closed flow boundary** را انتخاب کنید. در نقطه **(0,70)** کلیک چپ کنید

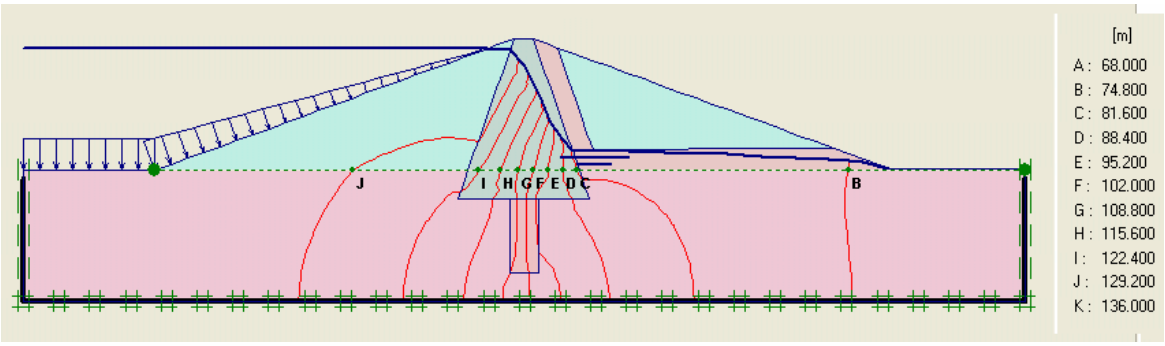
دوباره در نقطه (0,0) و (535,0) و در آخر در نقطه (535,70) کلیک چپ کنید و برای پایان دادن رسم کلیک راست کنید.

برای محاسبه جریان آب از منوی Generate گزینه Water pressures را انتخاب کنید. پنجره water pressure generation آشکار می شود. در این پنجره گزینه Ground water calculation را انتخاب کنید.



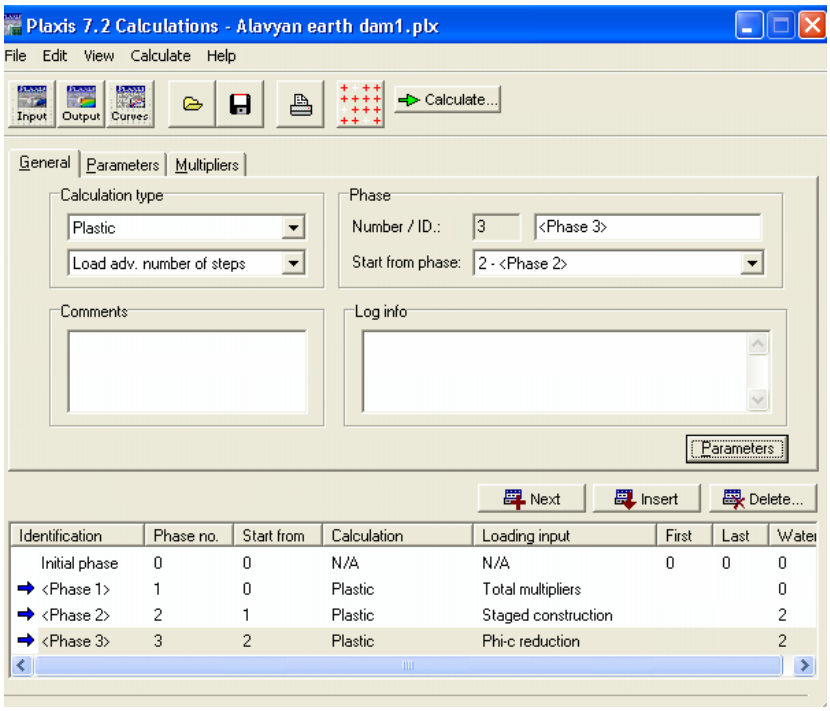
بعد از محاسبه صفحه Output آشکار می شود. در این صفحه می توان اطلاعات زیادی از قبیل دبی خروجی ، فشار منفذی ،خطوط هم پتانسیل و ... بدست آورد. روی گزینه update برای برگشت به محیط Input کلیک کنید و روی گزینه Calculation برای وارد شدن به صفحه Calculation کلیک کنید.





بعد از Save پنجره Calculation آشکار می شود. در این مدل سه فاز محاسباتی داریم ، فاز اول برای محاسبه تنش اولیه می باشد چون در این مدل سطح شیب دار داریم نمی توانیم از روش K_0 استفاده

کنیم در عوض از روش **Gravity Loading** استفاده می کنیم. در فاز دوم ، محاسبات اصلی سد از قبیل تغییر شکلها و وضعیت تنشها در بدنه سد بصورت محاسبات **Plastic** انجام مـی شـود. . در فـاز سـوم ضریب اطمینان شیروانی در مقابل لغزش به روش **Φ-C reduction** محاسبه می شود.

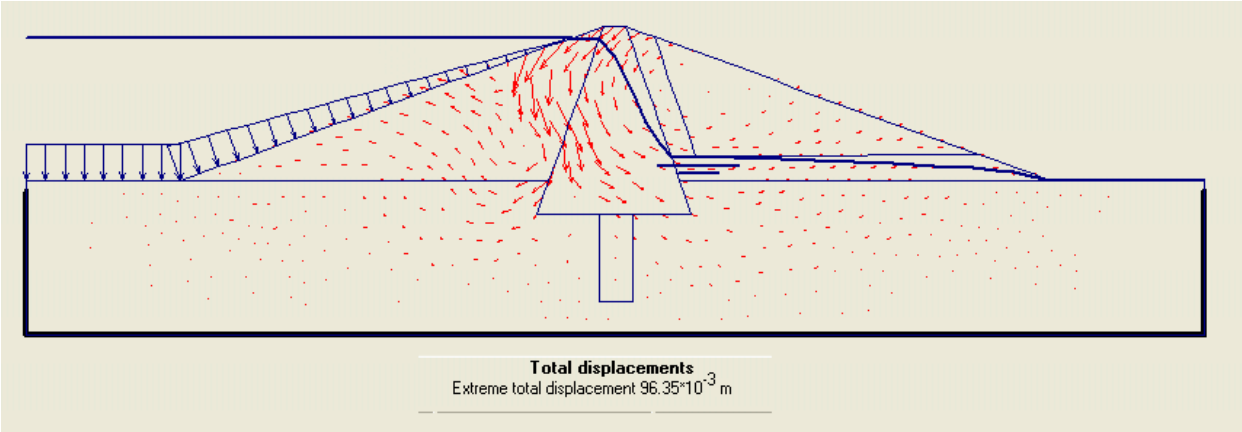


برای معرفی صحیح فازها مراحل زیر را بترتیب انجام دهید:

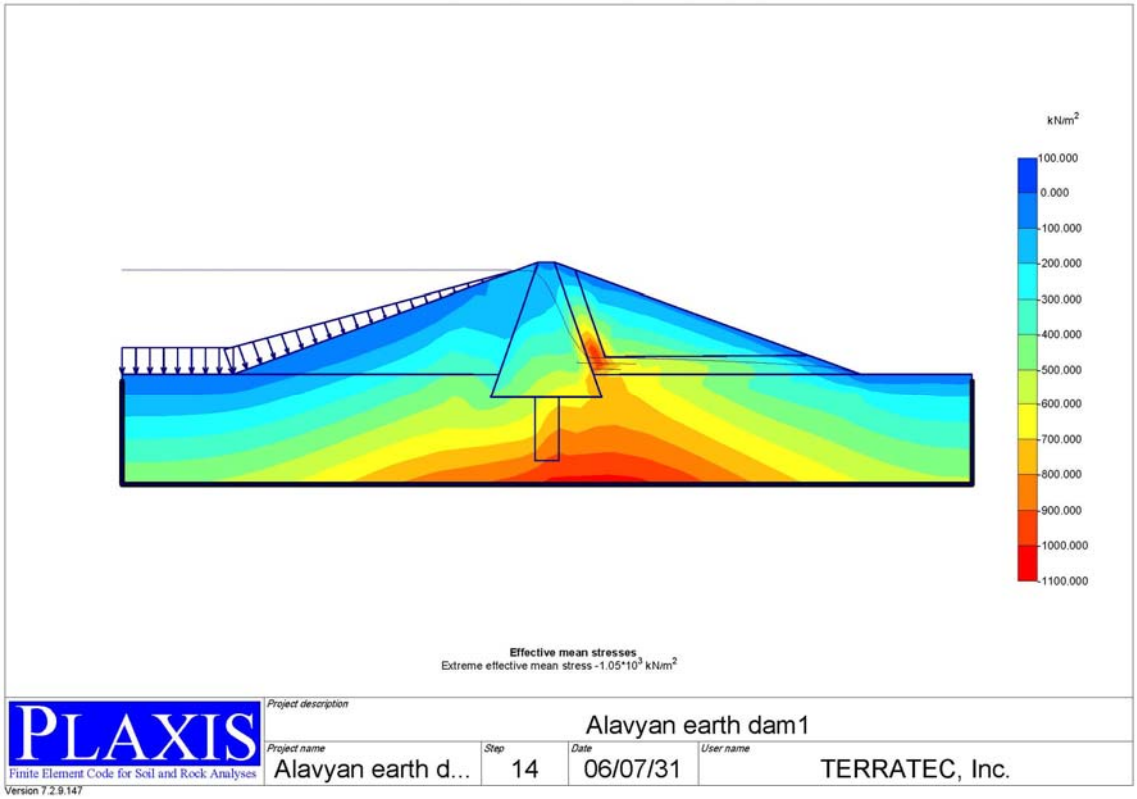
- برای فاز اول تمام پیش فرضهای برگه **General** را قبول کنید.
- در برگه **Parameter** از قسمت **Loading input** گزینـه **Total multipliers** را انتخـاب و بعد روی گزینه **Define**کلیک کنید.
- مقدار $\sum M_{weight}$ را برابر **1** قرار دهید.
- روی گزینه **Next** برای ایجاد فاز بعدی محاسباتی کلیک کنید.
- تمام پیش فرضهای صفحه **general** را قبول کنید.
- در برگه **Parameters** گزینه **Reset displacement to zero** را انتخاب کنید.
- در قسمت **Loading input** حالت **staged construction** را انتخاب کنید.
- روی گزینه **Next** برای ایجاد فاز بعدی کلیک کنید.
- در برگـه **General** در قـسمت **Calculation** حالـت **Load adv. Number of steps** را انتخاب کنید.
- همه پیش فرضها را قبول کنید.

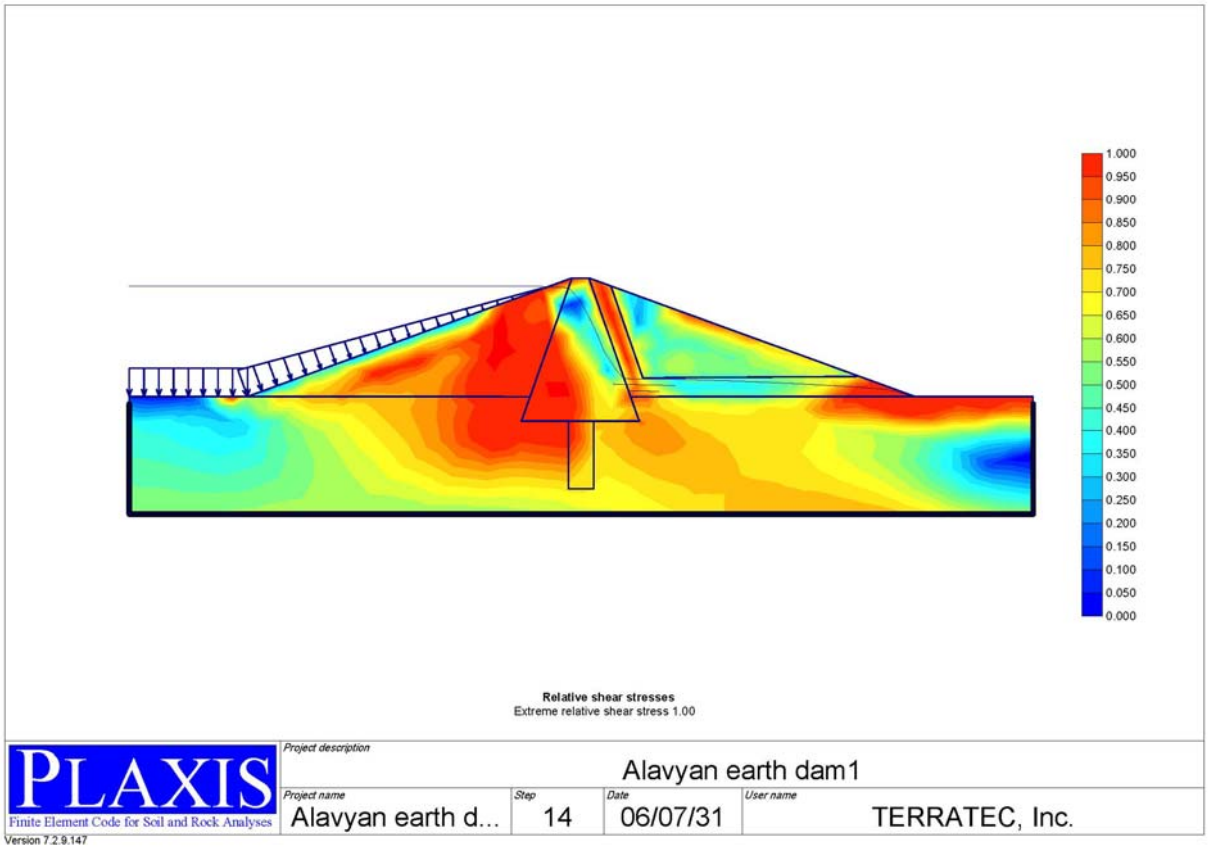
از منوی **View** گزینه **select points for curves** را انتخاب کنید تا نقاطی برای رسـم انـواع منحنـی داشته باشید. بعد از انتخاب چند نقطه روی گزینه **Update** کلیک کنیـد . در ایـن زمـان مـی توانیـد محاسبات را با کلیک روی گزینه **Calculation** ، شروع کنید.

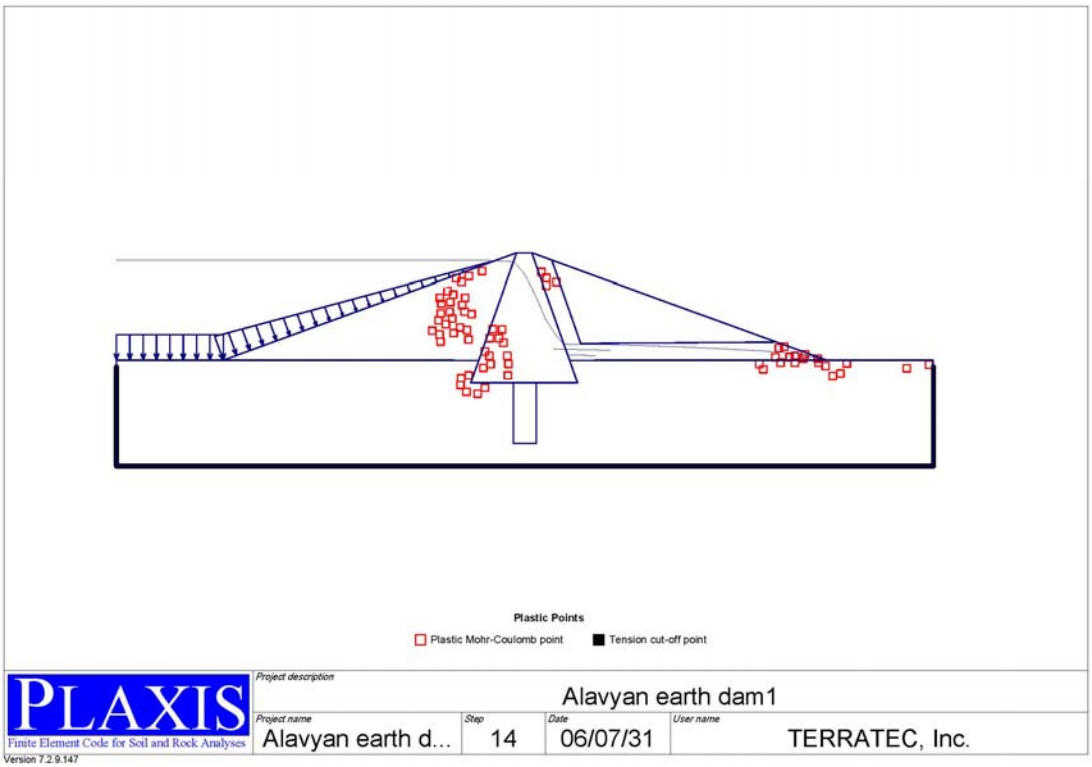
برای دیدن خروجی هر فاز ، نخست آنرا انتخاب بعد روی گزینه Output کلیک کنید. در صفحه Output در منوی Deformation می توانید تغییر شکلهای سد را ملاحظه کنید.



در منوی Stress می توان تنشهای بدنه سد را مشاهده کرد.

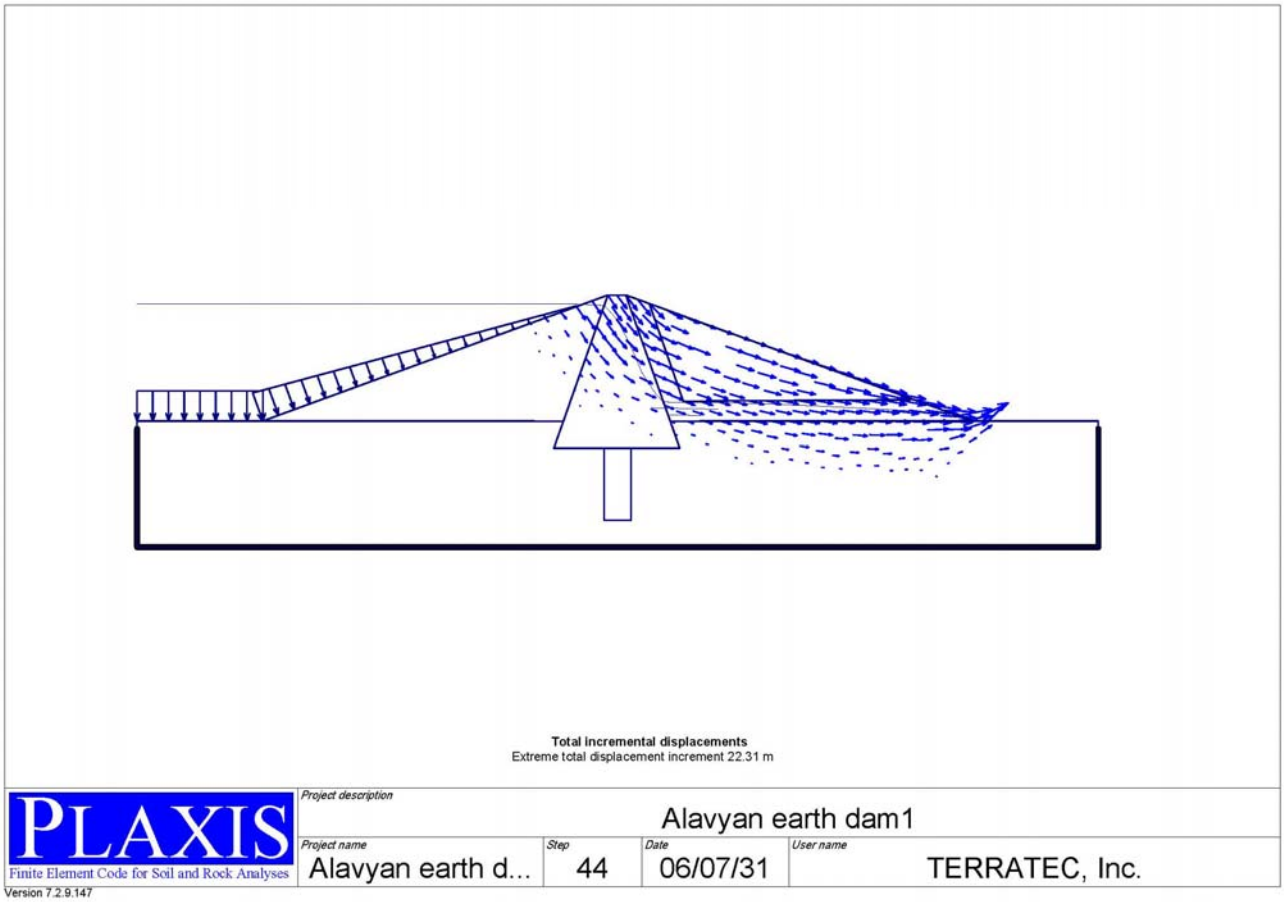




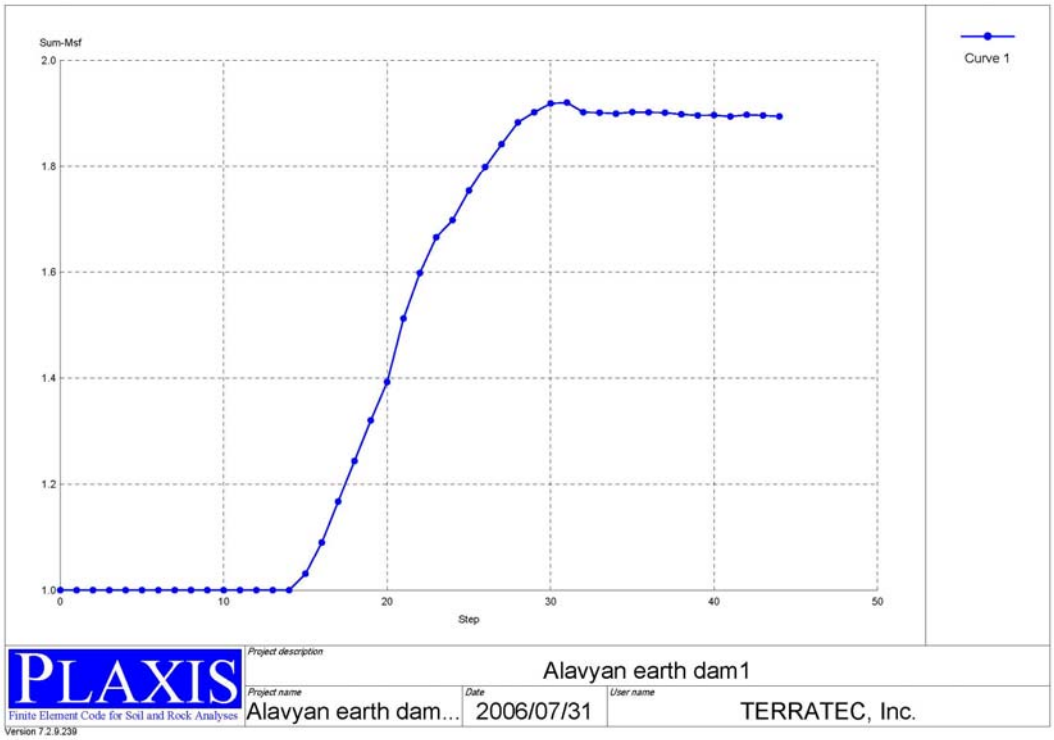


در محیط calculation فاز سوم را انتخاب کنید . گزینه Output را کلیک کنید. ایـن فـاز مربـوط بـه محاسبه ضرسب اطمینان می باشد. مقدار جابجایی نشان داده شـده صـفحه Output معنـی فیزیکـی

ندارد. از منوی Deformation گزینه total incremental را انتخاب کنید. مکـانیزم گـسیختگی بـه روشنی قابل ملاحظه است.

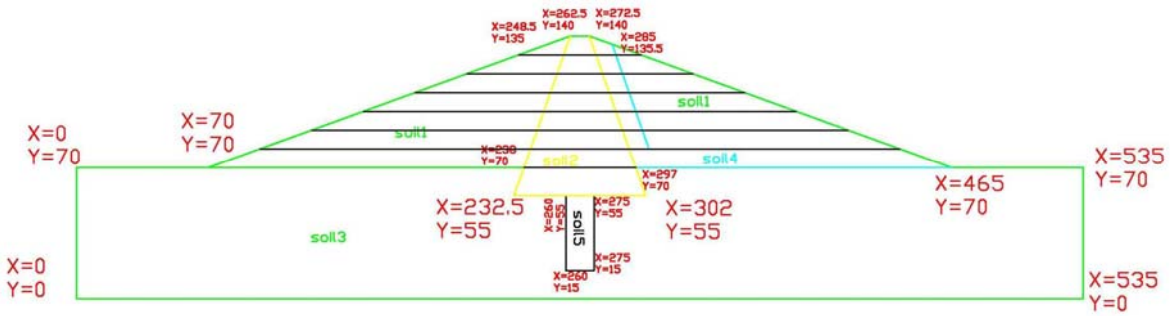


برای تعیین ضریب اطمینان در منوی View گزینه Calculation info را انتخاب کنید. مقـدار ∑Msf ضریب اطمینان است که برابر 1.894 می باشد.

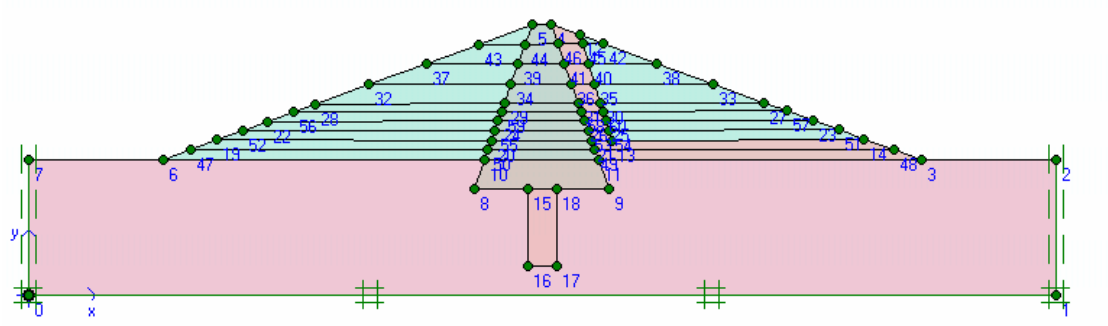


۲,۶- مدل Alavyan earth dam2 :

در این مدل فرض می شود که خاکها در 10 لایه ریخته و کوبیده می شوند ،6 لایه دارای ضخامت 5m و 4 لایه بالایی 10m ضخامت دارند. بعد از عملیات خاکریزی برای هر لایه مدت زمان 200 روز برای تحکیم خاک زیر سد زمان داده و لایه بعدی اجرا می شود. در این مدل سطح آب زیر رمینی منطبق با سطح زمین درنظر گرفته می شود. خاک زیرسد باید بصورت زهکشی نشده (undrained) باشد تا اینکه بتوان رفتار خاک را در اثر افزایش فشار منفذی نشان داد. مطابق شکل زیر ، مدل Alavyan earth dam1 را Edit می کنیم

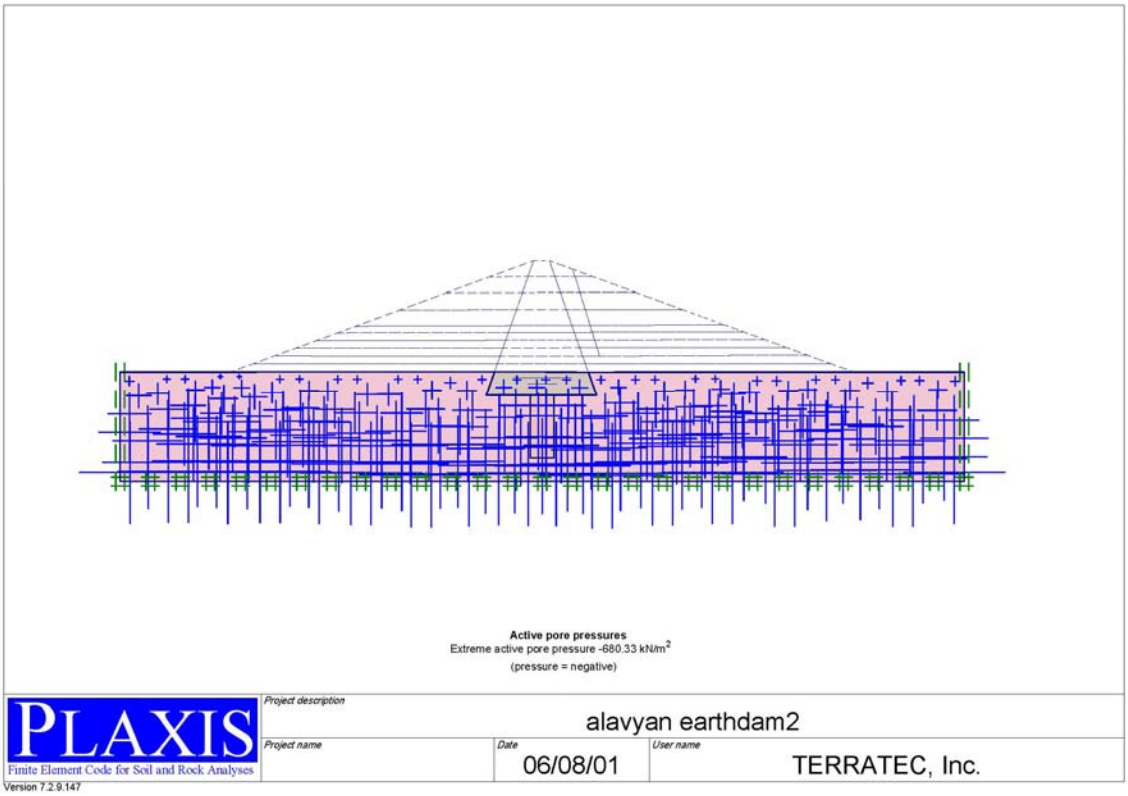


بعد از اجرای برنامه Plaxis input پنجره Create/open project آشکار می شود. گزینه Existing project را انتخاب و فایل Alavyan earth dam1 را برای ویرایش انتخاب کنید. این فایل را با اسم جدیدAlavyan earth dam2 ذخیره کنید. به کمک Geometry Line بدنه سد را مطابق شکل بالا به لایه های 5 و 10m تقسیم کنید

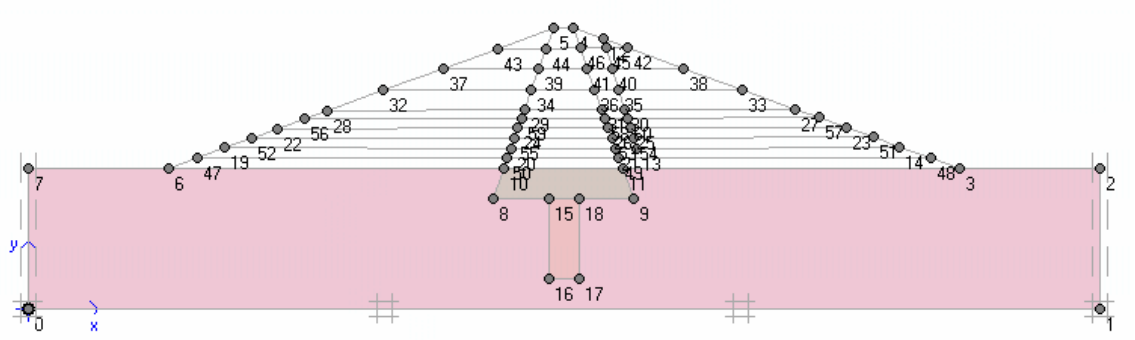


از منوی Materials گزینه Soil&reaction را انتخاب کنید. خاکهای که در زیر سطح آب قرار دارد باید بصورت زهکشی نشده تعریف شود برای این کار اول آنها را انتخاب کرده و بعد روی گزینه Edit کلیک کنید. در برگه General قسمت Material set گزینه undrained را انتخاب کنید.

برای تعریف سطح آب زیر زمینی از منوی Geometry گزینه Phreatic line را انتخاب کنید. برای تعریف سطح آب در نقاط (0,70) و(535,70) کلیک کنید. روی گزینه Generate water pressure کلیک کنید تا فشار هیدرو استاتیکی آب محاسبه شود روی گزینه Updateکلیک کنید تا به صفحه input بر گردید.

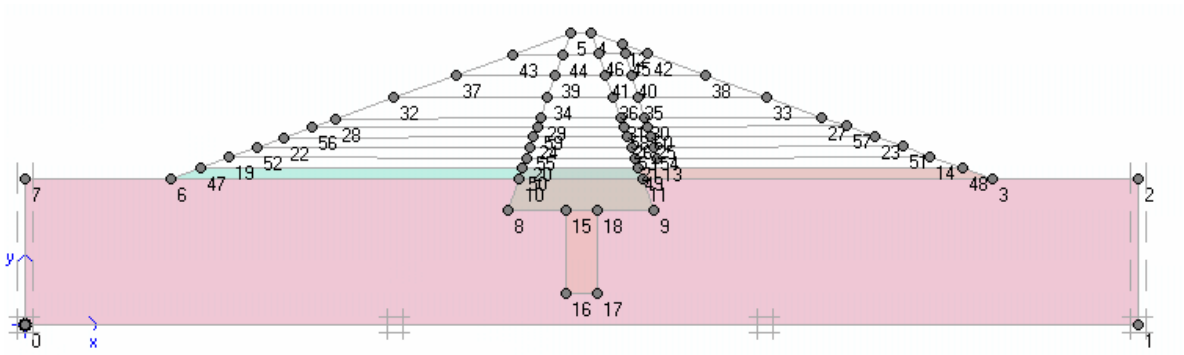


روی گزینه **switch** کلیک کنید تا وضعیت اولیه تنشها را تعریف کنید. با کلیک روی لایه های بـالاتر از سطح زمین آنها را غیر فعال کنید. در این حالت چون یک سطح افقی داریم ، می توانیم وضعیت تنـشها را از روش K_0 بدست آوریم. برای تولید تنشهای اولیه روی گزینه **Generate initial stress** از منـوی **Generate** کلیک کنید. روی گزینه **update** کلیک کنید. روی گزینه **Calculation** بـرای رفـتن بـه صفحه محاسبات کلیک کنید.



برای تعریف فازهای محاسباتی روند زیر را انجام دهید.

- برای فاز اول ، کلیه پیش فرضهای برگه **General** را قبول کنید.
- در برگه **Parameters** حالت **staged construction** را انتخاب کنید و روی گزینـه **Define** کلیک کنید.
- لایه اول خاک ریزی را فعال کنید و گزینه **Update** را کلیک کنید.



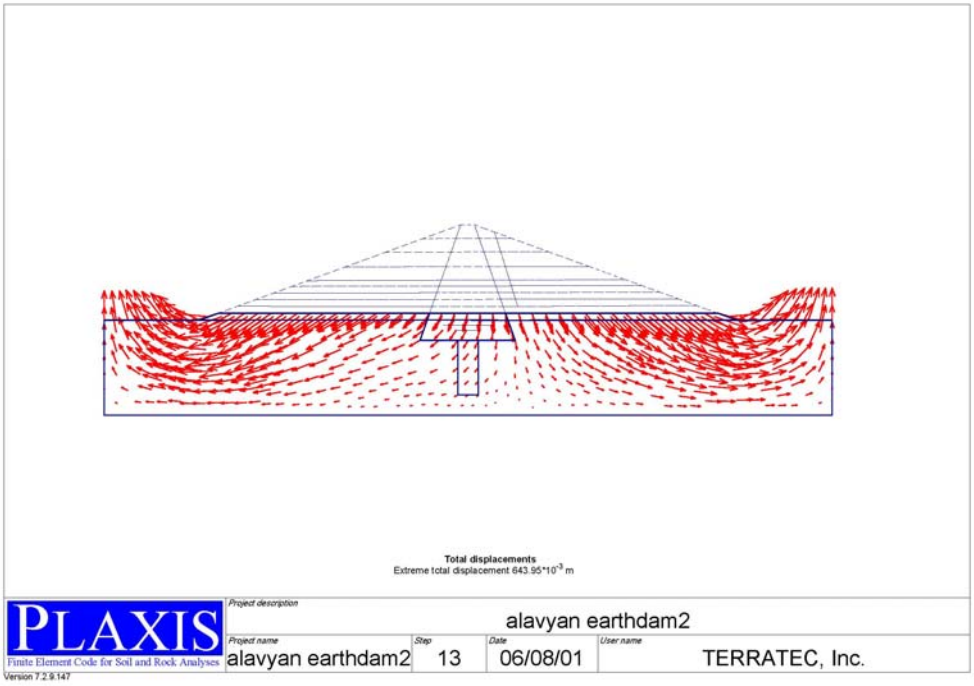
- روی گزینه **Next** برای تعریف فاز بعدی کلیک کنید.
- برای فاز 2 ، از برگه **General** حالت **consolidation** را انتخاب کنید.
- در برگه **parameters** در مقابل گزینه **ultimate interval** ، عدد ۲۰۰ را وارد کنید
- این روند را برای لایه های باقی مانده به همین ترتیب تکرار کنید.

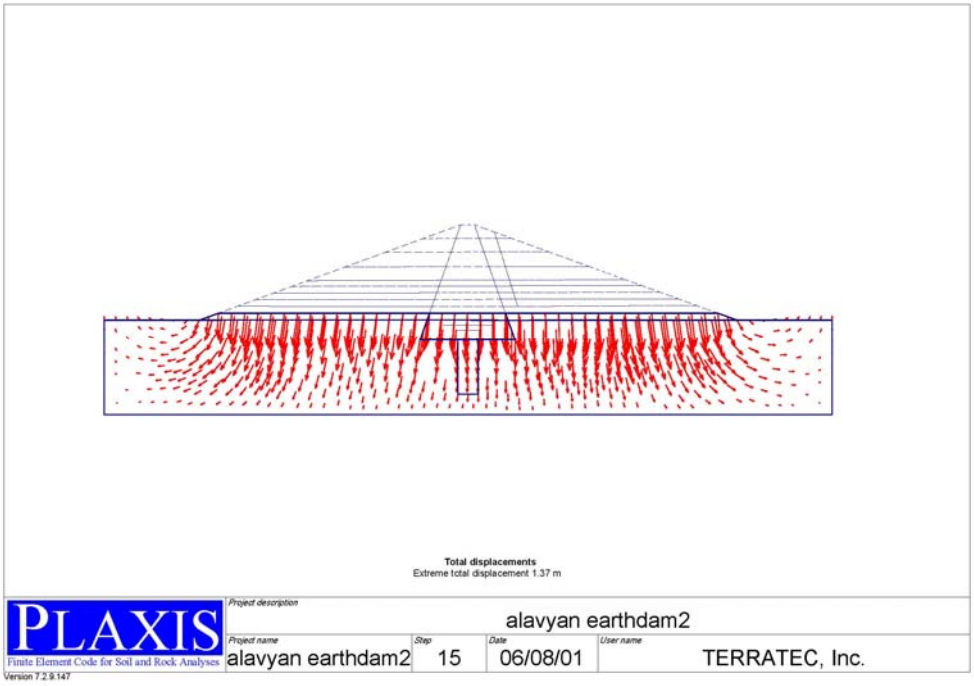
بدین ترتیب ۲۰ فاز محاسباتی برای محاسبه نشست تحکیم سد داریم. در این مرحله می خواهیم ضریب اطمینان شیروانی را وقتی که لایه سوم خاکریزی می شود قبل و بعد از تحکیم حساب کنیم . برای ایـن کار ، روند زیر را دنبال کنید.

- فاز ۶ را انتخاب کنید و روی گزینه **insert** کلیک کنید.

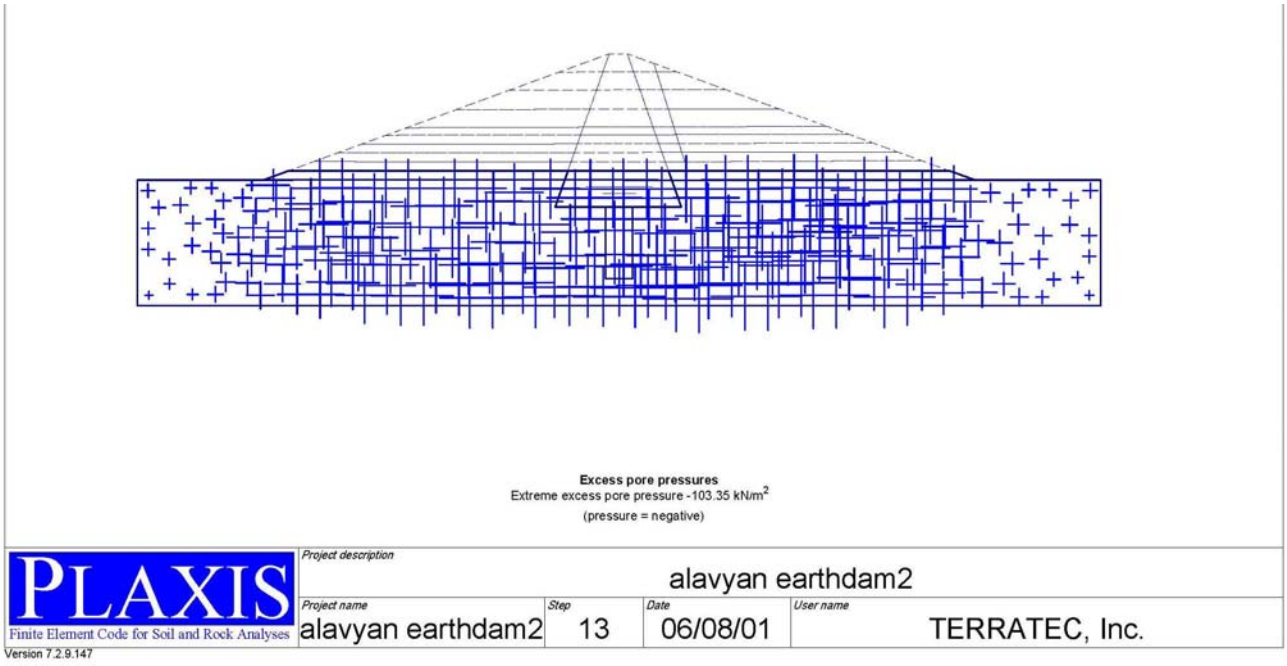
- **فاز جدید بین فاز ۵ و ۶ ایجاد می شود. در برگه General حالت Load adv. Number of steps را انتخاب کنید. پیش فرضها را بپذیرید.**
- **فاز ۷ را انتخاب کنید و این روند را تکرار کنید.**

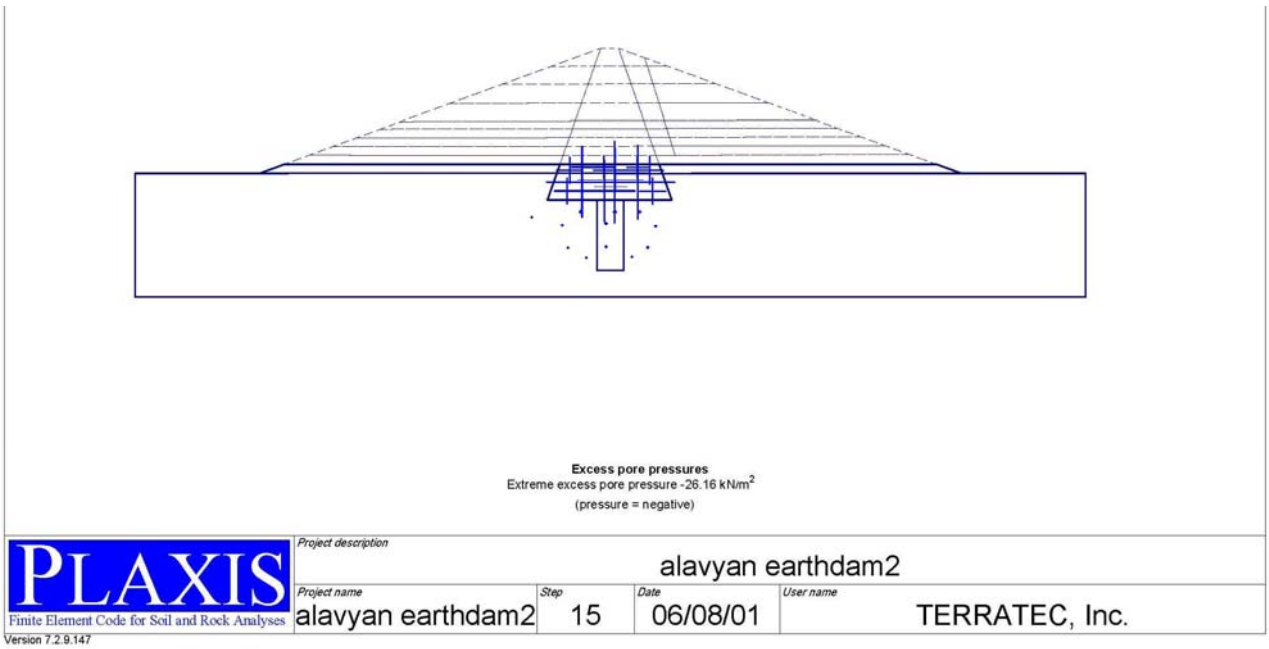
در این حالت مدل آماده محاسبه است . روی گزینه Calculation برای شروع محاسبات کلیک کنید. بعد از پایان یافتن محاسبات فاز ۱ و ۲ را باهم انتخاب کنید. روی گزینه output کلیک کنید.مقدار نشست آنی و نشست تحکیمی در اشکال زیر نشان داده شده است.



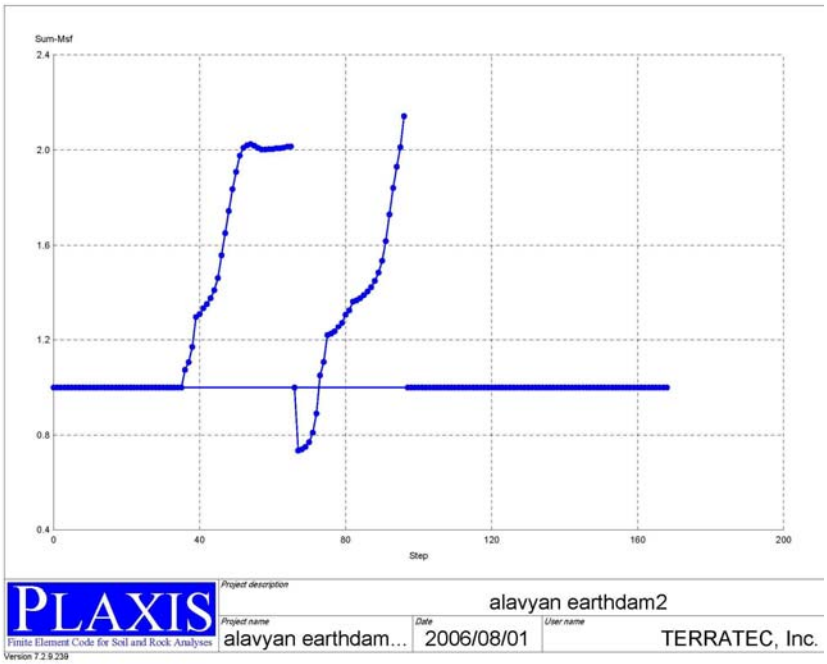


وضعیت اضافه فشار حفره ای قبل و بعد از تحکیم در اشکال زیر آمده است.

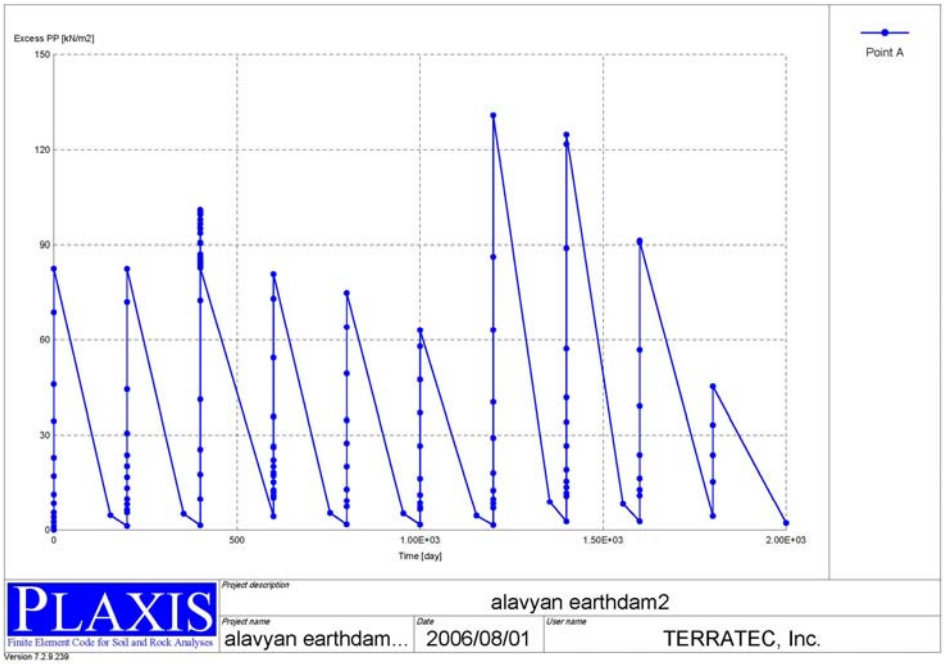


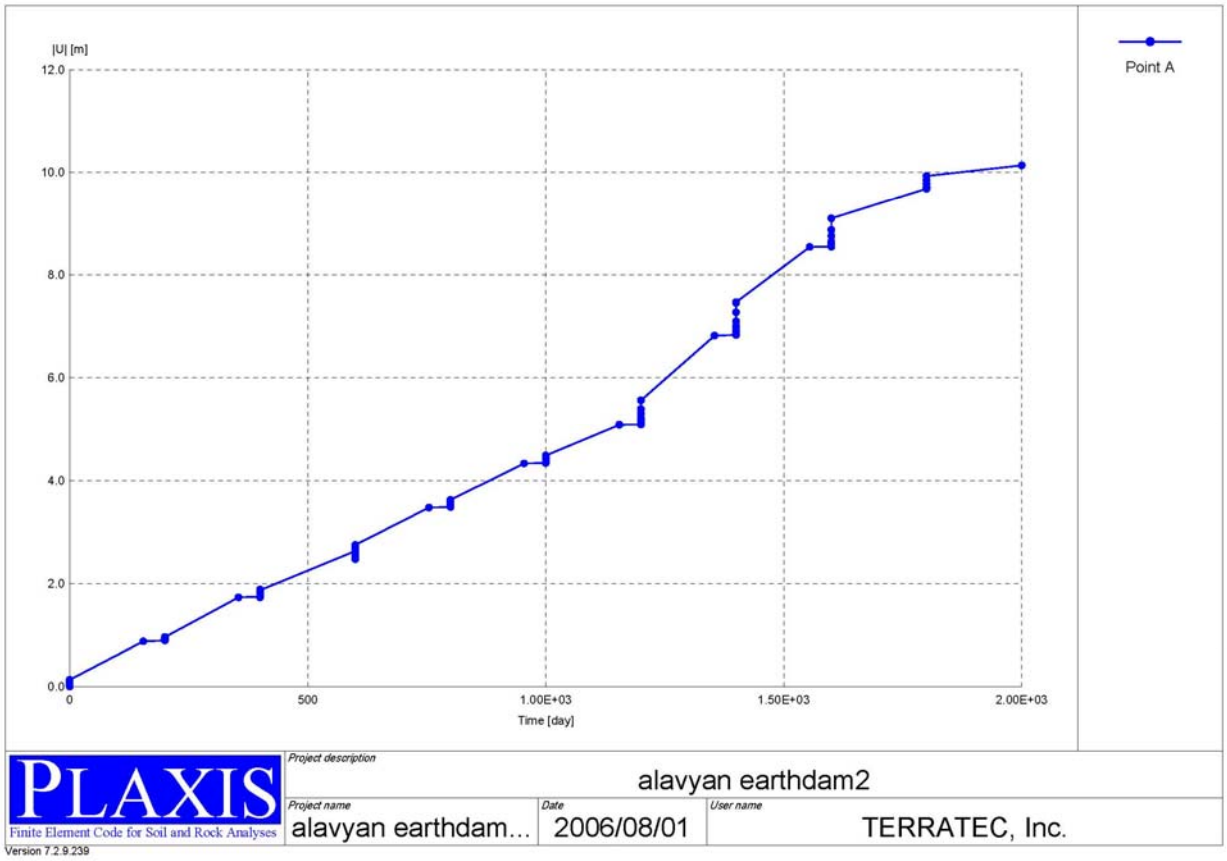


ضریب اطمینان در مقابل لغزش لایه سوم قبل و بعد از تحکیم در زیر نشانداده شده است . بوضوح دیده می شود که ضریب اطمینان قبل از تحکیم (∑Msf=2.015)و کمتر از ضریب اطمینان بعد از تحکیم (∑Msf=2.143) می باشد و علت ان افزایش فشار منفذی و کاهش تنش موثرمی باشد.

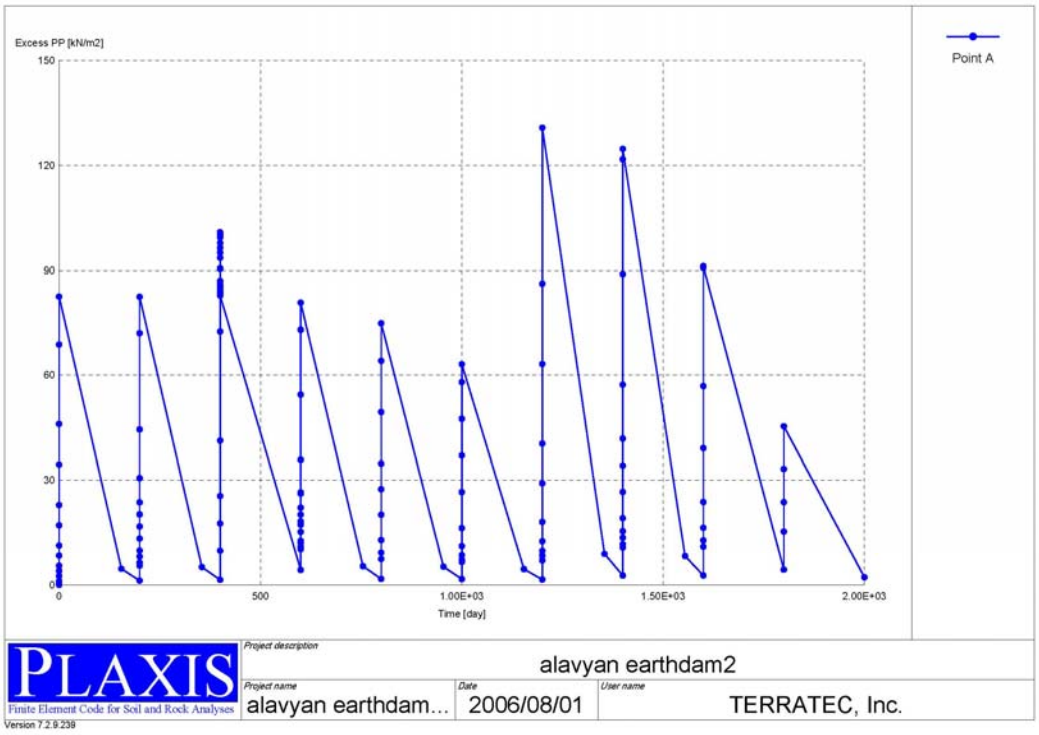


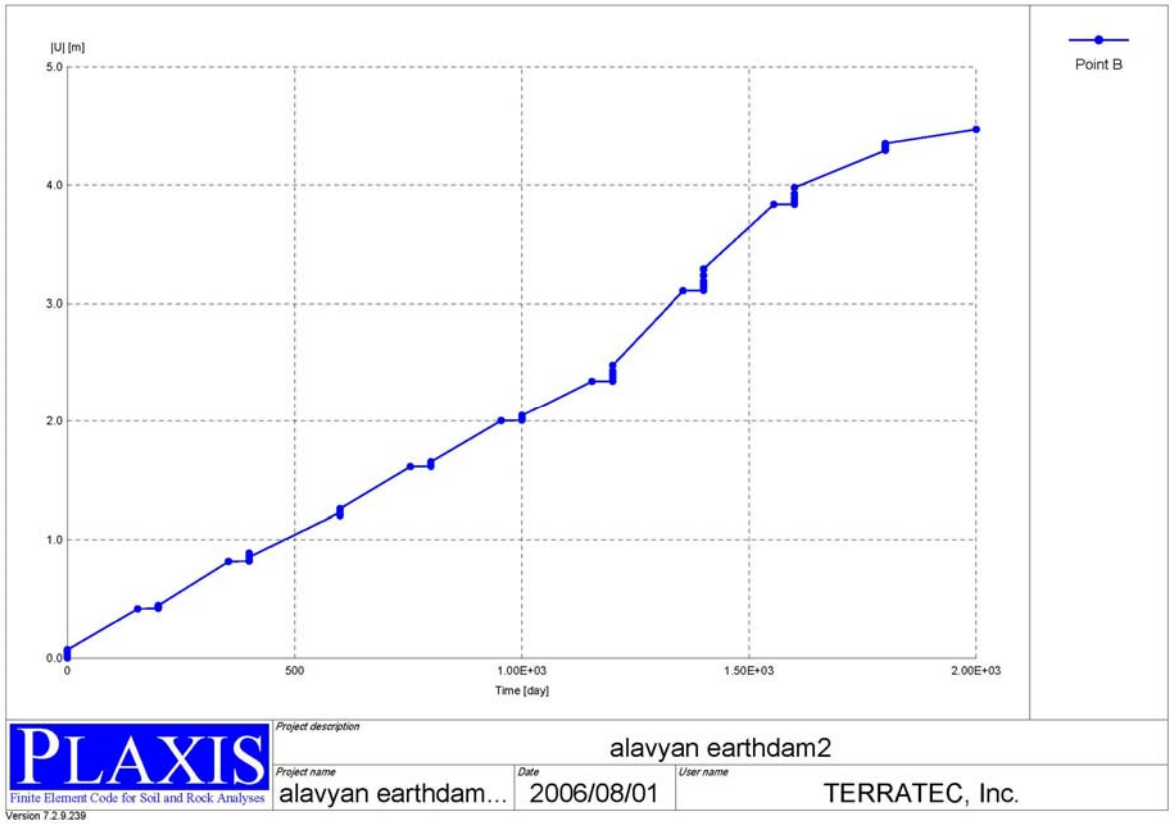
در زیر نمودارهای مربوط نقطه A که دقیقا در زیر هستند سد قرار دارد ، آورده شده است. نمودار اول نشان دهنده تغییرات فشار آب منفذی نسبت به زمان و نمودار دوم مقدار نشست نسبت به زمان میباشد.



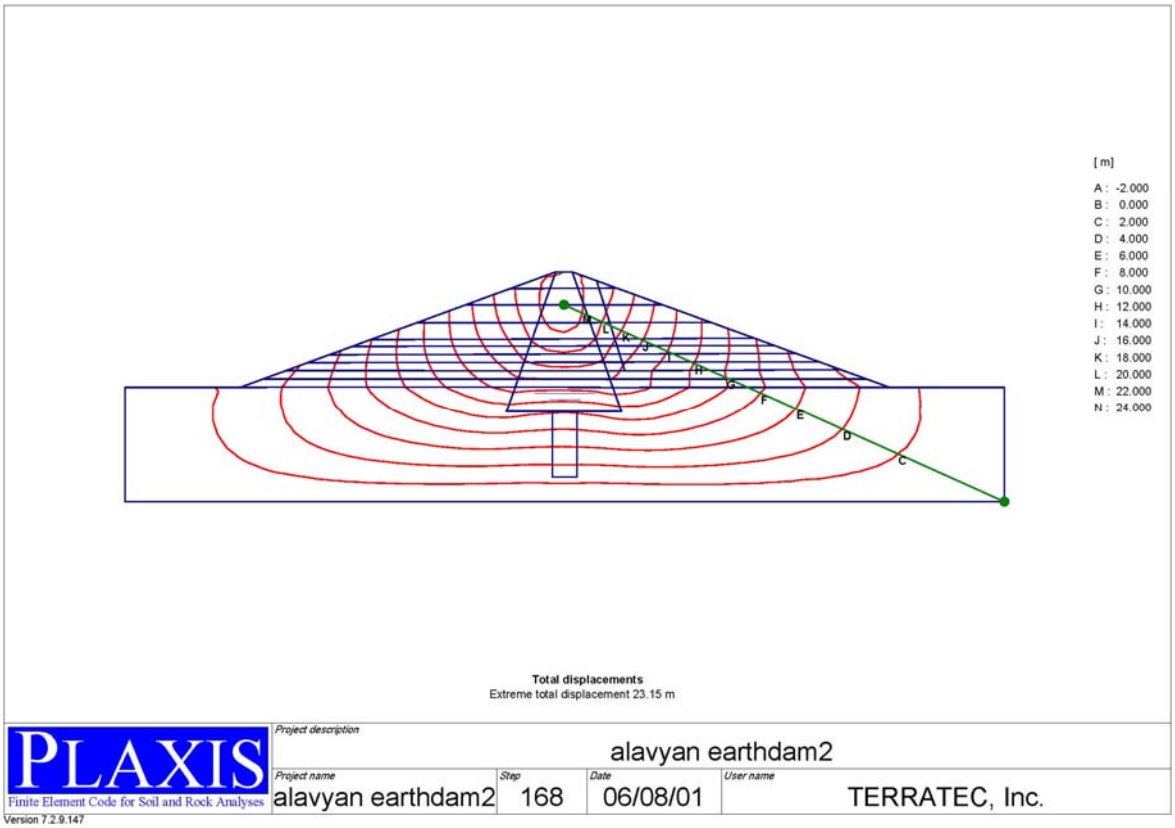


نمودار های تغییرات فشار منفذی و نشست نقطه B که در مرکز ناحیه تزریق شده ، در زیر آمده است



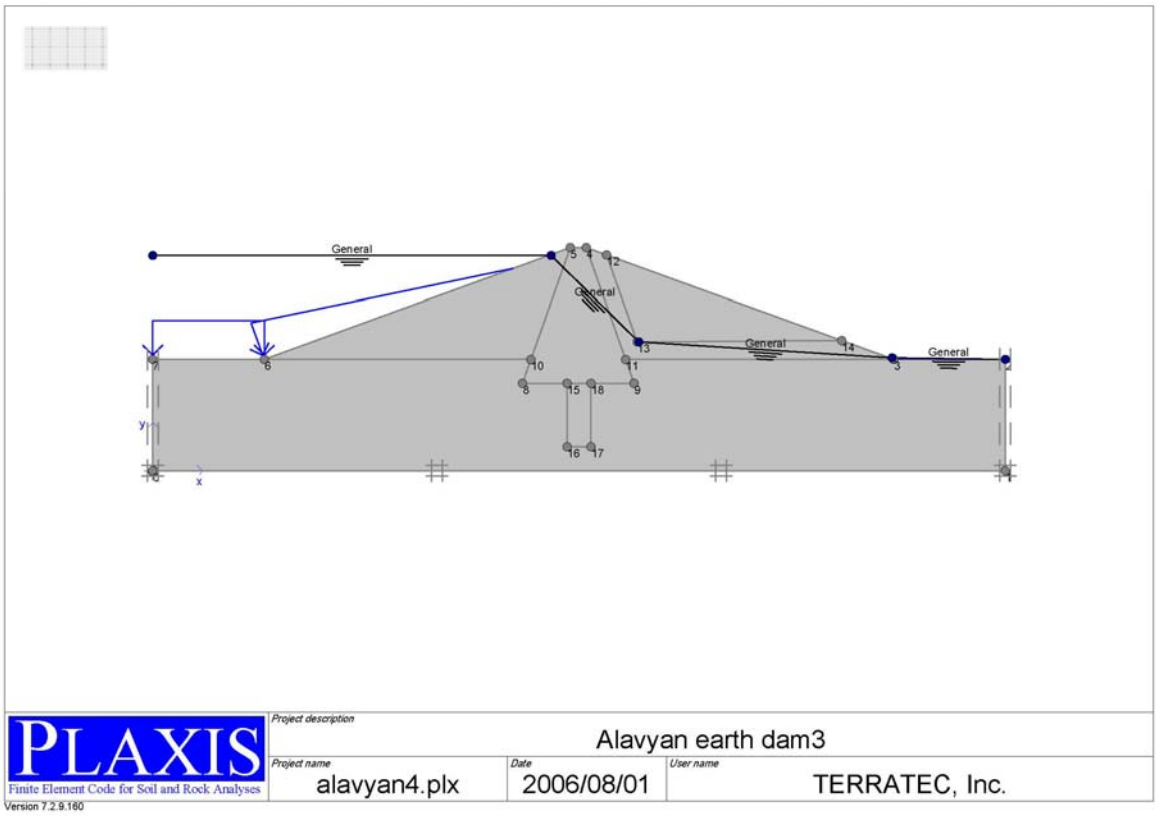


مقدار نشست نهایی در شکل زیر نشان داده شده است.

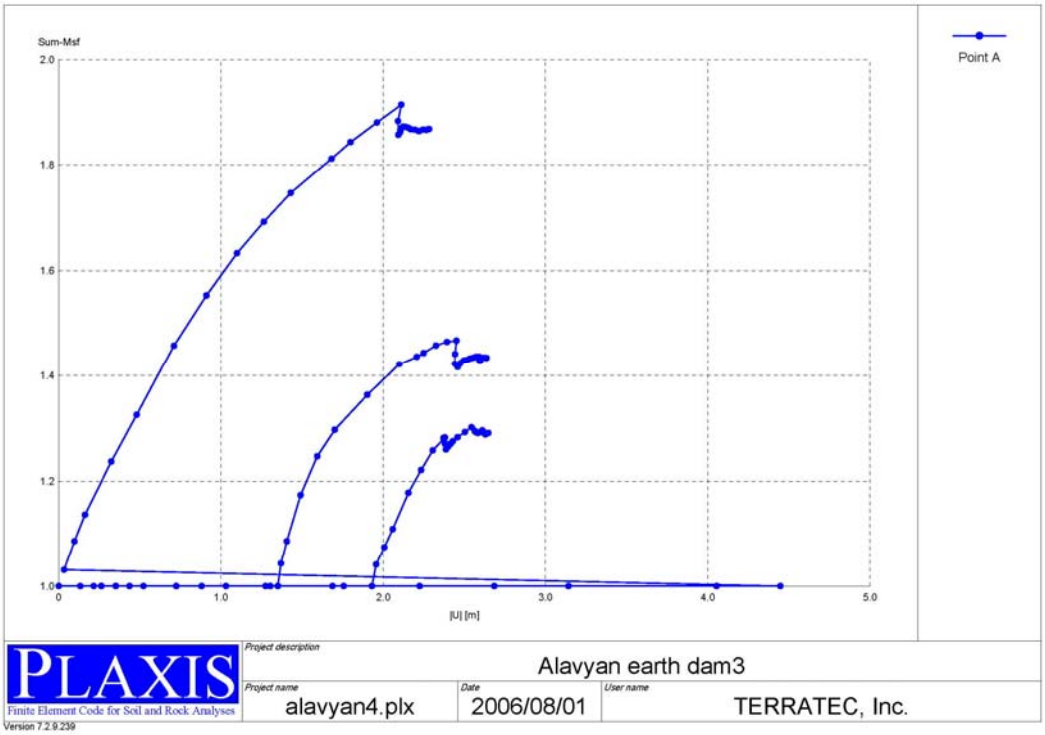


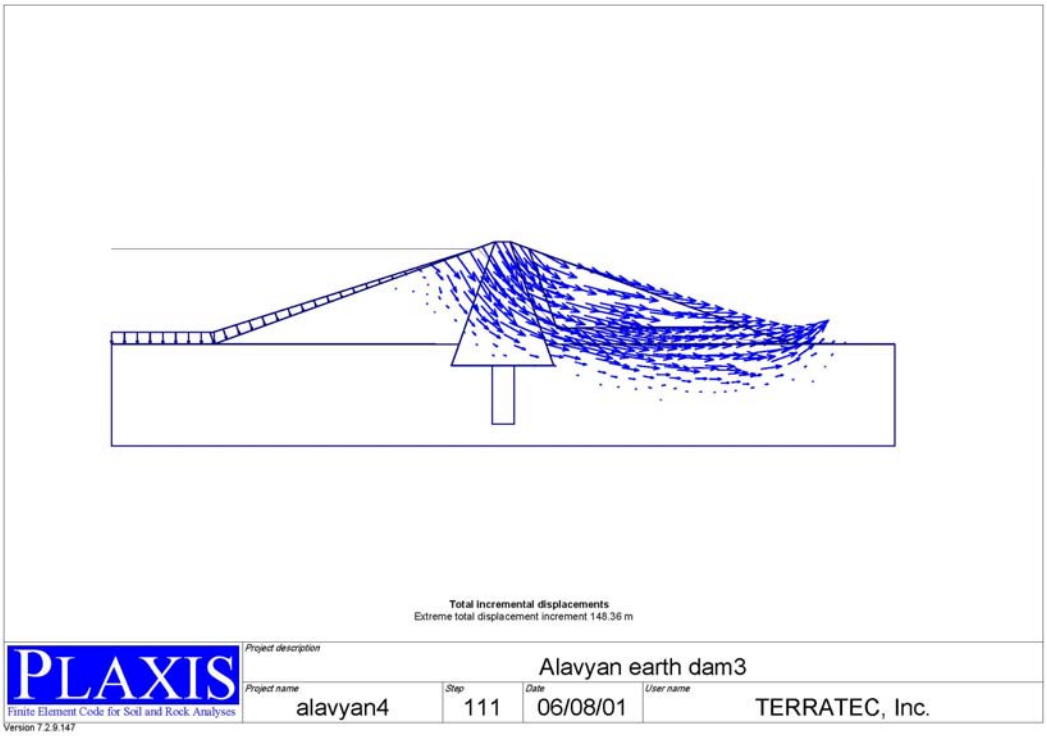
۲,۷- مدل Alavyan earth dam3 :

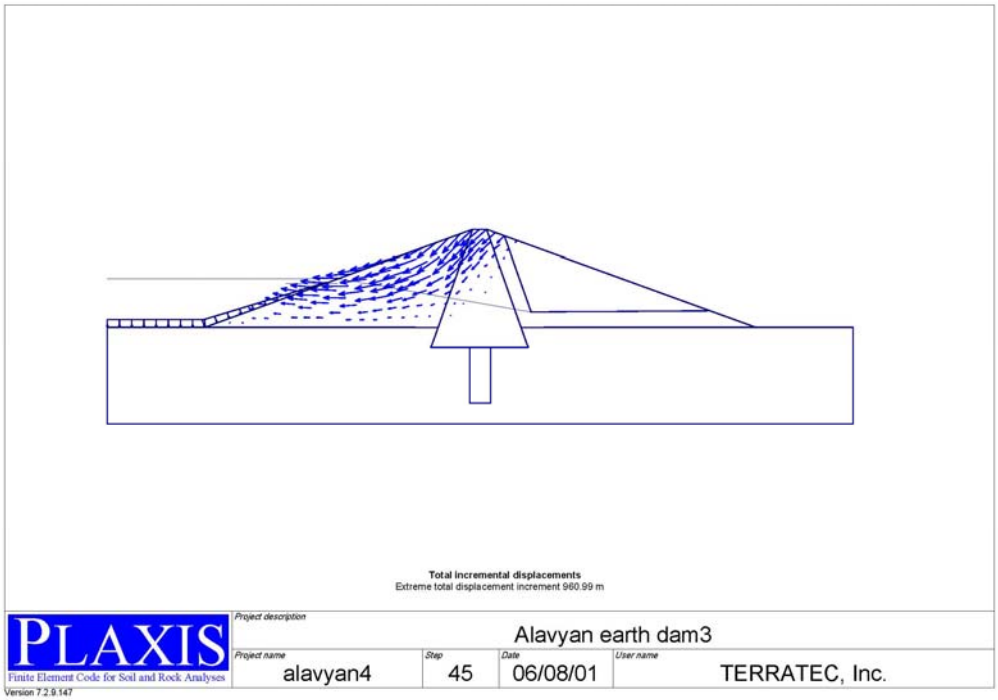
در این مدل می خواهیم پایداری سد را در مقابل افت سریع آب مورد بررسی قرار دهیم. ابتدا سد را مدل کرده و سطح آب را بصورت استاتیکی معرفی می کنیم.

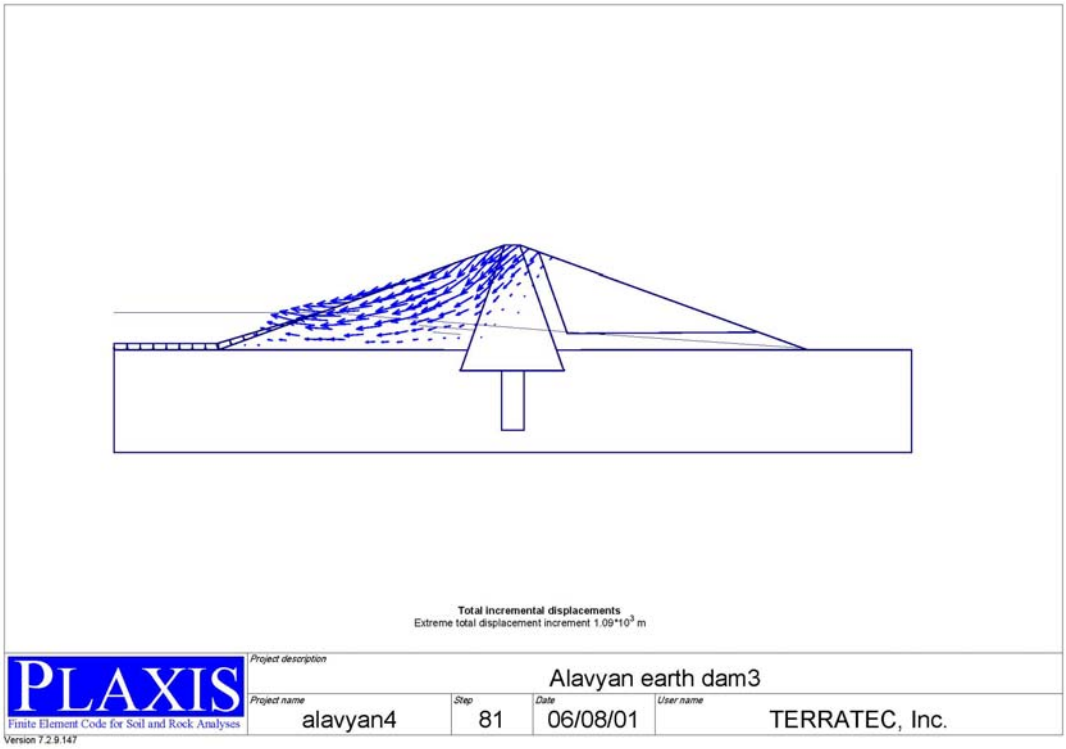


ضریب اطمینان در برابر لغزش را برای سه حالت حساب می کنیم در حالت اول وقتی که سد کاهش ارتفاع آب ندارد. در حالت دوم وقتی که آب پشت سد 30m کاهش پیدا می کند و در حالت سوم آب پشت سد 40m کاهش پیدا می کند.در زیر منحنی مربوط به ضریب اطمینان و منحنیهای سطح گسیختگی آمده است. ضریب اطمینان در حالت اول برابر 1.867 و در حالت دوم برابر 1.435 و در حالت سوم برابر 1.290 میباشد.


Sum-Msf
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
|U| [m]
Point A
PLAXIS
Finite Element Code for Soil and Rock Analyses
Version 7.2.9.239
Project description
Alavyan earth dam3
Project name
alavyan4.plx
Date
2006/08/01
User name
TERRATEC, Inc.


Total incremental displacements
Extreme total displacement increment 148.36 m
PLAXIS
Finite Element Code for Soil and Rock Analyses
Version 7.2.9.147
Project description
Alavyan earth dam3
Project name
alavyan4
Step
111
Date
06/08/01
User name
TERRATEC, Inc.


Total incremental displacements
Extreme total displacement increment 960.99 m
PLAXIS
Finite Element Code for Soil and Rock Analyses
Version 7.2.9.147
Project description
Alavyan earth dam3
Project name
alavyan4
Step
45
Date
06/08/01
User name
TERRATEC, Inc.


Total incremental displacements
Extreme total displacement increment 1.09*10^3 m
PLAXIS
Finite Element Code for Soil and Rock Analyses
Version 7.2.9.147
Project description
Alavyan earth dam3
Project name
alavyan4
Step
81
Date
06/08/01
User name
TERRATEC, Inc.