



دانشگاه سوادکوه
دانشگاه سوادکوه

دانشگاه سوادکوه - گروه مهندسی عمران






مکانیک خاک

پیشگفتار

علی میرزایی

مکانیک خاک:

- تعداد واحد درسی: ۳ واحد
- کلاس های درسی: یکشنبه ها و سه شنبه ها، از ساعت ۱۰-۱۱/۳۰
- کلاس حل تمرین: دوشنبه ها، از ساعت ۱۲/۳۰ الی ۱۴:۰۰

اهداف:

- آشنایی با اصول پایه، مبانی و مفاهیم مقدماتی رفتار خاک ها با تکیه بر خواص فیزیکی و مکانیکی آن ها و توجه به زمینه های کاربردی در مسائل مهندسی.

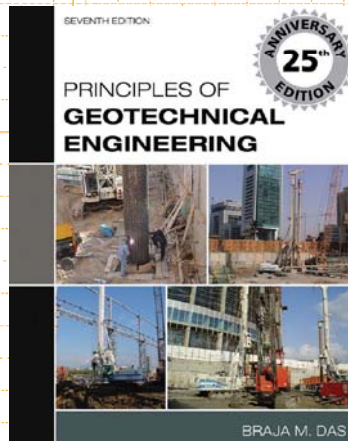
منبع و مرجع امتحان:

- فایل ها و مطالب ارائه شده در جلسات کلاسی و تمارین

۱/۴ مکانیک خاک پیشگفتار علی میرزایی

مرجع جانبی (اختیاری):

- Principles of Geotechnical Engineering, 7th Ed., Braja M. Das (2009)



• کتاب مفروض اخیرا به فارسی نیز ترجمه شده است:

اصول مهندسی ژئوتکنیک (مکانیک خاک) ویراست هفتم: نویسنده: برآجا ام داس، ترجمه: محمد رضا افضل، نشر کتاب دانشگاهی، قابل خرید از روی اینترنت

• در صورت وجود ویرایش های قدیمی تر نیز می توان از آن ها برای مطالعه آزاد استفاده نمود.

ارزیابی:

- تمارین خانگی: ۲ نمره (ارزیابی توسط استاد حل تمرین)
- امتحان میان ترم: ۶ نمره: تاریخ: ۲۴ / ۰۱ / ۹۳، به صورت حذفی
- امتحان پایان ترم: ۱۲ نمره
- تمرینات تشویقی: هر تمرین ۰/۵ نمره، تا سقف ۲ نمره، با توجه به مهلت تحویل هر تمرین به آدرس ایمیل ذیل ارسال می گردد.

اطلاعات تماس:

ali.mirzaii@kashanu.ac.ir

سر فصل مطالب:

- | | |
|------------------------|--------------------------------|
| ۱- تراکم پذیری و نشست | ۱- تاریخچه مهندسی ژئوتکنیک |
| ۱۲- مقاومت برشی | ۲- منشا پیدایش خاک و دانه بندی |
| ۱۳- فشار جانبی | ۳- روابط وزنی - حجمی |
| ۱۴- پایداری شیروانی ها | ۴- خواص خمیری و ساختار خاک |
| | ۵- طبقه بندی خاک ها |
| | ۶- تراکم خاک |
| | ۷- نفوذپذیری |
| | ۸- جریان |
| | ۹- تنش های برجا |
| | ۱۰- تنش در توده خاک |

با سکر از توجه شما



مقدمه:

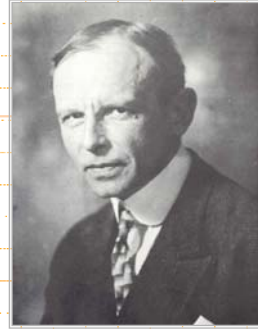
- تعریف خاک: مصالح دانه ای متشکل از کانی های مختلف به صورت غیر سیمانته و حاوی آب و هوا درون فضای حفره ها.
- مصالح خاکی به عنوان یکی از مهمترین مصالح در سازه ها و ساختارهای مختلف مهندسی عمران همچون پی ها، سد های خاکی، راهسازی و ... مورد استفاده واقع شده و بایستی نسبت به جنبه های مختلف رفتاری آن همچون مشخصات فیزیکی، نحوه جریان و نفوذ آب در خاک، مقاومت و تراکم پذیری و ... شناخت کافی بدست آورد.
- مکانیک خاک شاخه ای از علوم مکانیک مهندسی بوده که در آن به بررسی نحوه پاسخ مصالح خاک تحت اثر بارگذاری های مختلف پرداخته می شود.

تاریخچه:

- آغاز شکل گیری علم مکانیک خاک به طور دقیق مشخص نمی باشد. لیکن می توان به فعالیت های اسکمپتون در قرن ۱۸ میلادی به عنوان مبدا پیدایش مکانیک خاک کلاسیک اشاره نمود.

شرح حال زندگی کارل ترزاقی:

- متولد ۲ اکتبر ۱۸۸۳، پراگ
- ۱۹۰۴ اخذ لیسانس مهندسی مکانیک، وین، اتریش
- ۱۹۱۲، اخذ مدرک دکتری علوم، گراز، اتریش
- ۱۹۱۶ الی ۱۹۲۵، هیات علمی دانشگاه های مختلف در کشور ترکیه
- ۱۹۲۵ الی ۱۹۲۹، هیات علمی دانشگاه ام آی تی، آمریکا
- ۱۹۲۹ الی ۱۹۳۹، هیات علمی دانشگاه وین،
- ۱۹۳۹ به بعد، هیات علمی دانشگاه هاروارد، آمریکا



ترزاقی (۱۸۸۳ الی ۱۹۶۳)

۴/۱۰

علی میرزایی

فصل اول: تاریخچه مهندسی ژئوتکنیک

مکانیک خاک



Photo 1-1 A close-up of the left side of Photo 1
 4.S.J.Buchanan 6.P.C.Ruteledge 20.J.P. den
 Hartog 46. K. von Terzaghi 47. G. Rodio 76. A.
 Casaerande

- در سال ۱۹۳۶، اولین کنفرانس بین المللی انجمن جهانی مکانیک خاک و مهندسی پی با همکاری کارل ترزاقی و کاساگرانده در دانشگاه هاروارد برگزار گردید.

اولین کنفرانس بین المللی انجمن جهانی مکانیک خاک و مهندسی پی

۵/۱۰

علی میرزایی

فصل اول: تاریخچه مهندسی ژئوتکنیک

مکانیک خاک

• در سال ۱۹۴۳، کتاب "مکانیک خاک تئوری" به زبان انگلیسی توسط ترزاقی منتشر گردید که بسیاری از منابع و مفاهیمی که امروزه در علم مکانیک خاک استفاده می شوند را شامل گردید.

• انتشار کتاب "مکانیک خاک کاربردی" در سال ۱۹۴۸ توسط کارل ترزاقی و رالف پک

• انتشار اولین مجله علمی - پژوهشی در زمینه مکانیک خاک با نام "Geotechnique" در سال ۱۹۴۸.

**A STUDY OF THE GEOTECHNICAL PROPERTIES
OF SOME POST-GLACIAL CLAYS**

by A. W. SKEMPTON, M.Sc., A.M.I.C.E., F.G.S.
University Reader in Soil Mechanics and
Assistant Professor, Imperial College, University of London

INTRODUCTION

At the present time there are many uncertainties involved in our knowledge of the geotechnical properties of clay strata. Many of these uncertainties arise from the apparent discrepancy between the properties of clay as measured in the laboratory and the behaviour of clays in nature. The method of estimating pre-consolidation load, developed by Casagrande (1936), for example, is widely used but is not accepted by all investigators as being consistent with their field observations. Yet purely experimental evidence would seem to confirm the method. Similarly some clays, which are presumed to be normally consolidated under their own weight, fail to show any appreciable decrease in water content with depth (Terzaghi 1941). Moreover, in several cases the shear strength also shows no definite tendency to increase with depth (Terzaghi 1936, Peck 1943, Housel 1943, Hough 1944). This has been taken as indicating that strength, in these clays, is independent of pressure and, therefore, that they are non-frictional. However, in the laboratory, the strength of any clay invariably increases with increasing consolidation pressure, and this gain in strength is always accompanied by a decrease in water content.



۶/۱۰

علی میرزایی

فصل اول: تاریخچه مهندسی ژئوتکنیک

مکانیک خاک

• برگزاری پیوسته کنفرانس های بین المللی مکانیک خاک برای گسترش دانش فنی از شروع آن در سال ۱۹۳۶ تا کنون در کشورهای مختلف.

Conference	Location	Year
I	Harvard University, Boston, U.S.A.	1936
II	Rotterdam, the Netherlands	1948
III	Zurich, Switzerland	1953
IV	London, England	1957
V	Paris, France	1961
VI	Montreal, Canada	1965
VII	Mexico City, Mexico	1969
VIII	Moscow, U.S.S.R.	1973
IX	Tokyo, Japan	1977
X	Stockholm, Sweden	1981
XI	San Francisco, U.S.A.	1985
XII	Rio de Janeiro, Brazil	1989
XIII	New Delhi, India	1994
XIV	Hamburg, Germany	1997
XV	Istanbul, Turkey	2001
XVI	Osaka, Japan	2005
XVII	Alexandria, Egypt	2009

۷/۱۰

علی میرزایی

فصل اول: تاریخچه مهندسی ژئوتکنیک

مکانیک خاک



• شانزدهمین کنفرانس بین المللی مکانیک خاک و مهندسی پی، اوزاکا، ژاپن، سمت راست: رالف پک، سمت چپ؟

۸/۱۰

علی میرزایی

فصل اول: تاریخچه مهندسی ژئوتکنیک

مکانیک خاک

• ریاست های مختلف انجمن جهانی مکانیک خاک (ISSMGE) در ادوار مختلف:

Year	President
1936–1957	K. Terzaghi (U. S. A.)
1957–1961	A. W. Skempton (U. K.)
1961–1965	A. Casagrande (U. S. A.)
1965–1969	L. Bjerrum (Norway)
1969–1973	R. B. Peck (U. S. A.)
1973–1977	J. Kerisel (France)
1977–1981	M. Fukuoka (Japan)
1981–1985	V. F. B. deMello (Brazil)
1985–1989	B. B. Broms (Singapore)
1989–1994	N. R. Morgenstern (Canada)
1994–1997	M. Jamiolkowski (Italy)
1997–2001	K. Ishihara (Japan)
2001–2005	W. F. Van Impe (Belgium)
2005–2009	P. S. Sêco e Pinto (Portugal)

۹/۱۰

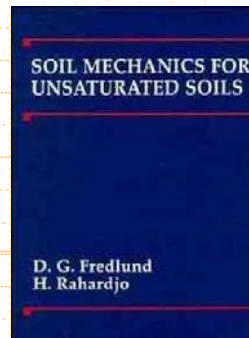
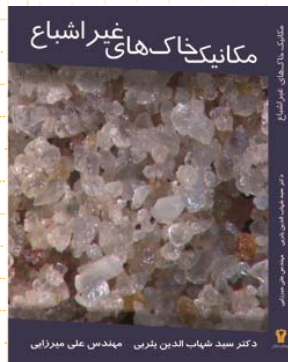
علی میرزایی

فصل اول: تاریخچه مهندسی ژئوتکنیک

مکانیک خاک

• فرض بر دو فازی بودن خاک (شامل دانه های خاک و آب حفره ای) در مکانیک خاک ترزاقی و عدم کارایی آن در بیان بسیاری از رفتارهای واقعی خاک ها در عمل، باعث شکل گیری علم مکانیک خاک های غیر اشباع گردید.

• مکانیک خاک های غیر اشباع هنوز در مرحله تحقیقاتی به سر برده و با تکمیل نتایج آزمایشگاهی و مطالعات تئوریک و تحلیلی محققین مختلف، مکانیک خاک های غیر اشباع نیز در سالیان آتی به صورت قوانین و روابط مستند در حیطه مسائل عملی مکانیک خاک مورد استفاده خواهد گرفت.



۱۰/۱۰

علی میرزایی

فصل اول: تاریخچه مهندسی ژئوتکنیک

مکانیک خاک

با سکر از توجه شما



مقدمه:

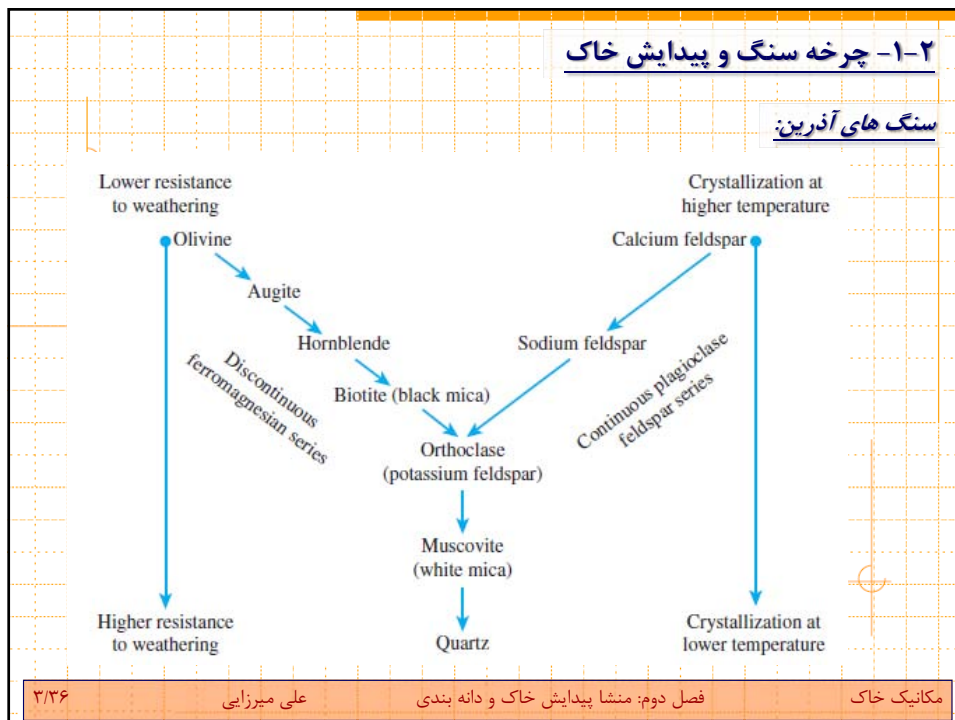
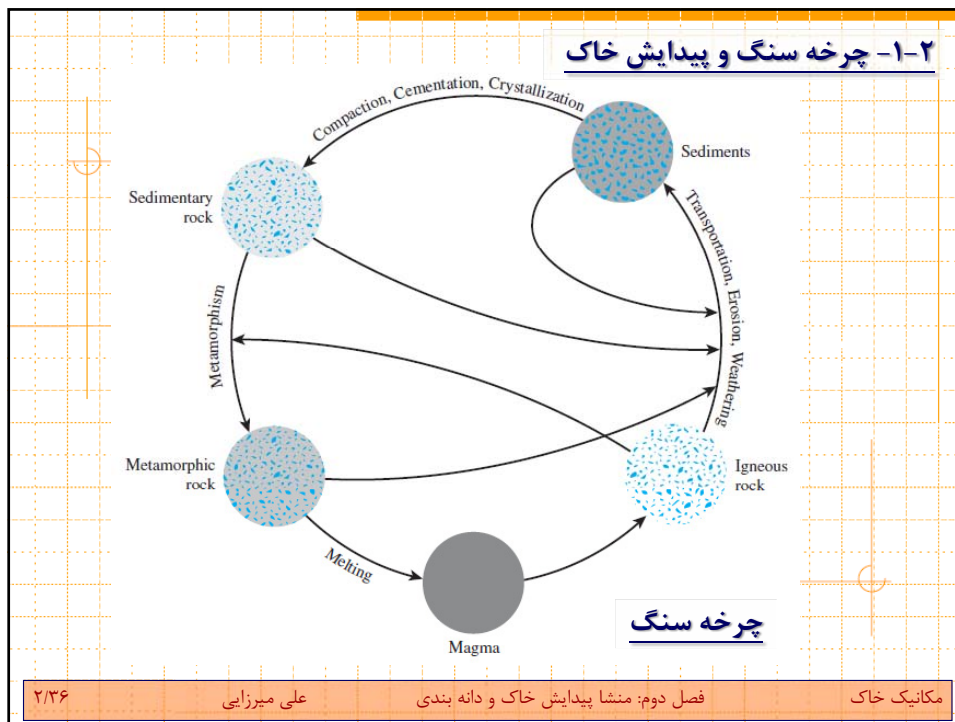
- خاک های در طبیعت به واسطه هوازدگی سنگ ها به وجود آمده و رفتار خاک ها تابعی از رفتار سنگ های مورد تجزیه و کانی های مرتبط با آن ها می باشد.

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

- به طور کلی برای شناخت رفتار خاک ها، بایستی منبع شکل گیری آن ها که همان هوازدگی سنگ ها بوده را شناخت.
- عمده سنگ های موجود در طبیعت شامل سه گروه: ۱- سنگ های آذرین، ۲- سنگ های رسوبی و ۳- سنگ های دگرگونی می باشند.

سنگ های آذرین:

- سنگ های آذرین از سرد شدن مواد ماگما تشکیل می شوند.
- نتایج محققین مختلف حاکی از تاثیر شگرف نرخ سرد شدن ماگما ها بر روی نوع کانی های ایجاد شده در سنگ های آذرین و به تبع آن خواص سنگ های آذرین می باشد.



۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

سنگ های آذرین:

- با توجه به نتایج محققین، هر چه قدر که سنگ آذرین در دمای کمتری تشکیل گردد، کانی های مقاوم و مستحکم تری همچون کوارتز تشکیل می شوند.

برخی از کانی های موجود در سنگ های آذرین

Mineral	Composition
Olivine	$(Mg, Fe)_2SiO_4$
Augite	$Ca, Na(Mg, Fe, Al)(Al, Si_2O_6)$
Hornblende	Complex ferromagnesian silicate of Ca, Na, Mg, Ti, and Al
Biotite (black mica)	$K(Mg, Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$
Plagioclase	{ calcium feldspar
	{ sodium feldspar
Orthoclase (potassium feldspar)	$K(AlSi_3O_8)$
Muscovite (white mica)	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$
Quartz	SiO_2

۴/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

سنگ های آذرین:

- سنگ های آذرین با توجه به شکل گیری درون و یا بیرون از سطح زمین به ترتیب به سنگ های آذرین درونی (Intrusive) و بیرونی (Extrusive) تقسیم بندی می شوند.

برخی از سنگ های آذرین

Name of rock	Mode of occurrence	Texture	Abundant minerals	Less abundant minerals
Granite	Intrusive	Coarse	Quartz, sodium feldspar, potassium feldspar	Biotite, muscovite, hornblende
Rhyolite	Extrusive	Fine		
Gabbro	Intrusive	Coarse	Plagioclase, pyroxenes, olivine	Hornblende, biotite, magnetite
Basalt	Extrusive	Fine		
Diorite	Intrusive	Coarse	Plagioclase, hornblende	Biotite, pyroxenes (quartz usually absent)
Andesite	Extrusive	Fine		
Syenite	Intrusive	Coarse	Potassium feldspar	Sodium feldspar, biotite, hornblende
Trachyte	Extrusive	Fine		
Peridotite	Intrusive	Coarse	Olivine, pyroxenes	Oxides of iron

۵/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

هوازگی: خرد نمودن سنگ ها به قطعات کوچکتر به وسیله فرایندهای شیمیایی و مکانیکی.

فرآیندهای مکانیکی: تغییرات دما، انجماد آب درون حفرات سنگ، حرکت سنگ ها در رودخانه ها، برخورد امواج دریا با سنگ ها، حرکت باد.

در فرایندهای هوازگی مکانیکی ماهیت سنگ دچار تغییر نخواهد شد.



هوازگی و تخریب سنگ به واسطه ۱- امواج دریا، ۲- باد



۶/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

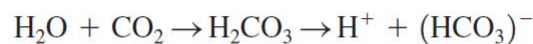
مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

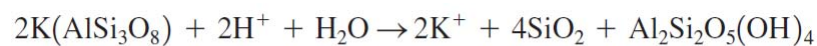
هوازگی:

فرآیندهای شیمیایی: کانی های سنگ به کانی های دیگری تجزیه می شوند. به عنوان مثال دی اکسید کربن موجود در هوا در حین بارش باران به اسید کربنیک تبدیل شده و می تواند با برخورد با سنگ ها باعث تجزیه آن ها گردد.

به عنوان مثال برای کانی اورتوکلاز:



Carbonic acid



Orthoclase

Silica

Kaolinite
(clay mineral)

۷/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

هوازگی:

- فرایند هوازگی منحصر به سنگ های آذرین نبوده و امکان رخداد آن در سنگ های دگرگونی و رسوبی نیز میسر می باشد.
- به واسطه تجزیه و هوازگی شیمیایی کانی های فلدسپار، فرومنیزیم و میکا، کانی هایی جدید شکل گرفته که باعث به وجود آمدن کانی های رسی و ایجاد وضعیت خمیری و چسبندگی درون خاک می گردند.
- از جمله مهمترین کانی های رسی عبارتند از ۱- کائولینیت، ۲- ایلیت، و ۳- مونت موریلینیت.

انتقال مواد هوازده:

- مواد هوازده می توانند توسط فرایندهای مختلف همچون باد، جریان آب و یا جاذبه به مکان های دیگر منتقل گردند.

۸/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

انتقال مواد هوازده:

- در صورتی که مواد هوا زده در جایی که هوازده شده اند باقی بمانند، به آن ها اصطلاحاً خاک های برجا (Residual soils) اطلاق می گردد.
- دانه بندی خاک های برجا به صورت منفصل بوده و در سطوح زمین دانه های ریز تر واقع شده و هر چه به عمق زمین فرو رفته اندازه دانه های خاک بزرگتر می شود.
- نام گذاری خاک های حاصل از انتقال مواد هوازده با توجه به فرایند انتقال آن ها معمولاً انجام می پذیرد، همچون: یخرفت، آبرفت، بادرفت، و ...

۹/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

سنگ های رسوبی:

- خاک های حاصل از فرایند هوازدگی می توانند تحت اثر فشار و به واسطه مواد چسبنده بین دانه های آن ها به سنگ های رسوبی تبدیل شوند. به این گونه از سنگ های رسوبی اصطلاحاً سنگ های رسوبی detrital اطلاق می گردد.
- تمامی سنگ های رسوبی detrital دارای ساختار clastic می باشند (همچون کنگلومرا، ماداستون، شیل، ماسه سنگ)
- همچنین سنگ های رسوبی می توانند به واسطه فرایندهای شیمیایی شکل بگیرند، این گونه سنگ های رسوبی دارای ساختار clastic و یا nonclastic می باشند (همچون سنگ آهک، سنگ نمک، گچ، دولومیت)

سنگ های دگرگونی:

- به واسطه فرایند دگرگونی، ساختار و بافت سنگ تغییر می کند و کانی های جدید شکل می گیرند.

۱۰/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

سنگ های دگرگونی:

- سنگ های دگرگونی با توجه به فرایند دگرگون شدن کانی های مختلف به وجود می آیند. از جمله سنگ های دگرگونی عبارتند از: سنگ مرمر، فیلیت، شیست.

۲-۲- اندازه دانه های خاک

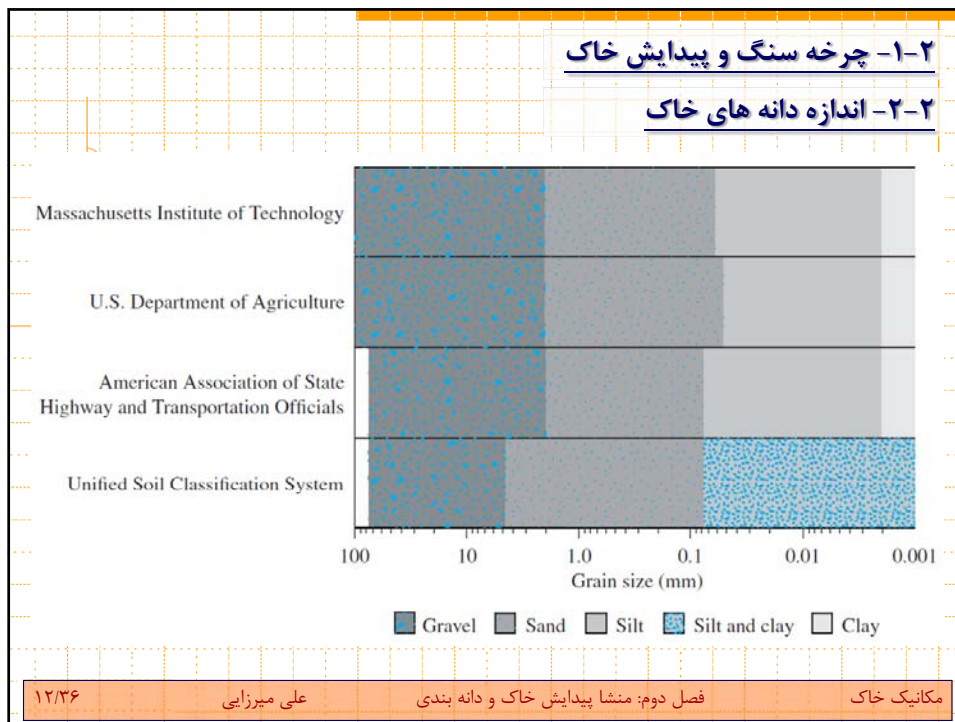
- توده خاک متشکل از دانه های مختلف با اندازه های مختلف می باشد. دانه های خاک را با توجه به اندازه دانه های آن به چهار گروه **شن**، **ماسه**، **لای** و **رس** تقسیم بندی می نمایند.
- استانداردهای مختلف برای بیان مرز بین دانه های شن، ماسه و لای و رس در سالیان گذشته تدوین شده که امروزه معیارهای پیشنهادی توسط سیستم طبقه بندی متحد بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد.
- دانه های شنی و ماسه ای عمدتاً از کانی های کوارتز تشکیل شده اند.
- دانه های لای نیز از کانی های کوارتز و یا میکا تشکیل شده اند.

۱۱/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک



۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۲-۲- اندازه دانه های خاک

- رس ها نیز متشکل از کانی های میکا، کانی های رسی و در برخی حالات سایر کانی ها می باشند.
- شایان ذکر است که یک دانه خاک با اندازه رسی حتما دارای کانی های رسی نبوده و نیاستی رس (به عنوان اندازه دانه های خاک) را با کانی های رسی یکسان در نظر گرفت.

۳-۲- کانی های رسی

- کانی های رسی متشکل از ۱- ساختارهای چهاروجهی سیلیکا و ۲- ساختارهای شش وجهی آلومینا می باشند.
- در ساختارهای چهار وجهی سیلیکا، یک مولکول سیلیکون توسط چهار مولکول اکسیژن محاط شده است.
- در ساختارهای شش وجهی آلومینا، یک مولکول آلومینیوم توسط شش مولکول اکسیژن محاط شده است.

۱۲/۳۶ علی میرزایی فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۳-۲- کانی های رسی

● and ○ Oxygen

● and ○ Hydroxyl

● ساختار چهار وجهی سیلیکا

● ساختار شش وجهی آلومینا

مکانیک خاک فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی علی میرزایی ۱۴/۳۶

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۳-۲- کانی های رسی

● با در کنار هم قرار گرفتن ساختارهای چهار وجهی سیلیکا یک لایه سیلیکا تشکیل می شود.

● با در کنار هم قرار گرفتن ساختارهای شش وجهی آلومینا، یک لایه گیبسیت (و یا اوکتاهدرال) تشکیل می گردد.

● Aluminum

● and ● Silicon

● لایه سیلیکا

● لایه گیبسیت

مکانیک خاک فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی علی میرزایی ۱۵/۳۶

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۳-۲- کانی های رسی

- در برخی از حالات در لایه گیبسیت، عنصر منیزیم جایگزین آلومینیوم شده و لایه بروسیت را تشکیل می دهد.
- کائولینیت به عنوان یکی از معروفترین کانی های رسی با قرار گرفتن لایه های سیلیکا و گیبسیت روی یکدیگر به وجود می آید.
- ایلیت (و یا میکای رس) نیز یکی از کانی های معروف دیگر رسی بوده که با محصور شدن یک لایه گیبسیت بین دو لایه سیلیکا به وجود می آید. بین لایه های مختلف ایلیت یون پتاسیم واقع شده است.
- مونت موریلونیت نیز یکی دیگر از کانی های مهم رسی بوده که مشابه ایلیت از محصور شدن یک لایه گیبسیت بین دو لایه سیلیکا به وجود می آید. با این تفاوت که در لایه گیبسیت، عنصر آلومینیوم جایگزین عنصر منیزیم و یا آهن شده است. بین لایه های مونت موریلونیت مقدار زیادی آب واقع می گردد.

۱۶/۳۶

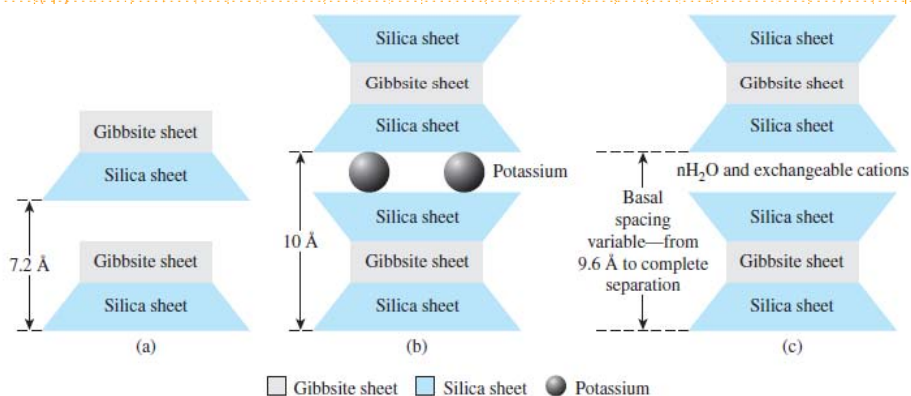
علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۳-۲- کانی های رسی



• کائولینیت

• ایلیت

• مونت
موریلونیت

۱۷/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۳-۲- کانی های رسی

- تعریف سطح مخصوص: به نسبت سطح ذرات رسی به جرم آن ها سطح مخصوص اطلاق می گردد.
- کائولینیت، ایلیت و مونت موریلونیت به ترتیب دارای سطح مخصوص ۱۵ ، ۸۰ و ۸۰۰ متر مربع بر گرم می باشند.
- ذرات رسی دارای بار منفی در سطح خود می باشند. این بار منفی ایجاد شده به واسطه انفصال در ساختار آن ها می باشد.
- هر چه قدر که سطح مخصوص ذرات رسی بیشتر باشد، میزان بارمنفی آن ها بیشتر می باشد.

Clay mineral	Reciprocal of average surface density of charge (Å ² /electronic charge)
Kaolinite	25
Clay mica and chlorite	50
Montmorillonite	100
Vermiculite	75

۱۸/۳۶

علی میرزایی

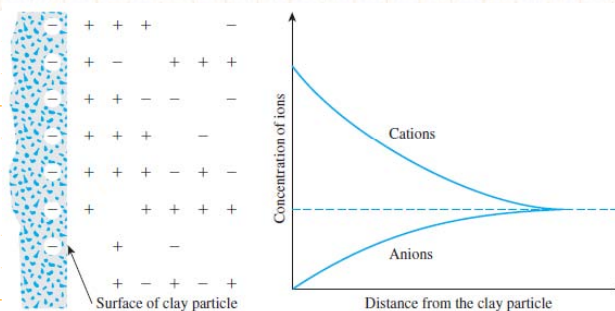
فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۳-۲- کانی های رسی

- در حالتی که رس خشک باشد، بار منفی آن با جذب کاتیون های مثبتی همچون Ca^{2+} ، Mg^{2+} ، Na^{+} ، Ca^{+} به تعادل می رسد.
- در حالتی که آب وارد ذرات رسی گردد، کاتیون های مذکور به همراه برخی از آنیون ها به صورت یک لایه اطراف ذرات رسی را در بر خواهند گرفت که به این امر پدیده انتشار لایه مضاعف اطلاق می گردد.



۱۹/۳۶

علی میرزایی

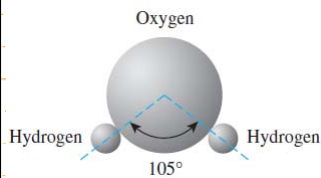
فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۳-۲- کانی های رسی

- مولکول آب به واسطه زاویه ۱۰۵ درجه بین اتم های هیدروژن و اکسیژن دارای ماهیت دو قطبی می باشد.



- نحوه جذب آب به کانی های رسی می تواند به سه گونه انجام پذیرد:

۱. جذب قطب مثبت مولکول آب توسط بار منفی سطح ذرات رسی.
۲. جذب قطب مثبت مولکول آب توسط کاتیون ها
۳. پیوند هیدروژنی و به اشتراک گذاری یک اتم هیدروژن از مولکول آب با یک اتم اکسیژن از کانی رسی.

۲۰/۳۶

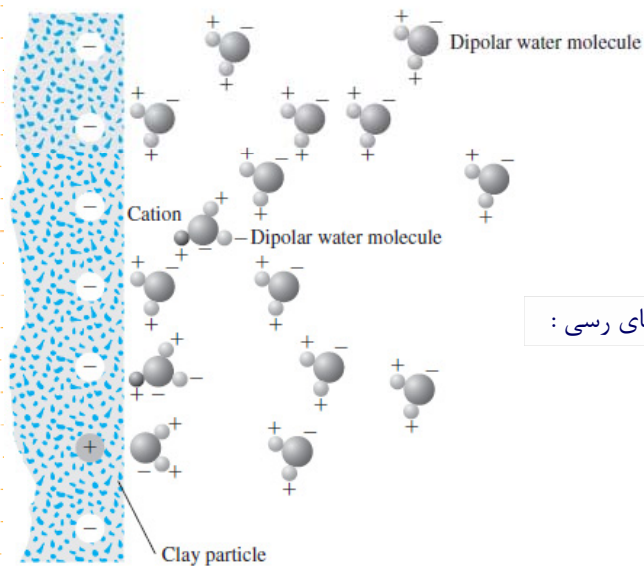
علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۳-۲- کانی های رسی



- نحوه جذب آب به کانی های رسی :

۲۱/۳۶

علی میرزایی

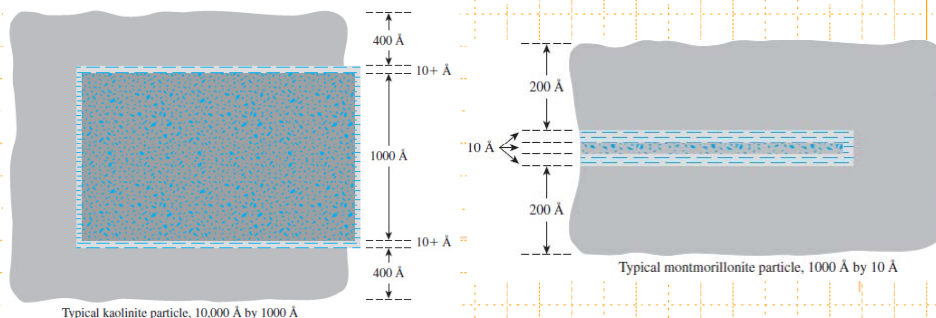
فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۳-۲- کانی های رسی

- آب لایه مضاعف: به آب جذب شده توسط ذرات رسی با توجه به نیروهای جاذبه اصطلاحاً آب لایه مضاعف اطلاق می گردد.
- آب جذب شده: به لایه آب که به سطح ذرات رسی به واسطه نیروهای جاذبه الکتریکی کاملاً چسبیده و نگه داشته شده گویند.



۲۲/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۴-۲- چگالی مخصوص دانه ها، G_s

- به نسبت وزن مخصوص (وزن واحد حجم) دانه های خاک به وزن مخصوص آب اصطلاحاً چگالی مخصوص دانه ها (و یا چگالی دانه ها) اطلاق شده و آن را با G_s در مکانیک خاک نشان می دهیم.

Mineral	Specific gravity, G_s
Quartz	2.65
Kaolinite	2.6
Illite	2.8
Montmorillonite	2.65-2.80
Halloysite	2.0-2.55
Potassium feldspar	2.57
Sodium and calcium feldspar	2.62-2.76
Chlorite	2.6-2.9
Biotite	2.8-3.2
Muscovite	2.76-3.1
Hornblende	3.0-3.47
Limonite	3.6-4.0
Olivine	3.27-3.7

- چگالی دانه های خاک تابعی از چگالی کانی های تشکیل دهنده آن ها می باشد و معمولاً بین ۲٫۶ الی ۲٫۹ در خاک های مختلف می باشد.

- چگالی دانه های خاک با استفاده از آزمایش تعیین چگالی دانه های خاک انجام می پذیرد.

۲۲/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک**۲-۵- منحنی دانه بندی**

- در یک نمونه خاک، دانه های خاک دارای اندازه های مختلف بوده و برای بیان نحوه توزیع اندازه دانه ها در خاک از منحنی دانه بندی استفاده می گردد.
- منحنی دانه بندی خاک بیانگر میزان درصدی از یک اندازه مفروض دانه ها در یک نمونه خاک خشک می باشد.
- منحنی دانه بندی مصالح خاکی با اندازه بزرگتر از ۰،۰۷۵ میلی متر با عبور از الک های مختلف (آزمایش دانه بندی) بدست آمده و برای مصالح خاکی با اندازه کوچکتر از ۰،۰۷۵ میلی متر با استفاده از هیدرومتر و آزمایش هیدرومتری تعیین می گردد.

• **آزمایش دانه بندی:** با عبور دانه های خاک خشک از یک سری الک با اندازه های حفرات استاندارد مختلف، درصد وزنی هر یک از اندازه های دانه ها را می توان بدست آورد.

۲۴/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک**۲-۵- منحنی دانه بندی**

• **آزمایش دانه بندی:** الک های استاندارد

Sieve no.	Opening (mm)	Sieve no.	Opening (mm)
4	4.75	35	0.500
5	4.00	40	0.425
6	3.35	50	0.355
7	2.80	60	0.250
8	2.36	70	0.212
10	2.00	80	0.180
12	1.70	100	0.150
14	1.40	120	0.125
16	1.18	140	0.106
18	1.00	170	0.090
20	0.850	200	0.075
25	0.710	270	0.053
30	0.600		

۲۵/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۵-۲- منحنی دانه بندی

آزمایش دانه بندی:



۱. وزن نمودن جرم خاک مانده روی هر الک.
۲. بدست آوردن جرم خاک مانده روی زیر الک.
۳. بایستی جمع خاک مانده بر روی الک ها و زیر الک با جرم اولیه یکسان باشد (معمولا ۵۰۰ گرم برای این کار انتخاب می گردد)
۴. محاسبه درصد مانده و درصد عبوری خاک از هر الک.

۲۶/۳۶

علی میرزایی

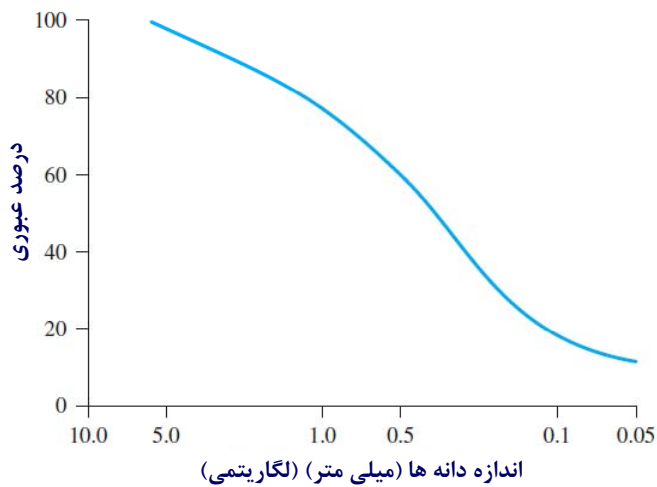
فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۵-۲- منحنی دانه بندی

آزمایش دانه بندی:



۵. ترسیم منحنی دانه بندی به صورت نیمه لگاریتمی، محور افقی اندازه دانه ها به صورت لگاریتمی، محور قائم درصد عبوری.

۲۷/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۵-۲- منحنی دانه بندی

آزمایش هیدرومتری:

برای تعیین منحنی دانه بندی ذرات کوچکتر از ۰،۰۷۵ میلی متر، از آزمایش هیدرومتری که بر پایه قانون استوکس بنا نهاده شده استفاده می شود:

$$v = \frac{\rho_s - \rho_w}{18\eta} D^2$$

v = سرعت

ρ_s = دانسیته دانه های خاک

ρ_w = دانسیته آب

η = ویسکوزیته (لزجت) آب

D = اندازه دانه های خاک

$$D = \sqrt{\frac{18\eta v}{\rho_s - \rho_w}} = \sqrt{\frac{18\eta}{\rho_s - \rho_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

۲۸/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۵-۲- منحنی دانه بندی

آزمایش هیدرومتری:

$$D = \sqrt{\frac{18\eta v}{\rho_s - \rho_w}} = \sqrt{\frac{18\eta}{\rho_s - \rho_w}} \sqrt{\frac{L}{t}} \quad \xrightarrow{\rho_s = G_s \rho_w} \quad D = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_s - 1)\rho_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

$$\frac{D(\text{mm})}{10} = \sqrt{\frac{18\eta [(g \cdot \text{sec})/\text{cm}^2]}{(G_s - 1)\rho_w (\text{g}/\text{cm}^3)}} \sqrt{\frac{L (\text{cm})}{t (\text{min}) \times 60}} \quad \xrightarrow{\quad} \quad D = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)\rho_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

$$D (\text{mm}) = K \sqrt{\frac{L (\text{cm})}{t (\text{min})}}$$

$$K = \sqrt{\frac{30\eta}{(G_s - 1)\rho_w}}$$

۲۹/۳۶

علی میرزایی

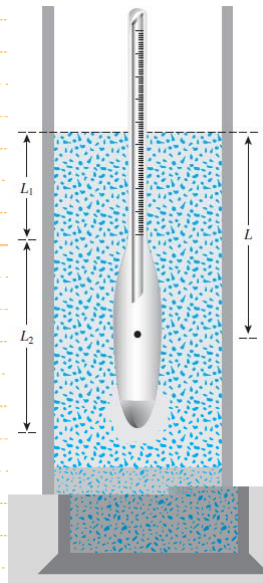
فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۵-۲- منحنی دانه بندی

آزمایش هیدرومتری:



میزان سقوط ذرات خاک در آزمایشگاه با استفاده از هیدرومتر (دو نوع 151H و 152H) در بازه های مختلف زمانی در طول یک دوره ۲۴ ساعته قرائت شده و با استخراج مقادیر مختلف K از روی جداول، می توان قطر دانه های خاک و نمودار دانه بندی خاک را ترسیم نمود.

برای جلوگیری از کلوخه ای شدن دانه های خاک در آب از محلول پخش کننده هگزا متا فسفات سدیم استفاده می شود.

۳۰/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۵-۲- منحنی دانه بندی

آزمایش هیدرومتری:

با جمع نمودن نتایج حاصل از آزمایش های دانه بندی الک و هیدرومتری می توان نمودار دانه بندی کامل مصالح یک خاک را بدست آورد.

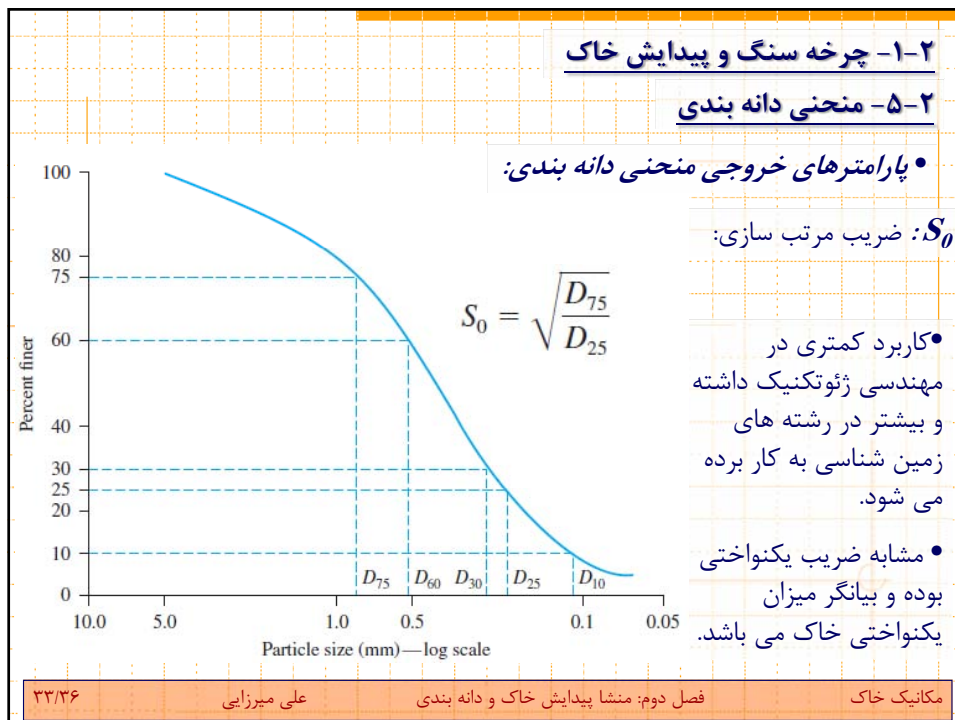
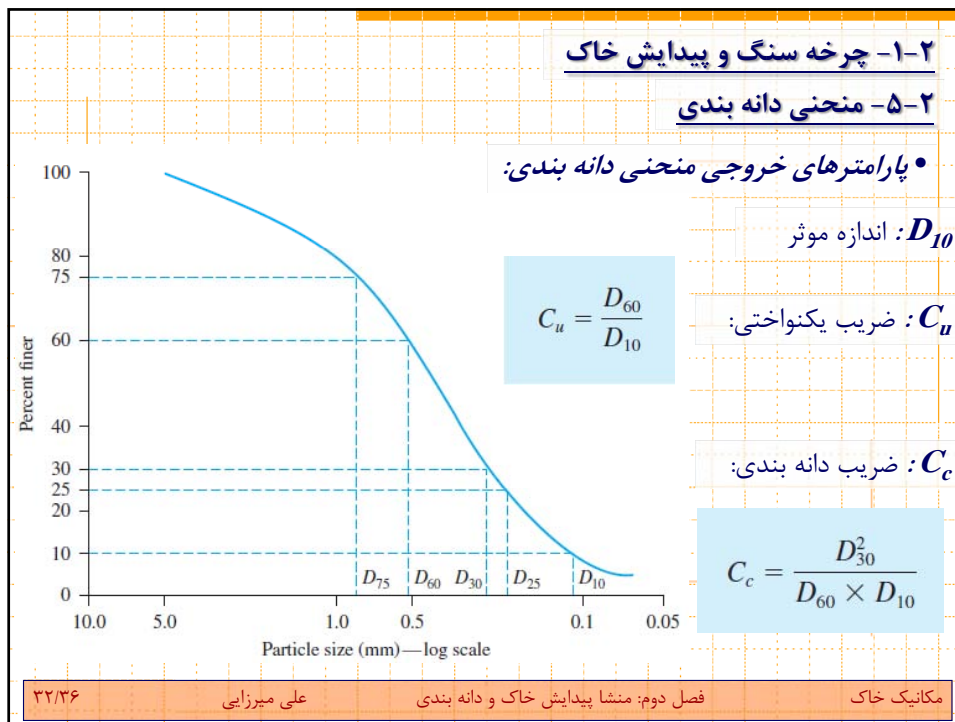
Hydrometer reading, R	L (cm)	Hydrometer reading, R	L (cm)
0	16.3	31	11.2
1	16.1	32	11.1
2	16.0	33	10.9
3	15.8	34	10.7
4	15.6	35	10.6
5	15.5	36	10.4
6	15.3	37	10.2
7	15.2	38	10.1
8	15.0	39	9.9
9	14.8	40	9.7
10	14.7	41	9.6
11	14.5	42	9.4
12	14.3	43	9.2
13	14.2	44	9.1
14	14.0	45	8.9
15	13.8	46	8.8
16	13.7	47	8.6
17	13.5	48	8.4
18	13.3	49	8.3
19	13.2	50	8.1
20	13.0	51	7.9
21	12.9	52	7.8
22	12.7	53	7.6
23	12.5	54	7.4
24	12.4	55	7.3
25	12.2	56	7.1
26	12.0	57	7.0
27	11.9	58	6.8
28	11.7	59	6.6
29	11.5	60	6.5
30	11.4		

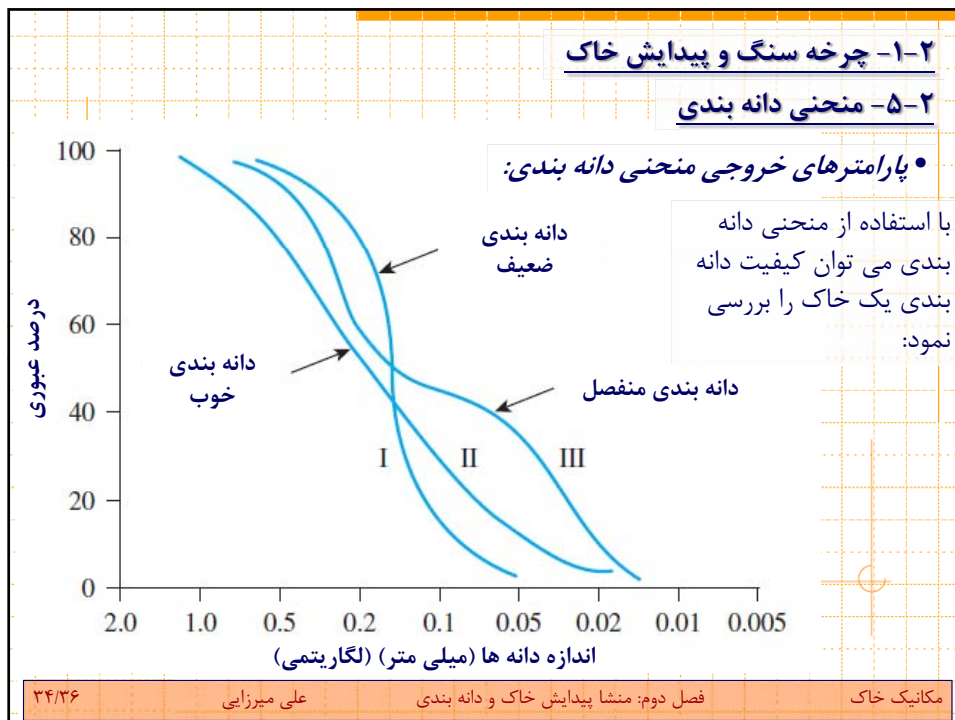
۳۱/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک





۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

۶-۲- شکل دانه های خاک

شکل دانه های خاک را می توان به سه گروه تقسیم نمود:

۱. **بزرگ و ضخیم**: از هوازدگی مکانیکی سنگ ها تشکیل شده و برخی از زمین شناسان این گروه از دانه های خاک را به ۴ گروه نسبتاً گرد، گرد، نسبتاً تیز گوشه و تیز گوشه تقسیم بندی کرده اند.

Angular Subangular Subrounded Rounded

۲. **پوسته ای**: این گونه از دانه های خاک دارای کرویت بسیار کمی بوده و عمدتاً شامل ذرات رسی می باشند.

۳. **سوزنی**: نسبت به دو نوع دیگر دانه های خاک کمتر دیده شده و بیشتر در معادن وجود دارند.

۳۵/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشا پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

۱-۲- چرخه سنگ و پیدایش خاک

مثال:

با استفاده از نتایج آزمایش دانه بندی زیر، مطلوبست:

الف) ترسیم نمودار دانه بندی، ب) محاسبه اندازه موثر، ضریب یکنواختی و ضریب دانه بندی

U.S. sieve no.	Mass of soil retained on each sieve (g)
4	0
10	40
20	60
40	89
60	140
80	122
100	210
200	56
Pan	12

۳۶/۳۶

علی میرزایی

فصل دوم: منشأ پیدایش خاک و دانه بندی

مکانیک خاک

با سکر از توجه شما




 دانشگاه مهندسی - گروه مهندسی عمران
 مهندسی عمران

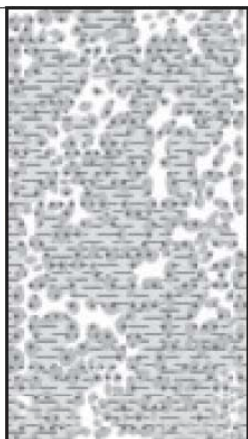
مکانیک خاک

فصل سوم: روابط وزنی - حجمی

علی میرزایی

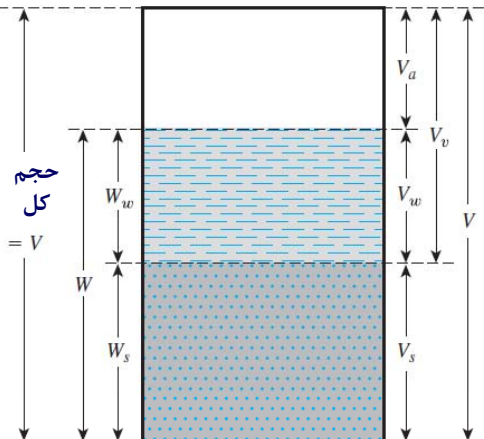
۱-۳- روابط وزنی - حجمی

□ هوا □ آب □ دانه های جامد



وزن کل
= W

حجم کل
= V



W_w
 W_s

V_a
 V_v
 V_w
 V_s
 V

$W_s =$ وزن دانه های خاک

$W_w =$ وزن آب

$V_s =$ حجم دانه های جامد

$V_v =$ حجم حفرات

$V_w =$ حجم آب

$V_a =$ حجم هوا

۱/۱۰

علی میرزایی

فصل سوم: روابط وزنی - حجمی

مکانیک خاک

۳-۱- روابط وزنی - حجمی

$$W = W_s + W_w$$

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

روابط وزنی:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \quad \text{• میزان رطوبت (Moisture content): } w$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \quad \text{• وزن واحد حجم خشک (وزن مخصوص خشک) (Dry Unit weight): } \gamma_d$$

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad \text{• وزن واحد حجم تر، (وزن مخصوص تر) (Unit Weight): } \gamma$$

روابط حجمی:

$$n = \frac{V_v}{V} \quad \text{• تخلخل (پوکی) (Porosity): } n$$

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad \text{• نسبت تخلخل (Void ratio): } e$$

$$S = \frac{V_w}{V_v} \quad \text{• درجه اشباع (Degree of Saturation): } S_r \text{ و } S$$

• درجه اشباع و میزان رطوبت را می توان بر حسب درصد نیز بیان نمود.

۲/۱۰

علی میرزایی

فصل سوم: روابط وزنی - حجمی

مکانیک خاک

۳-۱- روابط وزنی - حجمی

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} = \frac{\left(\frac{V_v}{V}\right)}{1 - \left(\frac{V_v}{V}\right)} = \frac{n}{1 - n} \quad \text{• رابطه بین نسبت تخلخل و پوکی:}$$

$$n = \frac{e}{1 + e}$$

• رابطه بین وزن مخصوص تر و خشک و درصد رطوبت:

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{W_s \left[1 + \left(\frac{W_w}{W_s} \right) \right]}{V} = \frac{W_s(1 + w)}{V} \quad \gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

۳/۱۰

علی میرزایی

فصل سوم: روابط وزنی - حجمی

مکانیک خاک

۲-۳- روابط بین وزن مخصوص، نسبت تخلخل، میزان رطوبت و چگالی دانه ها:

$$W_s = G_s \gamma_w$$

$$W_w = wW_s = wG_s \gamma_w$$

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s \gamma_w + wG_s \gamma_w}{1 + e} = \frac{(1 + w)G_s \gamma_w}{1 + e}$$

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e}$$

$$Se = wG_s$$

$$\gamma_{sat} = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V} = \frac{G_s \gamma_w + e \gamma_w}{1 + e} = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e}$$

• وزن مخصوص
حالت اشباع
 γ_{sat} کامل خاک:

۴/۱۰

علی میرزایی

فصل سوم: روابط وزنی - حجمی

مکانیک خاک

۲-۳- روابط بین وزن مخصوص، نسبت تخلخل، میزان رطوبت و چگالی دانه ها:

Moist unit weight (γ)		Dry unit weight (γ_d)		Saturated unit weight (γ_{sat})	
Given	Relationship	Given	Relationship	Given	Relationship
w, G_s, e	$\frac{(1 + w)G_s \gamma_w}{1 + e}$	γ, w	$\frac{\gamma}{1 + w}$	G_s, e	$\frac{(G_s + e) \gamma_w}{1 + e}$
S, G_s, e	$\frac{(G_s + Se) \gamma_w}{1 + e}$	G_s, e	$\frac{G_s \gamma_w}{1 + e}$	G_s, n	$[(1 - n)G_s + n] \gamma_w$
w, G_s, S	$\frac{(1 + w)G_s \gamma_w}{1 + \frac{wG_s}{S}}$	G_s, n	$G_s \gamma_w (1 - n)$	G_s, w_{sat}	$\left(\frac{1 + w_{sat}}{1 + w_{sat} G_s}\right) G_s \gamma_w$
w, G_s, n	$G_s \gamma_w (1 - n)(1 + w)$	G_s, w, S	$\frac{G_s \gamma_w}{1 + \left(\frac{wG_s}{S}\right)}$	e, w_{sat}	$\left(\frac{e}{w_{sat}}\right) \left(\frac{1 + w_{sat}}{1 + e}\right) \gamma_w$
S, G_s, n	$G_s \gamma_w (1 - n) + nS \gamma_w$	e, w, S	$\frac{eS \gamma_w}{(1 + e)w}$	n, w_{sat}	$n \left(\frac{1 + w_{sat}}{w_{sat}}\right) \gamma_w$
		γ_{sat}, e	$\gamma_{sat} - \frac{e \gamma_w}{1 + e}$	γ_d, e	$\gamma_d + \left(\frac{e}{1 + e}\right) \gamma_w$
		γ_{sat}, n	$\gamma_{sat} - n \gamma_w$	γ_d, n	$\gamma_d + n \gamma_w$
		γ_{sat}, G_s	$\frac{(\gamma_{sat} - \gamma_w) G_s}{(G_s - 1)}$	γ_d, S	$\left(1 - \frac{1}{G_s}\right) \gamma_d + \gamma_w$
				γ_d, w_{sat}	$\gamma_d (1 + w_{sat})$

• خلاصه روابط بین وزن مخصوص خشک، تر و حالت اشباع

۵/۱۰

علی میرزایی

فصل سوم: روابط وزنی - حجمی

مکانیک خاک

۲-۳- روابط بین وزن مخصوص، نسبت تخلخل، میزان رطوبت و چگالی دانه ها:

Type of soil	Void ratio, e	Natural moisture content in a saturated state (%)	Dry unit weight, γ_d	
			lb/ft ³	kN/m ³
Loose uniform sand	0.8	30	92	14.5
Dense uniform sand	0.45	16	115	18
Loose angular-grained silty sand	0.65	25	102	16
Dense angular-grained silty sand	0.4	15	121	19
Stiff clay	0.6	21	108	17
Soft clay	0.9-1.4	30-50	73-93	11.5-14.5
Loess	0.9	25	86	13.5
Soft organic clay	2.5-3.2	90-120	38-51	6-8
Glacial till	0.3	10	134	21

• برخی از مقادیر واقعی پارامترهای وزنی - حجمی

۶/۱۰

علی میرزایی

فصل سوم: روابط وزنی - حجمی

مکانیک خاک

۲-۳- روابط بین وزن مخصوص، نسبت تخلخل، میزان رطوبت و چگالی دانه ها:

• **مثال ۱:** در صورتی که حجم یک خاک مرطوب با درصد رطوبت ۸،۶ درصد با چگالی دانه های ۲،۷۱ به جرم ۲۳۵۰ کیلوگرم برابر ۱،۲ متر مکعب باشد، مطلوبست:

وزن مخصوص تر و خشک، نسبت تخلخل و پوکی، درجه اشباع و حجم آب درون حفرات

• **مثال ۲:** در یک خاک با تخلخل ۰،۴ و چگالی ویژه دانه های ۲،۶۸ و درصد رطوبت ۱۲ درصد و حجم ۱۰ متر مکعب، مطلوبست محاسبه حجم آب لازم برای اشباع کامل خاک.

• **مثال ۳:** در صورتی که یک خاک کاملاً خشک با وزن مخصوص ۱۸ کیلونیوتن بر متر مکعب با رساندن درصد رطوبت آن به ۲۱ درصد کاملاً اشباع گردد، مطلوبست محاسبه مقادیر چگالی ویژه دانه ها، نسبت تخلخل و وزن مخصوص حالت اشباع کامل.

۷/۱۰

علی میرزایی

فصل سوم: روابط وزنی - حجمی

مکانیک خاک

۳-۳- دانسیته نسبی

• دانسیته نسبی برای بیان میزان شل و یا سفت بودن (تراکم) خاک های دانه ای استفاده شده و به صورت زیر تعریف می گردد:

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

D_r = دانسیته نسبی
 e = نسبت تخلخل خاک
 e_{\max} = بیشترین نسبت تخلخل خاک (متناظر با شل ترین حالت)
 e_{\min} = کمترین نسبت تخلخل خاک (متناظر با سفت ترین حالت)

• دانسیته نسبی را می توان بر حسب درصد نیز بیان نمود. در شل ترین حالت مقدار دانسیته نسبی برابر ۰ درصد و در سفت ترین حالت برابر ۱۰۰ درصد می باشد.

وضعیت تراکم خاک	(%)	دانسیته نسبی
خیلی شل	0-15	
شل	15-50	
متوسط	50-70	
متراکم	70-85	
خیلی متراکم	85-100	

۸/۱۰

علی میرزایی

فصل سوم: روابط وزنی - حجمی

مکانیک خاک

۳-۳- دانسیته نسبی

$$D_r = \frac{(1 - n_{\min})(n_{\max} - n)}{(n_{\max} - n_{\min})(1 - n)}$$

$$D_r = \frac{\left[\frac{1}{\gamma_{d(\min)}} \right] - \left[\frac{1}{\gamma_d} \right]}{\left[\frac{1}{\gamma_{d(\min)}} \right] - \left[\frac{1}{\gamma_{d(\max)}} \right]} = \left[\frac{\gamma_d - \gamma_{d(\min)}}{\gamma_{d(\max)} - \gamma_{d(\min)}} \right] \left[\frac{\gamma_{d(\max)}}{\gamma_d} \right]$$

$$D_r = \left[\frac{\rho_d - \rho_{d(\min)}}{\rho_{d(\max)} - \rho_{d(\min)}} \right] \frac{\rho_{d(\max)}}{\rho_d}$$

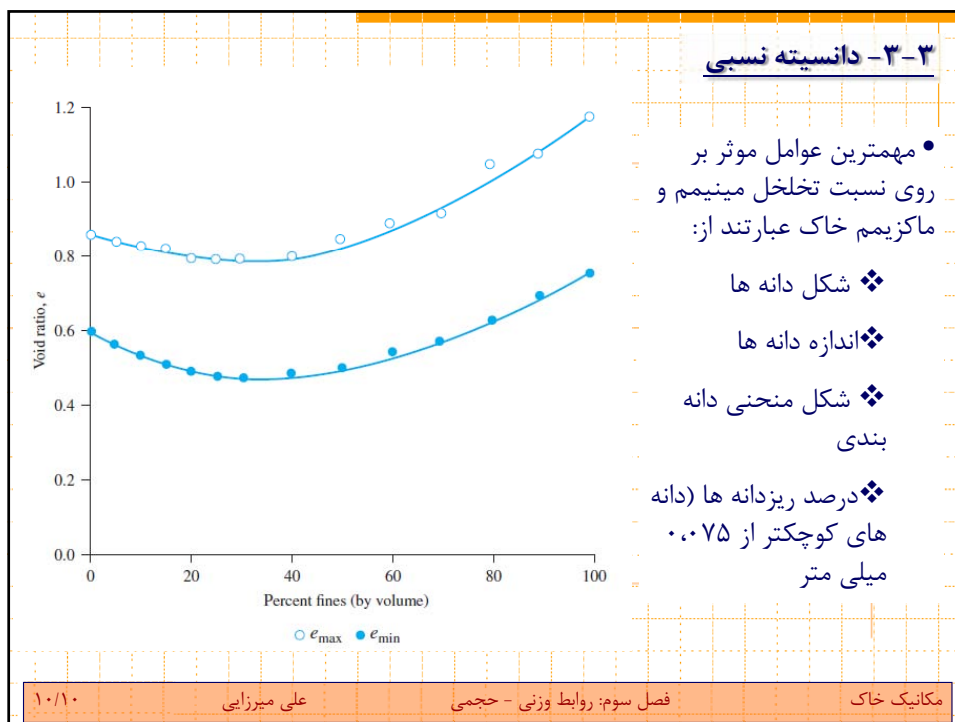
• مثال: در یک خاک دانه ای، در صورتی که نسبت تخلخل مینیمم و ماکزیمم به ترتیب برابر ۰،۴ و ۰،۷۵ بوده و درصد رطوبت خاک و وزن مخصوص مرطوب خاک به ترتیب برابر ۱۲ درصد و ۱۹/۲ کیلو نیوتن باشد، مطلوبست محاسبه دانسیته نسبی خاک و قضاوت در مورد وضعیت تراکمی خاک.

۹/۱۰

علی میرزایی

فصل سوم: روابط وزنی - حجمی

مکانیک خاک



با سکر از توجه شما





دانشگاه سوادکوه
دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران

مکانیک خاک

فصل چهارم: ویژگی های خمیری و سائیدار خاک

علی میرزایی

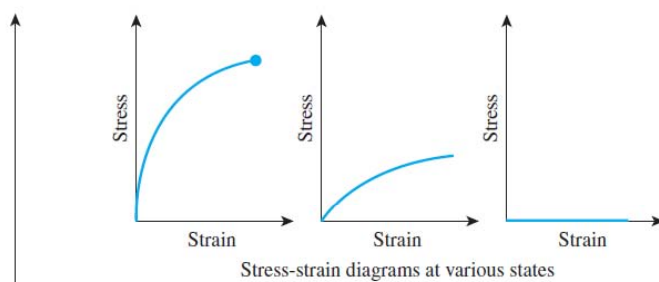
۴-۱- مقدمه

- به واسطه وجود ذرات و کانی های رسی درون یک خاک و جذب آب توسط این ذرات، خاک می تواند خاصیت خمیری داشته و به شکل های مختلفی متراکم گردد.
- در صورتی که میزان درصد رطوبت خاک کم باشد، رفتار خاک مشابه یک جسم جامد بوده و در صورتی که میزان آب درون حفرات به قدری بوده تا دانه های خاک درون آب معلق گردند خاک رفتاری مشابه با یک جسم مایع خواهد داشت.
- اتر برگ (دانشمند سوئدی) در اوایل ۱۹۰۰ میلادی، وضعیت خاک را با توجه به میزان رطوبت آن به چهار وضعیت **جامد، نیمه جامد، خمیری و مایع** تقسیم بندی نمود.
- اتر برگ درصد رطوبت متناظر با مرز تغییر حالت خاک را از وضعیت جامد به نیمه جامد، **حد انقباض** نامید.

۴-۱- مقدمه

• به طور مشابه، اتربرگ درصد رطوبت متناظر با مرز تغییر حالت خاک را از وضعیت نیمه جامد به خمیری، **حد خمیری** و درصد رطوبت متناظر با مرز تغییر حالت خاک از وضعیت خمیری به مایع را **حد روانی** نامید.

• به حدود انقباض، خمیری و روانی حدود اتربرگ اطلاق می گردد.



Stress-strain diagrams at various states

افزایش
درصد
رطوبت

جامد

نیمه جامد

خمیری

مایع

SL، حد انقباض

PL، حد خمیری

LL، حد روانی

۲/۲۳

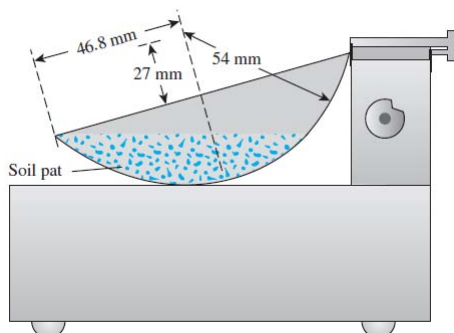
علی میرزایی

فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک

۴-۲- حد روانی

• به درصد رطوبت یک خاکی که بتوان یک شیار ایجاد شده به طول ۰،۵ اینچ (۱۲،۷ میلی متر) را به واسطه ۲۵ ضربه درون دستگاه اتربرگ کاملاً بسته نمود، اصطلاحاً حد روانی (Liquid Limit) گفته و آن را با LL بیان می کنند.



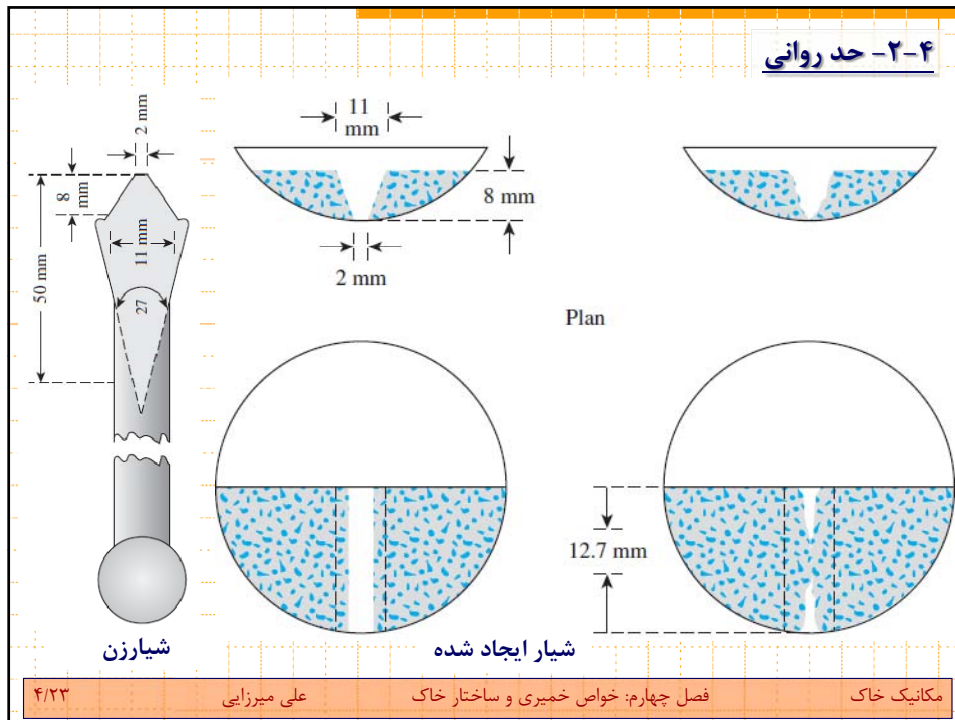
شمای کلی دستگاه اتربرگ

۳/۲۳

علی میرزایی

فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

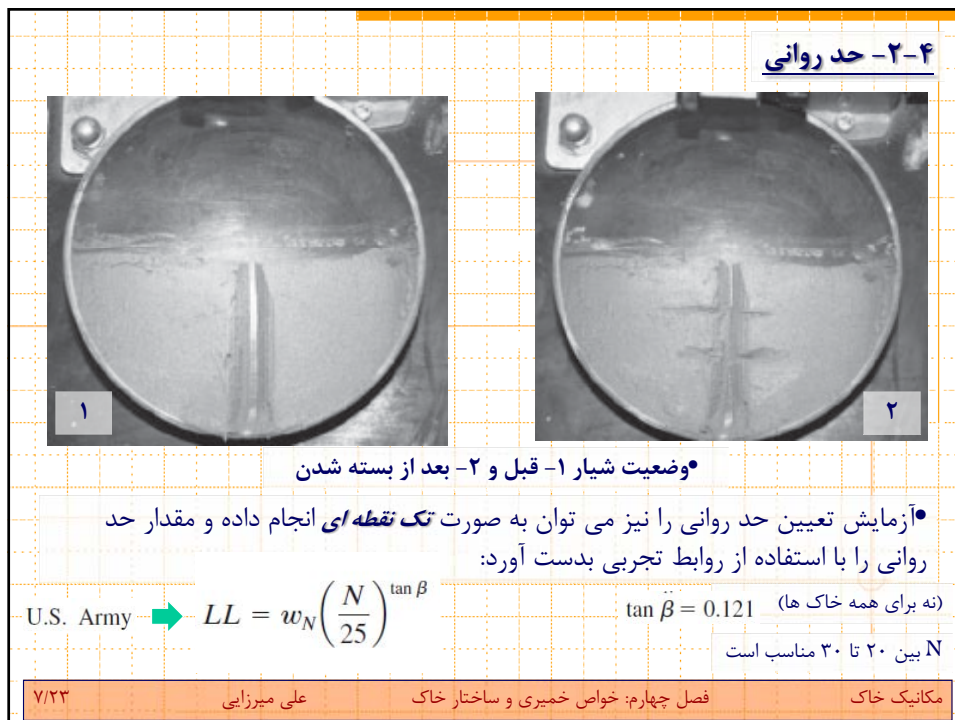
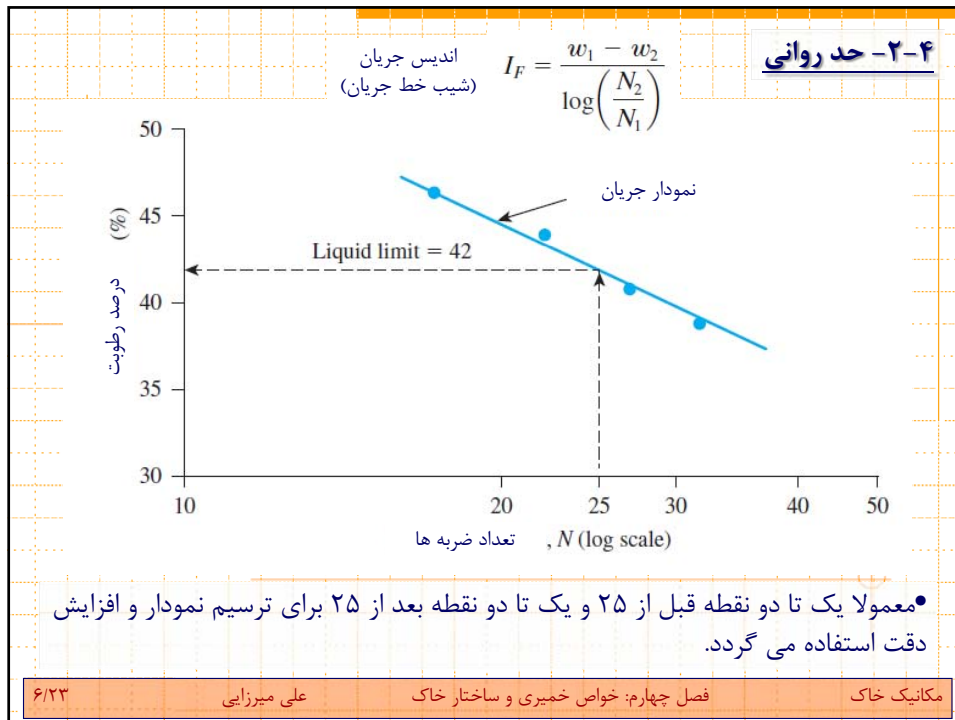
مکانیک خاک



۴-۲- حد روانی

- برای انجام آزمایش تعیین حد روانی، ابتدا خاک به یک درصد رطوبت دلخواه رسانده شده و مطابق شکل های قبل تا ارتفاع ۲/۳ درون کاسه دستگاه ریخته می شود.
- در ادامه یک شیار با مشخصات مفروض و نشان داده شده در شکل توسط یک شیارزن مخصوص این امر ایجاد شده و سپس با چرخاندن دسته دستگاه کاسه دستگاه تا ارتفاع ۱۰ میلی متری بالا برده شده و سپس سقوط می نماید.
- میزان نرخ سقوط کاسه دستگاه بایستی ۲ سقوط در هر ثانیه باشد.
- برای بدست آوردن درصد رطوبت معادل با ۲۵ ضربه (سقوط) برای بستن شیار، آزمایش را برای مقادیر درصد رطوبت خاک انجام تا بسته شدن کامل شیار با شمردن تعداد ضربه ها انجام داده و با ترسیم مقادیر ضربه های بین ۱۵ الی ۳۵ و درصد های رطوبت متناظر آن ها در یک نمودار نیمه لگاریتمی، مقدار درصد رطوبت معادل با ۲۵ ضربه سقوط را درون یابی می نماییم.

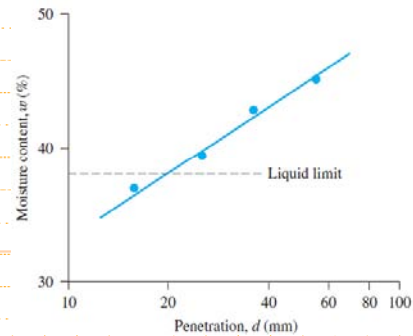
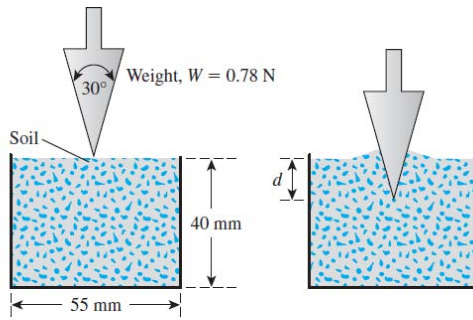
۵/۲۳ علی میرزایی فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک مکانیک خاک



۲-۴- حد روانی

• میزان حد روانی را نیز می توان مطابق استاندارد BS با توجه به میزان نفوذ یک مخروط درون خاک مرطوب و آزمایش سقوط مخروط بدست آورد.

• در این حالت حد روانی خاک، برابر درصد رطوبت معادل با ۲۰ میلی متر نفوذ مخروط می باشد.



$$I_{FC} = \frac{w_2(\%) - w_1(\%)}{\log d_2 - \log d_1}$$

۸/۲۳

علی میرزایی

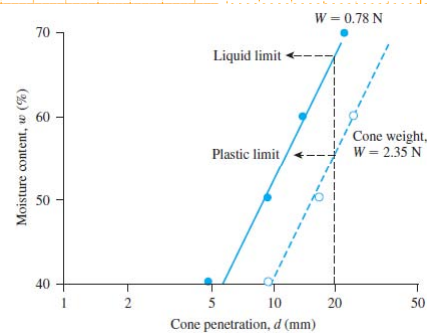
فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک

۳-۴- حد خمیری

• حد خمیری (PL) خاک برابر درصد رطوبت خاکی بوده که وقتی آن را به فتيله هایی با قطر ۴،۲ میلی متر (۱/۸ اینچ) رسانده، درون خاک ترک هایی ایجاد شود.

• میزان حد خمیری خاک را نیز می توان با آزمایش سقوط مخروط و میزان نفوذ یک مخروط سنگین تر به مقدار ۲۰ میلی متر محاسبه نمود.



• تعیین حد خمیری خاک

۹/۲۳

علی میرزایی

فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک

۳-۴- حد خمیری

• **اندیس (نشانه) خمیری، PI** : به تفاضل حدود روانی و خمیری اصطلاحاً اطلاق می شود.

$$PI = LL - PL$$

PI	وضعیت خاک
0	غیر خمیری
1-5	خمیری خیلی کم
5-10	خمیری کم
10-20	خمیری متوسط
20-40	خمیری بالا
>40	خمیری خیلی بالا

• روابط
تجربی

$$PI (\%) = 4.12I_F (\%)$$

$$PI (\%) = 0.74I_{FC} (\%)$$

$$PL = 0.04(LL) + 0.26(CF) + 10$$

$$PI = 0.96(LL) - 0.26(CF) - 10$$

• CF : درصد ذرات ریز دانه رسی

۱۰/۲۲

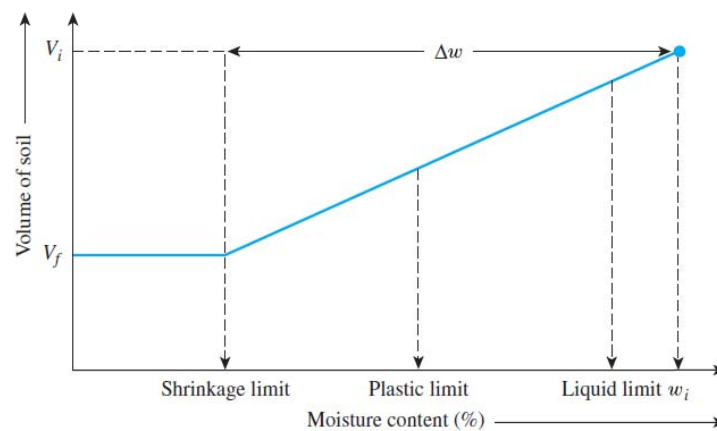
علی میرزایی

فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک

۴-۴- حد انقباض

• **حد انقباض (SL)** خاک برابر درصد رطوبتی از خاک بوده که با کمتر شدن درصد رطوبت خاک دچار هیچ گونه تغییر حجم (کاهش حجم) نشود.



۱۱/۲۲

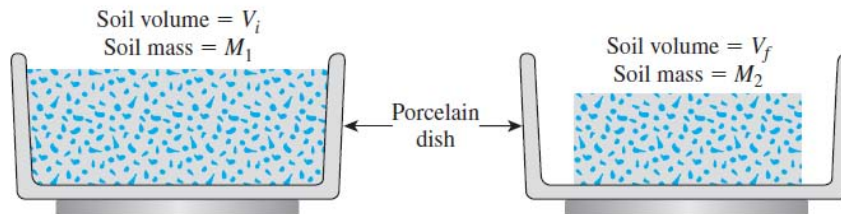
علی میرزایی

فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک

۴-۴- حد انقباض

• برای اندازه گیری حد انقباض یک خاک مرطوب اولیه با حجم و جرم مفروض را درون یک ظرف چینی پر نموده و آن را درون کوره (اون) خشک می نماییم. سپس وزن خاک خشک را بدست آورده و حجم از دست رفته را با ریختن جیوه درون ظرف بدست می آوریم.



• با توجه به سعی بودن جیوه، می توان حجم خاک خشک شده را نیز با روش موم اندود و غوطه ور نمودن درون آب بدست آورد.

۱۲/۲۳

علی میرزایی

فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک

۴-۴- حد انقباض

$$SL = w_i(\%) - \Delta w(\%)$$

(میزان رطوبت از دست رفته برای خشک کردن خاک) - (درصد رطوبت اولیه) = حد انقباض

$$w_i(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100 \quad \Delta w(\%) = \frac{(V_i - V_f)\rho_w}{M_2} \times 100$$

$$SL = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_2} \right) (100) - \left(\frac{V_i - V_f}{M_2} \right) (\rho_w) (100)$$

$$SR = \frac{\left(\frac{\Delta V}{V_f} \right)}{\left(\frac{\Delta M}{M_2} \right)} = \frac{\left(\frac{\Delta V}{V_f} \right)}{\left(\frac{\Delta V \rho_w}{M_2} \right)} = \frac{M_2}{V_f \rho_w}$$

SR: نسبت انقباض، برابر نسبت تغییر حجم نسبی به تغییر جرم نسبی

۱۳/۲۳

علی میرزایی

فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک

۴-۴- حد انقباض

$$G_s = \frac{1}{\frac{1}{SR} - \left(\frac{SL}{100}\right)}$$

می توان نشان داد که :

Mineral	Shrinkage limit
Montmorillonite	8.5-15
Illite	15-17
Kaolinite	25-29

مثال: مطلوبست محاسبه حد انقباض یک خاک با استفاده از نتایج آزمایشگاهی زیر:

Initial volume of soil in a saturated state = 24.6 cm³

Final volume of soil in a dry state = 15.9 cm³

Initial mass in a saturated state = 44.0 g

Final mass in a dry state = 30.1 g

۱۴/۲۲

علی میرزایی

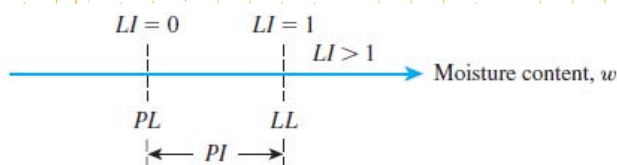
فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک

۴-۵- نشانه روانی و سازگاری

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL}$$

LI، نشانه (اندیس) روانی:



• در صورتی که نماد روانی بزرگتر از یک باشد، خاک وضعیت مایع داشته و دانه های آن درون آب غوطه ور هستند.

• در خاک های رسی بسیار پیش تحکیم یافته: $LI < 0$

$$CI = \frac{LL - w}{LL - PI}$$

CI، نشانه (اندیس) سازگاری:

۱۵/۲۲

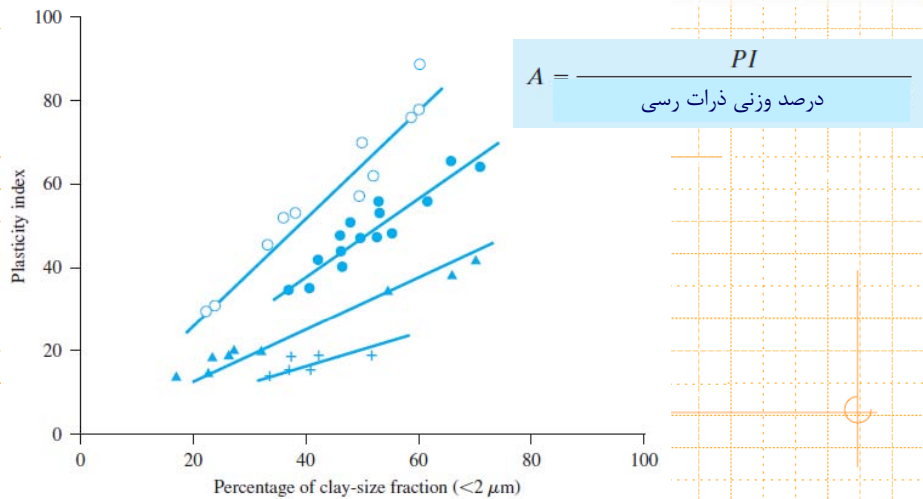
علی میرزایی

فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک

۴-۶-۴ فعالیت

• اسکمپتون (۱۹۵۲) مشاهده نمود که نمودار نشانه خمیری در برابر میزان ذرات رسی در خاک های مختلف به صورت یک خط بوده و شیب این خط را اصطلاحاً فعالیت (A) نامید.



۱۶/۲۲

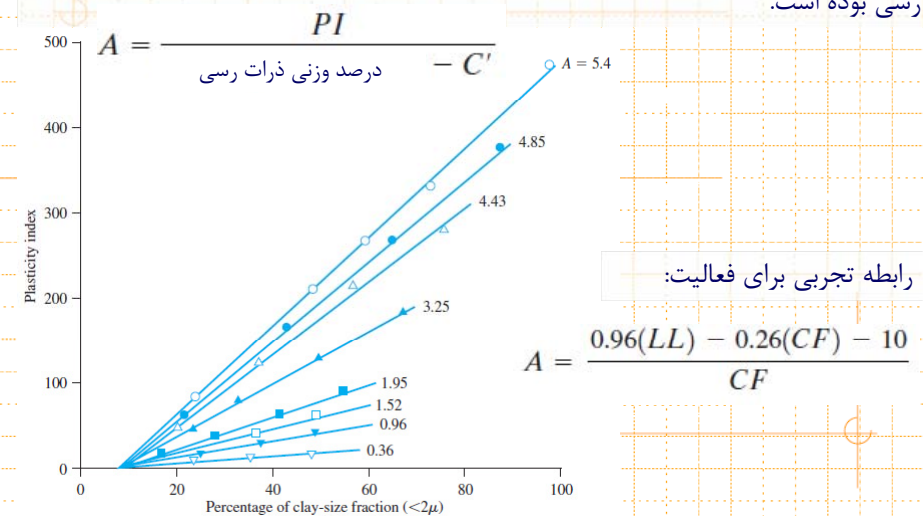
علی میرزایی

فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک

۴-۶-۴ فعالیت

• نتایج محققین مختلف حاکی از خروج از مرکزیت نمودار نشانه خمیری در برابر درصد ذرات رسی بوده است.

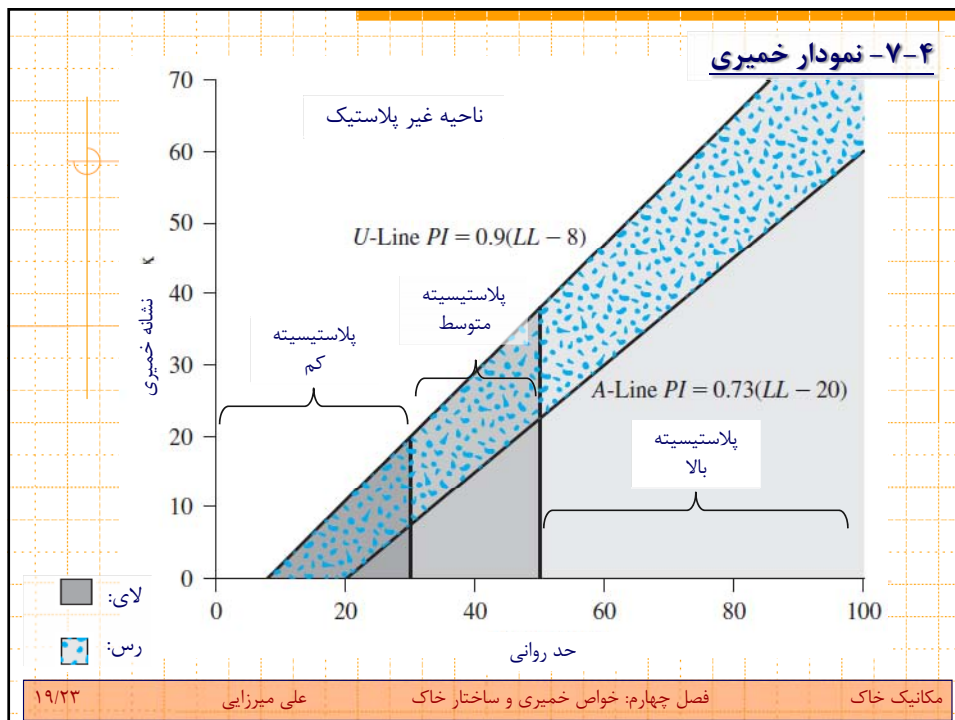
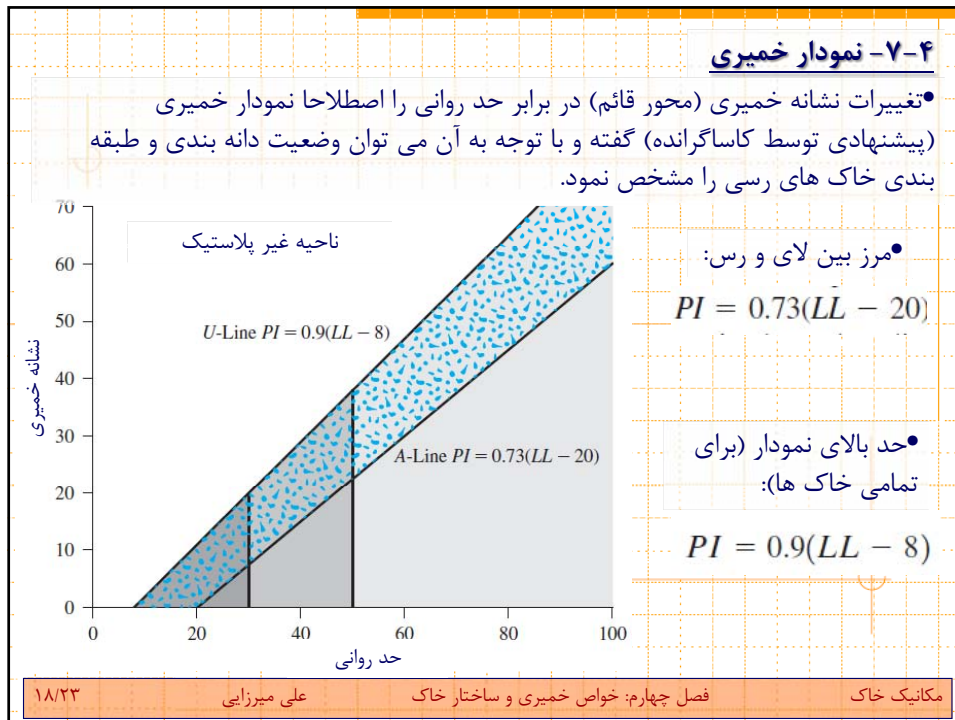


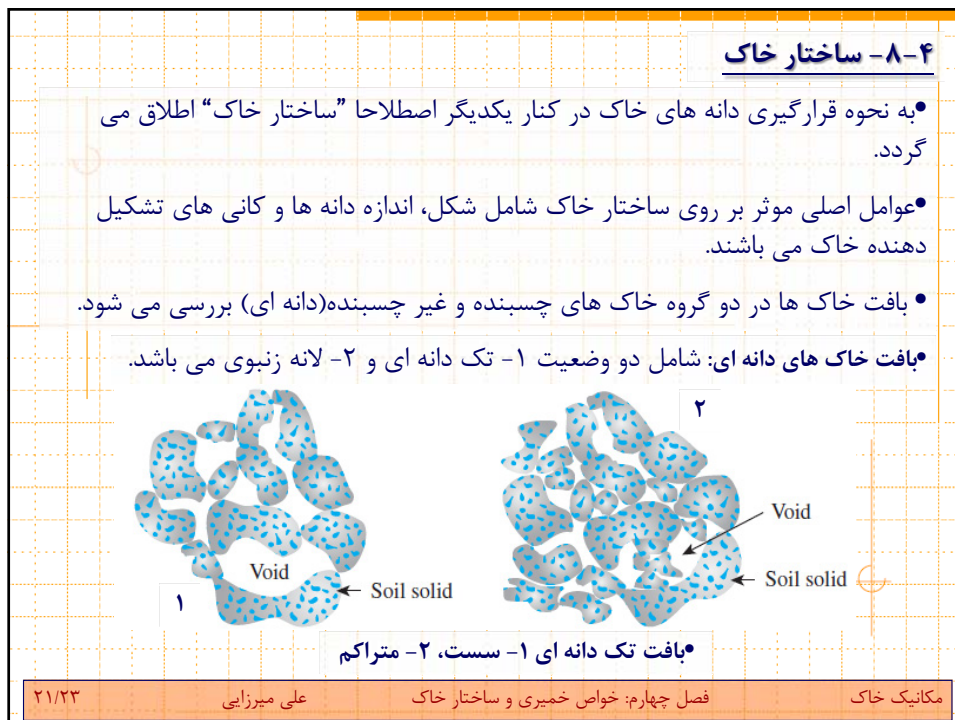
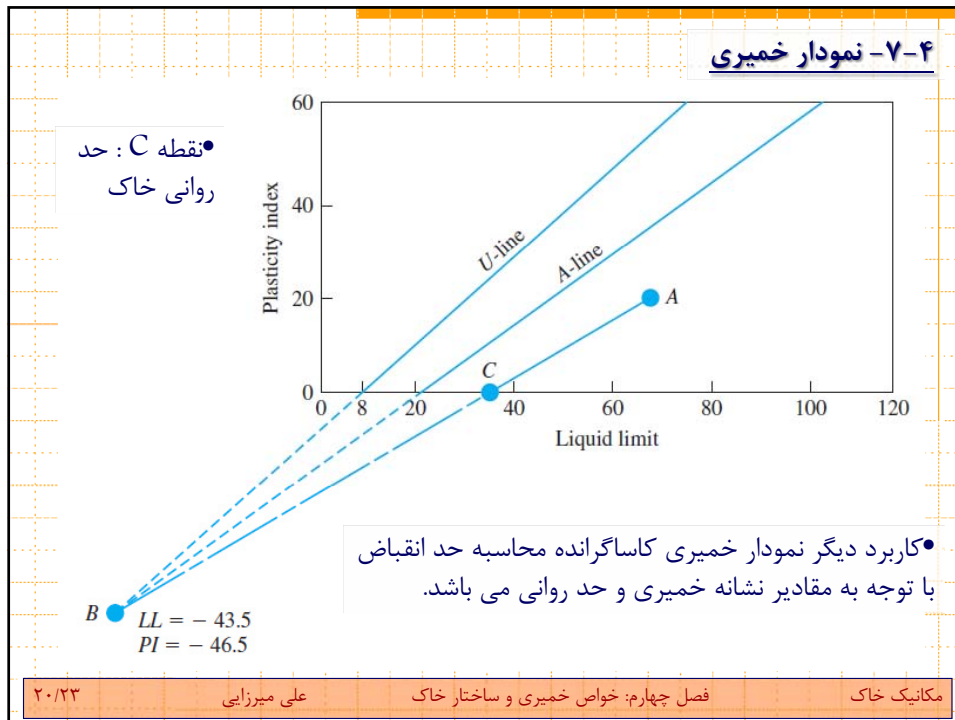
۱۷/۲۲

علی میرزایی

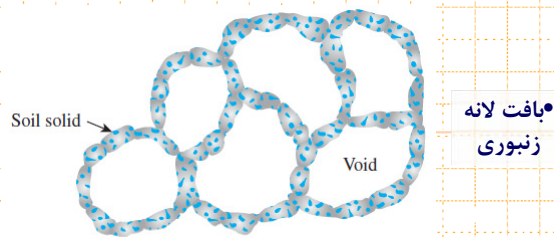
فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک





۸-۴ ساختار خاک



• بافت لانه
• زنبوری

• بافت خاک های چسبنده: شامل دو وضعیت ۱- پراکنده و ۲- مجتمع (فولکوله ای) می باشد.

• نحوه شکل گیری بافت خاک های چسبنده تابعی از نیروهای جاذبه و دافعه بین ذرات رسی می باشد.

• سطح ذرات رسی دارای بارهای منفی و گوشه های ذرات رسی دارای بار مثبت می باشد.

• در صورتی که برابند نیروهای بین ذرات رسی به ترتیب دافعه و جاذبه باشد، ساختار خاک به ترتیب به صورت پراکنده و مجتمع خواهد بود.

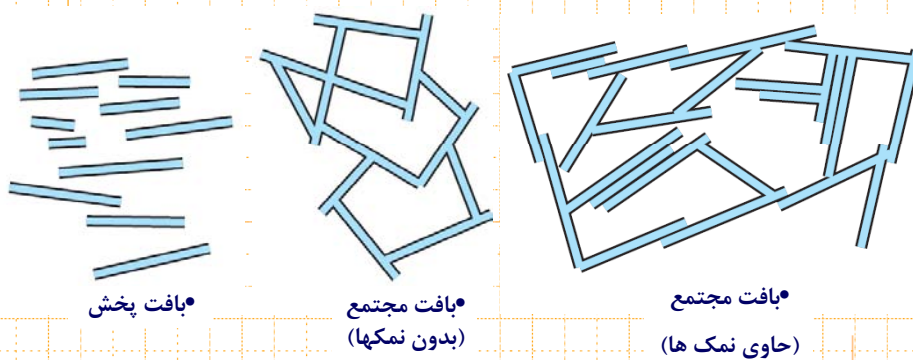
۲۲/۲۳

علی میرزایی

فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک

۸-۴ ساختار خاک



• بافت پخش

• بافت مجتمع
(بدون نمکها)

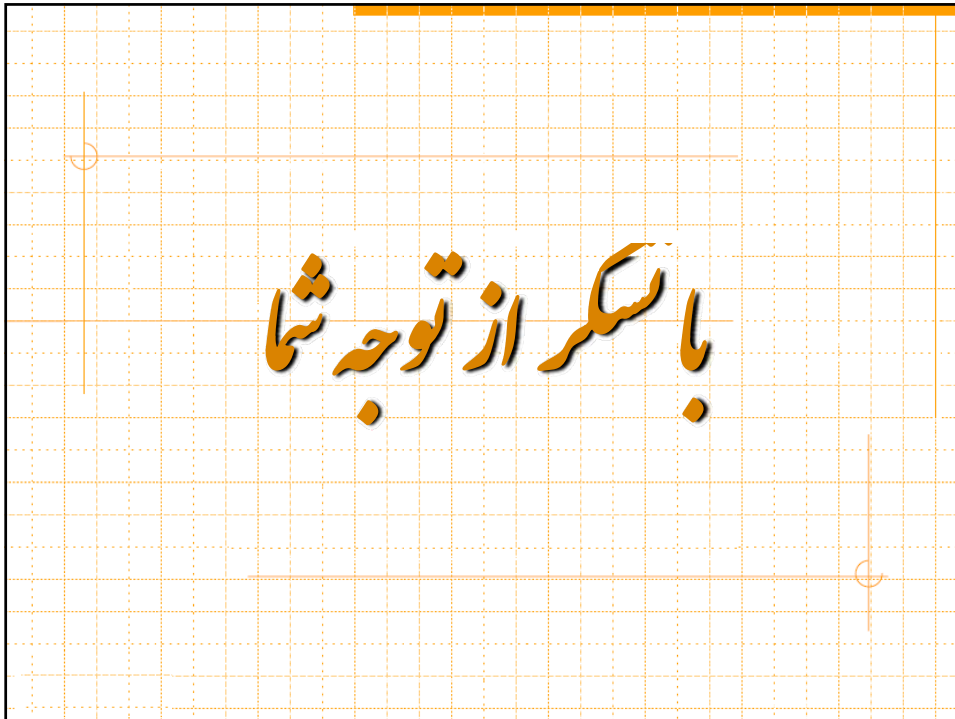
• بافت مجتمع
(حاوی نمک ها)

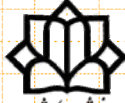
۲۳/۲۳

علی میرزایی




فصل چهارم: خواص خمیری و ساختار خاک

مکانیک خاک





دانشگاه سوادکوه
دانشگاه مهندسی - گروه مهندسی عمران

مکانیک خاک

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

علی میرزایی

مقدمه:

- خاک های مختلف با ویژگی های مشابه را می توان در گروه ها و زیر گروه های مختلفی طبقه بندی نموده و رفتار مهندسی آن ها را بررسی نمود.
- طبقه بندی خاک ها در واقع یک زبان واحد برای مقایسه خاک های مختلف می باشد.
- اغلب سیستم های طبقه بندی بر حسب ویژگی های نمودار دانه بندی و خواص خمیری بنا نهاده اند.
- اگرچه سیستم های طبقه بندی مختلفی تا کنون معرفی شده اند، لیکن هیچ یک از این سیستم های نمی تواند به طور جامع برای تمامی مقاصد مهندسی خاک ها را طبقه بندی نماید.

۱/۲۱ علی میرزایی فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها مکانیک خاک

۵-۱- طبقه بندی بر اساس بافت

• منظور از بافت خاک سطح قابل مشاهده خاک می باشد که تابعی از دانه بندی خاک می باشد.

• در سیستم های طبقه بندی بر اساس بافت، تنها معیار طبقه بندی خاک ها نمودار دانه بندی و یا نحوه توزیع انواع اندازه های مختلف دانه های خاک می باشد.

• از جمله معروفترین سیستم های طبقه بندی بر اساس بافت، سیستم طبقه بندی اداره کشاورزی آمریکا (USDA) می باشد که در آن اندازه های دانه های ماسه، لای و رس به شرح زیر می باشد:

• **ماسه:** بین ۲ الی ۰،۰۵ میلی متر

• **لای:** بین ۰،۰۵ الی ۰،۰۰۲ میلی متر

• **رس:** کوچک تر از ۰،۰۰۲ میلی متر

۲/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۵-۱- طبقه بندی بر اساس بافت

• با محاسبه درصد وزنی میزان ماسه، لای و رس موجود در یک نمونه خاک می توان نوع آن خاک را با استفاده از نمودار زیر مشخص نمود:

• ماسه لوم دار: Loamy sand

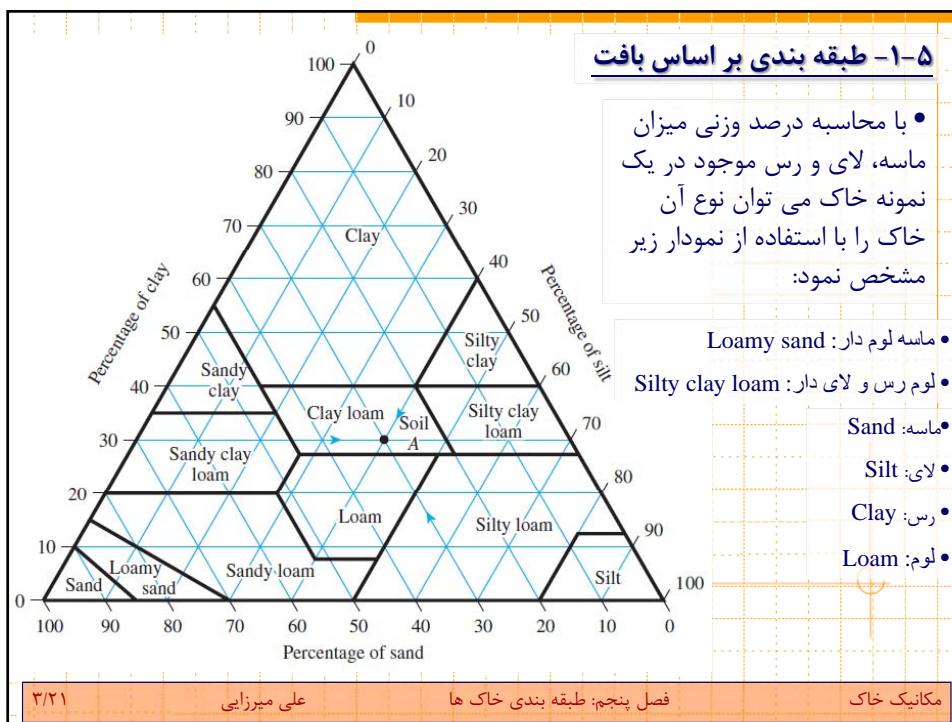
• لوم رس و لای دار: Silty clay loam

• ماسه: Sand

• لای: Silt

• رس: Clay

• لوم: Loam



۵-۱- طبقه بندی بر اساس بافت

• در سیستم صورت وجود دانه های بزرگتر از ۲ میلی متر (شن)، بایستی از مقادیر درصد ماسه و لای و رس اصلاح شده استفاده گردد. به عنوان نمونه:

20% gravel, 10% sand, 30% silt, and 40% clay,

$$\text{Sand size: } \frac{10 \times 100}{100 - 20} = 12.5\%$$

$$\text{Silt size: } \frac{30 \times 100}{100 - 20} = 37.5\%$$

$$\text{Clay size: } \frac{40 \times 100}{100 - 20} = 50.0\%$$

• با استفاده از شکل صفحه قبل، خاک مثال فوق در گروه "رس" واقع شده، لیکن به واسطه وجود ۲۰ درصد شن درون آن نهایتاً به آن "رس شن دار" اطلاق می شود.

۴/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۵-۲- طبقه بندی با توجه به رفتار مهندسی

• میزان و نوع کانی های رسی موجود در یک خاک بر روی ویژگی های رفتار مهندسی آن موثر بوده که این مسئله در طبقه بندی های بافتی در نظر گرفته نشده است.

• در طبقه بندی های مهندسی، ویژگی های منحنی دانه بندی و خواص خمیری خاک در طبقه بندی خاک ها مد نظر واقع می گردد.

• طبقه بندی های مهندسی مختلفی برای مقاصد مختلف همچون راه سازی، پروژه های ژئوتکنیکی و ... پیشنهاد شده است که معروفترین آن ها طبقه بندی اداره راه ایالتی آمریکا، AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) برای مقاصد راهسازی و سیستم طبقه بندی متحد (Unified Classification System) برای مقاصد ژئوتکنیکی اشاره نمود.

۵/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۳-۵- سیستم طبقه بندی آشو

• سیستم طبقه بندی آشو (۱۹۲۹) توسط مهندسين اداره راه آمریکا برای مقاصد راهسازی و تعیین میزان کیفیت یک خاک برای استفاده در راهسازی پیشنهاد گردید.

• در سیستم طبقه بندی آشو، خاک ها به ۷ گروه اصلی با نام های A1 الی A7 طبقه بندی شده که برخی از این گروه های اصلی نیز خود شامل زیر گروه های مختلف می باشند.

• سیستم طبقه بندی آشو بر اساس دو معیار ۱-اندازه دانه ها و ۲-خواص خمیری خاک استوار است.

۱-اندازه دانه ها:

• **شن:** بین ۷۵ میلی متر (الک ۳ اینچ) الی ۲ میلی متر (الک شماره ۱۰)

• **ماسه:** بین ۲ میلی متر (الک ۱۰ اینچ) الی ۰٫۰۷۵ میلی متر (الک شماره ۲۰۰)

• **لای و رس:** کوچکتر از ۰٫۰۷۵ میلی متر (الک شماره ۲۰۰)

۶/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۳-۵- سیستم طبقه بندی آشو

۲- خواص خمیری:

• خاک **لای دار:** دارای نشانه خمیری کوچکتر و یا مساوی ۱۰

• خاک **رس دار:** دارای نشانه خمیری بزرگتر از ۱۰

• در سیستم آشو مرز بین دانه های درشت دانه (شن و ماسه) و ریز دانه (لای و رس) الک شماره ۲۰۰ (اندازه ۰٫۰۷۵ میلی متر) بوده و در صورتی که یک خاک بیشتر از ۳۵ درصد آن از الک ۲۰۰ عبور نماید، آن را ریز دانه (لای و رس) در نظر می گیریم.

• بعد از مشخص نمودن پارامترهای دانه بندی و خواص خمیری خاک، شماره گروه خاک را با توجه به جداول بعدی مشخص می نماییم.

۷/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۳-۵- سیستم طبقه بندی آشو

General classification	Granular materials (35% or less of total sample passing No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Group classification	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve analysis (percentage passing)							
No. 10	50 max.						
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.				
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
Characteristics of fraction passing No. 40							
Liquid limit				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		NP	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand			
General subgrade rating	Excellent to good						

۸/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۳-۵- سیستم طبقه بندی آشو

General classification	Silt-clay materials (more than 35% of total sample passing No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 ^a A-7-6 ^b
Sieve analysis (percentage passing)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing No. 40				
Liquid limit	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Usual types of significant constituent materials	Silty soils		Clayey soils	
General subgrade rating	Fair to poor			

^aFor A-7-5, $PI \leq LL - 30$
^bFor A-7-6, $PI > LL - 30$

• در ادامه، برای مشخص نمودن کیفیت یک خاک به عنوان مصالح زیر اساس یک راه، عدد گروه (GI) (Group Index) را مشخص می نماییم:

• درصد عبوری از الک F_{200} : ۲۰۰

$$GI = (F_{200} - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10)$$

۹/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۳-۵- سیستم طبقه بندی آشو

• در محاسبه عدد گروه، نکات ذیل را رعایت می کنیم:

۱- در صورتی که مقدار عدد گروه منفی بدست آمد آن را صفر در نظر می گیریم.

۲- در صورتی که مقدار عدد گروه اعشاری بدست آمد، آن را گرد می نماییم:

$GI = 3.4$ is rounded off to 3; $GI = 3.5$ is rounded off to 4

۳- مقدار حد بالایی برای عدد گروه وجود ندارد.

۴- نشانه گروه های $A-1-a$, $A-1-b$, $A-2-4$, $A-2-5$ و $A-3$ برابر صفر در نظر گرفته می شود.

۵- نشانه گروه های $A-2-6$ و $A-2-7$ را تنها با توجه به ترم اول معادله نشانه گروه بدست می آوریم:

$$GI = 0.01(F_{200} - 15)(PI - 10)$$

نکته: هر چه مقدار عدد گروه بزرگتر باشد، کیفیت آن خاک برای مصالح زیر اساس بهتر می باشد.

۱۰/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۳-۵- سیستم طبقه بندی آشو

• مثال: مطلوبست طبقه بندی خاک زیر در سیستم آشو و تعیین عدد گروه:

Percentage passing No. 10 sieve = 90

Percentage passing No. 40 sieve = 76

Percentage passing No. 200 sieve = 34

Liquid limit (-No. 40 fraction) = 37

Plasticity index (-No. 40 fraction) = 12

۱۱/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۴-۵- سیستم طبقه بندی متحد

• سیستم طبقه بندی متحد (UCS) توسط کاساگرانده (۱۹۴۲) برای ساخت یک فرودگاه در دوران جنگ جهانی دوم پیشنهاد گردید و امروزه به طور گسترده ای در حیطه مهندسی ژئوتکنیک مورد استفاده واقع می گردد.

• در سیستم طبقه بندی متحد خاک ها بر حسب درصد عبوری از الک ۲۰۰ به دو گروه درشت دانه و ریز دانه طبقه بندی می شوند:

• **گروه درشت دانه:** در صورتی که درصد عبوری از الک ۲۰۰ کمتر از ۵۰ درصد باشد، خاک در گروه درشت دانه واقع شده و با توجه به سائری و ویژگی آن از نوع شن (G) و یا ماسه (S) می باشد.

• **گروه ریزدانه:** در صورتی که درصد عبوری از الک ۲۰۰ بیشتر از ۵۰ درصد باشد، خاک در گروه ریزدانه واقع شده و با توجه به سائری و ویژگی آن از نوع لای (M) و یا رس (C) می باشد.

۱۲/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۴-۵- سیستم طبقه بندی متحد

• سایر اندیس هایی که در سیستم طبقه بندی متحد استفاده می شوند عبارتند از:



W—well graded

P—poorly graded

L—low plasticity (liquid limit less than 50)

H—high plasticity (liquid limit more than 50)

• در سیستم طبقه بندی متحد، مرز بین دانه های شن و ماسه، الک شماره ۴ بوده و در صورتی که ۵۰ درصد از مصالح خاک درشت دانه (مانده روی الک ۲۰۰) از الک ۴ عبور نموده، خاک از نوع ماسه و بالعکس از نوع شن می باشد.

• ادامه طبقه بندی خاک های درشت دانه بر اساس ضریب یکنواختی و ضریب دانه بندی انجام می پذیرد.

۱۳/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۴-۵- سیستم طبقه بندی متحد

Criteria for assigning group symbols				Group symbol
Coarse-grained soils More than 50% of retained on No. 200 sieve	Gravels More than 50% of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels	$C_u \geq 4$ and $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
		Less than 5% fines ^a	$C_u < 4$ and/or $1 > C_c > 3^c$	GP
		Gravels with Fines	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3)	GM
		More than 12% fines ^{a,d}	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)	GC
	Sands 50% or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Clean Sands	$C_u \geq 6$ and $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
		Less than 5% fines ^b	$C_u < 6$ and/or $1 > C_c > 3^c$	SP
		Sands with Fines	$PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3)	SM
		More than 12% fines ^{b,d}	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3)	SC

^a Gravels with 5 to 12% fine require dual symbols: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^b Sands with 5 to 12% fines require dual symbols: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

$$^c C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

۱۴/۲۱

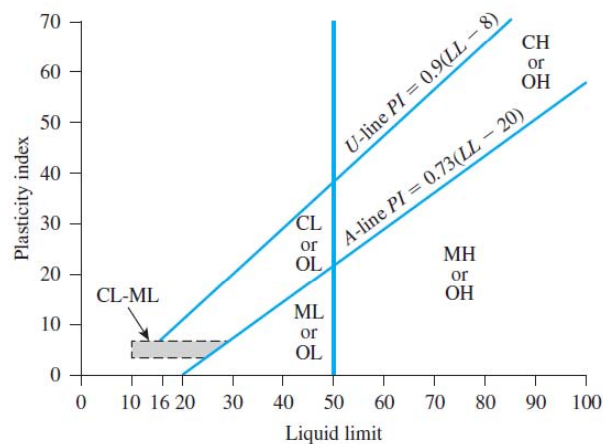
علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۴-۵- سیستم طبقه بندی متحد

- در صورتی که میزان درصد عبوری از الک ۲۰۰ بیشتر از ۵۰ درصد باشد، طبقه بندی خاک با توجه به نمودار خمیری کاساگرانده انجام می پذیرد:



۱۵/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۴-۵- سیستم طبقه بندی متحد

- در صورتی که میزان درصد عبوری از الک ۲۰۰ بیشتر از ۵۰ درصد باشد، طبقه بندی خاک با توجه به نمودار خمیری کاساگرانده انجام می پذیرد:

Fine-grained soils 50% or more passes No. 200 sieve	Silts and clays Liquid limit less than 50	Inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line (Figure 5.3) ^f $PI < 4$ or plots below "A" line (Figure 5.3) ^g	CL ML
		Organic	Liquid limit — oven dried Liquid limit — not dried < 0.75 ; see Figure 5.3; OL zone	OL
	Silts and clays Liquid limit 50 or more	Inorganic	PI plots on or above "A" line (Figure 5.3) PI plots below "A" line (Figure 5.3)	CH MH
		Organic	Liquid limit — oven dried Liquid limit — not dried < 0.75 ; see Figure 5.3; OH zone	OH
Highly Organic Soils	Primarily organic matter, dark in color, and organic odor			Pt

۱۶/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۴-۵- سیستم طبقه بندی متحد

- مثال: مطلوبست طبقه بندی خاک زیر در سیستم طبقه بندی متحد:

Percentage passing No. 4 sieve = 70
 Percentage passing No. 200 sieve = 30
 Liquid limit = 33
 Plastic limit = 12

۱۷/۲۱

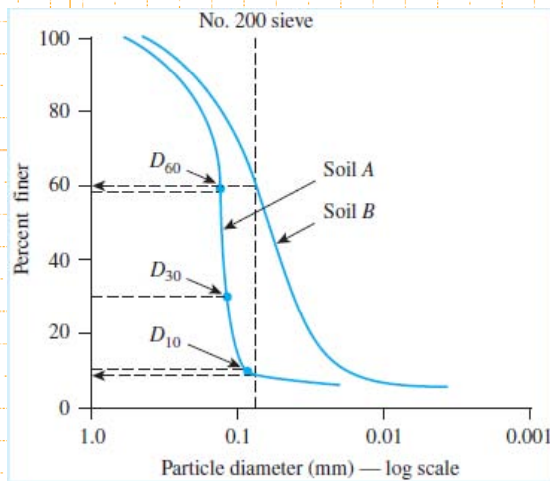
علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۴-۵- سیستم طبقه بندی متحد

• مثال: مطلوبست طبقه بندی خاک های زیر در سیستم طبقه بندی متحد:



	Soil A	Soil B
Liquid limit	30	26
Plastic limit	22	20

۱۸/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۵-۵- مقایسه سیستم های طبقه بندی آشو و متحد

- مرز بین ریزدانه و درشت دانه در هر دو سیستم الک ۲۰۰ است.
- در سیستم طبقه بندی آشو، معیار ریزدانه بودن یک خاک ۳۵ درصد و یا بیشتر عبوری از الک شماره ۲۰۰ بوده و در سیستم طبقه بندی متحد معیار ریز دانه بودن ۵۰ درصد و یا بیشتر عبوری از الک ۲۰۰ بوده که نتایج و مشاهدات حاکی از برتری سیستم آشو نسبت به متحد در این امر می باشد.
- مرز بین ماسه و شن در آشو الک ۱۰ و در متحد الک ۴ است که در این زمینه معیار مرتبط با سیستم آشو به نظر معقول تر بوده و در سایر علوم نیز همچون راهسازی و یا بتن به عنوان حد فاصل دانه های شن و ماسه مورد استفاده واقع می گردد.
- بر خلاف سیستم طبقه بندی آشو، در سیستم طبقه بندی متحد، نام گروه خاک ها با نوع خاک سازگار بوده و دارای مفهوم بوده و خاک های آلی نیز طبقه بندی شده اند.

۱۹/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۵-۵- مقایسه سیستم های طبقه بندی آشو و متحد

Soil group in AASHTO system	Comparable soil groups in Unified system		
	Most probable	Possible	Possible but improbable
A-1-a	GW, GP	SW, SP	GM, SM
A-1-b	SW, SP, GM, SM	GP	—
A-3	SP	—	SW, GP
A-2-4	GM, SM	GC, SC	GW, GP, SW, SP
A-2-5	GM, SM	—	GW, GP, SW, SP
A-2-6	GC, SC	GM, SM	GW, GP, SW, SP
A-2-7	GM, GC, SM, SC	—	GW, GP, SW, SP
A-4	ML, OL	CL, SM, SC	GM, GC
A-5	OH, MH, ML, OL	—	SM, GM
A-6	CL	ML, OL, SC	GC, GM, SM
A-7-5	OH, MH	ML, OL, CH	GM, SM, GC, SC
A-7-6	CH, CL	ML, OL, SC	OH, MH, GC, GM, SM

* After Liu (1967)

Source: From A Review of Engineering Soil Classification Systems. In Highway Research Record 156, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1967, Table 5, p. 16. Reproduced with permission of the Transportation Research Board.

• ارتباط بین سیستم های طبقه بندی آشو و متحد

۲۰/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

۵-۵- مقایسه سیستم های طبقه بندی آشو و متحد

Soil group in Unified system	Comparable soil groups in AASHTO system		
	Most probable	Possible	Possible but improbable
GW	A-1-a	—	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GP	A-1-a	A-1-b	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
GM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6	A-4, A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
GC	A-2-6, A-2-7	A-2-4	A-4, A-6, A-7-6, A-7-5
SW	A-1-b	A-1-a	A-3, A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SP	A-3, A-1-b	A-1-a	A-2-4, A-2-5, A-2-6, A-2-7
SM	A-1-b, A-2-4, A-2-5, A-2-7	A-2-6, A-4	A-5, A-6, A-7-5, A-7-6, A-1-a
SC	A-2-6, A-2-7	A-2-4, A-6, A-4, A-7-6	A-7-5
ML	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	—
CL	A-6, A-7-6	A-4	—
OL	A-4, A-5	A-6, A-7-5, A-7-6	—
MH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
CH	A-7-6	A-7-5	—
OH	A-7-5, A-5	—	A-7-6
Pt	—	—	—

* After Liu (1967)

Source: From A Review of Engineering Soil Classification Systems. In Highway Research Record 156, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 1967, Table 6, p. 17. Reproduced with permission of the Transportation Research Board.

• ارتباط بین سیستم های طبقه بندی آشو و متحد

۲۱/۲۱

علی میرزایی

فصل پنجم: طبقه بندی خاک ها

مکانیک خاک

با سکر از توجه شما





دانشگاه سوادکوه
دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران

مکانیک خاک

فصل ششم: تراکم خاک

علی میرزایی

مقدمه:

- برای استفاده خاک های سست در مقاصد مهندسی همچون ساخت پی ها، شیروانی های خاکی، سد های خاکی و ... حجم حفرات آن ها را با عمل تراکم کاهش داده تا پارامترهای مقاومتی آن ها همچون ظرفیت باربری، مقاومت برشی و ... افزایش یابد.
- عمل تراکم خاک ها با استفاده از ماشین آلات مختلف همچون غلتک ها انجام می پذیرد.

۶-۱- اصول تراکم

- تراکم در واقع افزایش وزن مخصوص یک خاک و کاهش حجم حفرات آن با اعمال انرژی می باشد.
- درجه و یا میزان تراکم یک خاک با توجه به وزن مخصوص خشک آن سنجیده می شود.
- وقتی که آب بین دانه های خاک اضافه می گردد، به عنوان یک ماده لغزنده بین دانه ها باعث افزایش تراکم پذیری خاک می گردد.

۱/۱۷
علی میرزایی
فصل ششم: تراکم خاک
مکانیک خاک

۱-۶- اصول تراکم

- در نتیجه به واسطه افزایش میزان رطوبت خاک، تراکم پذیری آن افزایش یافته و وزن مخصوص خشک آن نیز افزایش می یابد.
- بعد از یک مقدار درصد رطوبت مفروض، هرچه میزان رطوبت خاک افزایش یابد، وزن مخصوص خشک متناظر با آن دیگر افزایش نیافته و دچار کاهش می گردد. این امر به واسطه اشغال فضاهای مربوط به دانه های خاک توسط آب اتفاق می افتد.
- اصطلاحاً به درصد رطوبت متناظر با بیشترین وزن مخصوص خشک "درصد رطوبت بهینه" و یا "درصد رطوبت اپتیمم" اطلاق می گردد.
- در آزمایشگاه معمولاً درصد رطوبت بهینه یک خاک با استفاده از آزمایش های پروکتور استاندارد و اصلاح شده تعیین می شوند.

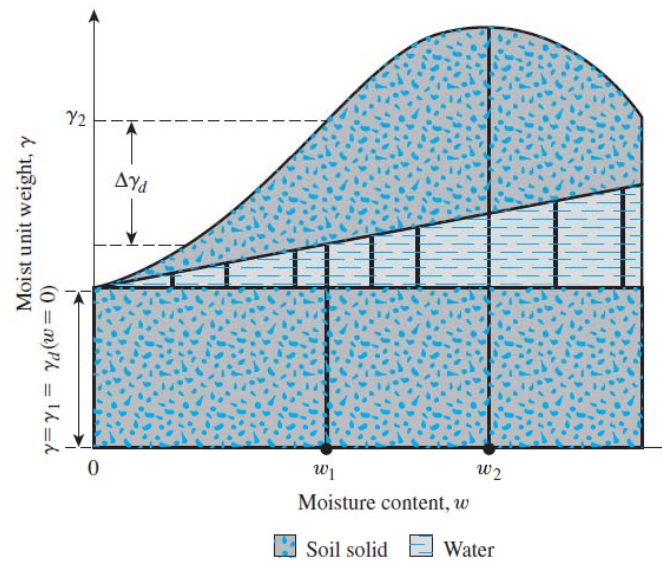
۲/۱۷

علی میرزایی

فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک

۱-۶- اصول تراکم



۳/۱۷

علی میرزایی

فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک

۲-۶- آزمایش تراکم استاندارد

- آزمایش تراکم استاندارد توسط پروکتور (۱۹۳۳) معرفی گردید و گاهی به آزمایش پروکتور نیز مشهور می باشد.
- در این آزمایش، خاک درون یک قالب به قطر ۴ اینچ (۱۰۱،۶ میلی متر) و حجم ۱/۳۰ فوت مکعب (۹۴۴ سانتی متر مکعب) در سه لایه با ارتفاع تقریباً یکسان و با تراکم هر لایه توسط ۲۵ ضربه سقوط چکش تراکم استاندارد متراکم می گردد.
- وزنه چکش تراکم دارای وزن ۲،۵ کیلوگرم بوده که از ارتفاع ۱۲ اینچ (۳۰۴،۸ میلی متر) سقوط می کند.
- برای انجام آزمایش ابتدا خاک را به یک درصد رطوبت کم (در حدود ۳ الی ۴ درصد) رسانده و آن را درون قالب تراکم پروکتور متراکم می کنیم.
- با داشتن وزن خاک درون قالب، حجم قالب و اندازه گیری درصد رطوبت خاک، می توان وزن مخصوص تر و خشک خاک را محاسبه نمود:

۴/۱۷

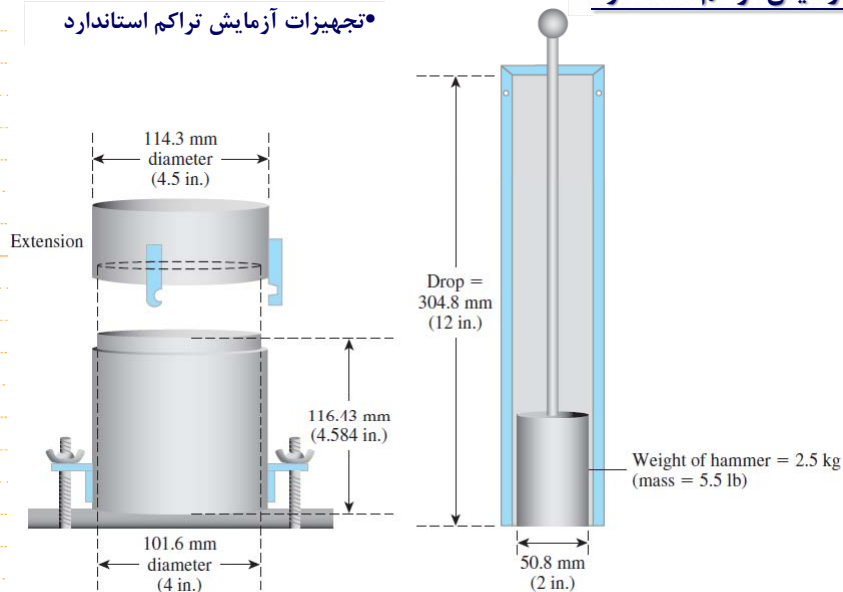
علی میرزایی

فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک

۲-۶- آزمایش تراکم استاندارد

• تجهیزات آزمایش تراکم استاندارد



۵/۱۷

علی میرزایی

فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک

۲-۶- آزمایش تراکم استاندارد

• تجهیزات آزمایش تراکم استاندارد



مکانیک خاک

فصل ششم: تراکم خاک

علی میرزایی

۶/۱۷

۲-۶- آزمایش تراکم استاندارد

• با داشتن وزن خاک درون قالب، حجم قالب و اندازه گیری درصد رطوبت خاک، می توان وزن مخصوص تر و خشک خاک را محاسبه نمود:

$$\gamma = \frac{W}{V_{(m)}} \quad \text{where } W = \text{weight of the compacted soil in the mold}$$

$$V_{(m)} = \text{volume of the mold } [944 \text{ cm}^3 \left(\frac{1}{30} \text{ ft}^3 \right)]$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w(\%)}{100}}$$

• برای یک درصد رطوبت مفروض، وقتی تراکم کامل انجام شده است که هیچ گونه هوایی داخل حفرات باقی نمانده و یا به بیانی دیگر درجه اشباع خاک برابر ۱۰۰ درصد باشد. با در نظر گرفتن درجه اشباع برابر ۱۰۰ درصد، برای یک درصد رطوبت مفروض دلخواه، میزان حداکثر وزن مخصوص خشک قابل وجود برابر مقدار زیر خواهد شد:

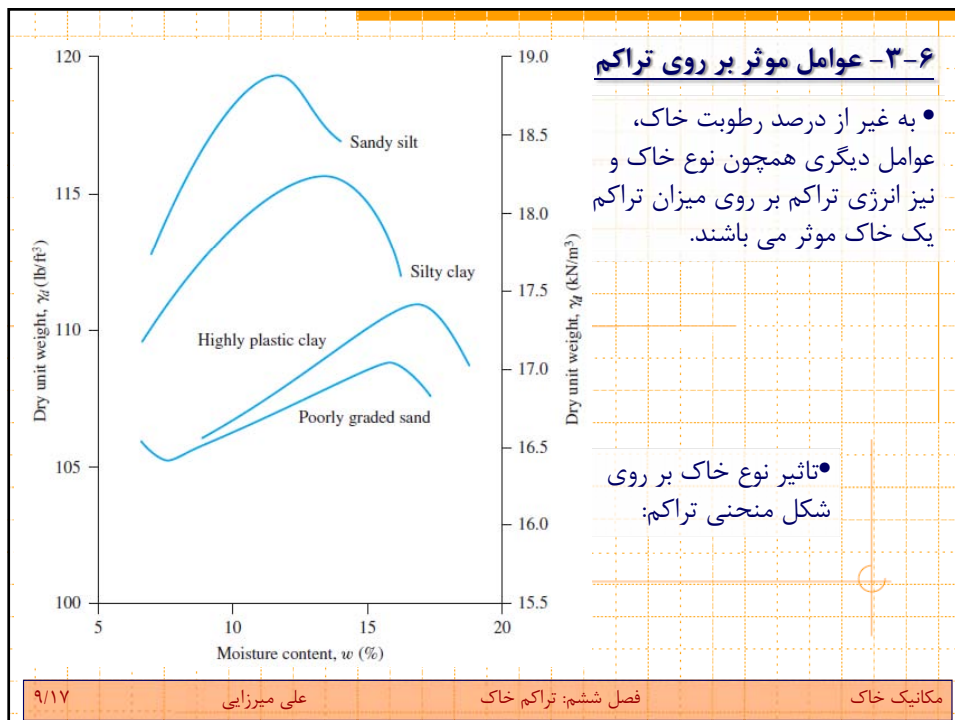
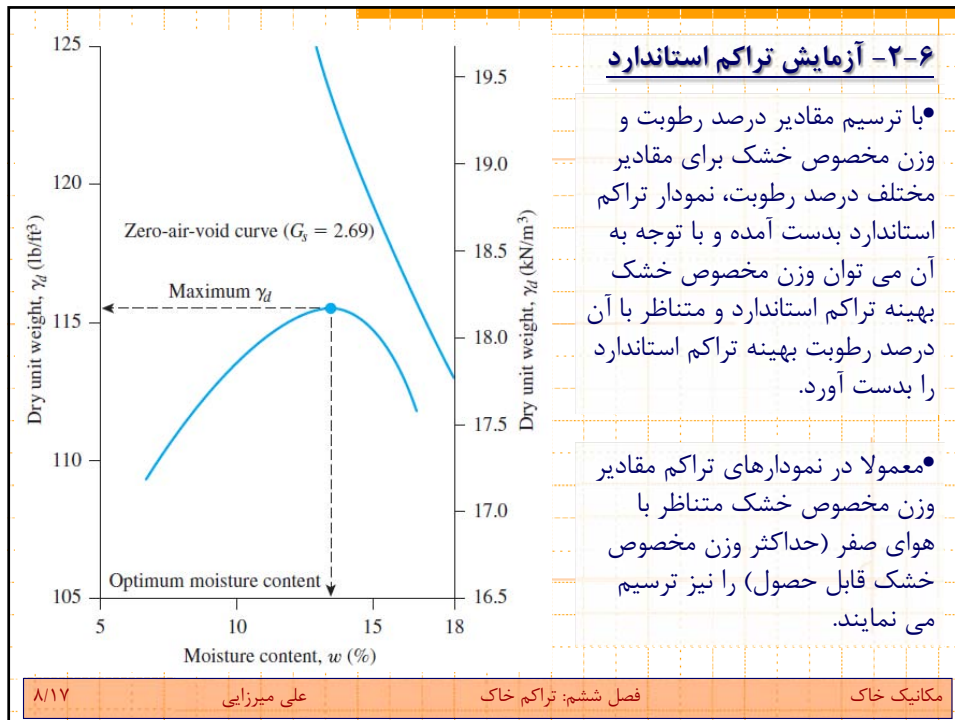
$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w G_s} = \frac{\gamma_w}{w + \frac{1}{G_s}}$$

مکانیک خاک

فصل ششم: تراکم خاک

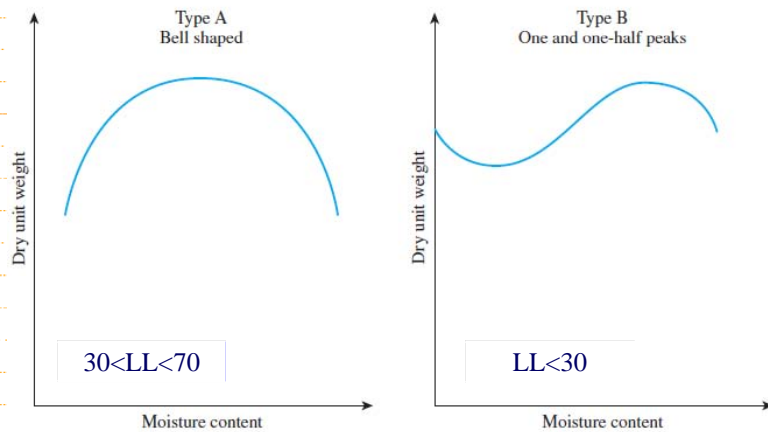
علی میرزایی

۷/۱۷



۳-۶- عوامل موثر بر روی تراکم

• لی و سوئدکمپ (۱۹۷۲) مشاهده نمودند که شکل منحنی تراکم با توجه به میزان حد روانی خاک می تواند حالت های مختلف را داشته باشد:



۱۰/۱۷

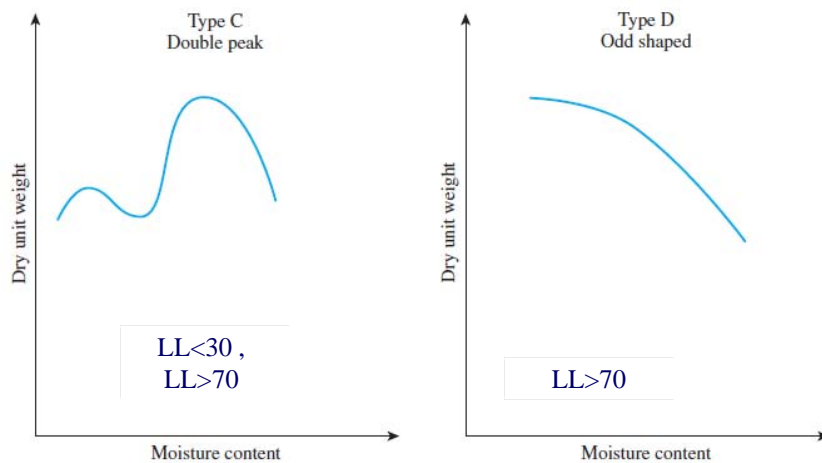
علی میرزایی

فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک

۳-۶- عوامل موثر بر روی تراکم

• لی و سوئدکمپ (۱۹۷۲) مشاهده نمودند که شکل منحنی تراکم با توجه به میزان حد روانی خاک می تواند حالت های مختلف را داشته باشد:



۱۱/۱۷

علی میرزایی

فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک

۳-۶- عوامل موثر بر روی تراکم

• تاثیر انرژی تراکم: میزان انرژی استفاده شده برای تراکم خاک در واحد حجم را گویند. برای آزمایش تراکم استاندارد برابر است با:

$$E = \frac{\left(\begin{array}{c} \text{تعداد} \\ \text{سقوط} \\ \text{برای هر} \\ \text{لایه} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{تعداد} \\ \text{لایه ها} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{وزن} \\ \text{چکش} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{ارتفاع} \\ \text{سقوط} \end{array} \right)}{\text{حجم قالب}}$$

$$E = \frac{(25)(3) \left(\frac{2.5 \times 9.81}{1000} \text{ kN} \right) (0.305 \text{ m})}{944 \times 10^{-6} \text{ m}^3} = 594 \text{ kN-m/m}^3 \approx 600 \text{ kN-m/m}^3$$

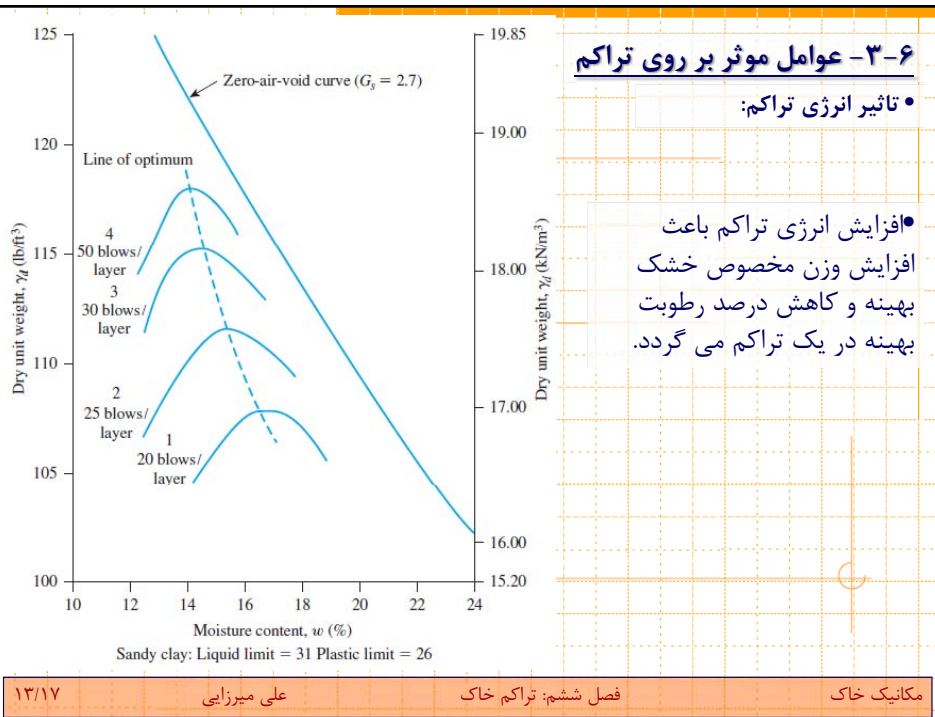
$$E = \frac{(25)(3)(5.5)(1)}{\left(\frac{1}{30} \right)} = 12,375 \text{ ft-lb/ft}^3 \approx 12,400 \text{ ft-lb/ft}^3$$

۱۲/۱۷

علی میرزایی

فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک



۱۳/۱۷

علی میرزایی

فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک

۴-۶- آزمایش تراکم اصلاح شده



• به واسطه استفاده از غلتک های سنگین وزن در عملیات های تراکم واقعی، آزمایش تراکم (پروکتور) را نیز می توان با ارتقا و سنگین تر نمودن چکش تراکم آن انجام داد که به آن آزمایش تراکم (پروکتور) اصلاح شده اطلاق می شود.

• در آزمایش تراکم (پروکتور) اصلاح شده، وزن چکش برابر ۴،۵۴ کیلوگرم بوده و خاک را درون همان قالب تراکم پروکتور و در ۵ لایه تحت اثر ۲۵ ضربه سقوط متراکم می نماییم.

• در آزمایش تراکم اصلاح شده، انرژی تراکم برابر ۲۷۰۰ کیلو نیوتن - متر بر متر مکعب می باشد.

۱۴/۱۷

علی میرزایی

فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک

۴-۶- آزمایش تراکم اصلاح شده

• مثال: با توجه به نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از یک آزمایش تراکم، مطلوبست محاسبه وزن مخصوص و درصد رطوبت بهینه تراکم:

حجم قالب (cm ³)	وزن خاک تر (کیلوگرم نیرو)	درصد رطوبت
943.3	1.68	9.9
943.3	1.71	10.6
943.3	1.77	12.1
943.3	1.83	13.8
943.3	1.86	15.1
943.3	1.88	17.4
943.3	1.87	19.4
943.3	1.85	21.2

۱۵/۱۷

علی میرزایی

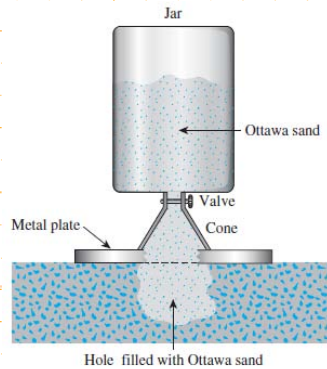
فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک

۵-۶- اندازه گیری وزن مخصوص تر و خشک در صحرا

• برای اندازه گیری وزن مخصوص تر و خشک یک خاک در صحرا از آزمایش مخروط ماسه استفاده می گردد:

• در این آزمایش ابتدا یک گودال درون خاک مفروض حفر شده و وزن خاک خارج شده از درون گودال و درصد رطوبت آن اندازه گیری می شود.



۱۶/۱۷

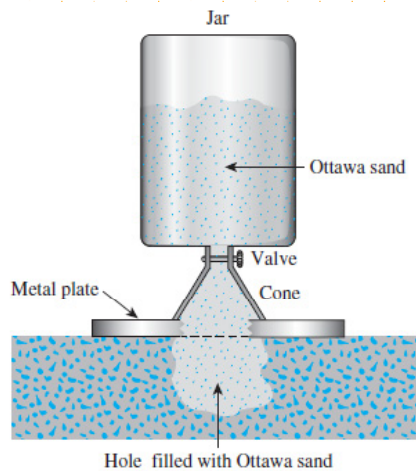
علی میرزایی

فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک

۵-۶- اندازه گیری وزن مخصوص تر و خشک در صحرا

• سپس حجم خاک درون گودال را با پر نمودن آن توسط ماسه استاندارد (ماسه اتاوا) با مشخصات اولیه معلوم (وزن مخصوص، چگالی دانه ها، و ...) تعیین می کنیم.



۱۷/۱۷

علی میرزایی

فصل ششم: تراکم خاک

مکانیک خاک

با سکر از توجه شما





دانشگاه سوادکوه
دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران

مکانیک خاک

فصل هفتم: نفوذپذیری

علی میرزایی

مقدمه:

- به واسطه متخلخل بودن محیط خاک، امکان برقراری جریان آب از یک نقطه با انرژی بیشتر به نقطه دیگر با انرژی کمتر میسر می باشد.
- دانستن نحوه تراوش آب درون خاک در تحلیل بسیاری از مسایل همچون طراحی سد های خاکی، فیلترها و ... حایز اهمیت می باشد.

۷-۱- معادله برنولی

• با توجه به مکانیک سیالات، مقدار هد کل یک آب جاری برابر مجموع هد سرعت، هد ارتفاع و هد فشار آن جریان آب می باشد:

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + Z$$

h = total head
u = pressure
v = velocity
g = acceleration due to gravity
γ_w = unit weight of water

↑
هد
فشار

↑
هد
سرعت

↑
هد
ارتفاع

۱/۲۴

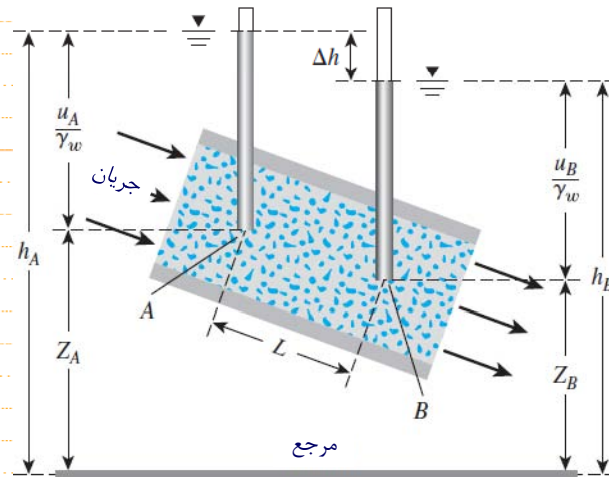
علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۷-۱- معادله برنولی

• در حیطه جریان آب درون خاک، سرعت جریان بسیار پایین بوده و عملاً میزان هد جریان آب درون خاک را می توان به صورت حاصل جمع هد فشار و ارتفاع بیان نمود:



$$h = \frac{u}{\gamma_w} + Z$$

• میزان هد جریان آب در یک نقطه را مطابق شکل با پیژومتر می توان اندازه گیری نمود که اصطلاحاً به آن ارتفاع پیژومتری نیز اطلاق می گردد.

۲/۲۴

علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۷-۱- معادله برنولی

• با توجه به شکل قبل، میزان اختلاف (یا افت) هد بین دو نقطه A و B را می توان به صورت زیر بیان نمود:

$$\Delta h = h_A - h_B = \left(\frac{u_A}{\gamma_w} + Z_A \right) - \left(\frac{u_B}{\gamma_w} + Z_B \right)$$

• این میزان افت را می توان در واحد طول و به صورت بدون بعد مطابق ذیل بیان نمود:

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

• که در آن L فاصله بین دو نقطه A و B می باشد.

• اصطلاحاً به مقدار $\frac{\Delta h}{L}$ **انحدادیان هیدرولیکی** و یا **شیب هیدرولیکی** اطلاق می گردد.

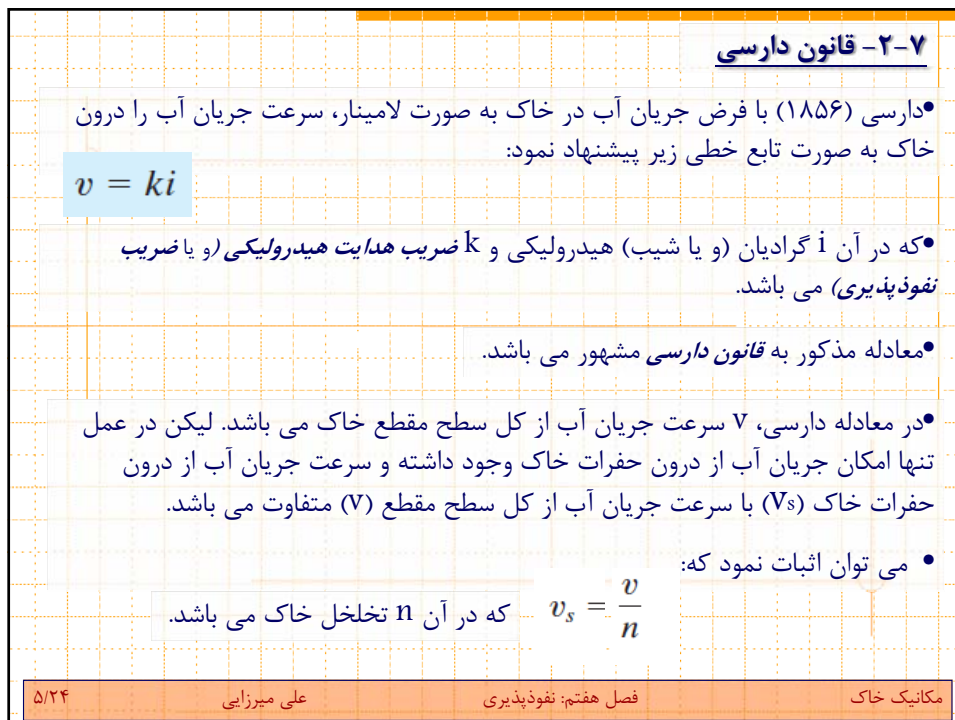
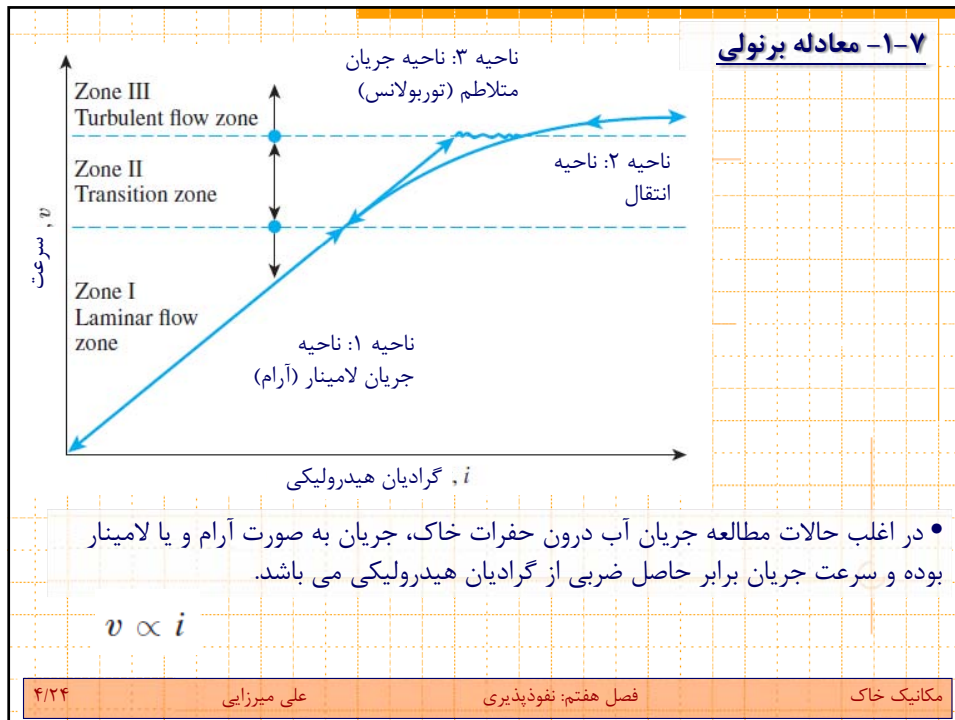
• با ترسیم مقادیر گرادیان هیدرولیکی در برابر سرعت، نمودار حاصل شده دارای سه ناحیه مختلف بوده که هر یک از این نواحی بیانگر یک نوع از رژیم جریان آب درون حفرات خاک می باشند.

۳/۲۴

علی میرزایی

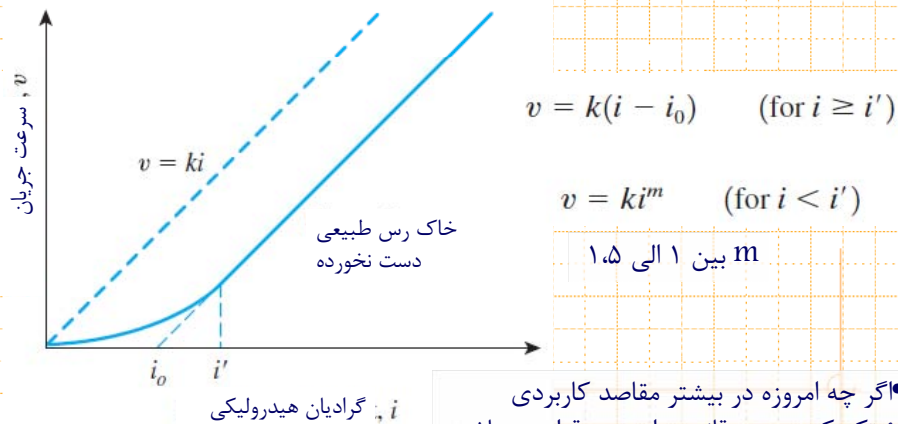
فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک



۲-۷- قانون دارسی

• همچنین هانسبو (۱۹۶۰) برای چهار نوع رس طبیعی دست نخورده نشان داد که قانون دارسی در محدوده گرادیان های هیدرولیکی کوچک صادق نمی باشد:



۶/۲۴

علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۳-۷- ضریب هدایت هیدرولیکی (نفوذپذیری)

• ضریب نفوذپذیری و یا ضریب هدایت هیدرولیکی معمولاً به صورت سانتی متر بر ثانیه و یا متر بر ثانیه بیان می شود.

• مقدار ضریب نفوذپذیری در خاک ها تابعی از عوامل زیر می باشد: ۱- ویسکوزیته (لزجت) آب، ۲- دانه بندی، ۳- نحوه توزیع حفرات، ۴- نسبت تخلخل، ۵- زبری ذرات کانی ها و ۶- درجه اشباع

• در خاک های رسی سایر عوامل موثر بر روی ضریب نفوذپذیری عبارتند از ساختار خاک، میزان کاتیون ها و بارهای الکتریکی و ضخامت آب لایه مضاعف.

گستره مقادیر ضریب نفوذپذیری در خاک های مختلف

Soil type	k cm/sec
Clean gravel	100-1.0
Coarse sand	1.0-0.01
Fine sand	0.01-0.001
Silty clay	0.001-0.00001
Clay	<0.000001

۷/۲۴

علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۳-۷- ضریب هدایت هیدرولیکی (نفوذپذیری)

• ضریب نفوذپذیری یک خاک را می توان به صورت تابعی از ضریب نفوذپذیری مطلق آن بیان نمود:

$$k = \frac{\gamma_w \bar{K}}{\eta}$$

γ_w = وزن مخصوص واحد آب
 η = لزجت آب
 \bar{K} = نفوذپذیری مطلق آب

• به بیانی دیگر، رابطه بین ضرایب نفوذپذیری یک خاک در دو دمای مختلف به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{k_{T_1}}{k_{T_2}} = \left(\frac{\eta_{T_2}}{\eta_{T_1}} \right) \left(\frac{\gamma_w(T_1)}{\gamma_w(T_2)} \right)$$

• معمولاً در عمل ضریب نفوذپذیری خاک را در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد اندازه گیری نموده و آن را برای سایر دما ها با توجه به رابطه فوق محاسبه می کنند:

$$k_{20^\circ\text{C}} = \left(\frac{\eta_{T^\circ\text{C}}}{\eta_{20^\circ\text{C}}} \right) k_{T^\circ\text{C}}$$

۸/۲۴

علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۳-۷- ضریب هدایت هیدرولیکی (نفوذپذیری)

Temperature, T (°C)	$\eta_{T^\circ\text{C}}/\eta_{20^\circ\text{C}}$	Temperature, T (°C)	$\eta_{T^\circ\text{C}}/\eta_{20^\circ\text{C}}$
15	1.135	23	0.931
16	1.106	24	0.910
17	1.077	25	0.889
18	1.051	26	0.869
19	1.025	27	0.850
20	1.000	28	0.832
21	0.976	29	0.814
22	0.953	30	0.797

۴-۷- اندازه گیری آزمایشگاهی ضریب هدایت هیدرولیکی

• مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی (ضریب نفوذپذیری) یک خاک را می توان به دو روش ۱- هد ثابت و ۲- هد افتان محاسبه نمود که شرح آن ها در ادامه مطالب آورده شده است.

• آزمایش های هد ثابت و هد متغیر به ترتیب بیشتر برای اندازه گیری ضریب نفوذپذیری خاک های درشت دانه و ریز دانه استفاده می شوند.

۹/۲۴

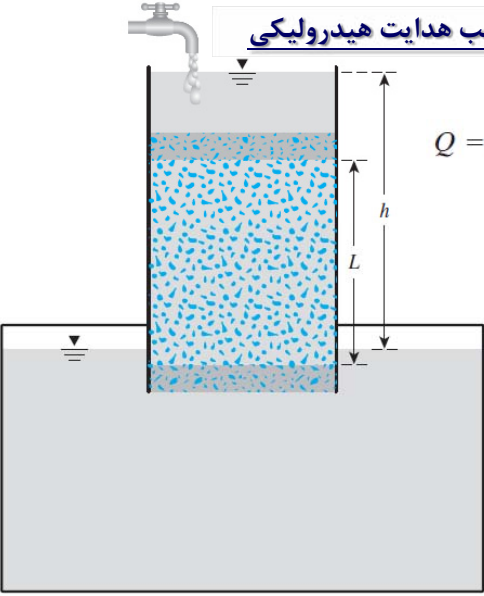
علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۴-۷- اندازه گیری آزمایشگاهی ضریب هدایت هیدرولیکی

آزمایش با هد ثابت:



$$Q = Avt = A(ki)t$$

Q = حجم آب جمع شده
 A = سطح مقطع نمونه خاک
 t = زمان انجام آزمایش

$$i = \frac{h}{L}$$

$$Q = A \left(k \frac{h}{L} \right) t$$

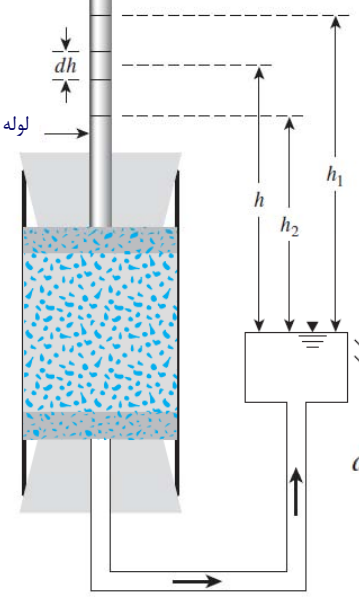
$$k = \frac{QL}{Aht}$$

سنگ متخلخل
 نمونه خاک

۱۰/۲۴
علی میرزایی
فصل هفتم: نفوذپذیری
مکانیک خاک

۴-۷- اندازه گیری آزمایشگاهی ضریب هدایت هیدرولیکی

آزمایش با هد افتان:



$$q = k \frac{h}{L} A = -a \frac{dh}{dt}$$

q = نرخ جریان
 a = سطح مقطع لوله
 A = سطح مقطع نمونه

$$dt = \frac{aL}{Ak} \left(-\frac{dh}{h} \right) \quad t = \frac{aL}{Ak} \log_e \frac{h_1}{h_2}$$

$$k = 2.303 \frac{aL}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

سنگ متخلخل
 نمونه خاک

۱۱/۲۴
علی میرزایی
فصل هفتم: نفوذپذیری
مکانیک خاک

۴-۷- اندازه گیری آزمایشگاهی ضریب هدایت هیدرولیکی

• مثال ۱: در یک آزمایش اندازه گیری ضریب هدایت هیدرولیکی با هد ثابت، اطلاعات زیر در دست است، مطلوبست محاسبه ضریب نفوذپذیری:

$L = 30 \text{ cm}$
 $A = \text{area of the specimen} = 177 \text{ cm}^2$
 Constant-head difference, $h = 50 \text{ cm}$
 Water collected in a period of 5 min = 350 cm^3

• مثال ۲: در یک آزمایش اندازه گیری ضریب نفوذپذیری به روش هد افتان، مطلوبست محاسبه ضریب نفوذپذیری با توجه به اطلاعات بدست آمده:

- Length of specimen = 8 in.
- Area of soil specimen = 1.6 in.^2
- Area of standpipe = 0.06 in.^2
- Head difference at time $t = 0 = 20 \text{ in.}$
- Head difference at time $t = 180 \text{ sec} = 12 \text{ in.}$

۱۲/۲۴

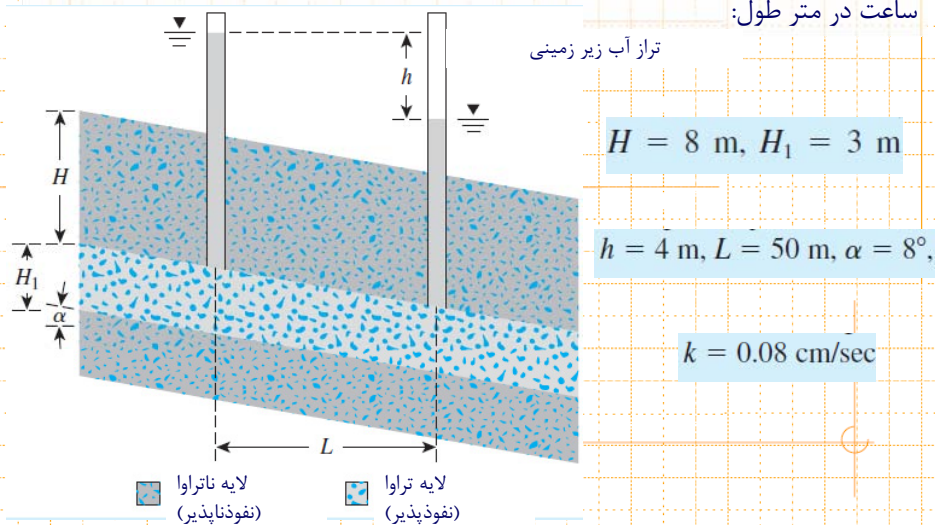
علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۴-۷- اندازه گیری آزمایشگاهی ضریب هدایت هیدرولیکی

• مثال ۳: در شکل زیر، مطلوبست محاسبه نرخ جریان آب عبوری بر حسب متر مکعب بر ساعت در متر طول:



۱۳/۲۴

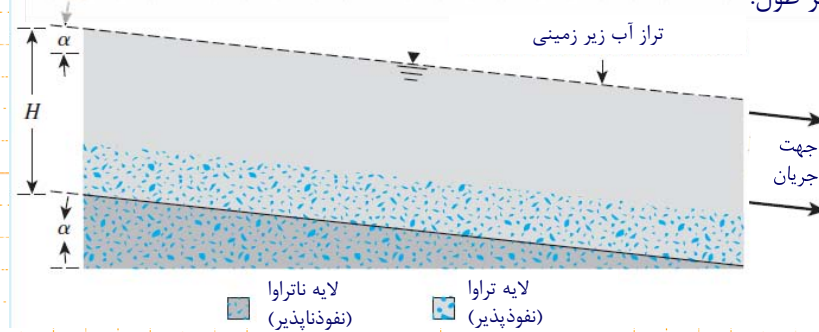
علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۴-۷- اندازه گیری آزمایشگاهی ضریب هدایت هیدرولیکی

• مثال ۴: در شکل زیر، مطلوبست محاسبه نرخ جریان آب عبوری بر حسب متر مکعب بر ثانیه در متر طول:



$$H = 3 \text{ m}$$

$$\alpha = 8^\circ$$

$$k = 5.3 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$$

۱۴/۲۴

علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۵-۷- روابط تجربی برای ضریب نفوذپذیری خاک های دانه ای

- با توجه به زمان و هزینه بالای اندازه گیری ضریب نفوذپذیری خاک ها، محققین روابط مختلفی را برای بیان ضریب نفوذپذیری خاک های دانه ای و ریز دانه بیان نموده اند.
- این روابط بر پایه مشاهدات تجربی، روابط تحلیلی و یا روابط آماری بنا نهاده شده اند که برخی از این گونه روابط مشهور در این قسمت ارائه شده اند.

رابطه تجربی
هازن (۱۹۳۰)

$$k \text{ (cm/sec)} = cD_{10}^2$$

یک عدد ثابت، بین ۱ الی ۱.۵، $c =$
اندازه موثر، برحسب میلی متر $D_{10} =$

- اگرچه امروزه نتایج محققین حاکی از تغییرات شگرف (توانی) اندازه موثر برای خاک های دانه ای مختلف می باشد و رابطه هازن کمتر مورد استفاده واقع می شود.

- یکی از روابط مشهور ضریب نفوذپذیری دیگر، رابطه تحلیلی کوزنی - کارمن می باشد که صحت آن برای اغلب خاک های دانه ای برقرار است.

۱۵/۲۴

علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۷-۵- روابط تجربی برای ضریب نفوذپذیری خاک های دانه ای

رابطه کوزنی - کارمن

$$k = \frac{1}{C_s S_s^2 T^2} \frac{\gamma_w}{\eta} \frac{e^3}{1+e}$$

C_s = ضریب شکل، تابعی از شکل کانالهای جریان آب
 S_s = سطح مخصوص جریان، در واحد حجم
 T = خمیدگی کانالهای جریان آب
 γ_w = وزن مخصوص آب
 η = لزجت آب
 e = نسبت تخلخل

• در اغلب خاک های دانه ای، رابطه کوزنی - کارمن را می توان به صورت زیر بازنویسی نمود:

$$k = 1.99 \times 10^4 \left(\frac{1}{S_s} \right)^2 \frac{e^3}{1+e}$$

• در نتیجه رابطه بین ضریب نفوذپذیری و نسبت تخلخل در خاک های دانه ای به صورت زیر خواهد بود:

$$k \propto \frac{e^3}{1+e}$$

۱۶/۲۴

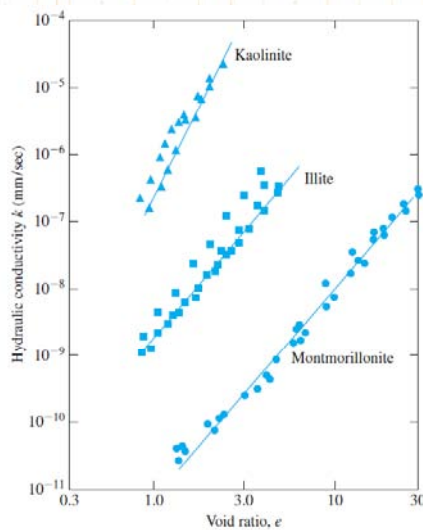
علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۷-۶- روابط تجربی برای ضریب نفوذپذیری خاک های ریزدانه

• تیلور (۱۹۴۸) مشاهده نمود که تغییرات لگاریتم ضریب نفوذپذیری در برابر نسبت تخلخل به صورت یک رابطه خطی می باشد:



$$\log k = \log k_o - \frac{e_o - e}{C_k}$$

تیلور (۱۹۴۸)

k_o = ضریب نفوذپذیری در نسبت تخلخل e_o
 k = ضریب نفوذپذیری در نسبت تخلخل e
 C_k = اندیس تغییرات ضریب نفوذپذیری

۱۷/۲۴

علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۶-۷- روابط تجربی برای ضریب نفوذپذیری خاک های ریزدانه

• اولسن و مصری (۱۹۷۱) نیز تغییرات لگاریتم ضریب نفوذپذیری در برابر لگاریتم نسبت تخلخل را به صورت یک رابطه خطی پیشنهاد نمودند:

$$\log k = A' \log e + B' \quad \text{اولسن و مصری (۱۹۷۱)}$$

• ساماراسینگ و همکاران (۱۹۸۲) بر پایه مشاهدات آزمایشگاهی رابطه زیر را برای تغییرات ضریب نفوذپذیری در خاک های ریز دانه پیشنهاد نمودند:

$$k = C \left(\frac{e^n}{1+e} \right) \quad \text{که در آن } C \text{ و } n \text{ ضرایب ثابت می باشد.}$$

• مثال ۵: در صورتی که ضریب نفوذپذیری یک خاک ماسه ای در نسبت تخلخل ۰،۵ برابر ۰،۲ سانتی متر بر ثانیه باشد، مطلوبست محاسبه ضریب نفوذپذیری این خاک در نسبت تخلخل ۰،۷۵

۱۸/۲۴

علی میرزایی

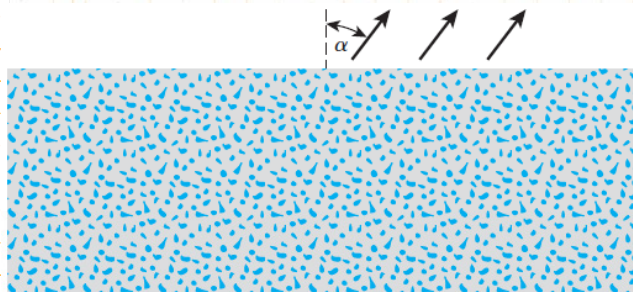
فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۷-۷- ضریب نفوذپذیری در جهات مختلف

• در واقعیت خاک ها به صورت کاملا ایزوتروپیک نبوده و ضریب نفوذپذیری خاک ها در راستاهای مختلف متفاوت می باشد.

• در حالت کلی می توان ضریب نفوذپذیری یک خاک را برای یک جریان که با محور قائم زاویه آلفا می سازد را به صورت تابعی از ضرایب نفوذپذیری در دو راستای افقی و قائم بیان نمود:



Flow direction

$$k^2 = (k_x \sin(\alpha))^2 + (k_y \cos(\alpha))^2 \quad \text{ضریب نفوذپذیری در راستای آلفا}$$

۱۹/۲۴

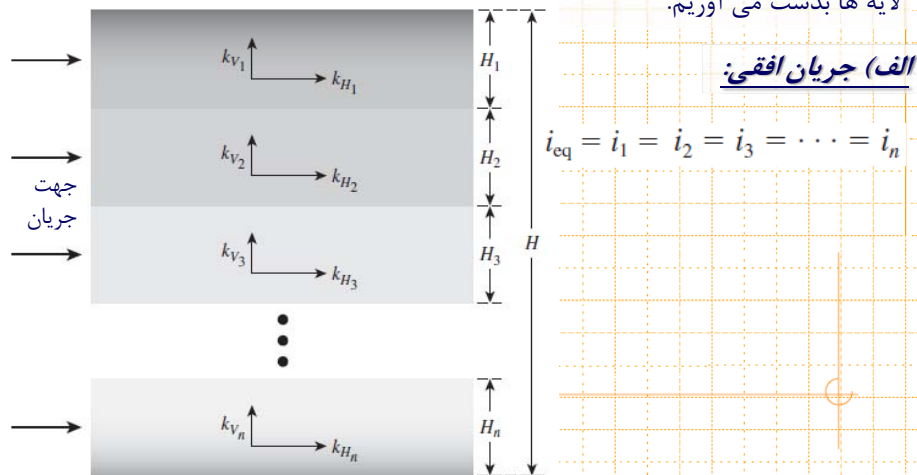
علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۷-۸- ضریب نفوذپذیری معادل در خاک های لایه ای

• در بسیاری از حالات، با مسایل تحلیل تراوش جریان آب از لایه های مختلف خاک ها مواجه بوده که برای سهولت در تحلیل این گونه مسائل، یک ضریب نفوذپذیری معادل را برای کل لایه ها بدست می آوریم.



۲۰/۲۴

علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۷-۸- ضریب نفوذپذیری معادل در خاک های لایه ای

$$i_{eq} = i_1 = i_2 = i_3 = \dots = i_n$$

الف) جریان افقی:

$$q = v \cdot 1 \cdot H$$

$$= v_1 \cdot 1 \cdot H_1 + v_2 \cdot 1 \cdot H_2 + v_3 \cdot 1 \cdot H_3 + \dots + v_n \cdot 1 \cdot H_n$$

$v =$ سرعت متوسط جریان

$v_1, v_2, v_3, \dots, v_n =$ سرعت جریان از لایه های مختلف

$$v = k_{H(eq)} i_{eq}; \quad v_1 = k_{H_1} i_1; \quad v_2 = k_{H_2} i_2; \quad v_3 = k_{H_3} i_3; \quad \dots \quad v_n = k_{H_n} i_n$$

$$k_{H(eq)} = \frac{1}{H} (k_{H_1} H_1 + k_{H_2} H_2 + k_{H_3} H_3 + \dots + k_{H_n} H_n)$$

۲۱/۲۴

علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

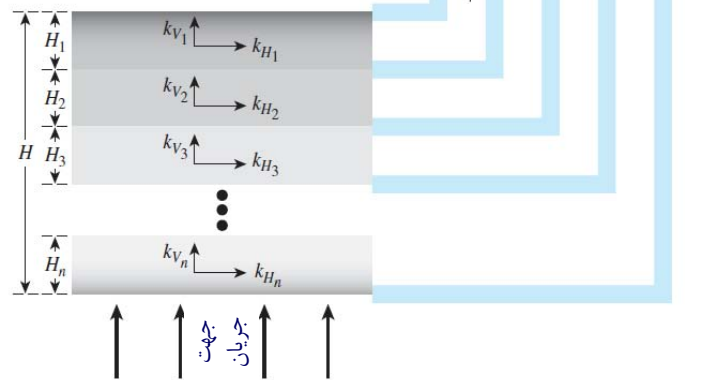
مکانیک خاک

۷-۸- ضریب نفوذپذیری معادل در خاک های لایه ای

$$v = v_1 = v_2 = v_3 = \dots = v_n$$

(ب) جریان قائم:

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n$$



۲۲/۲۴

علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۷-۸- ضریب نفوذپذیری معادل در خاک های لایه ای

$$v = v_1 = v_2 = v_3 = \dots = v_n$$

(ب) جریان قائم:

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n$$

$$k_{V(\text{eq})} \left(\frac{h}{H} \right) = k_{V_1} i_1 = k_{V_2} i_2 = k_{V_3} i_3 = \dots = k_{V_n} i_n$$

$$h = H_1 i_1 + H_2 i_2 + H_3 i_3 + \dots + H_n i_n$$

$$k_{V(\text{eq})} = \frac{H}{\left(\frac{H_1}{k_{V_1}} \right) + \left(\frac{H_2}{k_{V_2}} \right) + \left(\frac{H_3}{k_{V_3}} \right) + \dots + \left(\frac{H_n}{k_{V_n}} \right)}$$

۲۳/۲۴

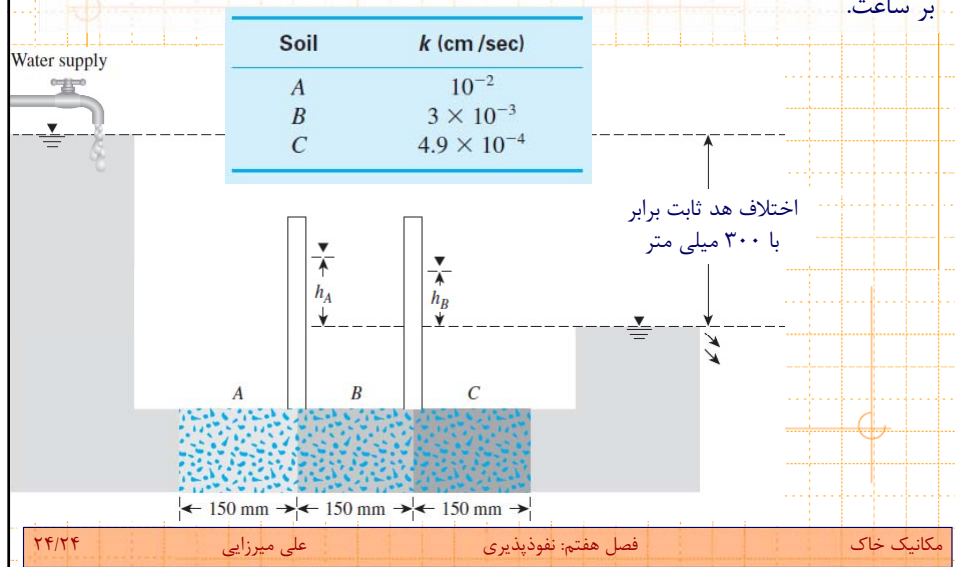
علی میرزایی

فصل هفتم: نفوذپذیری

مکانیک خاک

۷-۸- ضریب نفوذپذیری معادل در خاک های لایه ای

• مثال ۶: در شکل زیر مطلوبست محاسبه مقدار دبی جریان آب بر حسب سانتی متر مکعب بر ساعت.



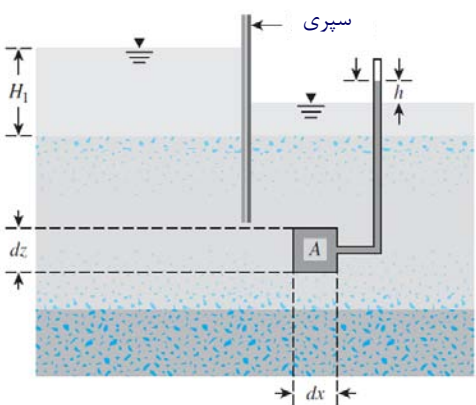
با سکر از توجه شما



مقدمه:

- در عمل جریان آب در توده خاک در جهات مختلف بوده و برای تحلیل این گونه مسائل از شبکه های جریان استفاده می کنیم.
- برای بیان نحوه جریان حالت پایدار آب درون توده خاک در جهات مختلف از معادله لاپلاس استفاده شده و با توجه به معادله لاپلاس شبکه های جریان را ترسیم می نماییم.

۸-۱- معادله پیوستگی لاپلاس



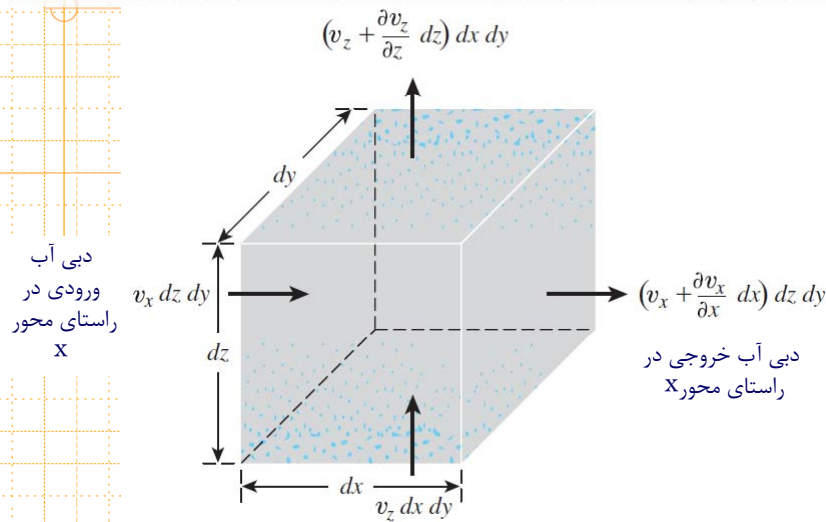
- یک سپری را مطابق شکل ذیل در نظر بگیرید که در آن جریان آب از هد بیشتر (بالا دست) به سمت هد کمتر (پایین دست) بر قرار است.

لایه نفوذناپذیر

۱/۱۹
مکانیک خاک
فصل هشتم: جریان
علی میرزایی

۸-۱- معادله پیوستگی لاپلاس

- یک نقطه دلخواه مثل A را در نظر گرفته که در این نقطه اختلاف هد جریان برابر h باشد. دبی جریان آب ورودی و خروجی در راستاهای مختلف به المان به صورت زیر خواهد بود:



۲/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۸-۱- معادله پیوستگی لاپلاس

- با فرض آن که در حین جریان المان خاک دچار تغییر حجم نشده و آب نیز تراکم ناپذیر باشد، دبی کل آب ورودی و خروجی از این المان خاک بایستی صفر باشد. یعنی:

$$\left[\left(v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} dx \right) dz dy + \left(v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz \right) dx dy \right] - [v_x dz dy + v_z dx dy] = 0$$

• و یا:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$$

- با استفاده از قانون داریسی خواهیم داشت:

$$v_x = k_x i_x = k_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad v_z = k_z i_z = k_z \frac{\partial h}{\partial z}$$

- که نهایتاً معادله پیوستگی جریان به صورت زیر ساده خواهد شد:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

۳/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۸-۱- معادله پیوستگی لاپلاس

• در صورتی که خاک ایزوتروپیک باشد، ضریب نفوذپذیری آن در جهات مختلف با هم برابر بوده و معادله پیوستگی جریان به شکل زیر برای جریانهای دو بعدی ساده خواهد شد:

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

۸-۲- استفاده از معادله پیوستگی لاپلاس برای حل مسائل جریان ساده

• با استفاده از معادله پیوستگی جریان (معادله لاپلاس) می توان به تحلیل نحوه تراوش در برخی از مسائل ساده پرداخت.

• به عنوان مثال، یک جریان با هد ثابت h را از یک خاک دو لایه مطابق شکل صفحه بعدی در نظر بگیرید.

• با توجه به آن که جریان تنها در امتداد یک محور (فرضا محور Z) بوده، معادله پیوستگی جریان به صورت زیر خواهد شد:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

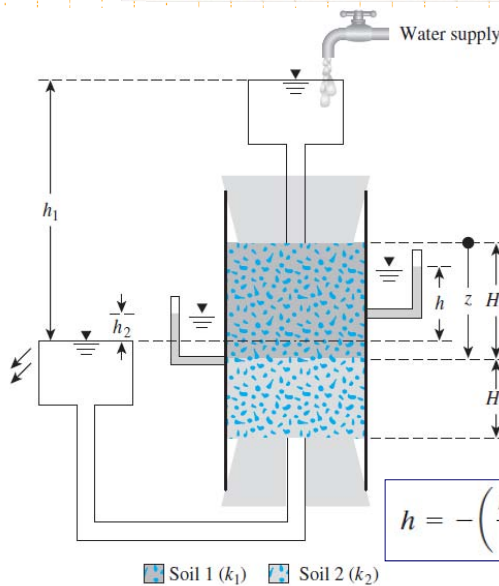
۴/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۸-۲- استفاده از معادله پیوستگی لاپلاس برای حل مسائل جریان ساده



$$\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

$$h = A_1 z + A_2$$

$$\begin{aligned} z = 0, h &= h_1 \\ z = H_1, h &= h_2 \end{aligned}$$

• شرایط مرزی در لایه اول:

$$A_2 = h_1 \cdot A_1 = -\left(\frac{h_1 - h_2}{H_1}\right)$$

$$h = -\left(\frac{h_1 - h_2}{H_1}\right)z + h_1 \quad (\text{for } 0 \leq z \leq H_1)$$

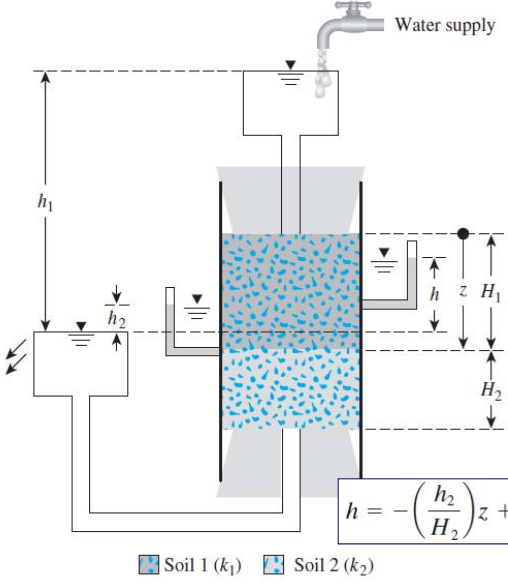
۵/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۲-۸- استفاده از معادله پیوستگی لاپلاس برای حل مسائل جریان ساده



Water supply

$$\frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

$$h = A_1 z + A_2$$

شرایط مرزی در لایه دوم:

$$z = H_1, h = h_2.$$

$$z = H_1 + H_2, h = 0.$$

$$A_2 = h_2 - A_1 H_1 \quad A_1 = -\frac{h_2}{H_2}$$

$$h = -\left(\frac{h_2}{H_2}\right)z + h_2\left(1 + \frac{H_1}{H_2}\right) \quad (\text{for } H_1 \leq z \leq H_1 + H_2)$$

Soil 1 (k_1) Soil 2 (k_2)

۶/۱۹ علی میرزایی فصل هشتم: جریان مکانیک خاک

۲-۸- استفاده از معادله پیوستگی لاپلاس برای حل مسائل جریان ساده

• در هر لحظه، میزان دبی جریان آب عبوری از لایه های اول و دوم با هم برابرند:

$$q = k_1 \left(\frac{h_1 - h_2}{H_1}\right) A = k_2 \left(\frac{h_2 - 0}{H_2}\right) A \quad \rightarrow \quad h_2 = \frac{h_1 k_1}{H_1 \left(\frac{k_1}{H_1} + \frac{k_2}{H_2}\right)}$$

• با جایگذاری مقدار بدست آمده برای h_2 در معادله بدست آمده برای تغییرات هد جریان در دو لایه خواهیم داشت:

$$h = h_1 \left(1 - \frac{k_2 z}{k_1 H_2 + k_2 H_1}\right) \quad (\text{for } 0 \leq z \leq H_1)$$

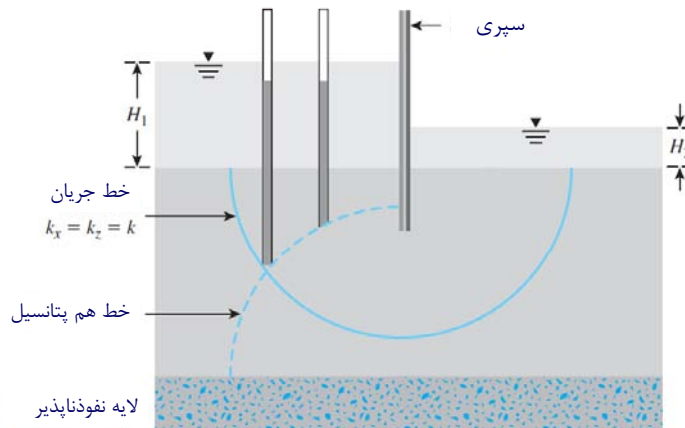
$$h = h_1 \left[\left(\frac{k_1}{k_1 H_2 + k_2 H_1}\right) (H_1 + H_2 - z) \right] \quad (\text{for } H_1 \leq z \leq H_1 + H_2)$$

۷/۱۹ علی میرزایی فصل هشتم: جریان مکانیک خاک

۸-۳- شبکه جریان

• معادله لاپلاس بیانگر دو دسته خطوط متعامد بر هم شامل "خطوط جریان" و "خطوط هم پتانسیل" می باشد.

• جریان آب درون توده خاک در امتداد خطوط جریان انجام می گیرد.



• میزان هد جریان نیز بر روی خطوط هم پتانسیل یکسان است و در صورتی که پیزومتر را بر روی نقاط مختلف خطوط جریان قرار دهیم مقدار صعود ارتفاع آب درون آن یکسان خواهد بود.

۸/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۸-۳- شبکه جریان

• با ترسیم خطوط جریان و خطوط هم پتانسیل "شبکه جریان" به وجود می آید. برای ترسیم شبکه جریان بایستی دو اصل رعایت گردد:

۱- خطوط هم پتانسیل و جریان بر یکدیگر عمود باشند.

۲- هر یک از شبکه های ایجاد شده مربعی باشد.

• تعداد مجاری جریان ایجاد شده در شبکه جریان را با عدد N_f نشان می دهیم.

• تعداد افت های پتانسیل را نیز در شبکه جریان با عدد N_d نشان می دهیم.

در شمارش تعداد مجاری جریان و افت های پتانسیل موارد زیر را در نظر می گیریم:

• سطوح بالادست و پایین دست جریان (ab و dc در شکل صفحه بعد) خطوط هم پتانسیل هستند و تمامی خطوط جریان بایستی بر این دو خط عمود باشند.

• خط مرز لایه نفوذناپذیر یک خط جریان بوده و تمامی خطوط هم پتانسیل بایستی بر آن عمود باشند.

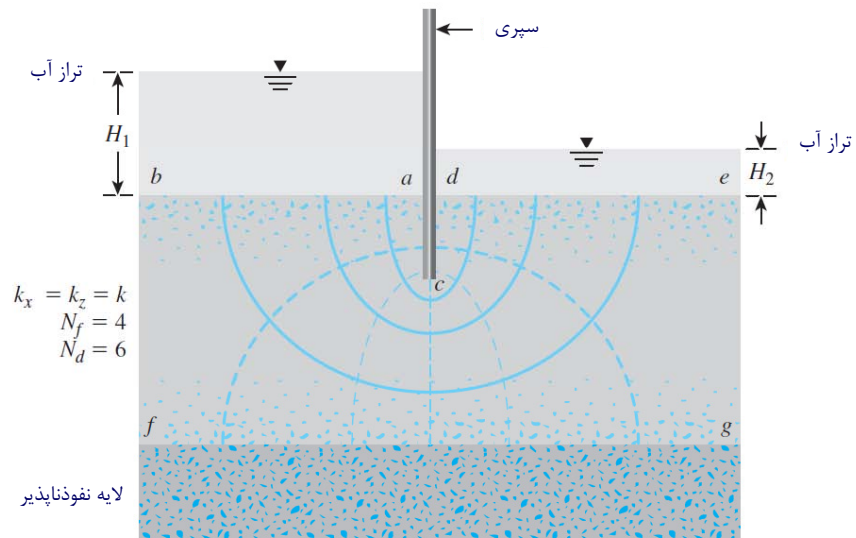
۹/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۳-۸- شبکه جریان



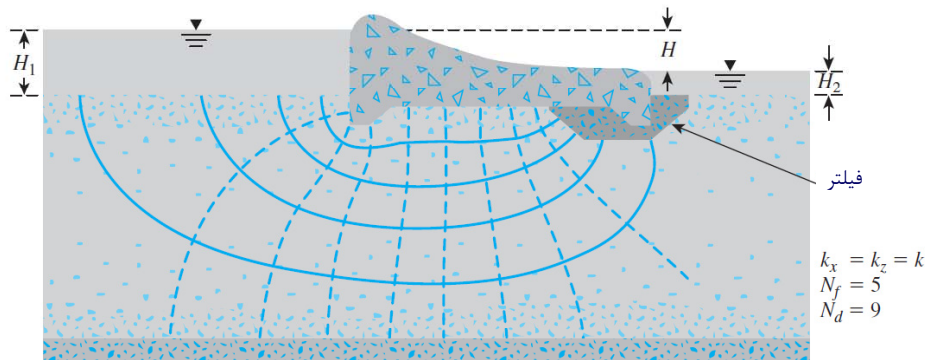
۱۰/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۳-۸- شبکه جریان



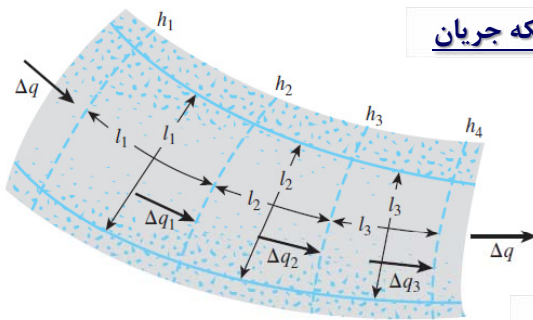
۱۱/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۴-۸- محاسبه جریان عبوری از شبکه جریان



- برای یک شبکه جریان با المان های مربعی شکل، فرض شود که میزان ارتفاع پیزومتری (هد جریان) در ابتدا و انتهای هر یک از المان ها برابر باشد. $h_1, h_2, h_3, h_4, \dots$

- با توجه به آن که جریانی عمود بر مجاری جریان نخواهیم داشت، میزان دبی آب عبوری از مجرای جریان با دبی آب عبوری از هر یک از المان ها برابر است:

$$\Delta q_1 = \Delta q_2 = \Delta q_3 = \dots = \Delta q$$

$$\Delta q = k \left(\frac{h_1 - h_2}{l_1} \right) l_1 = k \left(\frac{h_2 - h_3}{l_2} \right) l_2 = k \left(\frac{h_3 - h_4}{l_3} \right) l_3 = \dots$$

$$h_1 - h_2 = h_2 - h_3 = h_3 - h_4 = \dots = \frac{H}{N_d} \quad \rightarrow \quad \Delta q = k \frac{H}{N_d}$$

۱۲/۱۹

علی میرزایی

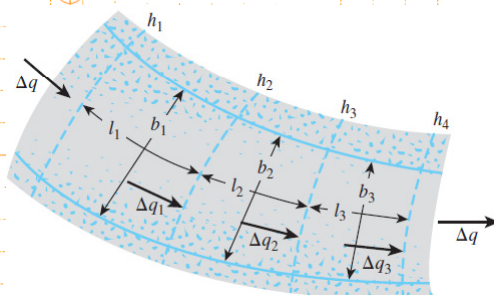
فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۴-۸- محاسبه جریان عبوری از شبکه جریان

$$q = k \frac{HN_f}{N_d}$$

- در نتیجه دبی کل آب عبوری از شبکه جریان برابر است با:



- در صورتی که نتوان با استفاده از المان های مربعی وضعیت مجرای جریان را بیان نمود، می توان از المان های مستطیلی با نسبت عرض به طول ثابت استفاده نمود:

$$\Delta q = k \left(\frac{h_1 - h_2}{l_1} \right) b_1 = k \left(\frac{h_2 - h_3}{l_2} \right) b_2 = k \left(\frac{h_3 - h_4}{l_3} \right) b_3 = \dots$$

$$b_1/l_1 = b_2/l_2 = b_3/l_3 = \dots = n$$

$$\Delta q = kH \left(\frac{n}{N_d} \right)$$

$$q = kH \left(\frac{N_f}{N_d} \right) n$$

۱۳/۱۹

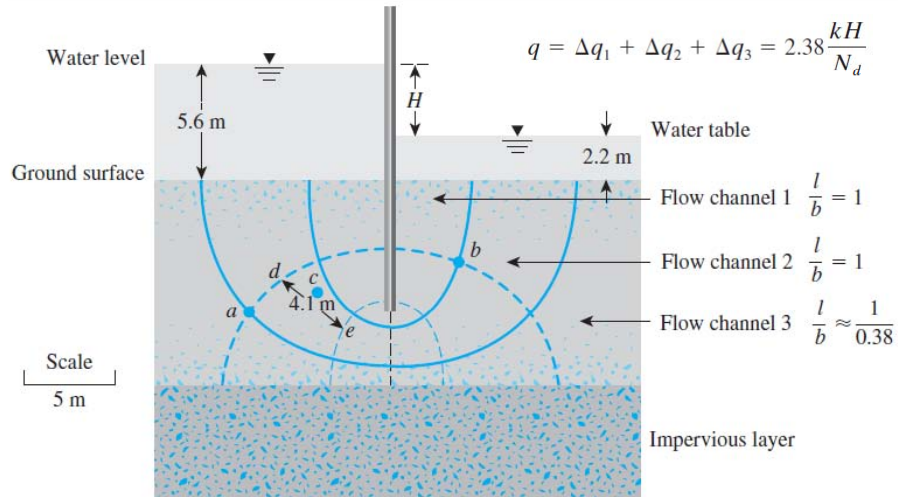
علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۴-۸- محاسبه جریان عبوری از شبکه جریان

- به عنوان مثال می توان برای تحلیل وضعیت جریان در یک شبکه جریان از امان های مربعی و مستطیلی استفاده نمود:



۱۴/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۴-۸- محاسبه جریان عبوری از شبکه جریان

- مثال: در شکل نشان داده شده در اسلاید شماره ۱۴، مطلوبست محاسبه:

- ۱- ارتفاع پیزومتری در نقاط a و b
- ۲- دبی آب عبوری از کل شبکه
- ۳- متوسط گرادیان هیدرولیکی در نقطه c

$$k_x = k_z = k = 5 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$$

۵-۸- شبکه جریان در خاک های غیر همسان

- در عمل، ضریب نفوذپذیری خاک ها در راستاهای مختلف متفاوت بوده و برای تحلیل و ترسیم شبکه جریان در این گونه خاک ها از معادله حالت کلی پیوستگی جریان استفاده می کنیم:

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad \left. \begin{array}{l} \frac{\partial^2 h}{(k_z/k_x) \partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \\ x' = \sqrt{k_z/k_x} x \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{\partial^2 h}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \\ q = \sqrt{k_x k_z} \frac{HN_f}{N_d} \end{array}$$

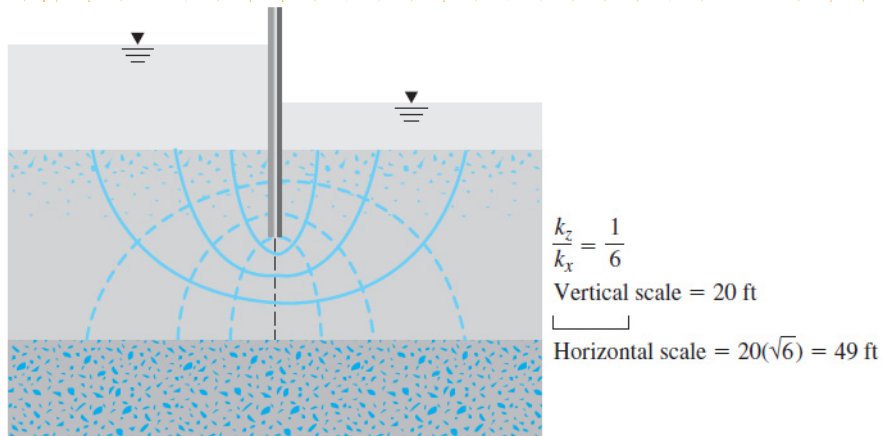
۱۵/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۸-۵- شبکه جریان در خاک های غیر همسان



• مثال: مقیاس نمودن شبکه جریان

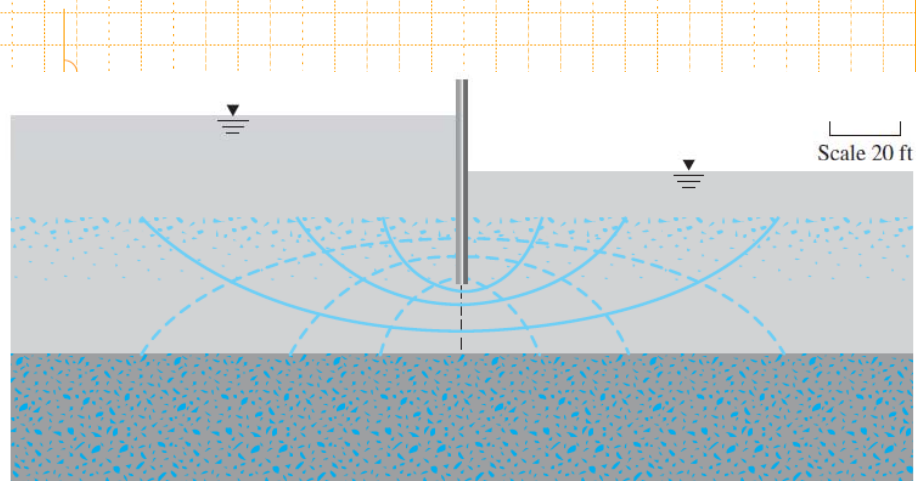
۱۶/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۸-۵- شبکه جریان در خاک های غیر همسان



• مثال: مقیاس نمودن شبکه جریان

۱۷/۱۹

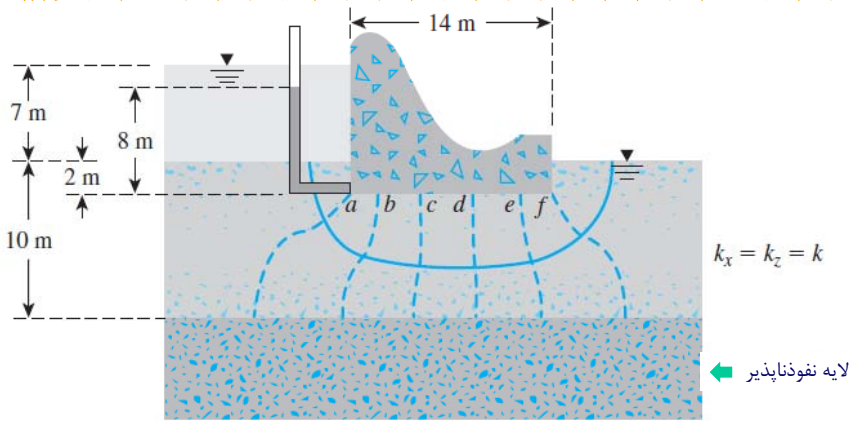
علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۸-۶- فشار برکنش در زیر سازه های هیدرولیکی

- با استفاده از شبکه جریان می توان فشار برکنش ایجاد شده در زیر سازه های هیدرولیکی را محاسبه نمود. نحوه انجام این امر را با ارایه یک مثال ساده شرح خواهیم داد.



$$a \text{ (left corner of the base)} = (\text{Pressure head at } a) \times (\gamma_w) \\ = [(7 + 2) - 1]\gamma_w = 8\gamma_w$$

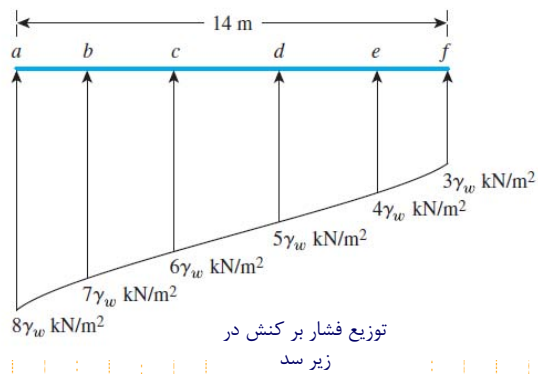
۱۸/۱۹

علی میرزایی

فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک

۸-۶- فشار برکنش در زیر سازه های هیدرولیکی



$$b = [9 - (2)(1)]\gamma_w = 7\gamma_w$$

$$f = [9 - (6)(1)]\gamma_w = 3\gamma_w$$

توزیع فشار برکنش در
زیر سد

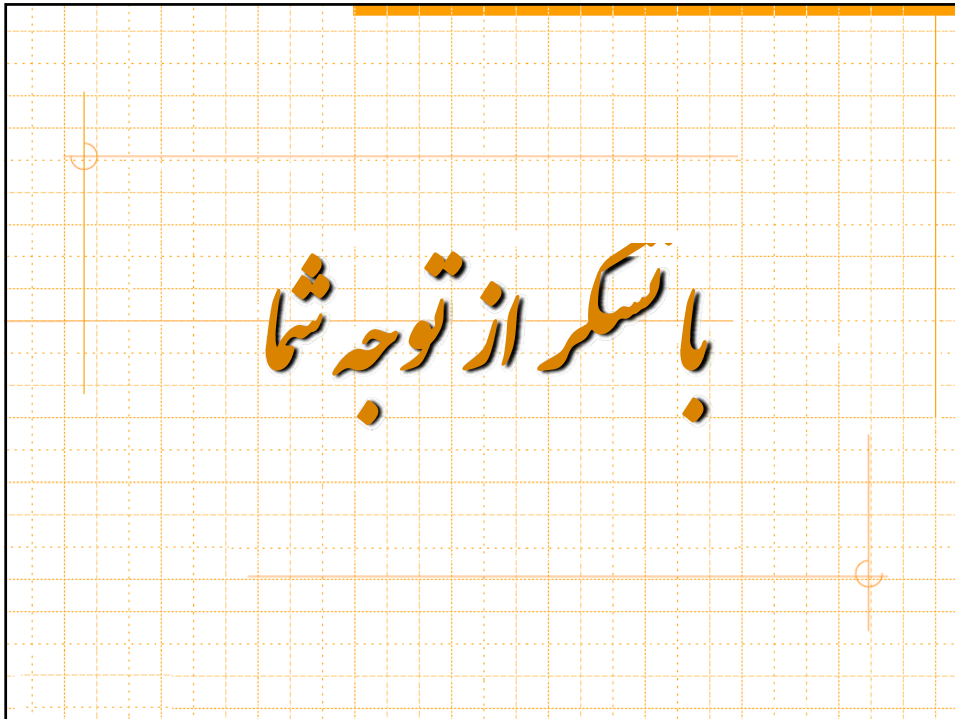
- مقدار نیروی برکنش ایجاد شده را می توان با ضرب فشار در مساحت مورد تاثیر محاسبه نمود.


۱۹/۱۹

علی میرزایی




فصل هشتم: جریان

مکانیک خاک





دانشگاه شاهرود
دانشگاه مهندسی - گروه مهندسی عمران

مکانیک خاک

فصل نهم: تنش های برجا

علی میرزایی

مقدمه:

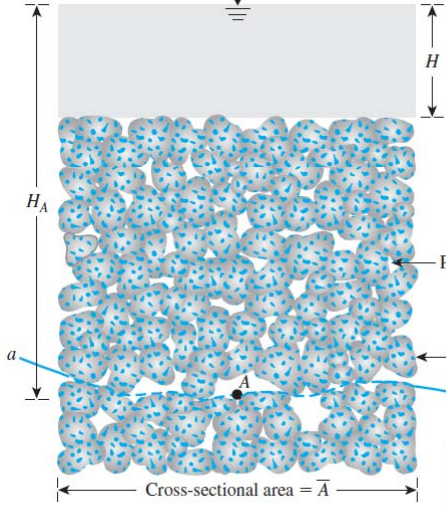
- خاک یک محیط سه فازی و متشکل از آب، هوا و دانه های جامد بوده و تنش های به وجود آمده درون خاک بین این سه فاز تقسیم خواهند شد.
- در تحلیل بسیاری از مسائل همچون محاسبه میزان نشست، ظرفیت باربری، فشار جانبی و ... لازم است تا نحوه توزیع تنش ها در یک مقطع فرضی از خاک در هر یک از سه فاز آب، هوا و دانه های جامد خاک معین گردد.
- در این فصل به بررسی نحوه توزیع تنش ها بین فازهای مختلف در خاک های اشباع در حالت بدون جریان آب و نیز در حالتی که جریان آب وجود داشته می پردازیم.

۹-۱- تنش در خاک های اشباع بدون تراوش آب

- یک خاک که حفرات آن کاملاً اشباع شده را مطابق شکل نشان داده شده در اسلاید بعدی در نظر بگیرید.

• میزان تنش کل در نقطه دلخواه A برابر خواهد بود با: $\sigma = H\gamma_w + (H_A - H)\gamma_{sat}$

۹-۱- تنش در خاک های اشباع بدون تراوش آب



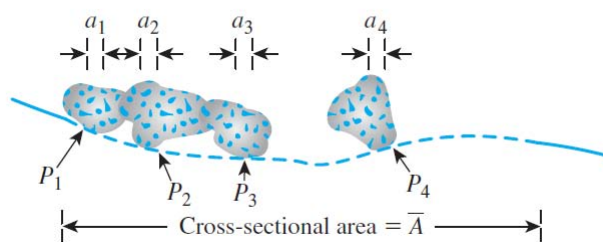
$\sigma = H\gamma_w + (H_A - H)\gamma_{sat}$

- که در آن:
 - σ = تنش کل در نقطه A
 - γ_w = وزن مخصوص آب
 - γ_{sat} = وزن مخصوص حالت اشباع خاک
- به طور کلی، تنش های کل واقع در نقطه A از دو دسته تنش تشکیل شده اند:
 - ۱- تنش هایی که توسط آب درون حفرات تحمل می شود. این تنش ها برای یک نقطه مفروض در راستاهای مختلف دارای مقدار یکسان می باشد.

۲/۲۲ علی میرزایی فصل نهم: تنش های برجا مکانیک خاک

۹-۱- تنش در خاک های اشباع بدون تراوش آب

۲- تنش هایی که توسط فاز دانه های جامد خاک (اسکلت خاک) تحمل شده که به آن ها اصطلاحاً **تنش های موثر** می شود.



مقدار تنش های موثر را برای سطح مفروض در نظر گرفته شده می توان با جمع مولفه های قائم نیروهای ایجاد شده بین دانه های خاک محاسبه نمود:

$$\sigma' = \frac{P_{1(v)} + P_{2(v)} + P_{3(v)} + \dots + P_{n(v)}}{\bar{A}}$$

۹-۱- تنش در خاک های اشباع بدون تراوش آب

در صورتی که مجموع سطوح تماس بین دانه ها در آن مقطع مفروض برابر a_s باشد، آن گاه:

$$\sigma = \sigma' + \frac{u(\bar{A} - a_s)}{\bar{A}} = \sigma' + u(1 - a'_s)$$

در عمل مقدار a_s/\bar{A} کوچک بوده و می توان آن را صفر در نظر گرفت. در نتیجه معادله تنش کل را می توان به صورت زیر بازنویسی نمود:

$$\sigma = \sigma' + u \quad \text{تنش های کل} = (\text{تنش های موثر} + \text{فشار آب حفره ای})$$

به معادله مذکور اصطلاحاً اصل تنش موثر در خاک های اشباع گفته شده که توسط ترزاقی (۱۹۳۶) بیان گردید و تا امروزه به طور گسترده ای در مقاصد عملی و کاربردی مورد استفاده واقع شده است.

۴/۲۲

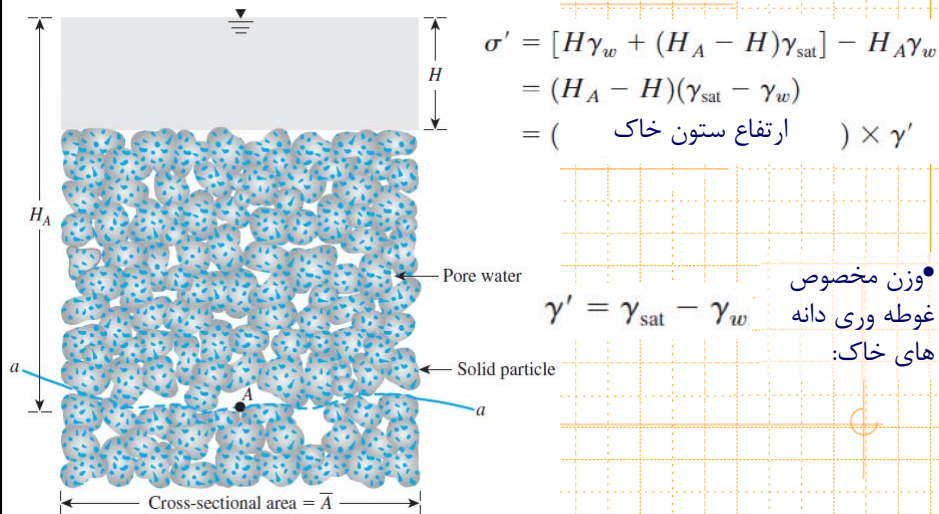
علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

مکانیک خاک

۹-۱- تنش در خاک های اشباع بدون تراوش آب

• به مقدار فشار آب حفره ای "فشار خنثی" نیز اطلاق می گردد.

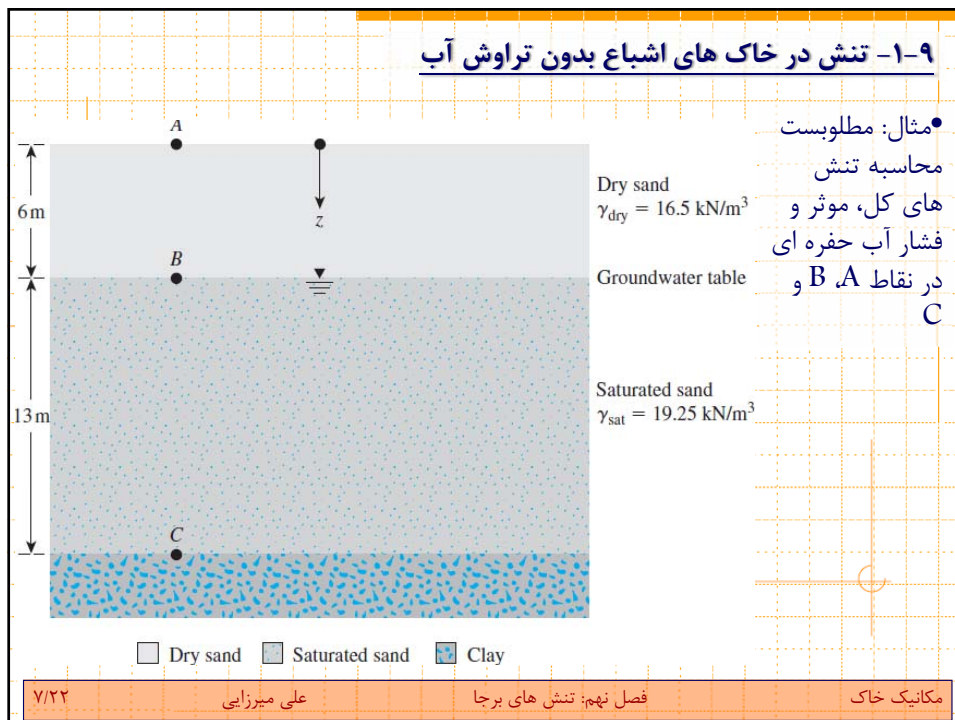
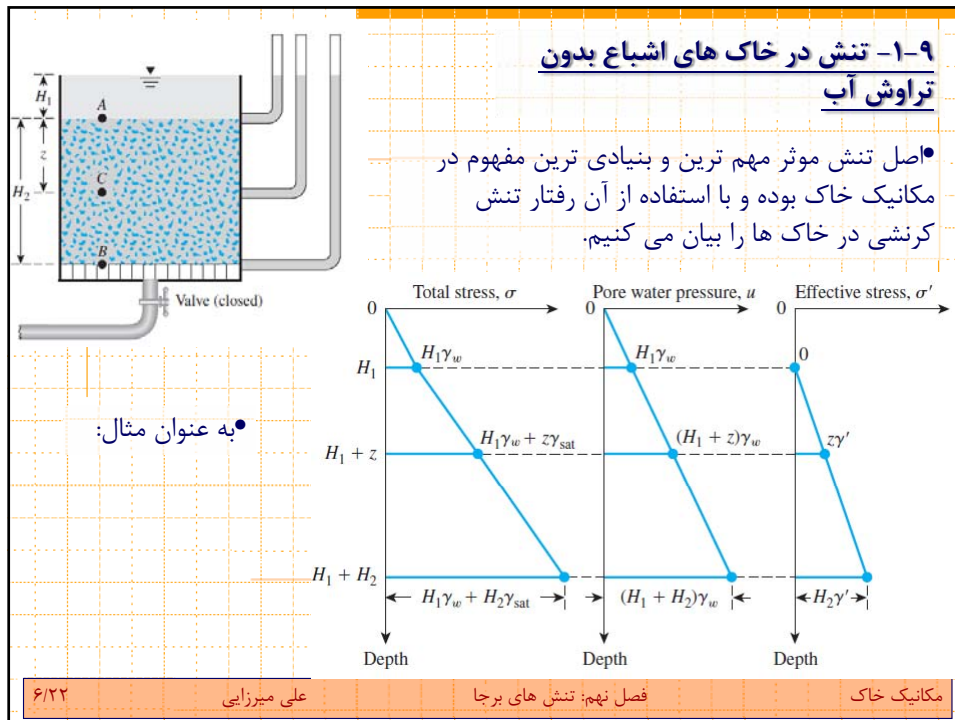


۵/۲۲

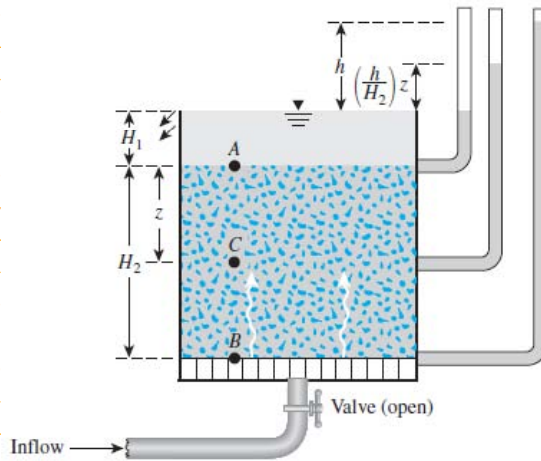
علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

مکانیک خاک



۲-۹- تنش در خاک های اشباع با جریان رو به بالا



• در حالتی که جریان آب وجود داشته باشد، مقدار تنش کل مستقل از جریان بوده و مشابه وضعیت فاقد جریان برابر مجموع وزن آب و خاک های بالاسر آن نقطه می باشد.

• در صورتی که جریان آب مطابق شکل با یک هد ثابت h رو به بالا باشد، فشار آب حفره ای به صورت تابعی خطی از ارتفاع و گرادیان هیدرولیکی جریان افزایش پیدا می کند.

۸/۲۲

علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

مکانیک خاک

۲-۹- تنش در خاک های اشباع با جریان رو به بالا

At A,

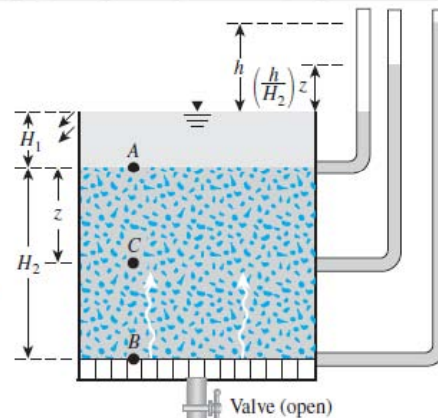
- Total stress: $\sigma_A = H_1 \gamma_w$
- Pore water pressure: $u_A = H_1 \gamma_w$
- Effective stress: $\sigma'_A = \sigma_A - u_A = 0$

At B,

- Total stress: $\sigma_B = H_1 \gamma_w + H_2 \gamma_{sat}$
- Pore water pressure: $u_B = (H_1 + H_2 + h) \gamma_w$
- Effective stress: $\sigma'_B = \sigma_B - u_B$
 $= H_2 (\gamma_{sat} - \gamma_w) - h \gamma_w$
 $= H_2 \gamma' - h \gamma_w$

At C,

- Total stress: $\sigma_C = H_1 \gamma_w + z \gamma_{sat}$
- Pore water pressure: $u_C = \left(H_1 + z + \frac{h}{H_2} z \right) \gamma_w$
- Effective stress: $\sigma'_C = \sigma_C - u_C$
 $= z (\gamma_{sat} - \gamma_w) - \frac{h}{H_2} z \gamma_w$
 $= z \gamma' - \frac{h}{H_2} z \gamma_w$



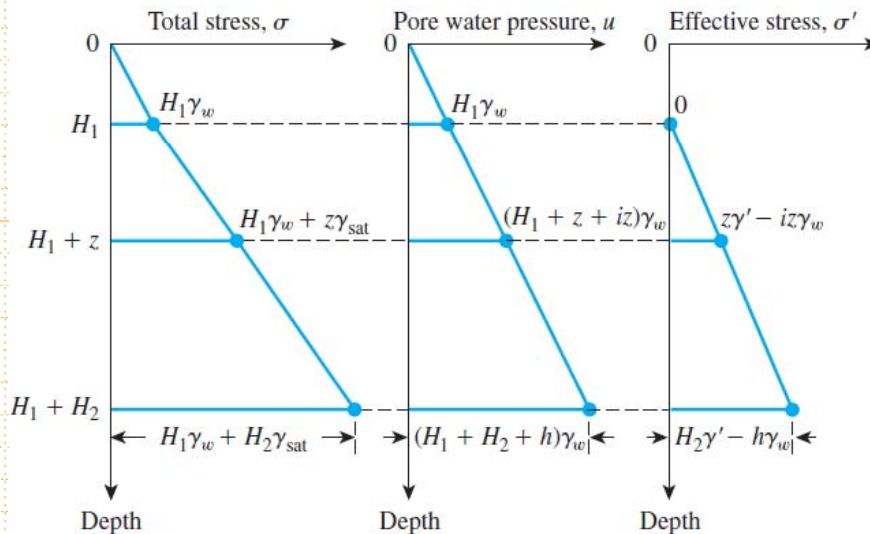
۹/۲۲

علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

مکانیک خاک

۲-۹- تنش در خاک های اشباع با جریان رو به بالا



۱۰/۲۲

علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

مکانیک خاک

۲-۹- تنش در خاک های اشباع با جریان رو به بالا

• در نتیجه مقدار تنش موثر در یک نقطه با ارتفاع دلخواه Z برابر است با: $\sigma'_C = z\gamma' - iz\gamma_w$



• با عنایت به رابطه مذکور، به واسطه افزایش شیب هیدرولیکی جریان امکان صفر شدن تنش های موثر وجود داشته که این امر باعث از بین رفتن نیروهای بین دانه های خاک شده و اصطلاحاً خاک دچار "جوشش" می گردد.

• به گرادیان هیدرولیکی که باعث جوشش خاک شده اصطلاحاً گرادیان هیدرولیکی بحرانی اطلاق می گردد.

$$\sigma'_C = z\gamma' - i_{cr}z\gamma_w = 0 \quad i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w}$$

• در بیشتر خاک ها، گرادیان هیدرولیکی بین ۰.۹ الی ۱.۱ متغیر می باشد.



۱۱/۲۲

علی میرزایی

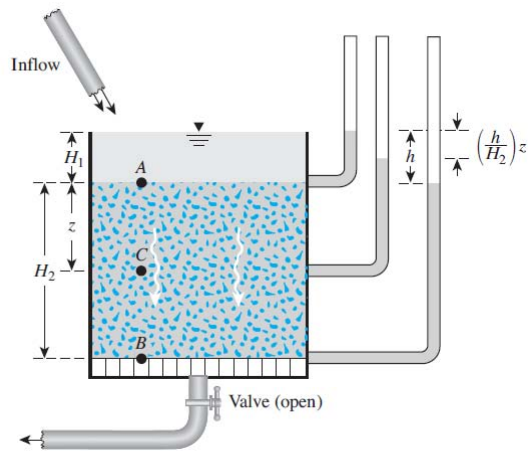
فصل نهم: تنش های برجا

مکانیک خاک

۹-۲- تنش در خاک های اشباع با جریان رو به پایین

• در حالتی که جریان رو به پایین نیز باشد، مقدار تنش کل مستقل از جریان بوده و با وزن خاک و آب بالا دست برابر می باشد.

• مقدار فشار آب حفره ای نیز به واسطه جریان رو به پایین به صورت خطی و به صورت تابعی از عمق و شیب هیدرولیکی کاهش می یابد.



$$\sigma_C = H_1 \gamma_w + z \gamma_{sat}$$

$$u_C = (H_1 + z - iz) \gamma_w$$

$$\begin{aligned} \sigma'_C &= (H_1 \gamma_w + z \gamma_{sat}) - (H_1 + z - iz) \gamma_w \\ &= z \gamma' + iz \gamma_w \end{aligned}$$

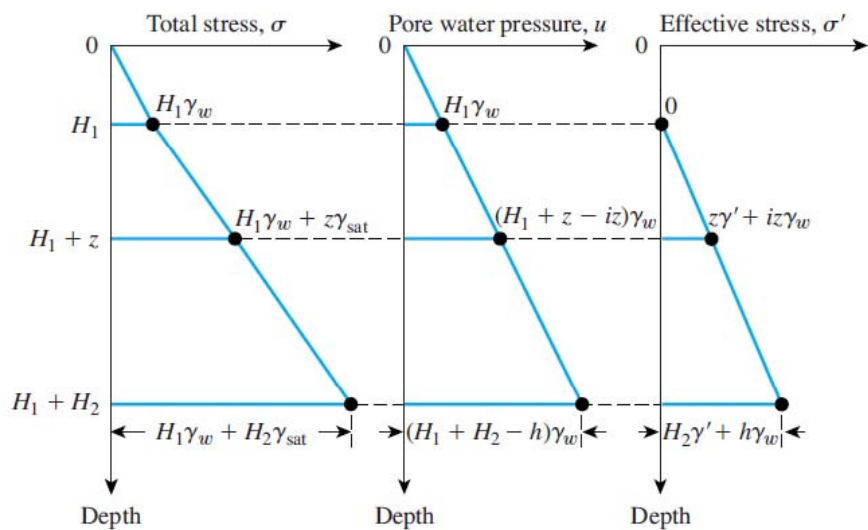
۱۲/۲۲

علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

مکانیک خاک

۹-۲- تنش در خاک های اشباع با جریان رو به پایین



۱۳/۲۲

علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

مکانیک خاک

۳-۹- نیروی نشت

• مشاهده گردید که جریان و نشت آب در خاک می تواند باعث کاهش و یا افزایش مقدار تنش های موثر گردد. این مقدار کاهش و یا افزایش را می توان به صورت نیروی نشت آب در واحد حجم خاک بیان نمود.

• مقدار نیروی وارد به یک سطح مفروض A در عمق Z به واسطه تنش های موثر:

$$P'_1 = z\gamma' A$$

• مقدار نیروی وارد به یک سطح مفروض A در عمق Z به واسطه تنش های موثر در حالت جریان رو به بالا با شیب هیدرولیکی i :

$$P'_2 = (z\gamma' - iz\gamma_w)A$$

• نیروی نشت:

$$P'_1 - P'_2 = iz\gamma_w A$$

• نیروی نشت در واحد حجم:

$$\frac{P'_1 - P'_2}{(\text{Volume of soil})} = \frac{iz\gamma_w A}{zA} = i\gamma_w$$

۱۴/۲۲

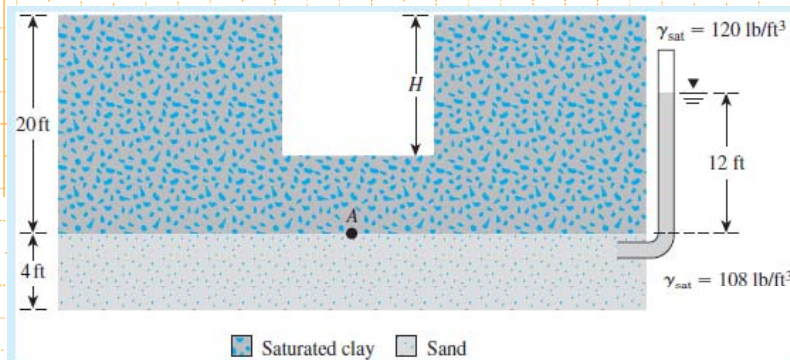
علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

مکانیک خاک

۳-۹- نیروی نشت

• مثال: در شکل لایه ماسه ای تحت اثر فشار ارتزین قرار گرفته است. مطلوبست محاسبه حداکثر عمق مجاز گودبرداری در خاک رسی.



۱۵/۲۲

علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

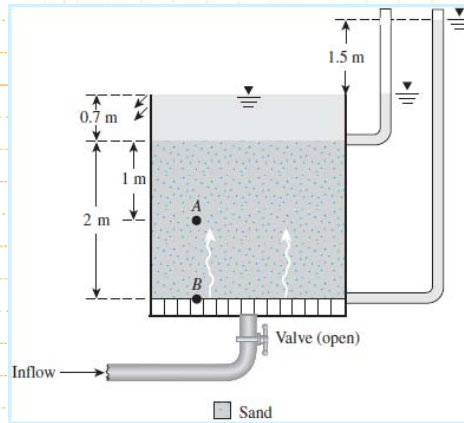
مکانیک خاک

۳-۹- نیروی نشت

• مثال: در شکل زیر در صورتی که نسبت تخلخل خاک برابر ۰،۵۲ و چگالی ویژه دانه برابر ۲،۶۷ باشد، مطلوبست محاسبه:

۱- تنش کل، فشار آب حفره ای و تنش موثر در نقاط A و B

۲- نیروی نشت آب در واحد حجم.



۱۶/۲۲

علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

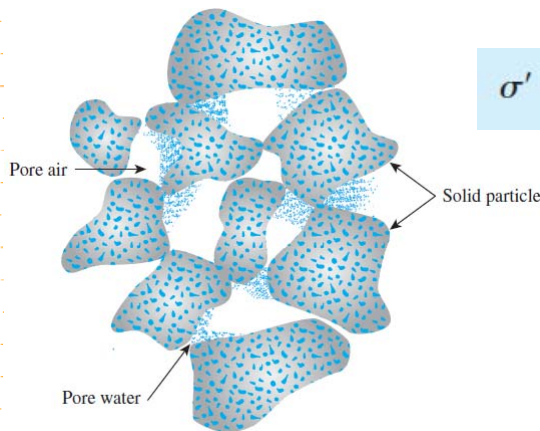
مکانیک خاک

۴-۹- تنش موثر در خاک های غیر اشباع

• خاک های غیر اشباع متشکل از سه فاز دانه های جامد خاک، هوا و آب بوده و تنش های کل اعمال شده به توده خاک توسط این سه فاز تحمل می گردد.

• بیشاپ (۱۹۶۰) اصل تنش موثر در خاک های غیر اشباع را معرفی نموده و مقدار تنش های موثر درون خاک ها را به صورت ه

$$\sigma' = \sigma - u_a + \chi(u_a - u_w)$$



σ' = تنش موثر

σ = تنش کل

u_a = فشار هوای حفره ای

u_w = فشار آب حفره ای

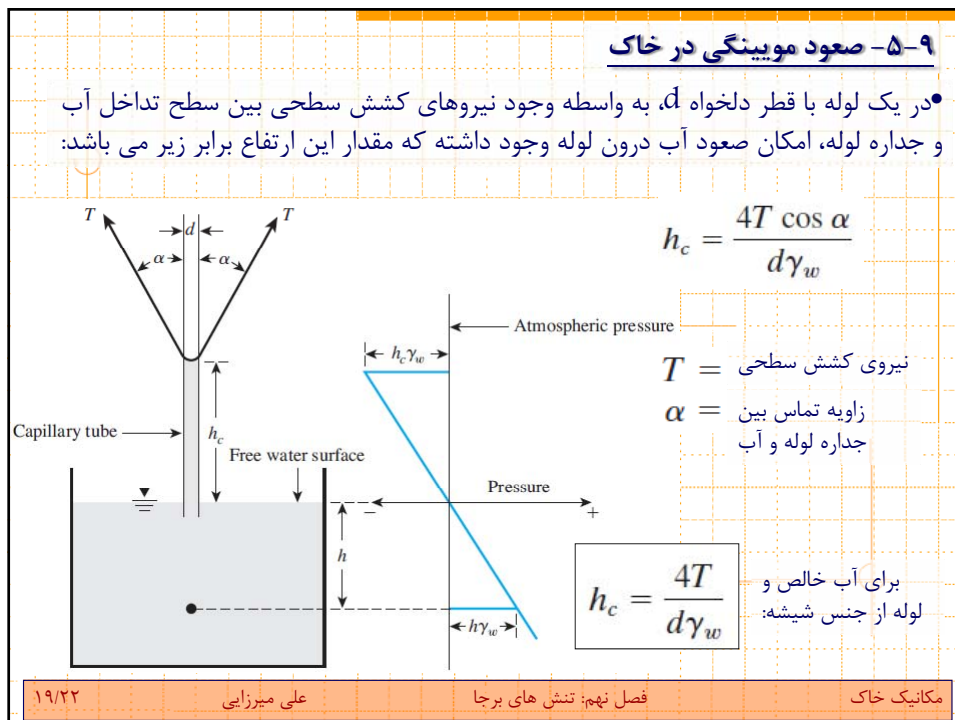
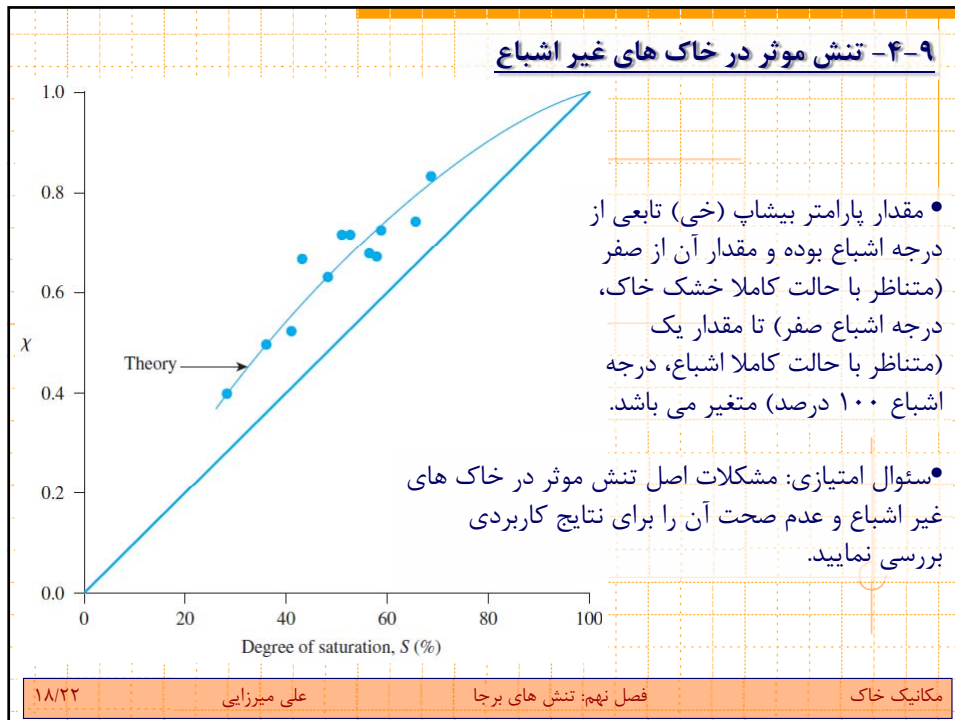
χ = پارامتر بیشاپ

۱۷/۲۲

علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

مکانیک خاک



۹-۵- صعود مویبگی در خاک

• در نتیجه ارتفاع صعود مویبگی با قطر لوله نسبت معکوس دارد. $h_c \propto \frac{1}{d}$

• رفتار حفرات به هم پیوسته درون خاک ها نیز مشابه لوله های مویبینه بوده و امکان صعود آب درون خاک ها در نواحی خشک به واسطه نیروهای کاپیلاری (مویبگی) میسر می باشد.

• روابط تجربی مختلفی برای ارتفاع صعود مویبگی در خاک ها پیشنهاد شده که از جمله این گونه روابط می توان به رابطه هازن (۱۹۳۰) اشاره نمود:

$$h_1 (\text{mm}) = \frac{C}{eD_{10}}$$

D_{10} = اندازه موثر (میلی متر)

e = نسبت تخلخل

C = ثابت (بین ۱۰ الی ۵۰ میلی متر مربع)

Soil type	Range of capillary rise		سؤال امتیازی: تاثیر صعود مویبگی بر روی رفتار مکانیکی ساختارهای "کلیچه ای" را مختصراً شرح دهید.
	m	ft	
Coarse sand	0.1-0.2	0.3-0.6	مویبگی بر روی رفتار مکانیکی ساختارهای "کلیچه ای" را مختصراً شرح دهید.
Fine sand	0.3-1.2	1-4	
Silt	0.75-7.5	2.5-25	
Clay	7.5-23	25-75	

۲۰/۲۲

علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا

مکانیک خاک

۹-۶- تنش موثر در ناحیه صعود مویبگی

• در نواحی شامل صعود مویبگی، فشار آب حفره ای درون خاک منفی بوده و با استفاده از رابطه زیر مقدار آن را تعیین نموده و سپس با توجه به اصل تنش موثر می توان تنش های موثر را با توجه به مقدار تنش های کل محاسبه نمود.

فشار آب حفره ای در ناحیه صعود مویبگی

$$u = -\left(\frac{S}{100}\right)\gamma_w h$$

h : ارتفاع صعود مویبگی نقطه مفروض از سطح آب زیر زمینی

S : درجه اشباع

۲۱/۲۲

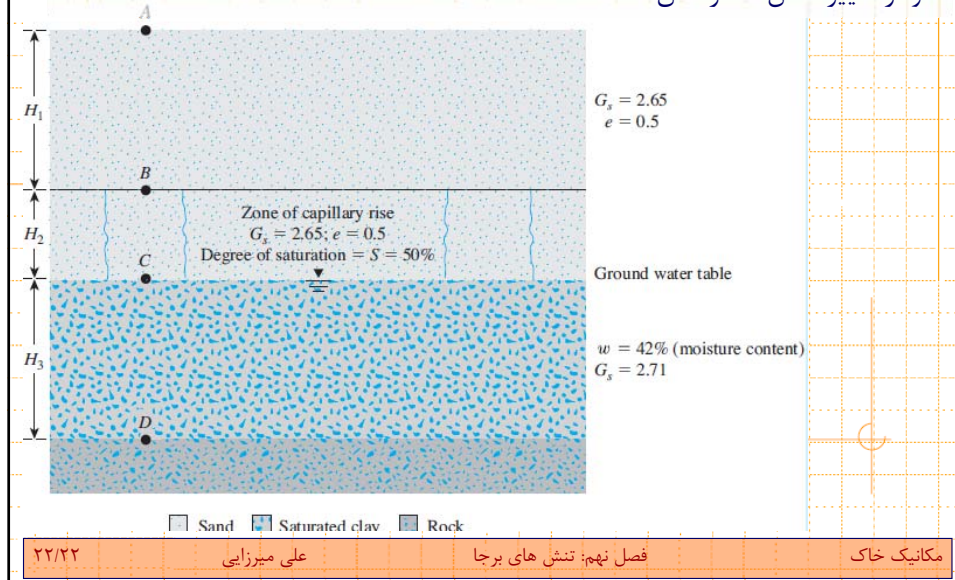
علی میرزایی

فصل نهم: تنش های برجا


مکانیک خاک

۹-۶- تنش موثر در ناحیه صعود مویینگی




• مثال: در شکل زیر مطلوبست محاسبه تنش های موثر، کل و فشار آب حفره ای و ترسیم نمودار تغییرات آن ها در عمق:



با سکر از توجه شما



دانشگاه سوادکوه
دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران

مکانیک خاک

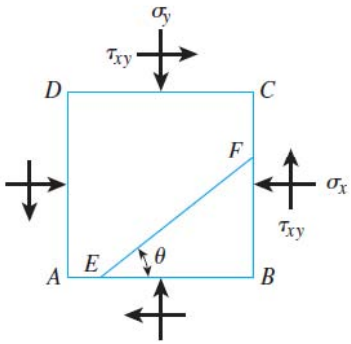
فصل دهم: تنش در توده خاک

علی میرزایی

مقدمه:

- در بسیاری از مسائل حیطه مهندسی ژئوتکنیک همچون احداث یک پی و ساختمان واقع بر روی آن، بارهای جدیدی به توده خاک وارد شده و باعث نشست خاک می گردد.
- برای محاسبه و تحلیل نشست های ایجاد شده بایستی مقدار و نحوه توزیع تنش های جدید ایجاد شده درون خاک مشخص شود.

10-1- تنش های قائم و برشی بر روی یک صفحه



- فرض شود که در یک محیط دوبعدی، وضعیت تنش های برشی و قائم (نرمال) در راستاهای اصلی مطابق ذیل باشد.
- حال می خواهیم وضعیت توزیع تنش ها را بر روی یک صفحه فرضی EF بدست آوریم.

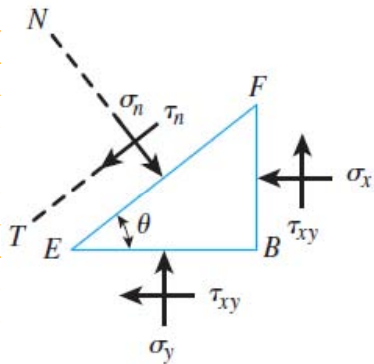
۱/۳۰
علی میرزایی
فصل دهم: تنش در توده خاک
مکانیک خاک

۱-۱۰- تنش های قائم و برشی بر روی یک صفحه

• تنش ها بر روی صفحه EF دارای دو مولفه قائم و برشی σ_n و τ_n می باشند:

$$\sigma_n = \sigma_x \sin^2 \theta + \sigma_y \cos^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta$$

$$\tau_n = \sigma_y \sin \theta \cos \theta - \sigma_x \sin \theta \cos \theta - \tau_{xy}(\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)$$



• و یا:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_y + \sigma_x}{2} + \frac{\sigma_y - \sigma_x}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta$$

$$\tau_n = \frac{\sigma_y - \sigma_x}{2} \sin 2\theta - \tau_{xy} \cos 2\theta$$

$$\tan 2\theta = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_y - \sigma_x}$$

۲/۳۰

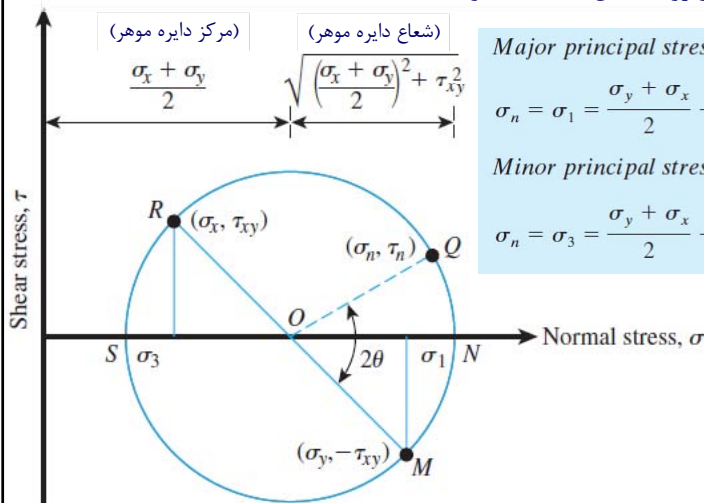
علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۱-۱۰- تنش های قائم و برشی بر روی یک صفحه

• همچنین برای محیط مذکور می توان مقادیر تنش های اصلی حداقل و حداکثر را با استفاده از دواير موهر و روابط ذیل محاسبه نمود:



Major principal stress:

• تنش اصلی حداکثر:

$$\sigma_n = \sigma_1 = \frac{\sigma_y + \sigma_x}{2} + \sqrt{\left[\frac{\sigma_y - \sigma_x}{2}\right]^2 + \tau_{xy}^2}$$

Minor principal stress:

• تنش اصلی حداقل:

$$\sigma_n = \sigma_3 = \frac{\sigma_y + \sigma_x}{2} - \sqrt{\left[\frac{\sigma_y - \sigma_x}{2}\right]^2 + \tau_{xy}^2}$$

۲/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

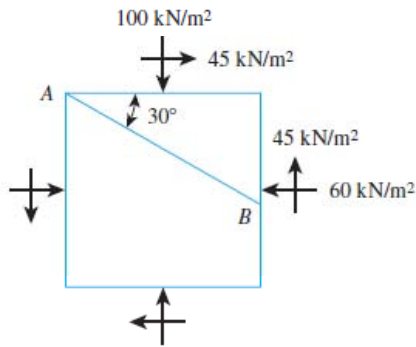
مکانیک خاک

۱-۱۰- تنش های قائم و برشی بر روی یک صفحه

• مثال: در شکل زیر مطلوبست:

۱- تنش های اصلی حداقل و حداکثر

۲- تنش های نرمال و برشی بر روی صفحه AB



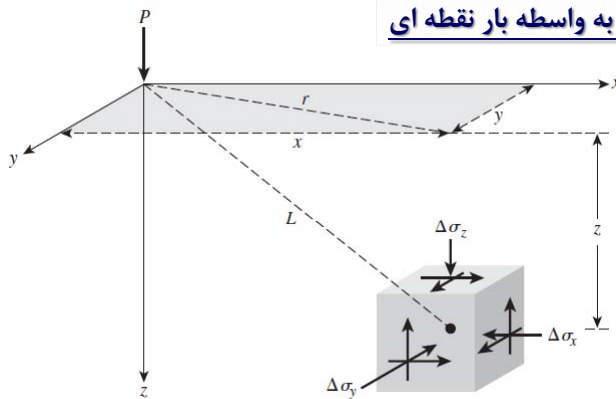
۴/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۲-۱۰- تنش های ایجاد شده به واسطه بار نقطه ای



• راه حل بوزینسک (۱۸۸۳)
برای یک خاک همگن،
همسان و الاستیک.

$$\Delta\sigma_z = \frac{3P}{2\pi} \frac{z^3}{L^5} = \frac{3P}{2\pi} \frac{z^3}{(r^2 + z^2)^{5/2}}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$L = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = \sqrt{r^2 + z^2}$$

μ = Poisson's ratio

$$\Delta\sigma_x = \frac{P}{2\pi} \left\{ \frac{3x^2z}{L^5} - (1 - 2\mu) \left[\frac{x^2 - y^2}{Lr^2(L+z)} + \frac{y^2z}{L^3r^2} \right] \right\}$$

$$\Delta\sigma_y = \frac{P}{2\pi} \left\{ \frac{2y^2z}{L^5} - (1 - 2\mu) \left[\frac{y^2 - x^2}{Lr^2(L+z)} + \frac{x^2z}{L^3r^2} \right] \right\}$$

۵/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۲-۱۰- تنش های ایجاد شده به واسطه بار نقطه ای

$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{z^2} \left\{ \frac{3}{2\pi} \frac{1}{[(r/z)^2 + 1]^{5/2}} \right\} = \frac{P}{z^2} I_1$$

• رابطه بوزینسک برای تنش های قائم را می توان به صورت تابعی از عمق باز نویسی نمود:

r/z	I_1	r/z	I_1	r/z	I_1
0	0.4775	0.36	0.3521	1.80	0.0129
0.02	0.4770	0.38	0.3408	2.00	0.0085
0.04	0.4765	0.40	0.3294	2.20	0.0058
0.06	0.4723	0.45	0.3011	2.40	0.0040
0.08	0.4699	0.50	0.2733	2.60	0.0029
0.10	0.4657	0.55	0.2466	2.80	0.0021
0.12	0.4607	0.60	0.2214	3.00	0.0015
0.14	0.4548	0.65	0.1978	3.20	0.0011
0.16	0.4482	0.70	0.1762	3.40	0.00085
0.18	0.4409	0.75	0.1565	3.60	0.00066
0.20	0.4329	0.80	0.1386	3.80	0.00051
0.22	0.4242	0.85	0.1226	4.00	0.00040
0.24	0.4151	0.90	0.1083	4.20	0.00032
0.26	0.4050	0.95	0.0956	4.40	0.00026
0.28	0.3954	1.00	0.0844	4.60	0.00021
0.30	0.3849	1.20	0.0513	4.80	0.00017
0.32	0.3742	1.40	0.0317	5.00	0.00014
0.34	0.3632	1.60	0.0200		

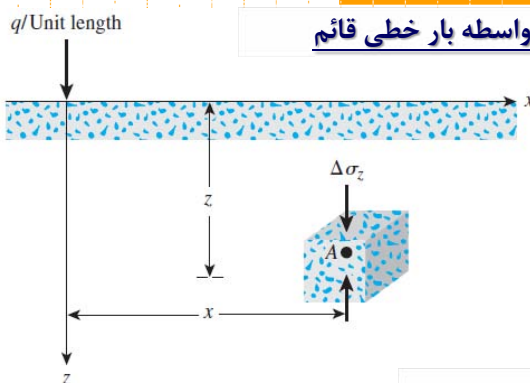
۶/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۳-۱۰- تنش های قائم ایجاد شده به واسطه بار خطی قائم



• در این حالت مقادیر تنش های قائم ایجاد شده در توده خاک را می توان با توجه به روابط تئوری الاستیسیته به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\Delta\sigma_z = \frac{2qz^3}{\pi(x^2 + z^2)^2}$$

• رابطه فوق را می توان به صورت زیر باز نویسی نمود:

$$\Delta\sigma_z = \frac{2q}{\pi z [(x/z)^2 + 1]^2} \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta\sigma_z}{(q/z)} = \frac{2}{\pi [(x/z)^2 + 1]^2}$$

۷/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۳-۱۰- تنش های قائم ایجاد شده به واسطه بار خطی قائم

$$\frac{\Delta\sigma_z}{(q/z)} = \frac{2}{\pi[(x/z)^2 + 1]^2}$$

x/z	$\Delta\sigma_z/(q/z)$	x/z	$\Delta\sigma_z/(q/z)$
0	0.637	1.3	0.088
0.1	0.624	1.4	0.073
0.2	0.589	1.5	0.060
0.3	0.536	1.6	0.050
0.4	0.473	1.7	0.042
0.5	0.407	1.8	0.035
0.6	0.344	1.9	0.030
0.7	0.287	2.0	0.025
0.8	0.237	2.2	0.019
0.9	0.194	2.4	0.014
1.0	0.159	2.6	0.011
1.1	0.130	2.8	0.008
1.2	0.107	3.0	0.006

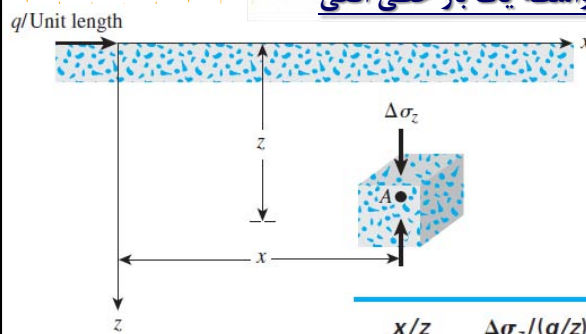
۸/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۴-۱۰- تنش های ایجاد شده به واسطه یک بار خطی افقی



$$\Delta\sigma_z = \frac{2q}{\pi} \frac{xz^2}{(x^2 + z^2)^2}$$

x/z	$\Delta\sigma_z/(q/z)$	x/z	$\Delta\sigma_z/(q/z)$
0	0	0.7	0.201
0.1	0.062	0.8	0.189
0.2	0.118	0.9	0.175
0.3	0.161	1.0	0.159
0.4	0.189	1.5	0.090
0.5	0.204	2.0	0.051
0.6	0.207	3.0	0.019

۹/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

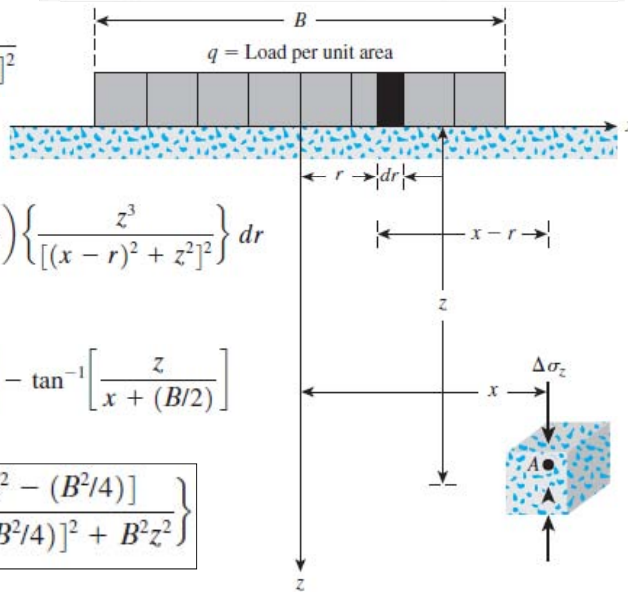
۱۰-۵- تنش های ایجاد شده به واسطه بار نواری قائم

$$d\sigma_z = \frac{2(q dr)z^3}{\pi[(x-r)^2 + z^2]^2}$$

$$\Delta\sigma_z = \int d\sigma_z = \int_{-B/2}^{+B/2} \left(\frac{2q}{\pi}\right) \left\{ \frac{z^3}{[(x-r)^2 + z^2]^2} \right\} dr$$

$$= \frac{q}{\pi} \left\{ \tan^{-1} \left[\frac{z}{x - (B/2)} \right] - \tan^{-1} \left[\frac{z}{x + (B/2)} \right] \right\}$$

$$\Delta\sigma_z = \left\{ \frac{Bz[x^2 - z^2 - (B^2/4)]}{[x^2 + z^2 - (B^2/4)]^2 + B^2z^2} \right\}$$



۱۰/۳۰

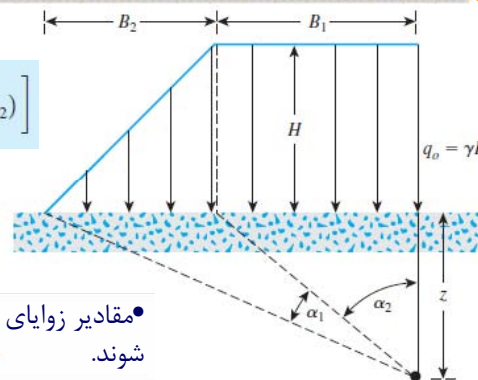
علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۱۰-۶- تنش های قائم ایجاد شده به واسطه وزن خاکریز

$$\Delta\sigma_z = \frac{q_o}{\pi} \left[\left(\frac{B_1 + B_2}{B_2} \right) (\alpha_1 + \alpha_2) - \frac{B_1}{B_2} (\alpha_2) \right]$$



• مقادیر زوایای آلفا بایستی بر حسب رادیان استفاده شوند.

$$\alpha_1 \text{ (radians)} = \tan^{-1} \left(\frac{B_1 + B_2}{z} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{B_1}{z} \right)$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left(\frac{B_1}{z} \right)$$

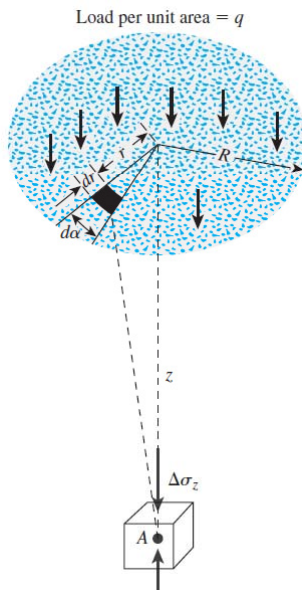
۱۱/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۷-۱۰- تنش های قائم در زیر و مرکز یک سطح بارگذاری دایروی



- با در نظر گرفتن یک المان و استفاده از راه حل بوزینسک برای بار خطی، می توان تنش ها را در زیر مرکز دایره محاسبه نمود:

$$d\sigma_z = \frac{3(qr \, dr \, d\alpha)}{2\pi} \frac{z^3}{(r^2 + z^2)^{5/2}}$$

$$\Delta\sigma_z = \int d\sigma_z = \int_{\alpha=0}^{\alpha=2\pi} \int_{r=0}^{r=R} \frac{3q}{2\pi} \frac{z^3 r}{(r^2 + z^2)^{5/2}} \, dr \, d\alpha$$

$$\Delta\sigma_z = q \left\{ 1 - \frac{1}{[(R/z)^2 + 1]^{3/2}} \right\}$$

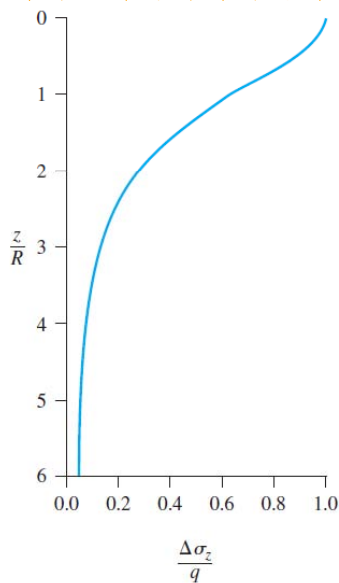
۱۲/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۷-۱۰- تنش های قائم در زیر و مرکز یک سطح بارگذاری دایروی



$$\Delta\sigma_z = q \left\{ 1 - \frac{1}{[(R/z)^2 + 1]^{3/2}} \right\}$$

z/R	$\Delta\sigma_z/q$	z/R	$\Delta\sigma_z/q$
0	1	1.0	0.6465
0.02	0.9999	1.5	0.4240
0.05	0.9998	2.0	0.2845
0.10	0.9990	2.5	0.1996
0.2	0.9925	3.0	0.1436
0.4	0.9488	4.0	0.0869
0.5	0.9106	5.0	0.0571
0.8	0.7562		

۱۲/۳۰

علی میرزایی

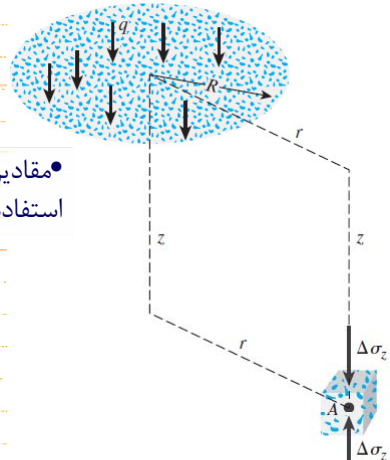
فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۱-۸- تنش قائم در زیر یک سطح بارگذاری دایروی

$$\Delta\sigma_z = q(A' + B')$$

• مقادیر ضرایب A' و B' تابعی از مقادیر r/R و z/R بوده و با استفاده از جداول تعیین می شوند.



۱۴/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۱-۸- تنش قائم در زیر یک سطح بارگذاری دایروی

• مقادیر ضرایب A' (ادامه در اسلاید بعدی)

z/R	r/R								
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2
0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0	0	0
0.1	0.90050	0.89748	0.88679	0.86126	0.78797	0.43015	0.09645	0.02787	0.00856
0.2	0.80388	0.79824	0.77884	0.73483	0.63014	0.38269	0.15433	0.05251	0.01680
0.3	0.71265	0.70518	0.68316	0.62690	0.52081	0.34375	0.17964	0.07199	0.02440
0.4	0.62861	0.62015	0.59241	0.53767	0.44329	0.31048	0.18709	0.08593	0.03118
0.5	0.55279	0.54403	0.51622	0.46448	0.38390	0.28156	0.18556	0.09499	0.03701
0.6	0.48550	0.47691	0.45078	0.40427	0.33676	0.25588	0.17952	0.10010	
0.7	0.42654	0.41874	0.39491	0.35428	0.29833	0.21727	0.17124	0.10228	0.04558
0.8	0.37531	0.36832	0.34729	0.31243	0.26581	0.21297	0.16206	0.10236	
0.9	0.33104	0.32492	0.30669	0.27707	0.23832	0.19488	0.15253	0.10094	
1	0.29289	0.28763	0.27005	0.24697	0.21468	0.17868	0.14329	0.09849	0.05185
1.2	0.23178	0.22795	0.21662	0.19890	0.17626	0.15101	0.12570	0.09192	0.05260
1.5	0.16795	0.16552	0.15877	0.14804	0.13436	0.11892	0.10296	0.08048	0.05116
2	0.10557	0.10453	0.10140	0.09647	0.09011	0.08269	0.07471	0.06275	0.04496
2.5	0.07152	0.07098	0.06947	0.06698	0.06373	0.05974	0.05555	0.04880	0.03787
3	0.05132	0.05101	0.05022	0.04886	0.04707	0.04487	0.04241	0.03839	0.03150
4	0.02986	0.02976	0.02907	0.02802	0.02832	0.02749	0.02651	0.02490	0.02193
5	0.01942	0.01938				0.01835			0.01573
6	0.01361					0.01307			0.01168
7	0.01005					0.00976			0.00894
8	0.00772					0.00755			0.00703
9	0.00612					0.00600			0.00566
10								0.00477	0.00465

۱۵/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۱۰-۸- تنش قائم در زیر یک سطح بارگذاری دایروی

• مقادیر ضرایب A' (ادامه از اسلاید قبلی)

	3	4	5	6	7	8	10	12	14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.00211	0.00084	0.00042							
0.00419	0.00167	0.00083	0.00048	0.00030	0.00020				
0.00622	0.00250								
0.01013	0.00407	0.00209	0.00118	0.00071	0.00053	0.00025	0.00014	0.00009	
0.01742	0.00761	0.00393	0.00226	0.00143	0.00097	0.00050	0.00029	0.00018	
0.01935	0.00871	0.00459	0.00269	0.00171	0.00115				
0.02142	0.01013	0.00548	0.00325	0.00210	0.00141	0.00073	0.00043	0.00027	
0.02221	0.01160	0.00659	0.00399	0.00264	0.00180	0.00094	0.00056	0.00036	
0.02143	0.01221	0.00732	0.00463	0.00308	0.00214	0.00115	0.00068	0.00043	
0.01980	0.01220	0.00770	0.00505	0.00346	0.00242	0.00132	0.00079	0.00051	
0.01592	0.01109	0.00768	0.00536	0.00384	0.00282	0.00160	0.00099	0.00065	
0.01249	0.00949	0.00708	0.00527	0.00394	0.00298	0.00179	0.00113	0.00075	
0.00983	0.00795	0.00628	0.00492	0.00384	0.00299	0.00188	0.00124	0.00084	
0.00784	0.00661	0.00548	0.00445	0.00360	0.00291	0.00193	0.00130	0.00091	
0.00635	0.00554	0.00472	0.00398	0.00332	0.00276	0.00189	0.00134	0.00094	
0.00520	0.00466	0.00409	0.00353	0.00301	0.00256	0.00184	0.00133	0.00096	
0.00438	0.00397	0.00352	0.00326	0.00273	0.00241				

۱۶/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۱۰-۸- تنش قائم در زیر یک سطح بارگذاری دایروی

• مقادیر ضرایب B' (ادامه در اسلاید بعدی)

	r/R								
z/R	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0.09852	0.10140	0.11138	0.13424	0.18796	0.05388	-0.07899	-0.02672	-0.00845
0.2	0.18857	0.19306	0.20772	0.23524	0.25983	0.08513	-0.07759	-0.04448	0.01593
0.3	0.26362	0.26787	0.28018	0.29483	0.27257	0.10757	-0.04316	-0.04999	-0.02166
0.4	0.32016	0.32259	0.32748	0.32273	0.26925	0.12404	-0.00766	-0.04535	-0.02522
0.5	0.35777	0.35752	0.35323	0.33106	0.26236	0.13591	0.02165	-0.03455	-0.02651
0.6	0.37831	0.37531	0.36308	0.32822	0.25411	0.14440	0.04457	-0.02101	
0.7	0.38487	0.37962	0.36072	0.31929	0.24638	0.14986	0.06209	-0.00702	-0.02329
0.8	0.38091	0.37408	0.35133	0.30699	0.23779	0.15292	0.07530	0.00614	
0.9	0.36962	0.36275	0.33734	0.29299	0.22891	0.15404	0.08507	0.01795	
1	0.35355	0.34553	0.32075	0.27819	0.21978	0.15355	0.09210	0.02814	-0.01005
1.2	0.31485	0.30730	0.28481	0.24836	0.20113	0.14915	0.10002	0.04378	0.00023
1.5	0.25602	0.25025	0.23338	0.20694	0.17368	0.13732	0.10193	0.05745	0.01385
2	0.17889	0.18144	0.16644	0.15198	0.13375	0.11331	0.09254	0.06371	0.02836
2.5	0.12807	0.12633	0.12126	0.11327	0.10298	0.09130	0.07869	0.06022	0.03429
3	0.09487	0.09394	0.09099	0.08635	0.08033	0.07325	0.06551	0.05354	0.03511
4	0.05707	0.05666	0.05562	0.05383	0.05145	0.04773	0.04532	0.03995	0.03066
5	0.03772	0.03760				0.03384			0.02474
6	0.02666					0.02468			0.01968
7	0.01980					0.01868			0.01577
8	0.01526					0.01459			0.01279
9	0.01212					0.01170			0.01054
10								0.00924	0.00879

۱۷/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۸-۱۰- تنش قائم در زیر یک سطح بارگذاری دایروی

• مقادیر ضرایب B' (ادامه از اسلاید قبلی)

	3	4	5	6	7	8	10	12	14
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0.00210	-0.00084	-0.00042							
-0.00412	-0.00166	-0.00083	-0.00024	-0.00015	-0.00010				
-0.00599	-0.00245								
-0.00991	-0.00388	-0.00199	-0.00116	-0.00073	-0.00049	-0.00025	-0.00014	-0.00009	
-0.01115	-0.00608	-0.00344	-0.00210	-0.00135	-0.00092	-0.00048	-0.00028	-0.00018	
-0.00995	-0.00632	-0.00378	-0.00236	-0.00156	-0.00107				
-0.00669	-0.00600	-0.00401	-0.00265	-0.00181	-0.00126	-0.00068	-0.00040	-0.00026	
0.00028	-0.00410	-0.00371	-0.00278	-0.00202	-0.00148	-0.00084	-0.00050	-0.00033	
0.00661	-0.00130	-0.00271	-0.00250	-0.00201	-0.00156	-0.00094	-0.00059	-0.00039	
0.01112	0.00157	-0.00134	-0.00192	-0.00179	-0.00151	-0.00099	-0.00065	-0.00046	
0.01515	0.00595	0.00155	-0.00029	-0.00094	-0.00109	-0.00094	-0.00068	-0.00050	
0.01522	0.00810	0.00371	0.00132	0.00013	-0.00043	-0.00070	-0.00061	-0.00049	
0.01380	0.00867	0.00496	0.00254	0.00110	0.00028	-0.00037	-0.00047	-0.00045	
0.01204	0.00842	0.00547	0.00332	0.00185	0.00093	-0.00002	-0.00029	-0.00037	
0.01034	0.00779	0.00554	0.00372	0.00236	0.00141	0.00035	-0.00008	-0.00025	
0.00888	0.00705	0.00533	0.00386	0.00265	0.00178	0.00066	0.00012	-0.00012	
0.00764	0.00631	0.00501	0.00382	0.00281	0.00199				

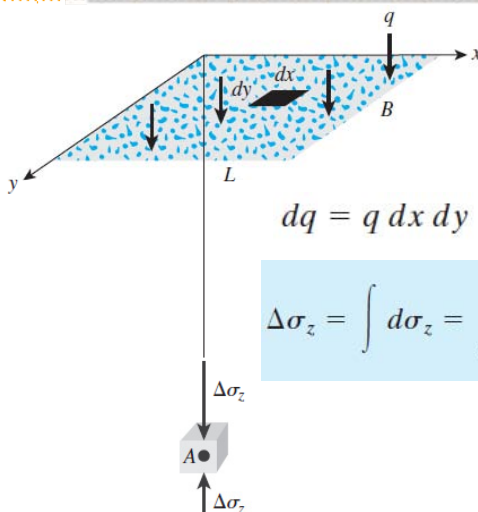
۱۸/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۹-۱۰- تنش های قائم ایجاد شده در زیر گوشه یک سطح بارگذاری مستطیلی



• در این وضعیت نیز می توان با در نظر گرفتن یک المان کوچک و استفاده از رابطه پیشنهادی بوزینسک مسئله را تحلیل نمود:

$$dq = q dx dy \quad d\sigma_z = \frac{3q dx dy z^3}{2\pi(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}}$$

$$\Delta\sigma_z = \int d\sigma_z = \int_{y=0}^B \int_{x=0}^L \frac{3qz^3(dx dy)}{2\pi(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} = qI_3$$

$$m = \frac{B}{z} \quad n = \frac{L}{z}$$

$$I_3 = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1} \left(\frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 - m^2n^2 + 1} \right) \right]$$

۱۹/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۹-۱۰- تنش های قائم ایجاد شده در زیر گوشه یک سطح بارگذاری مستطیلی

• محاسبه ضریب I_3 با توجه به مقادیر m و n ، (ادامه در اسلاید بعدی)

n	m									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.1	0.0047	0.0092	0.0132	0.0168	0.0198	0.0222	0.0242	0.0258	0.0270	0.0279
0.2	0.0092	0.0179	0.0259	0.0328	0.0387	0.0435	0.0474	0.0504	0.0528	0.0547
0.3	0.0132	0.0259	0.0374	0.0474	0.0559	0.0629	0.0686	0.0731	0.0766	0.0794
0.4	0.0168	0.0328	0.0474	0.0602	0.0711	0.0801	0.0873	0.0931	0.0977	0.1013
0.5	0.0198	0.0387	0.0559	0.0711	0.0840	0.0947	0.1034	0.1104	0.1158	0.1202
0.6	0.0222	0.0435	0.0629	0.0801	0.0947	0.1069	0.1168	0.1247	0.1311	0.1361
0.7	0.0242	0.0474	0.0686	0.0873	0.1034	0.1169	0.1277	0.1365	0.1436	0.1491
0.8	0.0258	0.0504	0.0731	0.0931	0.1104	0.1247	0.1365	0.1461	0.1537	0.1598
0.9	0.0270	0.0528	0.0766	0.0977	0.1158	0.1311	0.1436	0.1537	0.1619	0.1684
1.0	0.0279	0.0547	0.0794	0.1013	0.1202	0.1361	0.1491	0.1598	0.1684	0.1752
1.2	0.0293	0.0573	0.0832	0.1063	0.1263	0.1431	0.1570	0.1684	0.1777	0.1851
1.4	0.0301	0.0589	0.0856	0.1094	0.1300	0.1475	0.1620	0.1739	0.1836	0.1914
1.6	0.0306	0.0599	0.0871	0.1114	0.1324	0.1503	0.1652	0.1774	0.1874	0.1955
1.8	0.0309	0.0606	0.0880	0.1126	0.1340	0.1521	0.1672	0.1797	0.1899	0.1981
2.0	0.0311	0.0610	0.0887	0.1134	0.1350	0.1533	0.1686	0.1812	0.1915	0.1999
2.5	0.0314	0.0616	0.0895	0.1145	0.1363	0.1548	0.1704	0.1832	0.1938	0.2024
3.0	0.0315	0.0618	0.0898	0.1150	0.1368	0.1555	0.1711	0.1841	0.1947	0.2034
4.0	0.0316	0.0619	0.0901	0.1153	0.1372	0.1560	0.1717	0.1847	0.1954	0.2042
5.0	0.0316	0.0620	0.0901	0.1154	0.1374	0.1561	0.1719	0.1849	0.1956	0.2044
6.0	0.0316	0.0620	0.0902	0.1154	0.1374	0.1562	0.1719	0.1850	0.1957	0.2045

۲۰/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۹-۱۰- تنش های قائم ایجاد شده در زیر گوشه یک سطح بارگذاری مستطیلی

• محاسبه ضریب I_3 با توجه به مقادیر m و n ، (ادامه از اسلاید قبلی)

	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0
0.0293	0.0301	0.0306	0.0309	0.0311	0.0314	0.0315	0.0316	0.0316	0.0316	0.0316
0.0573	0.0589	0.0599	0.0606	0.0610	0.0616	0.0618	0.0619	0.0620	0.0620	0.0620
0.0832	0.0856	0.0871	0.0880	0.0887	0.0895	0.0898	0.0901	0.0901	0.0901	0.0902
0.1063	0.1094	0.1114	0.1126	0.1134	0.1145	0.1150	0.1153	0.1154	0.1154	0.1154
0.1263	0.1300	0.1324	0.1340	0.1350	0.1363	0.1368	0.1372	0.1374	0.1374	0.1374
0.1431	0.1475	0.1503	0.1521	0.1533	0.1548	0.1555	0.1560	0.1561	0.1561	0.1562
0.1570	0.1620	0.1652	0.1672	0.1686	0.1704	0.1711	0.1717	0.1719	0.1719	0.1719
0.1684	0.1739	0.1774	0.1797	0.1812	0.1832	0.1841	0.1847	0.1849	0.1850	0.1850
0.1777	0.1836	0.1874	0.1899	0.1915	0.1938	0.1947	0.1954	0.1956	0.1957	0.1957
0.1851	0.1914	0.1955	0.1981	0.1999	0.2024	0.2034	0.2042	0.2044	0.2044	0.2045
0.1958	0.2028	0.2073	0.2103	0.2124	0.2151	0.2163	0.2172	0.2175	0.2176	0.2176
0.2028	0.2102	0.2151	0.2184	0.2206	0.2236	0.2250	0.2260	0.2263	0.2264	0.2264
0.2073	0.2151	0.2203	0.2237	0.2261	0.2294	0.2309	0.2320	0.2323	0.2325	0.2325
0.2103	0.2183	0.2237	0.2274	0.2299	0.2333	0.2350	0.2362	0.2366	0.2367	0.2367
0.2124	0.2206	0.2261	0.2299	0.2325	0.2361	0.2378	0.2391	0.2395	0.2397	0.2397
0.2151	0.2236	0.2294	0.2333	0.2361	0.2401	0.2420	0.2434	0.2439	0.2441	0.2441
0.2163	0.2250	0.2309	0.2350	0.2378	0.2420	0.2439	0.2455	0.2461	0.2463	0.2463
0.2172	0.2260	0.2320	0.2362	0.2391	0.2434	0.2455	0.2472	0.2479	0.2481	0.2481
0.2175	0.2263	0.2324	0.2366	0.2395	0.2439	0.2460	0.2479	0.2486	0.2489	0.2489
0.2176	0.2264	0.2325	0.2367	0.2397	0.2441	0.2463	0.2482	0.2489	0.2492	0.2492

۲۱/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۱۰-۱- تنش های قائم ایجاد شده در زیر مرکز یک سطح بارگذاری مستطیلی

$\Delta\sigma_z = qI_4$

$L \geq B$

$$I_4 = \frac{2}{\pi} \left[\frac{m_1 n_1}{\sqrt{1+m_1^2+n_1^2}} \frac{1+m_1^2+2n_1^2}{(1+n_1^2)(m_1^2+n_1^2)} + \sin^{-1} \frac{m_1}{\sqrt{m_1^2+n_1^2} \sqrt{1+n_1^2}} \right]$$

$$m_1 = \frac{L}{B} \quad n_1 = \frac{z}{b} \quad b = \frac{B}{2}$$

$\Delta\sigma_z$

A

$\Delta\sigma_z$

z

۲۲/۳۰ علی میرزایی فصل دهم: تنش در توده خاک مکانیک خاک

۱۰-۱- تنش های قائم ایجاد شده در زیر مرکز یک سطح بارگذاری مستطیلی

• محاسبه ضریب I_4 با توجه به مقادیر m_1 و n_1 (ادامه از اسلاید قبلی)

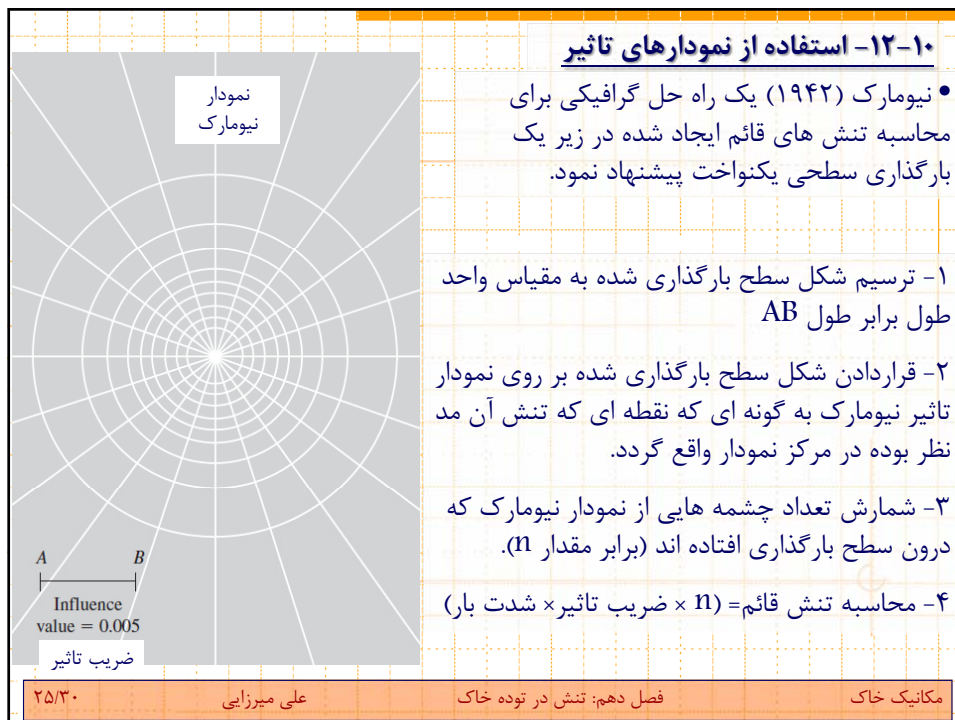
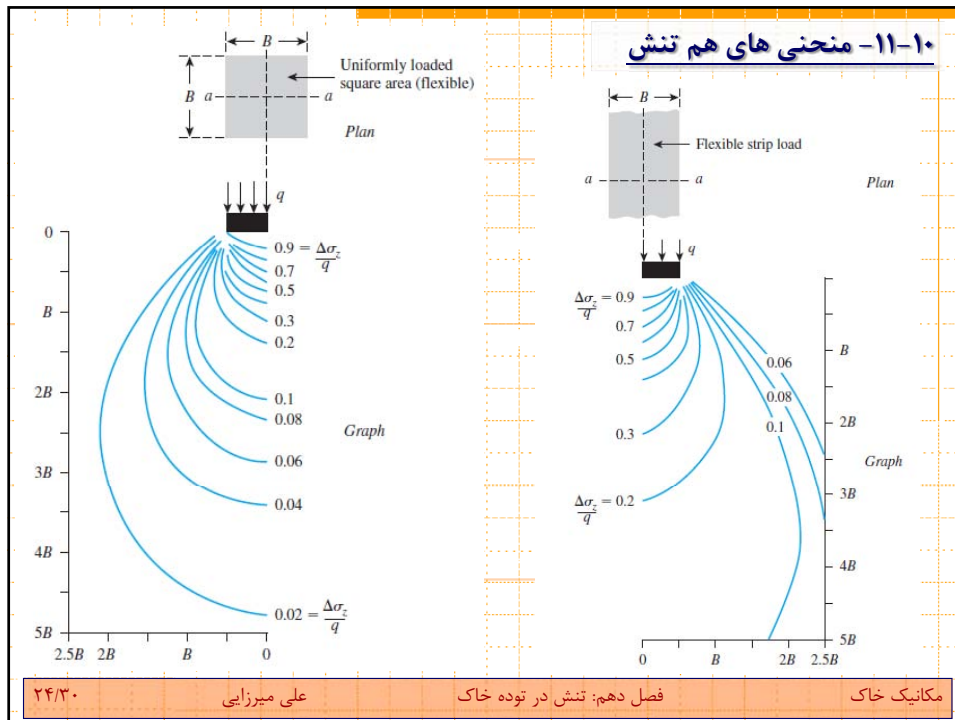
n_1	m_1									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.20	0.994	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997	0.997
0.40	0.960	0.976	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977	0.977
0.60	0.892	0.932	0.936	0.936	0.937	0.937	0.937	0.937	0.937	0.937
0.80	0.800	0.870	0.878	0.880	0.881	0.881	0.881	0.881	0.881	0.881
1.00	0.701	0.800	0.814	0.817	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818	0.818
1.20	0.606	0.727	0.748	0.753	0.754	0.755	0.755	0.755	0.755	0.755
1.40	0.522	0.658	0.685	0.692	0.694	0.695	0.695	0.696	0.696	0.696
1.60	0.449	0.593	0.627	0.636	0.639	0.640	0.641	0.641	0.641	0.642
1.80	0.388	0.534	0.573	0.585	0.590	0.591	0.592	0.592	0.593	0.593
2.00	0.336	0.481	0.525	0.540	0.545	0.547	0.548	0.549	0.549	0.549
3.00	0.179	0.293	0.348	0.373	0.384	0.389	0.392	0.393	0.394	0.395
4.00	0.108	0.190	0.241	0.269	0.285	0.293	0.298	0.301	0.302	0.303
5.00	0.072	0.131	0.174	0.202	0.219	0.229	0.236	0.240	0.242	0.244
6.00	0.051	0.095	0.130	0.155	0.172	0.184	0.192	0.197	0.200	0.202
7.00	0.038	0.072	0.100	0.122	0.139	0.150	0.158	0.164	0.168	0.171
8.00	0.029	0.056	0.079	0.098	0.113	0.125	0.133	0.139	0.144	0.147
9.00	0.023	0.045	0.064	0.081	0.094	0.105	0.113	0.119	0.124	0.128
10.00	0.019	0.037	0.053	0.067	0.079	0.089	0.097	0.103	0.108	0.112

۲۲/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

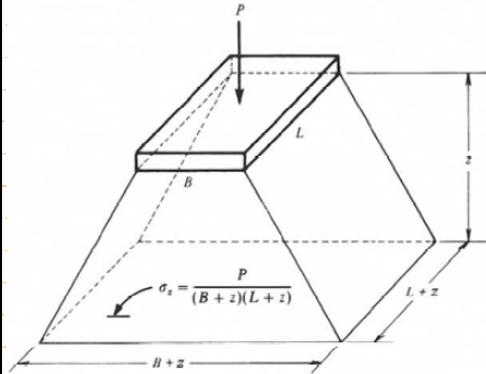
مکانیک خاک



۱۰-۱۳- روش تقریبی ۲ به ۱

• در این روش فرض بر آن است که می توان تنش را در یک عمق با تقسیم شدت بار بر سطح مقطع جدید آن بدست آورد.

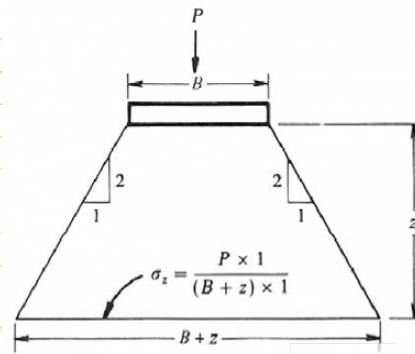
• سطح مقطع جدید با یک شیب ۲ (قائم) به ۱ (افقی) تشکیل می شود.



$$A_o = B \times L$$

$$A_z = (B+z)(L+z)$$

• بارگذاری
مسطحی



$$A_o = B \times 1$$

$$A_z = (B+z) \times 1$$

• بارگذاری
نوار

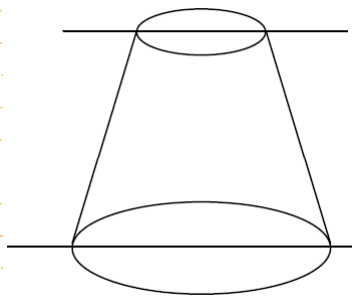
۲۶/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

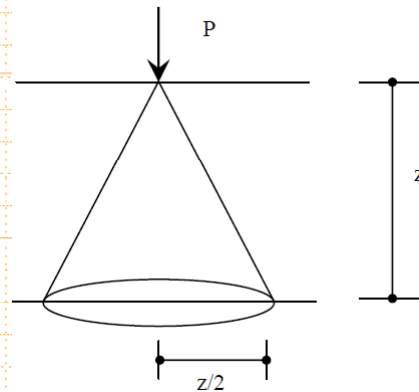
۱۰-۱۳- روش تقریبی ۲ به ۱



$$A_o = \pi r^2$$

$$A_z = \pi \left(r + \frac{z}{2} \right)^2 = \frac{\pi}{4} (D+z)^2$$

• بارگذاری
دایروی



$$A_z = \pi \left(\frac{z}{2} \right)^2 = \frac{\pi z^2}{4} \rightarrow \Delta \sigma_z = \frac{P}{A_z} = \frac{4P}{\pi z^2}$$

• بارگذاری
نقطه ای

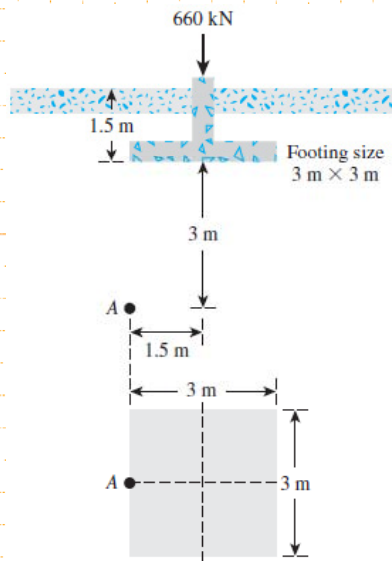
۲۷/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۱۰-۱۴- مثالهای مختلف از محاسبه توزیع تنش



• مثال: مطلوبست محاسبه تنش های قائم ایجاد شده در نقطه A به واسطه بار ۶۶۰ کیلونیوتنی به روش های:

۱- بوزینسک

۲- نمودارهای تاثیر نیومارک

۳- روش ۲ به ۱

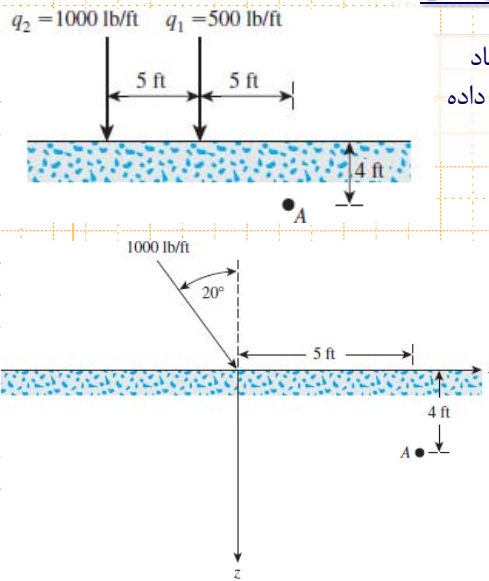
۲۸/۳۰

علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۱۰-۱۴- مثالهای مختلف از محاسبه توزیع تنش



• مثال: مطلوبست محاسبه تنش های قائم ایجاد شده در نقطه A به واسطه دو بار خطی نشان داده شده در شکل.

• مثال: مطلوبست محاسبه تنش های قائم ایجاد شده در نقطه A به واسطه بار خطی مایل نشان داده شده در شکل.

۲۹/۳۰

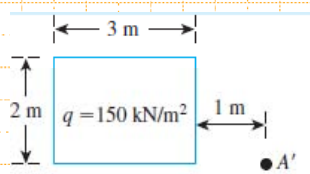
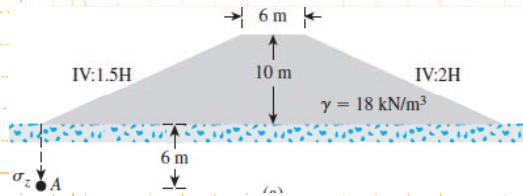
علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

۱۰-۱۴- مثالهای مختلف از محاسبه توزیع تنش

• مثال: مطلوبست محاسبه تنش های ایجاد شده در نقطه A به واسطه ساخت خاکریز نشان داده شده در شکل زیر.



• مثال: مطلوبست محاسبه تنش های قائم ایجاد شده در نقطه A' به واسطه بار مستطیلی نشان داده شده در عمق ۴ متری با استفاده از روش بخش ۹-۱۰


۳۰/۳۰

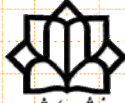
علی میرزایی

فصل دهم: تنش در توده خاک

مکانیک خاک

با سکر از توجه شما





دانشگاه سوادکوه
دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران

مکانیک خاک

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

علی میرزایی

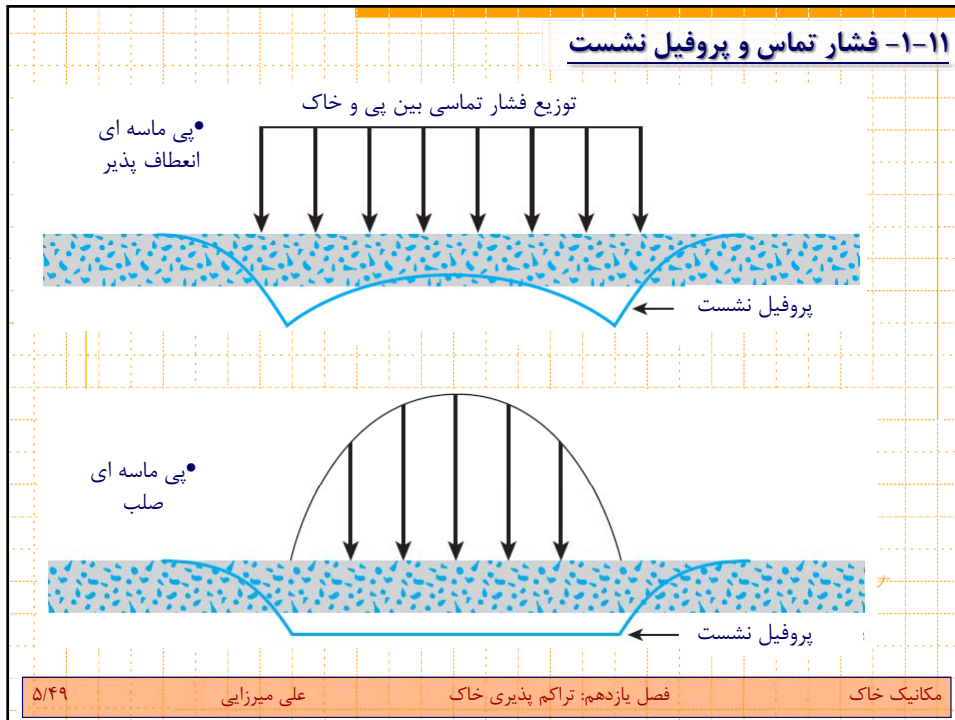
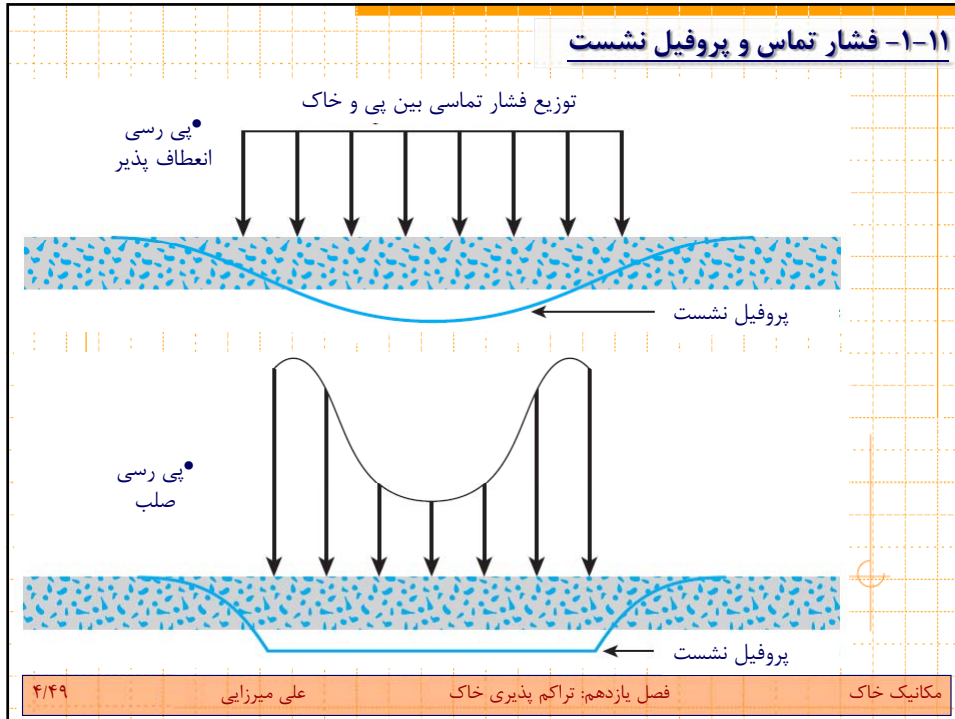
مقدمه:

- بارهای وارد بر توده خاک باعث به وجود آمدن تغییر شکل و نشست درون خاک می شوند.
- به طور کلی، نشست های ایجاد شده درون خاک را با توجه به محدوده تغییر شکل ها می توان به سه گروه تقسیم بندی نمود:
 - ۱- نشست الاستیک، Se (نشست آنی): شامل نشست الاستیک ایجاد شده درون خاک های خشک و اشباع بدون تغییر در میزان درصد رطوبت آن ها می باشد. مقدار نشست الاستیک با استفاده از تئوری های الاستیسیته قابل محاسبه می باشد.
 - ۲- نشست تحکیمی اولیه، Sc : به واسطه زایل شدن اضافه فشارهای آب حفره ای ایجاد شده درون خاک های چسبنده اشباع ایجاد می شود.
 - ۳- نشست تحکیمی ثانویه، Ss : در خاک های چسبنده اشباع و به واسطه تغییرات پلاستیک ایجاد شده در بافت خاک به وجود می آید.

الف: نشست الاستیک (آنی)

۱-۱۱- فشار تماس و پروفیل نشست

- نشست الاستیک و یا نشست آنی درون خاک های خشک و یا اشباع و بدون تغییر در میزان درصد رطوبت آن ها ایجاد می شود.
- در اغلب مقاصد عملی، بارهای وارد به توده خاک از طریق یک پی به آن وارد شده که مقادیر تنش های ایجاد شده درون خاک را به واسطه بارگذاری های مختلف می توان با استفاده از روابط فصل ۱۰ محاسبه نمود.
- به طور کلی میزان نشست های الاستیک تابعی از جنس مصالح خاک و میزان صلبیت پی واقع بر روی خاک می باشد.
- همچنین نحوه توزیع تنش در زیر پی نیز تابعی از جنس مصالح خاک و میزان صلبیت پی می باشد.



۱-۱۱- فشار تماس و پروفیل نشست

- در خاک های رسی میزان تغییرات مدول الاستیک خاک با عمق قابل اغماض بوده، لیکن در خاک های ماسه ای، مدول الاستیک خاک با افزایش عمق افزایش می یابد.
- در پروفیل توزیع تنش در زیر پی های ماسه ای، مقاومت خاک در دو لبه پی از مرکز آن کمتر بوده و این امر باعث نشست بیشتر در زیر پی های انعطاف پذیر و تمرکز تنش کمتر در زیر پی های صلب می گردد.

۲-۱۱- محاسبه نشست الاستیک

- میزان نشست الاستیک خاک واقع بر روی یک پی مطابق شکل اسلاید بعدی تابعی از شدت بار وارده، مدول الاستیک و ضریب پواسن خاک، ضرایب شکل و عمق و نیز عرض پی بوده و آن را می توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$S_e = \Delta\sigma(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f$$

۶/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

The diagram illustrates the settlement of a foundation of width $B \times L$ and depth D_f into soil of thickness H above a rock base. It compares rigid foundation settlement (a straight line) and flexible foundation settlement (a curve). The soil is characterized by Poisson's ratio μ_s and modulus of elasticity E_s . The diagram also shows the distribution of stress $\Delta\sigma$ across the foundation width.

۲-۱۱- محاسبه نشست الاستیک

$$S_e = \Delta\sigma(\alpha B') \frac{1 - \mu_s^2}{E_s} I_s I_f$$

$\Delta\sigma$ = تنش های ایجاد شده
 μ_s = ضریب پواسن خاک
 E_s = مدول الاستیک خاک
 $B' = \begin{cases} B/2 & \text{نشست در مرکز پی:} \\ B & \text{نشست در گوشه پی:} \end{cases}$
 I_s = ضریب شکل
 I_f = ضریب عمق

۷/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۲-۱۱- محاسبه نشست الاستیک

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2\mu_s}{1 - \mu_s} F_2$$

$$F_1 = \frac{1}{\pi} (A_0 + A_1) \quad F_2 = \frac{n'}{2\pi} \tan^{-1} A_2 \quad A_0 = m' \ln \frac{(1 + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{m'^2 + n'^2}}{m'(1 + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1})}$$

$$A_1 = \ln \frac{(m' + \sqrt{m'^2 + 1}) \sqrt{1 + n'^2}}{m' + \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}} \quad A_2 = \frac{m'}{n' \sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}$$

$$I_f = f\left(\frac{D_f}{B}, \mu_s, \text{ and } \frac{L}{B}\right)$$

L/B	D _f /B	I _f		
		μ _s = 0.3	μ _s = 0.4	μ _s = 0.5
1	0.5	0.77	0.82	0.85
	0.75	0.69	0.74	0.77
2	1	0.65	0.69	0.72
	0.5	0.82	0.86	0.89
	0.75	0.75	0.79	0.83
5	1	0.71	0.75	0.79
	0.5	0.87	0.91	0.93
	0.75	0.81	0.86	0.89
	1	0.78	0.82	0.85

۸/۴۹ علی میرزایی فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک مکانیک خاک

۲-۱۱- محاسبه نشست الاستیک

• مقادیر ضرایب m' ، n' و α برای محاسبه نشست در مرکز و لبه های پی متفاوت و برابر مقادیر زیر می باشند:

$\left. \begin{matrix} \alpha = 4 \\ m' = \frac{L}{B} \\ n' = \frac{H}{\left(\frac{B}{2}\right)} \end{matrix} \right\} \text{ مرکز پی:}$	$\left. \begin{matrix} \alpha = 1 \\ m' = \frac{L}{B} \\ n' = \frac{H}{B} \end{matrix} \right\} \text{ گوشه پی:}$
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Type of soil	Poisson's ratio, μ_s
Loose sand	0.2-0.4
Medium sand	0.25-0.4
Dense sand	0.3-0.45
Silty sand	0.2-0.4
Soft clay	0.15-0.25
Medium clay	0.2-0.5

• در صورتی که پی صلب باشد، مقدار نشست آن برابر ۰.۹۵ نشست مرکز همان پی در حالت انعطاف پذیر می باشد:

$$S_{e(\text{rigid})} \approx 0.93 S_{e(\text{flexible, center})}$$

بازه تغییرات ضریب پواسن در خاک های مختلف

۹/۴۹ علی میرزایی فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک مکانیک خاک

۲-۱۱- محاسبه نشست الاستیک

• در صورتی که مقادیر مدول الاستیک خاک در عمق متغیر باشد، مقدار متوسط آن را با استفاده از رابطه زیر تعیین می کنیم:

$$E_s = \frac{\sum E_{s(i)} \Delta z}{\bar{z}}$$

$$E_{s(i)} = \text{مدول الاستیک خاک در بازه عمق } \Delta z$$

$$\bar{z} = H \text{ or } 5B \text{ هر کدام که کوچکتر بودند}$$

Soil type	E_s	
	kN/m^2	lb/in.^2
Soft clay	1,800–3,500	250–500
Hard clay	6,000–14,000	850–2,000
Loose sand	10,000–28,000	1,500–4,000
Dense sand	35,000–70,000	5,000–10,000

بازه تغییرات مدول الاستیک در خاک های مختلف

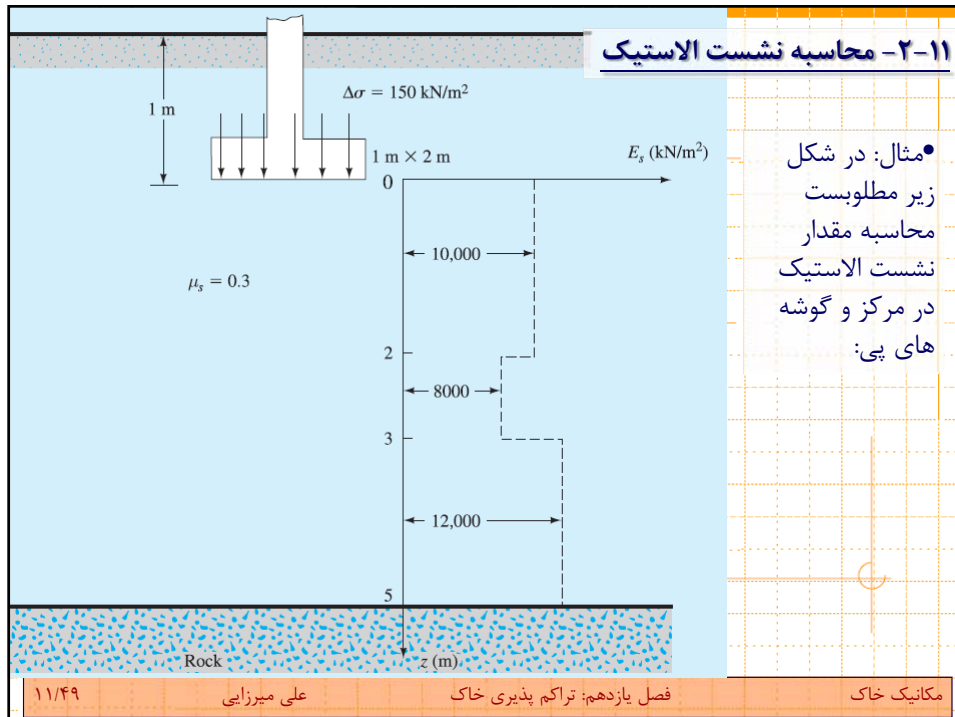
۱۰/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۲-۱۱- محاسبه نشست الاستیک



۱۱/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

ب: نشست تحکیمی اولیه

۱۲/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۱۱-۳- اصول تحکیم

- وقتی که یک باری به سطح خاک وارد شده، این امر باعث افزایش فشار آب درون حفرات خاک شده و درون حفرات اضافه فشار آب حفره ای ایجاد می شود.
- اضافه فشار آب حفره ای به وجود آمده درون خاک با خروج آب از داخل حفرات و کاهش حجم حفرات خاک زائل می شود.
- به تغییر شکل های ایجاد شده درون خاک به واسطه زایل شدن اضافه فشارهای آب حفره ای اصطلاحاً فرایند تحکیم اطلاق می شود.
- در خاک های دانه ای همچون ماسه و یا شن، به واسطه میزان ضریب نفوذپذیری بالای این گونه خاک ها، زایل شدن اضافه فشار آب حفره ای از درون حفرات خاک به صورت آنی انجام می پذیرد.
- در خاک های ریز دانه و چسبنده، فرایند زائل شدن اضافه فشار های آب حفره ای ایجاد شده در خاک با مرور زمان رخ می دهد.

۱۳/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۱۱-۳- اصول تحکیم

• شبیه سازی فرایند تحکیم در خاک ها توسط مدل سیلندر و فنر

۱۴/۴۹ علی میرزایی فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک مکانیک خاک

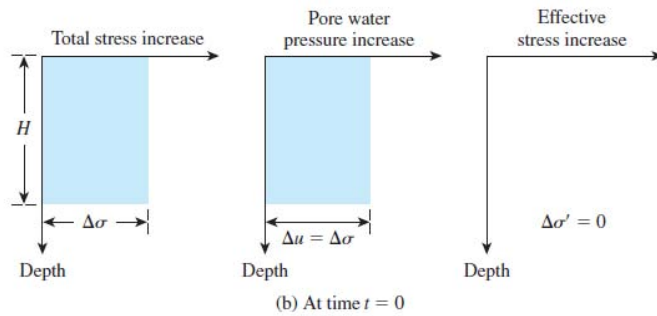
۱۱-۳- اصول تحکیم

- یک خاک رسی را مطابق شکل زیر دارای قابلیت زهکشی از دو انتهای آن بوده و به آن یک تنش $\Delta\sigma$ وارد شده است.
- تنش های اعمال شده به خاک باعث افزایش مقادیر تنش موثر و فشار آب حفره ای می شوند.
- در ابتدای بارگذاری، تمامی تنش وارد شده توسط آب درون حفرات تحمل شده و این امر باعث افزایش فشار آب حفره ای شده و میزان افزایش تنش های موثر برابر صفر است.

۱۵/۴۹ علی میرزایی فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک مکانیک خاک

۱۱-۳- اصول تحکیم

- با گذشت زمان، اضافه فشارهای آب حفره ای ایجاد شده با خروج آب از درون حفرات خاک و زهکشی آن از دو انتهای نمونه زایل شده و بالعکس مقدار تنش های موثر افزایش می یابد.
- با گذشت زمان و تحکیم کامل رس به واسطه زایل شدن تمامی اضافه فشارهای آب حفره ای، مقدار اضافه فشار آب حفره ای درون خاک برابر صفر شده و تنش های موثر با اضافه تنش های وارد شده به خاک برابر می شوند.



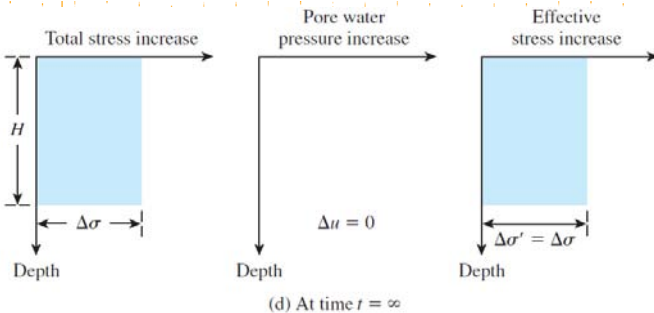
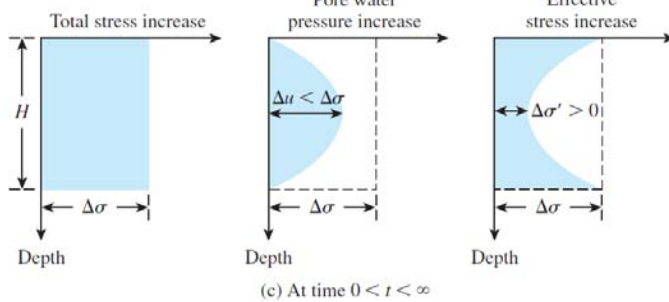
۱۶/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۱۱-۳- اصول تحکیم



۱۷/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۴-۱۱- آزمایش تحکیم یک بعدی

- آزمایش تحکیم یک بعدی توسط ترزاقی پیشنهاد گردید.
- این آزمایش را گاهی به واسطه نام دستگاه آن، آزمایش ادنومتر نیز اطلاق می کنند.
- در این آزمایش نمونه خاک درون یک رینگ فلزی به قطر داخلی ۲،۵ اینچ (۶۴ میلی متر) و ارتفاع ۱ اینچ (۲۵،۴ میلی متر) متراکم شده و در بالا و پایین آن دو سنگ متخلخل برای فراهم آوردن امکان زهکشی از دو انتهای خاک تعبیه می شود.
- سپس میزان بار قائم وارد بر نمونه خاک به صورت پله ای از مقادیر در حدود ۵ کیلو پاسکال شروع شده و بعد از هر مرحله بارگذاری اجازه تحکیم خاک به مدت ۲۴ ساعت داده شده و سپس مقدار آن دو برابر شده و مجدداً اجازه تحکیم خاک داده می شود.
- در هر مرحله از بارگذاری قائم، مقادیر نشست خاک به صورت پیوسته تا انتهای مرحله تحکیم اندازه گیری می شود.

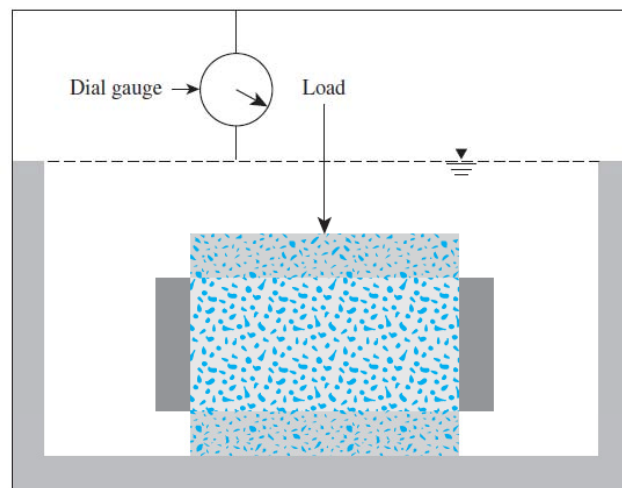
۱۸/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۴-۱۱- آزمایش تحکیم یک بعدی



Porous stone
 Soil specimen
 Specimen ring

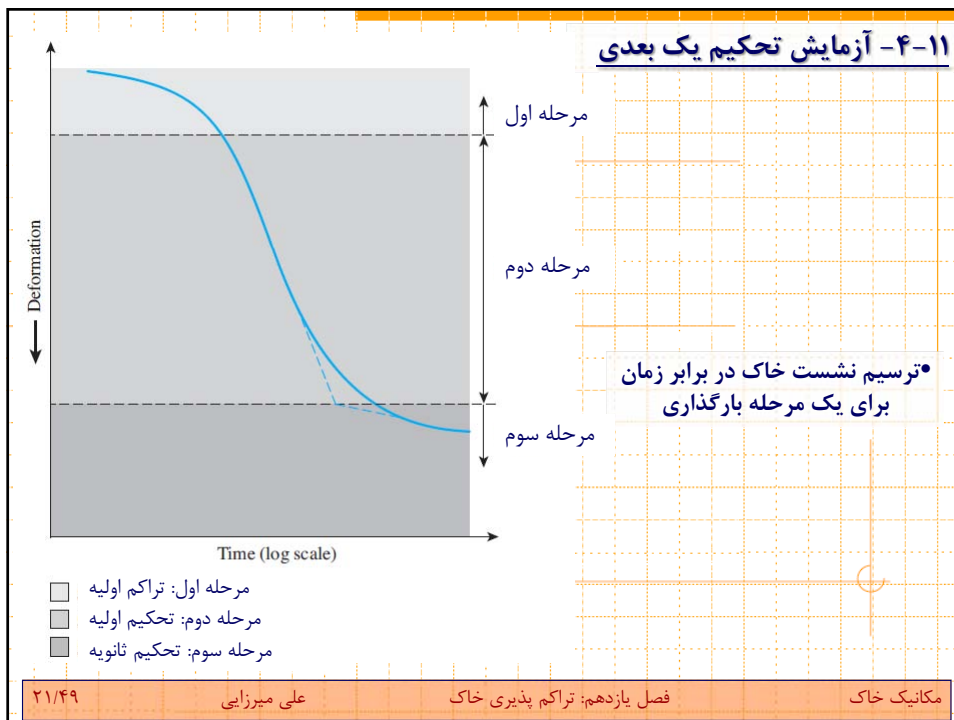
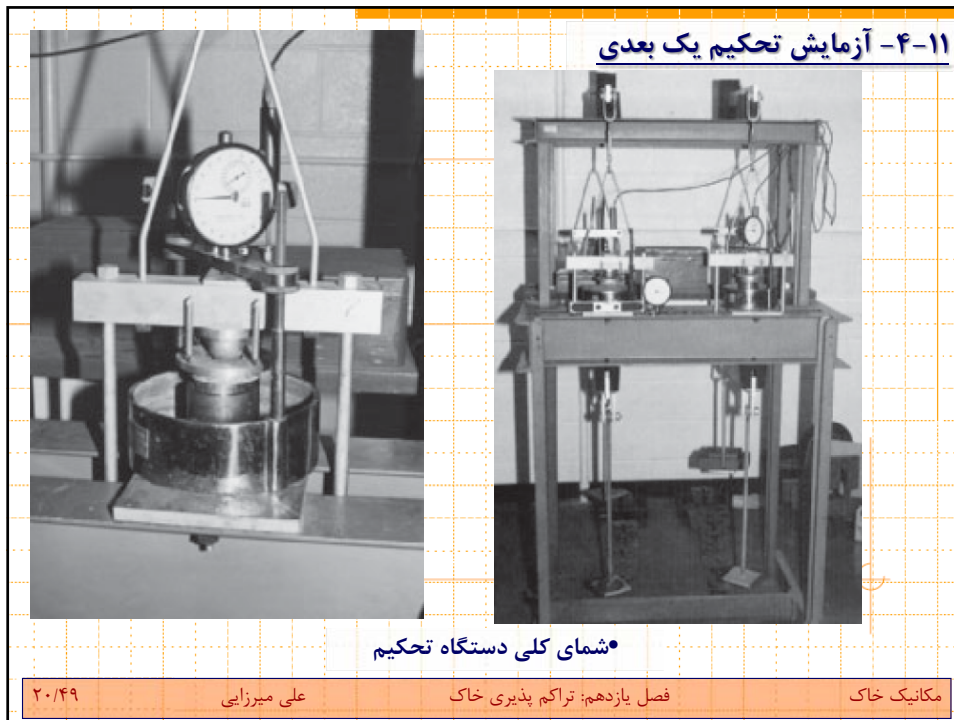
• شمای کلی دستگاه تحکیم

۱۹/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک



۵-۱۱- نمودار تغییرات نسبت تخلخل - فشار

- برای انجام محاسبات مربوط به تحکیم، به غیر از نمودارهای تغییر شکل- زمان، از نمودارهای تغییرات نسبت تخلخل در برابر فشار نیز استفاده می گردد.
- نمودارهای تغییر نسبت تخلخل در برابر فشار برای وضعیت انتهایی هر مرحله بارگذاری خاک ترسیم می شوند.
- در آزمایش تحکیم ترزاقی، قالب نمونه اطراف آن را محصور کرده و تنها امکان تغییر شکل های تحکیمی به واسطه تغییر ارتفاع نمونه خاک وجود دارد که اصطلاحاً به این وضعیت شرایط تحکیم KO اطلاق می گردد.
- میزان تغییرات نسبت تخلخل خاک را می توان با توجه به تغییرات ارتفاع نمونه خاک بیان نمود.

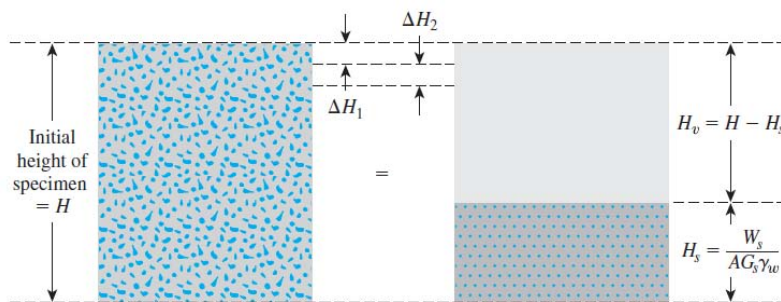
۲۲/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۵-۱۱- نمودار تغییرات نسبت تخلخل - فشار



Specimen area = A Void Solid

$$e_0 = \frac{V_v}{V_s} = \frac{H_v}{H_s} \frac{A}{A} = \frac{H_v}{H_s}$$

$$\Delta e_1 = \frac{\Delta H_1}{H_s}$$

$$e_1 = e_0 - \Delta e_1$$

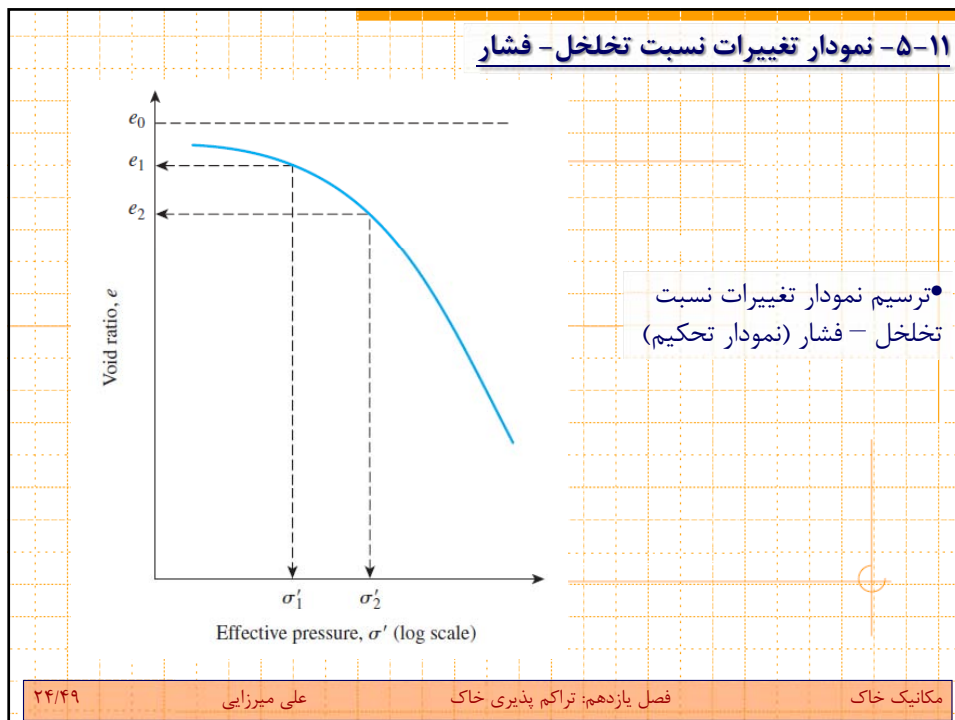
$$e_2 = e_1 - \frac{\Delta H_2}{H_s}$$

۲۳/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

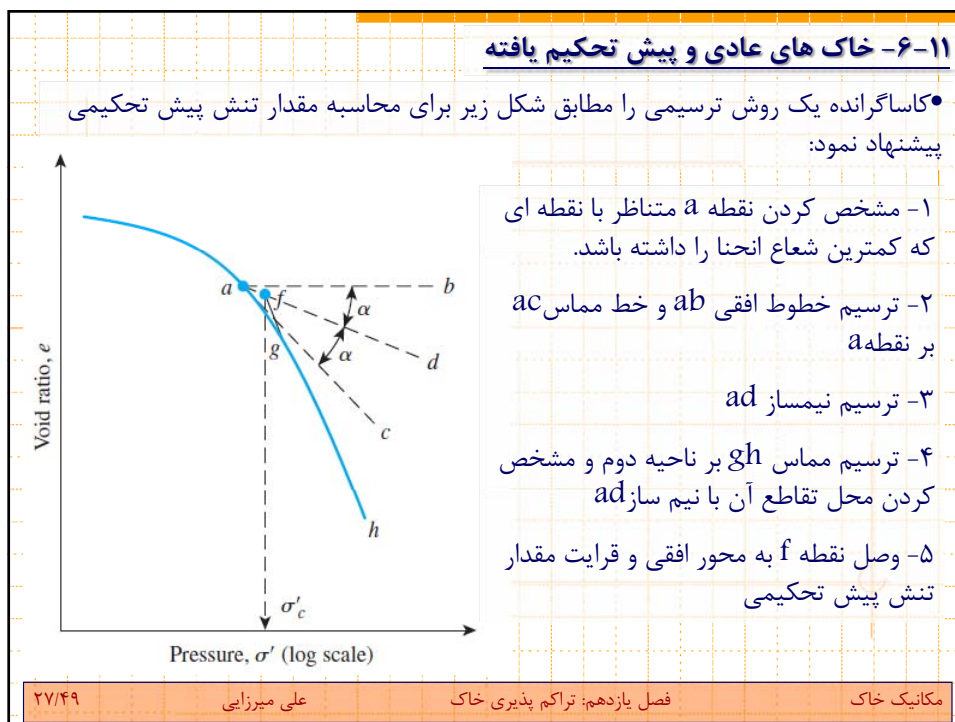
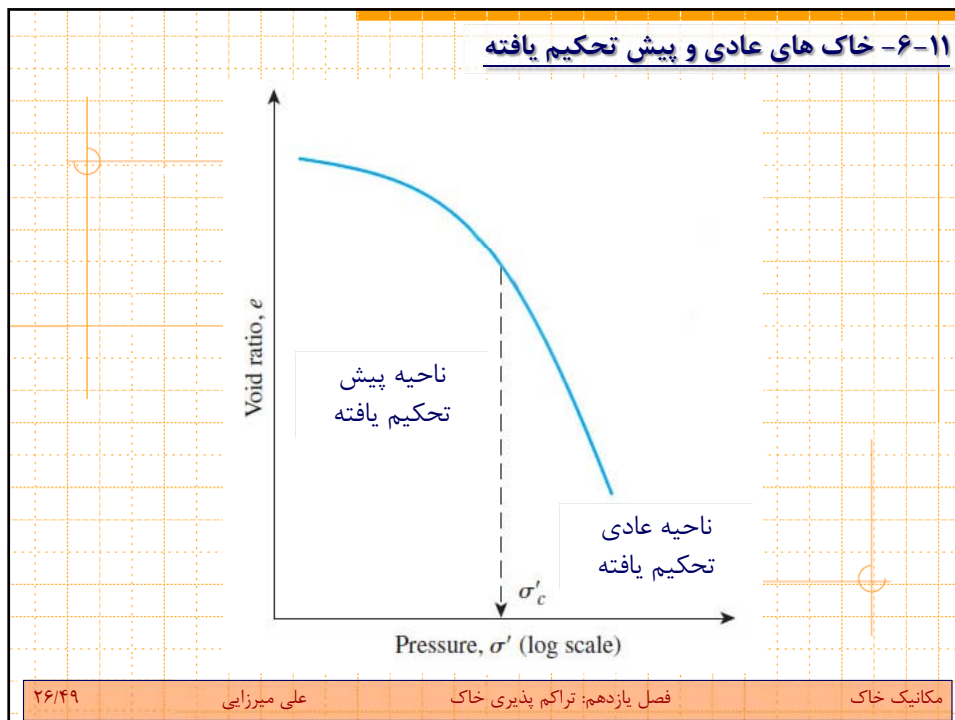
مکانیک خاک



۶-۱۱- خاک های عادی و پیش تحکیم یافته

- مطابق شکل های مشاهده شده، نمودار تغییرات نسبت تخلخل - فشار را می توان تقریباً متشکل از دو خط دانست. خط اول در نواحی با فشار کمتر و متناظر با نسبت تخلخل های بزرگتر بوده که دارای شیب ملایم تر و در ادامه آن خط دوم با شیب تند تر واقع شده است.
- فشار متناظر با محل تقاطع این دو خط را اصطلاحاً فشار پیش تحکیمی (Pre-consolidation Pressure) اطلاق می نماییم.
- مقدار فشار پیش تحکیمی بیشترین تنش و یا فشاری بوده که نمونه خاک در گذشته تا کنون آن را تجربه نموده و تحت اثر آن تحکیم پیدا کرده است.
- در صورتی که میزان تنش های موجود بر روی خاک از مقدار تنش پیش تحکیمی آن کمتر باشد، اصطلاحاً خاک در وضعیت پیش تحکیم یافته (Over-consolidated) (سمت چپ نمودار تحکیم) واقع شده و آن را پیش تحکیم یافته (OC) اطلاق می کنیم.
- در صورتی که میزان تنش های موجود بر روی خاک از مقدار تنش پیش تحکیمی آن بیشتر باشد، اصطلاحاً خاک در وضعیت عادی تحکیم یافته (Normally-consolidated) (سمت راست نمودار تحکیم) واقع شده و آن را عادی تحکیم یافته (NC) اطلاق می کنیم.

مکانیک خاک فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک علی میرزایی ۲۵/۴۹



۶-۱۱- خاک های عادی و پیش تحکیم یافته

- به نسبت تنش پیش تحکیمی به تنش های موجود اصطلاحاً "نسبت پیش تحکیمی" (Over-consolidation ratio) یک خاک اطلاق شده که به آن OCR خاک نیز اطلاق شده و با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$OCR = \frac{\sigma'_c}{\sigma'}$$

- مطابق رابطه روبرو، در خاک های عادی تحکیم یافته مقدار OCR کمتر از یک و در خاک های پیش تحکیم یافته مقدار OCR بزرگتر از یک می باشد.

- شیب خط اولیه مربوط به ناحیه پیش تحکیم یافتگی را در نمودار تحکیم اصطلاحاً "نشانه تورم" (Swelling Index) اطلاق نموده و آن را با C_s نشان می دهند.
- شیب خط مربوط به ناحیه عادی تحکیم یافتگی را نیز اصطلاحاً "نشانه تراکم" (Compression index) اطلاق نموده و آن را با C_c نشان می دهیم.

۲۸/۴۹

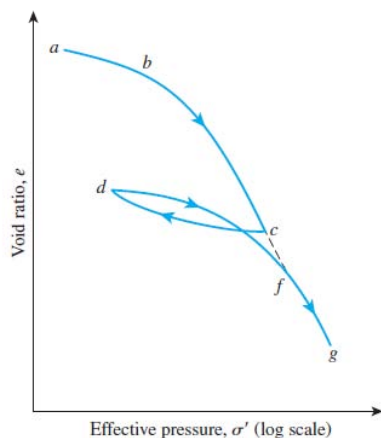
علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۶-۱۱- خاک های عادی و پیش تحکیم یافته

- رفتار خاک بر روی خط تورم برگشت پذیر بوده و به واسطه حذف بارها تمامی تغییر شکل های ایجاد شده برگشت پذیر می باشند.
- رفتار خاک بر روی خط تراکم برگشت ناپذیر بوده و به واسطه حرکت خاک بر روی این خط تغییر شکل های ماندگار درون خاک ایجاد می گردد.



- در صورتی که در هر نقطه بارهای وارده بر خاک حذف شده و عمل باربرداری انجام گردد، شیب خط باربرداری برابر شیب خط تورم می باشد.

- بعد از هر باربرداری، در صورتی که بارگذاری مجدد انجام پذیرد، منحنی بارگذاری خاک در این حالت موازی خط تورم حرکت نموده تا به ماکزیمم تنشی که خاک در گذشته تجربه نموده برسد.

۲۹/۴۹

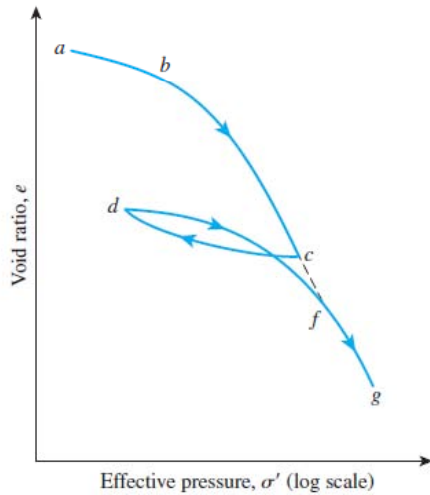
علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۶-۱۱- خاک های عادی و پیش تحکیم یافته

• در واقع به واسطه باربرداری و بارگذاری مجدد، مقدار تنش پیش تحکیمی خاک افزایش یافته و از نقطه b به نقطه c افزایش یافته است.



۳۰/۴۹

علی میرزایی

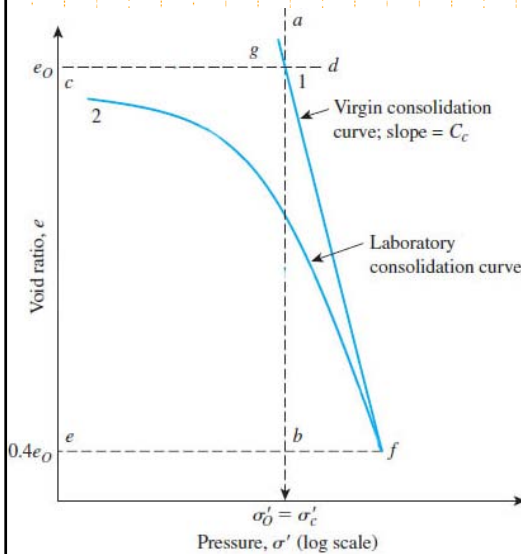
فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۷-۱۱- تاثیر دستخوردگی بر روی شکل نمودار تحکیم

• در خاک های بکر (خاکی که بسیار سست بوده و در تاریخچه عمر خود هیچ گونه سرباری را تحمل نکرده باشد)، نمودار تحکیم همواره یک خط با شیبی برابر نشانه تراکم می باشد (خط ۱)

• در خاک هایی که در یک نسبت تخلخل مفروض متراکم و بازسازی شده اند و یا برای نمونه های دست نخورده، منحنی تحکیم آزمایشگاهی آن ها شامل خط تورم و تراکم خواهد بود. (خط ۲)



۳۱/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۸-۱۱ - محاسبه نشست تحکیمی

$\Delta V = S_c A = V_{v_0} - V_{v_1} = \Delta V_v \rightarrow \Delta V_v = \Delta e V_s \rightarrow V_s = \frac{V_0}{1 + e_0} = \frac{AH}{1 + e_0}$

• رابطه بین تغییرات نسبت تخلخل و نشست

$S_c = H \frac{\Delta e}{1 + e_0} \leftarrow \Delta V = S_c A = \Delta e V_s = \frac{AH}{1 + e_0} \Delta e$

مکانیک خاک فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک علی میرزایی ۳۲/۴۹

۸-۱۱ - محاسبه نشست تحکیمی

• برای رس های عادی تحکیم یافته: $\Delta e = C_c [\log(\sigma'_o + \Delta\sigma') - \log \sigma'_o]$

$S_c = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o}\right)$

• برای رس های پیش تحکیم یافته: $\Delta e = C_s [\log(\sigma'_o + \Delta\sigma') - \log \sigma'_o]$

$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_o}\right) \quad \sigma'_o + \Delta\sigma' \leq \sigma'_c$

$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_c}\right) \quad \sigma'_o + \Delta\sigma' > \sigma'_c$

مکانیک خاک فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک علی میرزایی ۳۳/۴۹

۹-۱۱- نشانه تراکم

• برای یک خاک، بهترین راه محاسبه نشانه تراکم ترسیم نمودار تحکیم آن می باشد.

• اگرچه محققین روابط تجربی مختلفی را برای نشانه تراکم معرفی نموده اند:

• اسکمپتون (۱۹۴۴): برای رس های دست نخورده: $C_c = 0.009(LL - 10)$

• برای رس دست خورده: $C_c = 0.007(LL - 7)$

Equation	Reference	Region of applicability
$C_c = 0.007(LL - 7)$	Skempton (1944)	Remolded clays
$C_c = 0.01w_N$		Chicago clays
$C_c = 1.15(e_o - 0.27)$	Nishida (1956)	All clays
$C_c = 0.30(e_o - 0.27)$	Hough (1957)	Inorganic cohesive soil: silt, silty clay, clay
$C_c = 0.0115w_N$		Organic soils, peats, organic silt, and clay
$C_c = 0.0046(LL - 9)$		Brazilian clays
$C_c = 0.75(e_o - 0.5)$		Soils with low plasticity
$C_c = 0.208e_o + 0.0083$		Chicago clays
$C_c = 0.156e_o + 0.0107$		All clays

*After Rendon-Herrero, 1980. With permission from ASCE.

Note: e_o = in situ void ratio; w_N = in situ water content.

۳۴/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۱۰-۱۱- نشانه تورم

• برای یک خاک، بهترین راه محاسبه نشانه تورم ترسیم نمودار تحکیم آن می باشد.

• نشانه تورم یک خاک معمولاً کوچکتر از نشانه تراکم بوده و بین ۱/۵ تا ۱/۱۰ نشانه تراکم می باشد:

$$C_s \approx \frac{1}{5} \text{ to } \frac{1}{10} C_c$$

Soil	Liquid limit	Plastic limit	Compression index, C_c	Swell index, C_s
Boston blue clay	41	20	0.35	0.07
Chicago clay	60	20	0.4	0.07
Ft. Gordon clay, Georgia	51	26	0.12	—
New Orleans clay	80	25	0.3	0.05
Montana clay	60	28	0.21	0.05

۳۵/۴۹

علی میرزایی

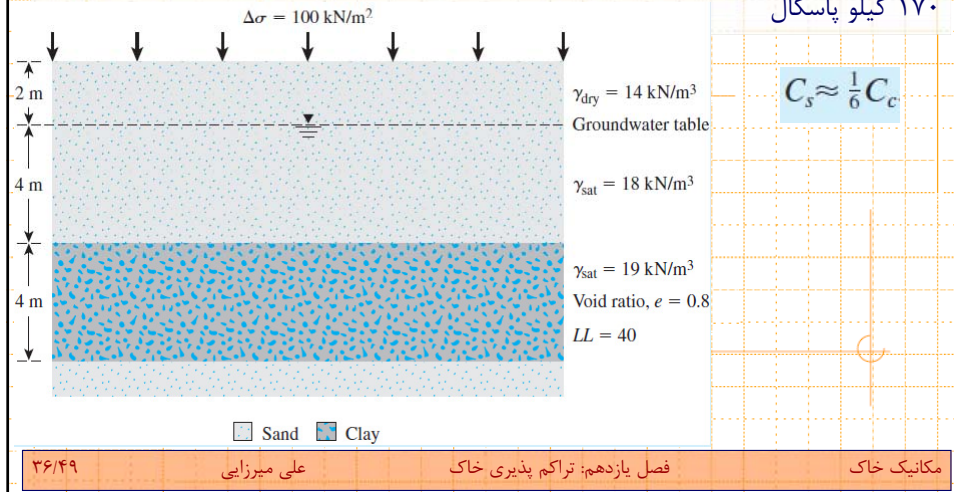
فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۱۱-۱۰- نشانه تورم

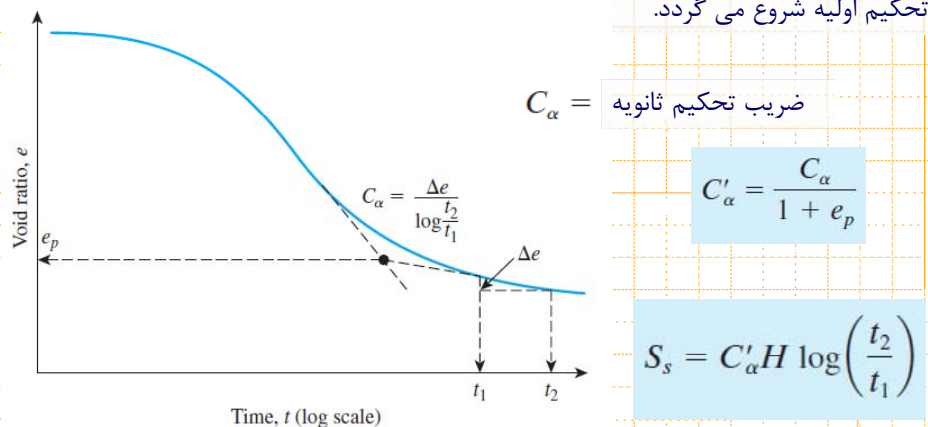
• مثال: در شکل زیر مطلوبست محاسبه میزان نشست تحکیمی لایه رسی به واسطه اعمال بار ۱۰۰ کیلونیوتنی در سطح در شرایط:

۱) رس عادی تحکیم یافته (۲ فشار پیش تحکیمی ۱۹۰ کیلو پاسکال) فشار پیش تحکیمی ۱۷۰ کیلو پاسکال



۱۱-۱۱- تحکیم ثانویه

• تحکیم ثانویه به واسطه تغییر بافت و آرایش دانه های خاک های رسی رخ داده و بعد از اتمام تحکیم اولیه شروع می گردد.



$e_p =$ نسبت تخلخل در انتهای تحکیم اولیه
 $H =$ ارتفاع نمونه خاک

نشست تحکیمی
 ثانویه

۱۱-۱۲- نرخ زمانی تحکیم

• فرایند تحکیم شامل زایل شدن اضافه فشارهای آب حفره ای از درون توده خاک با گذشت زمان می باشد.

• ترزاقی رابطه بین زمان سپری شده از تحکیم و میزان نشست های ایجاد شده را با در نظر گرفتن یک سری فرضیات همچون ۱- تراکم ناپذیری آب، ۲- اشباع کامل خاک، ۳- صحت قانون دارسی، ۴- تراکم ناپذیری دانه های خاک، ۵- همگن بودن ترکیب آب و خاک و ۶- جهت جریان آب در امتداد نشست ها، به صورت زیر تحلیل نمود:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

u : اضافه فشارهای آب حفره ای ایجاد شده

c_v : ضریب تحکیم

$$c_v = \frac{k}{\gamma_w m_v} = \frac{k}{\gamma_w \left(\frac{a_v}{1 + e_o} \right)}$$

k : ضریب نفوذپذیری

a_v : ضریب تراکم پذیری

m_v : ضریب تراکم پذیری حجمی

۳۸/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۱۱-۱۲- نرخ زمانی تحکیم

• جواب معادله تحکیم ترزاقی را می توان به صورت یک سری توانی به صورت زیر بیان نمود:

$$u = \sum_{m=0}^{m=\infty} \left[\frac{2u_o}{M} \sin\left(\frac{Mz}{H_{dr}}\right) \right] e^{-M^2 T_v}$$

m = یک عدد صحیح

$M = (\pi/2)(2m + 1)$

u_o = اضافه فشار آب حفره ای اولیه ایجاد شده

$$T_v = \frac{c_v t}{H_{dr}^2} = \text{عامل زمان}$$

H_{dr} : بیشترین طول زهکشی خاک

• میزان تحکیم (نشست) انجام شده در عمق دلخواه Z را می توان به صورت تابعی از اضافه فشارهای آب حفره ای بیان نمود:

$$U_z = \frac{u_o - u_z}{u_o} = 1 - \frac{u_z}{u_o}$$

u_z : اضافه فشار آب حفره ای در عمق Z در زمان t

۳۹/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۱۱-۱۲- نرخ زمانی تحکیم

• درجه تحکیم بیانگر میزان تحکیم و یا میزان نشست تحکیمی انجام شده می باشد.

• مقدار متوسط درجه تحکیم را نیز می توان برابر نشست تحکیمی رخ داده تا زمان t به نشست کل تحکیمی معرفی نمود:

$$U = \frac{S_{c(t)}}{S_c} = 1 - \frac{\left(\frac{1}{2H_{dr}}\right) \int_0^{2H_{dr}} u_z dz}{u_o}$$

$U =$ متوسط درجه تحکیم
 $S_{c(t)} =$ نشست تحکیمی در زمان t
 $S_c =$ نشست تحکیمی کل

• مقدار متوسط درجه تحکیم را نیز می توان با توجه به جایگذاری مقادیر اضافه فشار آب حفره ای در انتگرال فوق به صورت زیر بیان نمود:

$$U = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 T_v}$$

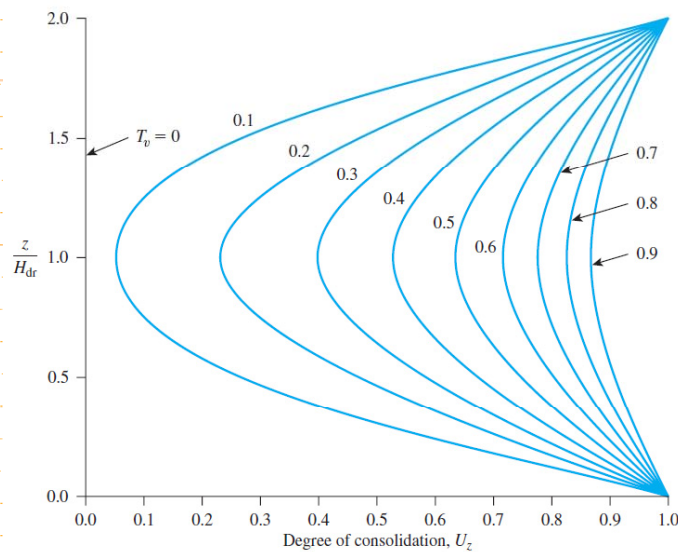
۴۰/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۱۱-۱۲- نرخ زمانی تحکیم



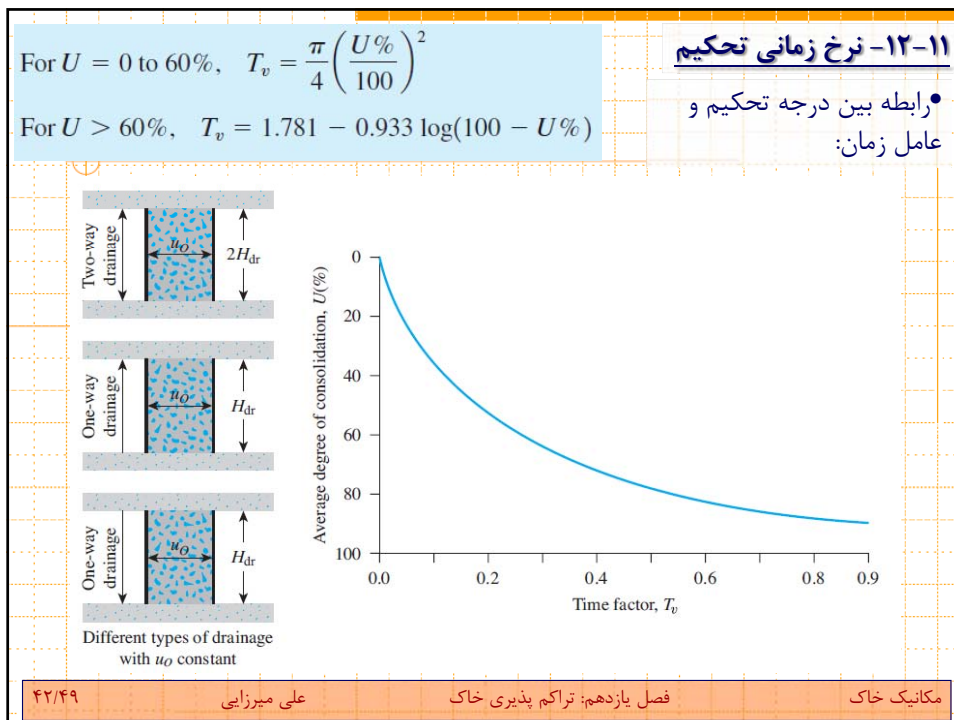
• تغییرات درجه تحکیم با عمق و عامل زمان

۴۱/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک



۱۱-۱۲- نرخ زمانی تحکیم

$U(\%)$	T_v	$U(\%)$	T_v	$U(\%)$	T_v	$U(\%)$	T_v
0	0	26	0.0531	52	0.212	78	0.529
1	0.00008	27	0.0572	53	0.221	79	0.547
2	0.0003	28	0.0615	54	0.230	80	0.567
3	0.00071	29	0.0660	55	0.239	81	0.588
4	0.00126	30	0.0707	56	0.248	82	0.610
5	0.00196	31	0.0754	57	0.257	83	0.633
6	0.00283	32	0.0803	58	0.267	84	0.658
7	0.00385	33	0.0855	59	0.276	85	0.684
8	0.00502	34	0.0907	60	0.286	86	0.712
9	0.00636	35	0.0962	61	0.297	87	0.742
10	0.00785	36	0.102	62	0.307	88	0.774
11	0.0095	37	0.107	63	0.318	89	0.809
12	0.0113	38	0.113	64	0.329	90	0.848
13	0.0133	39	0.119	65	0.304	91	0.891
14	0.0154	40	0.126	66	0.352	92	0.938
15	0.0177	41	0.132	67	0.364	93	0.993
16	0.0201	42	0.138	68	0.377	94	1.055
17	0.0227	43	0.145	69	0.390	95	1.129
18	0.0254	44	0.152	70	0.403	96	1.219
19	0.0283	45	0.159	71	0.417	97	1.336
20	0.0314	46	0.166	72	0.431	98	1.500
21	0.0346	47	0.173	73	0.446	99	1.781
22	0.0380	48	0.181	74	0.461	100	∞
23	0.0415	49	0.188	75	0.477		
24	0.0452	50	0.197	76	0.493		
25	0.0491	51	0.204	77	0.511		

۴۳/۴۹ علی میرزایی فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک مکانیک خاک

۱۱-۱۲- نرخ زمانی تحکیم

• مثال: در صورتی که ۵۰ درصد نشست تحکیمی یک خاک رسی به ضخامت ۲۵ میلی متر تحت اثر شرایط زهکشی دو طرفه در بازه زمانی ۲ دقیقه و ۲۰ ثانیه رخ دهد، مطلوبست محاسبه زمان لازم برای تحکیم ۵۰ درصد همان خاک رسی در طبیعت به ضخامت ۳ متر واقع بر روی یک تخته سنگ ناتراوا و نیز زمان لازم برای رخداد ۳۰ درصد تحکیم خاک در طبیعت.

• مثال: مطلوبست محاسبه ضریب تحکیم یک خاک رسی به ضخامت ۳ متر در حالت زهکشی دو طرفه در صورتی که ۹۰ درصد تحکیم در ۷۵ روز اتفاق افتد.

• مثال: برای یک خاک رسی عادی تحکیم یافته تحت اثر زهکشی دو طرفه، اطلاعات زیر در دست می باشد. مطلوبست محاسبه:

- $\sigma'_o = 3000 \text{ lb/ft}^2$, $e = e_o = 1.1$
- $\sigma'_o + \Delta\sigma' = 6000 \text{ lb/ft}^2$, $e = 0.9$
- Thickness of clay specimen = 1 in.
- Time for 50% consolidation = 2 min

• ضریب نفوذپذیری خاک رسی

• زمان لازم برای وقوع ۶۰ درصد

تحکیم برای همین خاک به ضخامت ۶ فوت تحت اثر زهکشی دو طرفه.

۴۴/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۱۱-۱۳- ضریب تحکیم

• ضریب تحکیم خاک ها تابعی از حد روانی آن ها بوده و در صورتی که حد روانی خاک ها افزایش یابد، مقدار ضریب تحکیم آن ها کاهش می یابد.

• ضریب تحکیم را با استفاده از آزمایش تحکیم یک بعدی ترزاقی می توان تعیین نمود.

• دو روش مشهور برای محاسبه ضریب تحکیم از نتایج آزمایش تحکیم یک بعدی ترزاقی وجود داشته که شامل روش لگاریتم زمانی پیشنهادی کاساگرانده و روش جذر زمانی پیشنهادی تیلور می باشند.

الف) روش لگاریتم زمان:

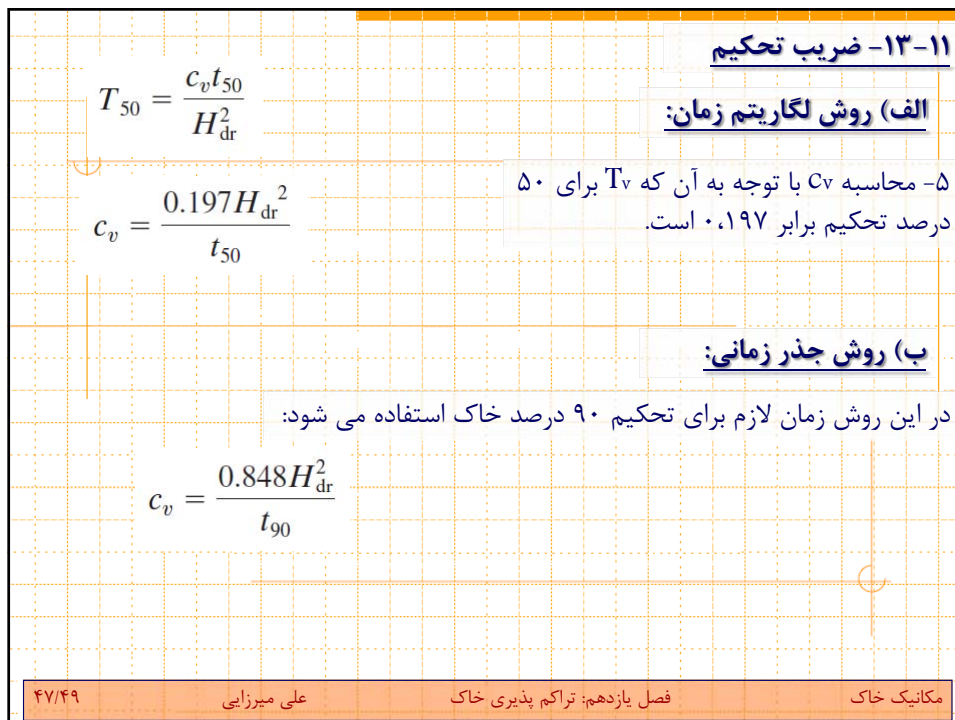
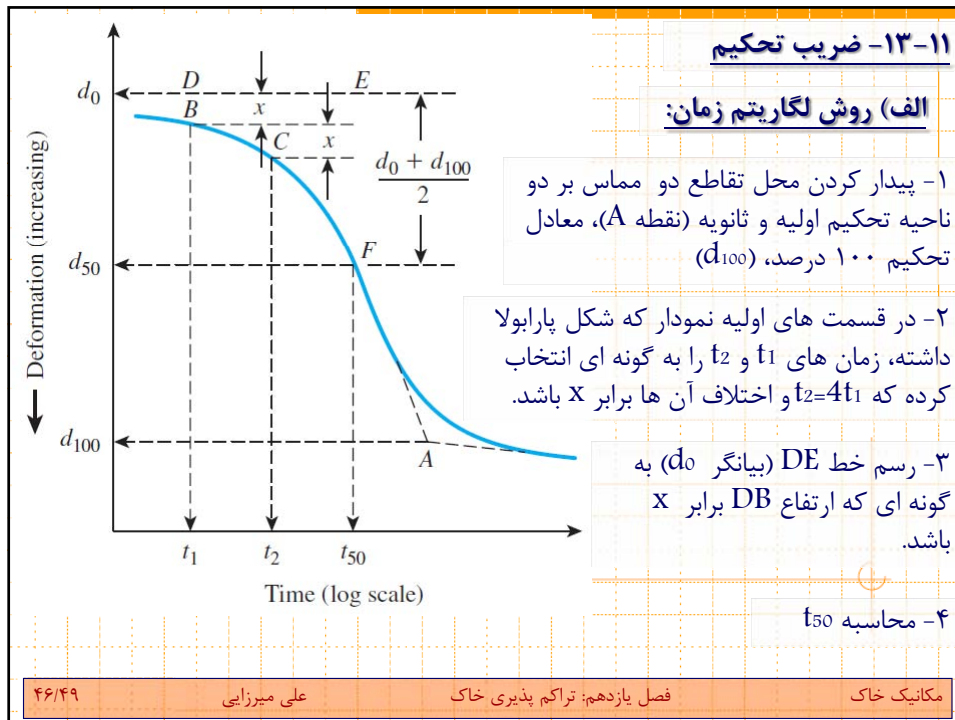
• در این روش ابتدا نمودار تغییر شکل- زمان را برای یک مرحله آزمایش تحکیم ترسیم نموده و برای محاسبه ضریب تحکیم به صورت زیر عمل می کنیم:

۴۵/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک



۱۴-۱۱- محاسبه نشست تحکیمی در زیر پی

- برای محاسبه نشست تحکیمی یک خاک تحت اثر تنش های وارده در سطح زمین، از مقدار متوسط تنش های ایجاد شده در لایه مفروض استفاده می شود:

$$\Delta\sigma'_{av} = \frac{\Delta\sigma'_t + 4\Delta\sigma'_m + \Delta\sigma'_b}{6}$$

$\Delta\sigma'_t$: تنش های ایجاد شده در بالای لایه

$\Delta\sigma'_m$: تنش های ایجاد شده در مرکز لایه

$\Delta\sigma'_b$: تنش های ایجاد شده در زیر لایه

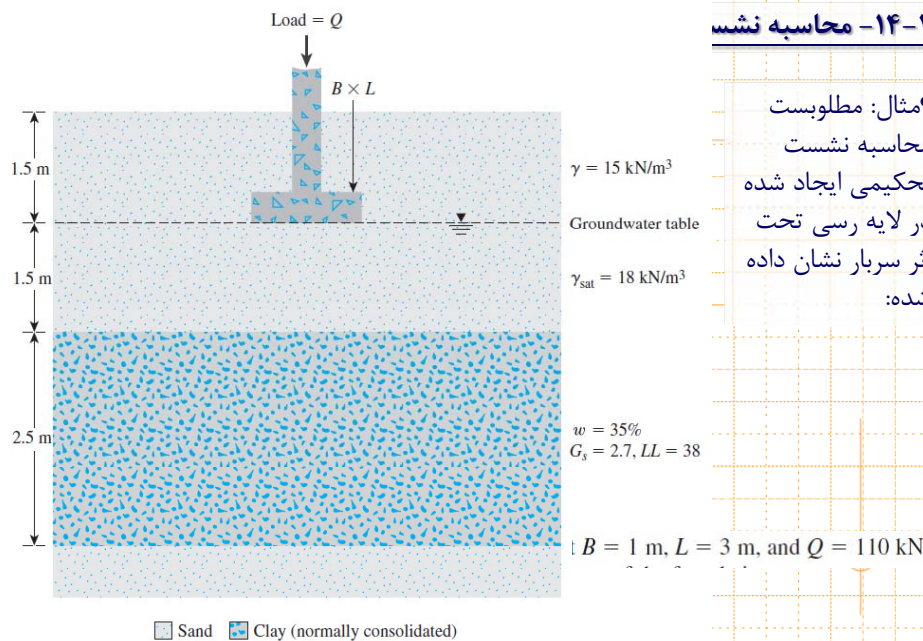
۴۸/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

۱۴-۱۱- محاسبه نشست



۴۹/۴۹

علی میرزایی

فصل یازدهم: تراکم پذیری خاک

مکانیک خاک

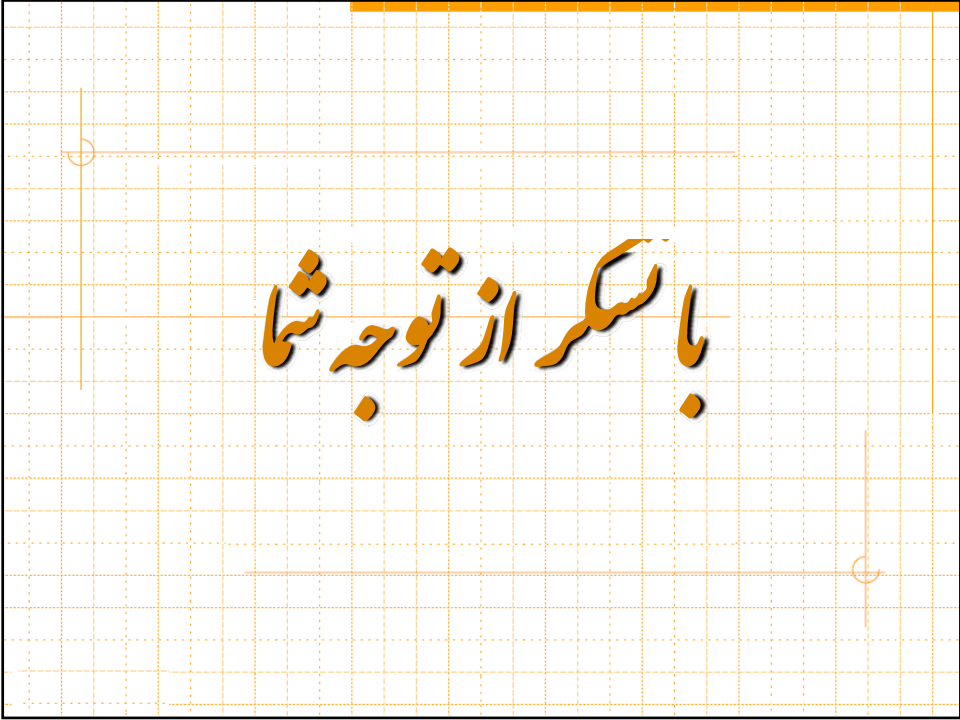


Table 11.1 Variation of F_1 with m' and n'

n'	m'									
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.25	0.014	0.013	0.012	0.011	0.011	0.011	0.010	0.010	0.010	0.010
0.50	0.049	0.046	0.044	0.042	0.041	0.040	0.038	0.038	0.037	0.037
0.75	0.095	0.090	0.087	0.084	0.082	0.080	0.077	0.076	0.074	0.074
1.00	0.142	0.138	0.134	0.130	0.127	0.125	0.121	0.118	0.116	0.115
1.25	0.186	0.183	0.179	0.176	0.173	0.170	0.165	0.161	0.158	0.157
1.50	0.224	0.224	0.222	0.219	0.216	0.213	0.207	0.203	0.199	0.197
1.75	0.257	0.259	0.259	0.258	0.255	0.253	0.247	0.242	0.238	0.235
2.00	0.285	0.290	0.292	0.292	0.291	0.289	0.284	0.279	0.275	0.271
2.25	0.309	0.317	0.321	0.323	0.323	0.322	0.317	0.313	0.308	0.305
2.50	0.330	0.341	0.347	0.350	0.351	0.351	0.348	0.344	0.340	0.336
2.75	0.348	0.361	0.369	0.374	0.377	0.378	0.377	0.373	0.369	0.365
3.00	0.363	0.379	0.389	0.396	0.400	0.402	0.402	0.400	0.396	0.392
3.25	0.376	0.394	0.406	0.415	0.420	0.423	0.426	0.424	0.421	0.418
3.50	0.388	0.408	0.422	0.431	0.438	0.442	0.447	0.447	0.444	0.441
3.75	0.399	0.420	0.436	0.447	0.454	0.460	0.467	0.458	0.466	0.464
4.00	0.408	0.431	0.448	0.460	0.469	0.476	0.484	0.487	0.486	0.484
4.25	0.417	0.440	0.458	0.472	0.481	0.484	0.495	0.514	0.515	0.515
4.50	0.424	0.450	0.469	0.484	0.495	0.503	0.516	0.521	0.522	0.522
4.75	0.431	0.458	0.478	0.494	0.506	0.515	0.530	0.536	0.539	0.539
5.00	0.437	0.465	0.487	0.503	0.516	0.526	0.543	0.551	0.554	0.554
5.25	0.443	0.472	0.494	0.512	0.526	0.537	0.555	0.564	0.568	0.569
5.50	0.448	0.478	0.501	0.520	0.534	0.546	0.566	0.576	0.581	0.584
5.75	0.453	0.483	0.508	0.527	0.542	0.555	0.576	0.588	0.594	0.597
6.00	0.457	0.489	0.514	0.534	0.550	0.563	0.585	0.598	0.606	0.609
6.25	0.461	0.493	0.519	0.540	0.557	0.570	0.594	0.609	0.617	0.621
6.50	0.465	0.498	0.524	0.546	0.563	0.577	0.603	0.618	0.627	0.632
6.75	0.468	0.502	0.529	0.551	0.569	0.584	0.610	0.627	0.637	0.643
7.00	0.471	0.506	0.533	0.556	0.575	0.590	0.618	0.635	0.646	0.653
7.25	0.474	0.509	0.538	0.561	0.580	0.596	0.625	0.643	0.655	0.662
7.50	0.477	0.513	0.541	0.565	0.585	0.601	0.631	0.650	0.663	0.671
7.75	0.480	0.516	0.545	0.569	0.589	0.606	0.637	0.658	0.671	0.680
8.00	0.482	0.519	0.549	0.573	0.594	0.611	0.643	0.664	0.678	0.688
8.25	0.485	0.522	0.552	0.577	0.598	0.615	0.648	0.670	0.685	0.695
8.50	0.487	0.524	0.555	0.580	0.601	0.619	0.653	0.676	0.692	0.703
8.75	0.489	0.527	0.558	0.583	0.605	0.623	0.658	0.682	0.698	0.710
9.00	0.491	0.529	0.560	0.587	0.609	0.627	0.663	0.687	0.705	0.716
9.25	0.493	0.531	0.563	0.589	0.612	0.631	0.667	0.693	0.710	0.723
9.50	0.495	0.533	0.565	0.592	0.615	0.634	0.671	0.697	0.716	0.719
9.75	0.496	0.536	0.568	0.595	0.618	0.638	0.675	0.702	0.721	0.735
10.00	0.498	0.537	0.570	0.597	0.621	0.641	0.679	0.707	0.726	0.740
20.00	0.529	0.575	0.614	0.647	0.677	0.702	0.756	0.797	0.830	0.858
50.00	0.548	0.598	0.640	0.678	0.711	0.740	0.803	0.853	0.895	0.931
100.00	0.555	0.605	0.649	0.688	0.722	0.753	0.819	0.872	0.918	0.956

Table 11.1 (continued)




n'	m'									
	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	25.0	50.0	100.0
0.25	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
0.50	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036
0.75	0.073	0.073	0.072	0.072	0.072	0.072	0.071	0.071	0.071	0.071
1.00	0.114	0.113	0.112	0.112	0.112	0.111	0.111	0.110	0.110	0.110
1.25	0.155	0.154	0.153	0.152	0.152	0.151	0.151	0.150	0.150	0.150
1.50	0.195	0.194	0.192	0.191	0.190	0.190	0.189	0.188	0.188	0.188
1.75	0.233	0.232	0.229	0.228	0.227	0.226	0.225	0.223	0.223	0.223
2.00	0.269	0.267	0.264	0.262	0.261	0.260	0.259	0.257	0.256	0.256
2.25	0.302	0.300	0.296	0.294	0.293	0.291	0.291	0.287	0.287	0.287
2.50	0.333	0.331	0.327	0.324	0.322	0.321	0.320	0.316	0.315	0.315
2.75	0.362	0.359	0.355	0.352	0.350	0.348	0.347	0.343	0.342	0.342
3.00	0.389	0.386	0.382	0.378	0.376	0.374	0.373	0.368	0.367	0.367
3.25	0.415	0.412	0.407	0.403	0.401	0.399	0.397	0.391	0.390	0.390
3.50	0.438	0.435	0.430	0.427	0.424	0.421	0.420	0.413	0.412	0.411
3.75	0.461	0.458	0.453	0.449	0.446	0.443	0.441	0.433	0.432	0.432
4.00	0.482	0.479	0.474	0.470	0.466	0.464	0.462	0.453	0.451	0.451
4.25	0.516	0.496	0.484	0.473	0.471	0.471	0.470	0.468	0.462	0.460
4.50	0.520	0.517	0.513	0.508	0.505	0.502	0.499	0.489	0.487	0.487
4.75	0.537	0.535	0.530	0.526	0.523	0.519	0.517	0.506	0.504	0.503
5.00	0.554	0.552	0.548	0.543	0.540	0.536	0.534	0.522	0.519	0.519
5.25	0.569	0.568	0.564	0.560	0.556	0.553	0.550	0.537	0.534	0.534
5.50	0.584	0.583	0.579	0.575	0.571	0.568	0.585	0.551	0.549	0.548
5.75	0.597	0.597	0.594	0.590	0.586	0.583	0.580	0.565	0.583	0.562
6.00	0.611	0.610	0.608	0.604	0.601	0.598	0.595	0.579	0.576	0.575
6.25	0.623	0.623	0.621	0.618	0.615	0.611	0.608	0.592	0.589	0.588
6.50	0.635	0.635	0.634	0.631	0.628	0.625	0.622	0.605	0.601	0.600
6.75	0.646	0.647	0.646	0.644	0.641	0.637	0.634	0.617	0.613	0.612
7.00	0.656	0.658	0.658	0.656	0.653	0.650	0.647	0.628	0.624	0.623
7.25	0.666	0.669	0.669	0.668	0.665	0.662	0.659	0.640	0.635	0.634
7.50	0.676	0.679	0.680	0.679	0.676	0.673	0.670	0.651	0.646	0.645
7.75	0.685	0.688	0.690	0.689	0.687	0.684	0.681	0.661	0.656	0.655
8.00	0.694	0.697	0.700	0.700	0.698	0.695	0.692	0.672	0.666	0.665
8.25	0.702	0.706	0.710	0.710	0.708	0.705	0.703	0.682	0.676	0.675
8.50	0.710	0.714	0.719	0.719	0.718	0.715	0.713	0.692	0.686	0.684
8.75	0.717	0.722	0.727	0.728	0.727	0.725	0.723	0.701	0.695	0.693
9.00	0.725	0.730	0.736	0.737	0.736	0.735	0.732	0.710	0.704	0.702
9.25	0.731	0.737	0.744	0.746	0.745	0.744	0.742	0.719	0.713	0.711
9.50	0.738	0.744	0.752	0.754	0.754	0.753	0.751	0.728	0.721	0.719
9.75	0.744	0.751	0.759	0.762	0.762	0.761	0.759	0.737	0.729	0.727
10.00	0.750	0.758	0.766	0.770	0.770	0.770	0.768	0.745	0.738	0.735
20.00	0.878	0.896	0.925	0.945	0.959	0.969	0.977	0.982	0.965	0.957
50.00	0.962	0.989	1.034	1.070	1.100	1.125	1.146	1.265	1.279	1.261
100.00	0.990	1.020	1.072	1.114	1.150	1.182	1.209	1.408	1.489	1.499


Table 11.2 Variation of F_2 with m' and n'

n'	m'									
	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
0.25	0.049	0.050	0.051	0.051	0.051	0.052	0.052	0.052	0.052	0.052
0.50	0.074	0.077	0.080	0.081	0.083	0.084	0.086	0.086	0.0878	0.087
0.75	0.083	0.089	0.093	0.097	0.099	0.101	0.104	0.106	0.107	0.108
1.00	0.083	0.091	0.098	0.102	0.106	0.109	0.114	0.117	0.119	0.120
1.25	0.080	0.089	0.096	0.102	0.107	0.111	0.118	0.122	0.125	0.127
1.50	0.075	0.084	0.093	0.099	0.105	0.110	0.118	0.124	0.128	0.130
1.75	0.069	0.079	0.088	0.095	0.101	0.107	0.117	0.123	0.128	0.131
2.00	0.064	0.074	0.083	0.090	0.097	0.102	0.114	0.121	0.127	0.131
2.25	0.059	0.069	0.077	0.085	0.092	0.098	0.110	0.119	0.125	0.130
2.50	0.055	0.064	0.073	0.080	0.087	0.093	0.106	0.115	0.122	0.127
2.75	0.051	0.060	0.068	0.076	0.082	0.089	0.102	0.111	0.119	0.125
3.00	0.048	0.056	0.064	0.071	0.078	0.084	0.097	0.108	0.116	0.122
3.25	0.045	0.053	0.060	0.067	0.074	0.080	0.093	0.104	0.112	0.119
3.50	0.042	0.050	0.057	0.064	0.070	0.076	0.089	0.100	0.109	0.116
3.75	0.040	0.047	0.054	0.060	0.067	0.073	0.086	0.096	0.105	0.113
4.00	0.037	0.044	0.051	0.057	0.063	0.069	0.082	0.093	0.102	0.110
4.25	0.036	0.042	0.049	0.055	0.061	0.066	0.079	0.090	0.099	0.107
4.50	0.034	0.040	0.046	0.052	0.058	0.063	0.076	0.086	0.096	0.104
4.75	0.032	0.038	0.044	0.050	0.055	0.061	0.073	0.083	0.093	0.101
5.00	0.031	0.036	0.042	0.048	0.053	0.058	0.070	0.080	0.090	0.098
5.25	0.029	0.035	0.040	0.046	0.051	0.056	0.067	0.078	0.087	0.095
5.50	0.028	0.033	0.039	0.044	0.049	0.054	0.065	0.075	0.084	0.092
5.75	0.027	0.032	0.037	0.042	0.047	0.052	0.063	0.073	0.082	0.090
6.00	0.026	0.031	0.036	0.040	0.045	0.050	0.060	0.070	0.079	0.087
6.25	0.025	0.030	0.034	0.039	0.044	0.048	0.058	0.068	0.077	0.085
6.50	0.024	0.029	0.033	0.038	0.042	0.046	0.056	0.066	0.075	0.083
6.75	0.023	0.028	0.032	0.036	0.041	0.045	0.055	0.064	0.073	0.080
7.00	0.022	0.027	0.031	0.035	0.039	0.043	0.053	0.062	0.071	0.078
7.25	0.022	0.026	0.030	0.034	0.038	0.042	0.051	0.060	0.069	0.076
7.50	0.021	0.025	0.029	0.033	0.037	0.041	0.050	0.059	0.067	0.074
7.75	0.020	0.024	0.028	0.032	0.036	0.039	0.048	0.057	0.065	0.072
8.00	0.020	0.023	0.027	0.031	0.035	0.038	0.047	0.055	0.063	0.071
8.25	0.019	0.023	0.026	0.030	0.034	0.037	0.046	0.054	0.062	0.069
8.50	0.018	0.022	0.026	0.029	0.033	0.036	0.045	0.053	0.060	0.067
8.75	0.018	0.021	0.025	0.028	0.032	0.035	0.043	0.051	0.059	0.066
9.00	0.017	0.021	0.024	0.028	0.031	0.034	0.042	0.050	0.057	0.064
9.25	0.017	0.020	0.024	0.027	0.030	0.033	0.041	0.049	0.056	0.063
9.50	0.017	0.020	0.023	0.026	0.029	0.033	0.040	0.048	0.055	0.061
9.75	0.016	0.019	0.023	0.026	0.029	0.032	0.039	0.047	0.054	0.060
10.00	0.016	0.019	0.022	0.025	0.028	0.031	0.038	0.046	0.052	0.059
20.00	0.008	0.010	0.011	0.013	0.014	0.016	0.020	0.024	0.027	0.031
50.00	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006	0.006	0.008	0.010	0.011	0.013
100.00	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.005	0.006	0.006

Table 11.2 (continued)

n'	m'									
	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	25.0	50.0	100.0
0.25	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053	0.053
0.50	0.087	0.087	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088
0.75	0.109	0.109	0.109	0.110	0.110	0.110	0.110	0.111	0.111	0.111
1.00	0.121	0.122	0.123	0.123	0.124	0.124	0.124	0.125	0.125	0.125
1.25	0.128	0.130	0.131	0.132	0.132	0.133	0.133	0.134	0.134	0.134
1.50	0.132	0.134	0.136	0.137	0.138	0.138	0.139	0.140	0.140	0.140
1.75	0.134	0.136	0.138	0.140	0.141	0.142	0.142	0.144	0.144	0.145
2.00	0.134	0.136	0.139	0.141	0.143	0.144	0.145	0.147	0.147	0.148
2.25	0.133	0.136	0.140	0.142	0.144	0.145	0.146	0.149	0.150	0.150
2.50	0.132	0.135	0.139	0.142	0.144	0.146	0.147	0.151	0.151	0.151
2.75	0.130	0.133	0.138	0.142	0.144	0.146	0.147	0.152	0.152	0.153
3.00	0.127	0.131	0.137	0.141	0.144	0.145	0.147	0.152	0.153	0.154
3.25	0.125	0.129	0.135	0.140	0.143	0.145	0.147	0.153	0.154	0.154
3.50	0.122	0.126	0.133	0.138	0.142	0.144	0.146	0.153	0.155	0.155
3.75	0.119	0.124	0.131	0.137	0.141	0.143	0.145	0.154	0.155	0.155
4.00	0.116	0.121	0.129	0.135	0.139	0.142	0.145	0.154	0.155	0.156
4.25	0.113	0.119	0.127	0.133	0.138	0.141	0.144	0.154	0.156	0.156
4.50	0.110	0.116	0.125	0.131	0.136	0.140	0.143	0.154	0.156	0.156
4.75	0.107	0.113	0.123	0.130	0.135	0.139	0.142	0.154	0.156	0.157
5.00	0.105	0.111	0.120	0.128	0.133	0.137	0.140	0.154	0.156	0.157
5.25	0.102	0.108	0.118	0.126	0.131	0.136	0.139	0.154	0.156	0.157
5.50	0.099	0.106	0.116	0.124	0.130	0.134	0.138	0.154	0.156	0.157
5.75	0.097	0.103	0.113	0.122	0.128	0.133	0.136	0.154	0.157	0.157
6.00	0.094	0.101	0.111	0.120	0.126	0.131	0.135	0.153	0.157	0.157
6.25	0.092	0.098	0.109	0.118	0.124	0.129	0.134	0.153	0.157	0.158
6.50	0.090	0.096	0.107	0.116	0.122	0.128	0.132	0.153	0.157	0.158
6.75	0.087	0.094	0.105	0.114	0.121	0.126	0.131	0.153	0.157	0.158
7.00	0.085	0.092	0.103	0.112	0.119	0.125	0.129	0.152	0.157	0.158
7.25	0.083	0.090	0.101	0.110	0.117	0.123	0.128	0.152	0.157	0.158
7.50	0.081	0.088	0.099	0.108	0.115	0.121	0.126	0.152	0.156	0.158
7.75	0.079	0.086	0.097	0.106	0.114	0.120	0.125	0.151	0.156	0.158
8.00	0.077	0.084	0.095	0.104	0.112	0.118	0.124	0.151	0.156	0.158
8.25	0.076	0.082	0.093	0.102	0.110	0.117	0.122	0.150	0.156	0.158
8.50	0.074	0.080	0.091	0.101	0.108	0.115	0.121	0.150	0.156	0.158
8.75	0.072	0.078	0.089	0.099	0.107	0.114	0.119	0.150	0.156	0.158
9.00	0.071	0.077	0.088	0.097	0.105	0.112	0.118	0.149	0.156	0.158
9.25	0.069	0.075	0.086	0.096	0.104	0.110	0.116	0.149	0.156	0.158
9.50	0.068	0.074	0.085	0.094	0.102	0.109	0.115	0.148	0.156	0.158
9.75	0.066	0.072	0.083	0.092	0.100	0.107	0.113	0.148	0.156	0.158
10.00	0.065	0.071	0.082	0.091	0.099	0.106	0.112	0.147	0.156	0.158
20.00	0.035	0.039	0.046	0.053	0.059	0.065	0.071	0.124	0.148	0.156
50.00	0.014	0.016	0.019	0.022	0.025	0.028	0.031	0.071	0.113	0.142
100.00	0.007	0.008	0.010	0.011	0.013	0.014	0.016	0.039	0.071	0.113



دانشگاه سوادکوه
دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران

مکانیک خاک

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

علی میرزایی

مقدمه:

- مقاومت برشی یک خاک بیانگر میزان مقاومت یک صفحه از خاک در برابر نیروهای برشی اعمال شده به خاک در برابر لغزش می باشد.
- دانستن رفتار مقاومت برشی خاک ها در تحلیل بسیاری از مسائل همچون تحلیل پایداری شیروانی ها، ظرفیت باربری خاک ها و ... حایز اهمیت می باشد.

۱-۱۲ - پوش گسیختگی موهر - کولمب

موهر (۱۹۰۰) یک تئوری شکست برای مصالح مختلف به صورت تابعی از وضعیت تنش های برشی و قائم (نرمال) به صورت زیر بیان نمود:

$$\tau_f = f(\sigma)$$



$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi$$

c = چسبندگی

ϕ = زاویه اصطکاک داخلی

σ = تنش قائم (نرمال)

τ_f = تنش برشی

۱-۱۲- پوش گسیختگی موهر - کولمب

پوش گسیختگی موهر- کولمب را نیز می توان برای تنش های موثر بازنویسی نمود:

$$\sigma = \sigma' + u \quad \rightarrow \quad \tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$$

c' : چسبندگی موثر:

ϕ' : زاویه اصطکاک داخلی موثر:

Soil type	ϕ' (deg)
<i>Sand: Rounded grains</i>	
Loose	27-30
Medium	30-35
Dense	35-38
<i>Sand: Angular grains</i>	
Loose	30-35
Medium	35-40
Dense	40-45
<i>Gravel with some sand</i>	34-48
<i>Silts</i>	26-35

• مقدار c' برای خاک های ماسه ای، لای غیر آلی و رس های عادی تحکیم یافته تقریباً برابر صفر بوده و می توان آن را در محاسبات برابر صفر در نظر گرفت.

• مقدار c' در خاک های رسی پیش تحکیم یافته بزرگتر از صفر می باشد.

۲/۵۱

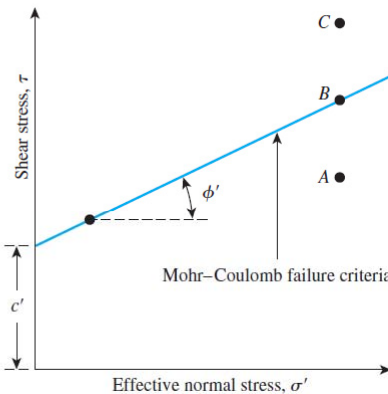
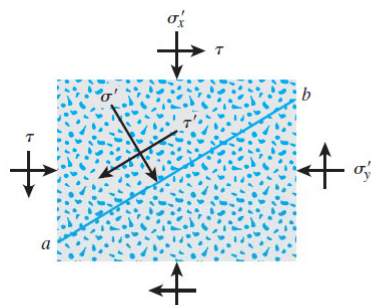
علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱-۱۲- پوش گسیختگی موهر - کولمب

• معادله پوش گسیختگی موهر- کولمب مرز ناحیه ممکن و غیر ممکن می باشد. به عنوان مثال، نقطه A در شکل زیر معادل یک خاک بوده که هنوز گسیخته نشده است، نقطه B وضعیت یک خاک را در حالت گسیختگی نشان می دهد و نقطه C حالت غیر ممکن می باشد.



۳/۵۱

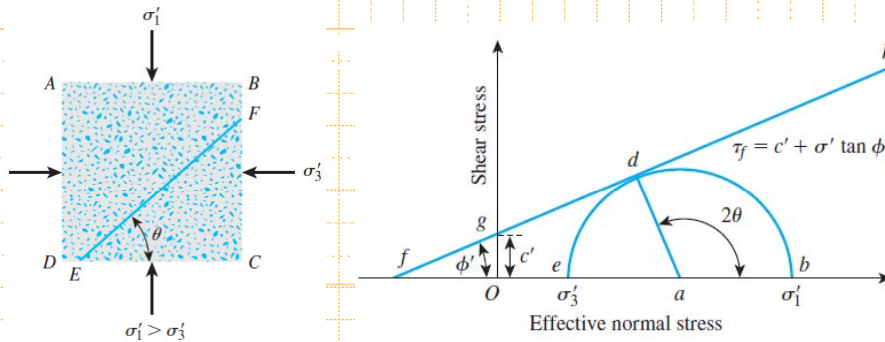
علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۲-۱۲- شیب صفحه گسیختگی به واسطه برش

- یک المان را در نظر بگیرید که به واسطه اعمال تنش های اصلی حداکثر σ'_1 و حداقل σ'_3 درون آن یک گسیختگی در امتداد صفحه EF رخ داده است.
- تنش های قائم و برشی که باعث ایجاد گسیختگی بر روی این صفحه شده اند را می توان با ترسیم دایره موهر بدست آورد.



۴/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۲-۱۲- شیب صفحه گسیختگی به واسطه برش

- با استفاده از روابط جبری می توان نشان داد که رابطه زیر بین تنش های اصلی حداکثر و حداقل و زاویه اصطکاک داخلی موثر و چسبندگی موثر وجود دارد:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

- رابطه مذکور را می توان برای تنش های کل نیز بازنویسی نمود:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

- در نتیجه مقادیر مجهول پوش گسیختگی موهر - کولمب را می توان با دانستن دو دسته تنش های اصلی حداکثر و حداقل که باعث گسیختگی خاک شده، بدست آورد.

۵/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۳- آزمایش های آزمایشگاهی تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک ها

• آزمایش های آزمایشگاهی مختلفی برای محاسبه پارامترهای مقاومت برشی خاک ها (وجود داشته که شامل آزمایش های زیر می باشد:

- آزمایش برش مستقیم
- آزمایش سه محوری
- آزمایش برش ساده مستقیم
- آزمایش سه محوری حالت کرنش صفحه ای
- آزمایش برش حلقه

• در آزمایش های مذکور، آزمایش های برش مستقیم و سه محوری پرکاربرد ترین آزمایش های تعیین مقاومت برشی خاک ها بوده که در ادامه به شرح روند انجام این آزمایش ها و تحلیل و تفسیر نتایج آن ها پرداخته خواهد شد.

۶/۵۱

علی میرزایی

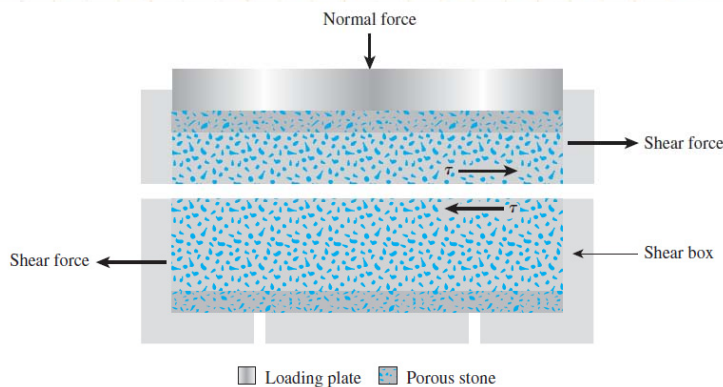
فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۴- آزمایش برش مستقیم

• آزمایش برش مستقیم، از جمله قدیمی ترین آزمایش های تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک ها می باشد.

• در این آزمایش ابتدا به یک نمونه خاک یک تنش قائم مفروض وارد شده و سپس نیروهای برشی در جهت افقی به صورت پیوسته و با یک سرعت ثابت به نمونه خاک وارد شده و تا لحظه گسیختگی ادامه خواهند یافت.



۷/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

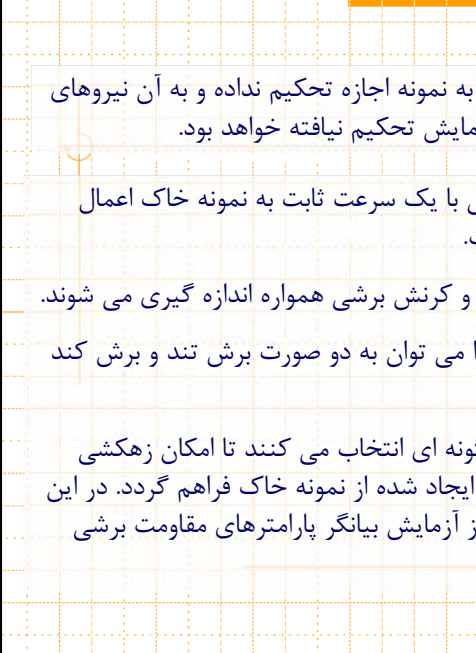
مکانیک خاک



۴-۱۲- آزمایش برش مستقیم

- در این آزمایش معمولاً از نمونه های مکعبی به اضلاع 2×2 اینچی و ارتفاع ۱ اینچی استفاده می شود.
- همچنین با توجه به محدوده اندازه دانه های خاک می توان از قالب های بزرگتر نیز استفاده نمود.
- در مرحله اول، بعد از اشباع کامل نمونه خاک، نمونه را درون دستگاه تعبیه نموده و به آن یک مقدار مفروض و دلخواه تنش قائم اعمال می نماییم.
- بعد از اعمال تنش قائم می توان به نمونه اجازه زهکشی داده تا نمونه خاک تحکیم یابد. در این حالت آزمایش را اصطلاحاً تحکیم یافته اطلاق می کنیم.

۸/۵۱
علی میرزایی
فصل دوازدهم: مقاومت برشی
مکانیک خاک



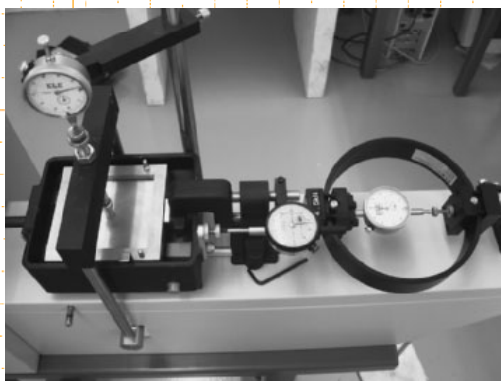
۴-۱۲- آزمایش برش مستقیم

- همچنین می توان بعد از اعمال تنش های قائم، به نمونه اجازه تحکیم نداده و به آن نیروهای برشی را بلافاصله اعمال نمود که در این حالت آزمایش تحکیم نیافته خواهد بود.
- در مرحله بارگذاری برشی، نیروهای برشی افقی با یک سرعت ثابت به نمونه خاک اعمال شده و تا گسیختگی کامل آن ادامه خواهند یافت.
- در طول بارگذاری برشی مقادیر نیروهای برشی و کرنش برشی همواره اندازه گیری می شوند.
- بسته به سرعت بارگذاری، مرحله برش خاک را می توان به دو صورت برش تند و برش کند انجام داد.
- در آزمایش برش کند، سرعت بارگذاری را به گونه ای انتخاب می کنند تا امکان زهکشی کامل و زایل شدن اضافه فشارهای آب حفره ای ایجاد شده از نمونه خاک فراهم گردد. در این وضعیت پارامترهای مقاومت برشی بدست آمده از آزمایش بیانگر پارامترهای مقاومت برشی زهکشی شده و یا موثر می باشند.

۹/۵۱
علی میرزایی
فصل دوازدهم: مقاومت برشی
مکانیک خاک

۴-۱۲- آزمایش برش مستقیم

• همچنین می توان بعد از اعمال تنش های قائم، به نمونه اجازه تحکیم نداده و به آن نیروهای برشی را بلافاصله اعمال نمود که در این حالت آزمایش تحکیم نیافته خواهد بود.



- در مرحله بارگذاری برشی، نیروهای برشی افقی با یک سرعت ثابت به نمونه خاک اعمال شده و تا گسیختگی کامل آن ادامه خواهند یافت.
- در طول بارگذاری برشی مقادیر نیروهای برشی و کرنش برشی همواره اندازه گیری می شوند.
- بسته به سرعت بارگذاری، مرحله برش خاک را می توان به دو صورت برش تند و برش کند انجام داد.

۱۰/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۴-۱۲- آزمایش برش مستقیم

• در آزمایش برش کند، سرعت بارگذاری را به گونه ای انتخاب می کنند تا امکان زهکشی کامل و زایل شدن اضافه فشارهای آب حفره ای ایجاد شده از نمونه خاک فراهم گردد. در این وضعیت پارامترهای مقاومت برشی بدست آمده از آزمایش بیانگر پارامترهای مقاومت برشی زهکشی شده و یا موثر می باشند.

• در آزمایش برش تند، سرعت بارگذاری به گونه ای بوده که امکان زهکشی نمونه خاک وجود نداشته و درون آن اضافه فشارهای آب حفره ای به وجود می آید، در این وضعیت پارامترهای مقاومت برشی بدست آمده از آزمایش بیانگر پارامترهای مقاومت برشی زهکشی نشده و یا کل می باشند.

• در طول مرحله بارگذاری برشی، همواره تغییرات ارتفاع و طول نمونه خاک توسط حسگر های اندازه گیری جابجایی اندازه گیری می شوند.

• با در نظر گرفتن مقادیر نیروها و جابجایی های اندازه گیری شده، می توان نمودار تغییرات تنش برشی و تغییر حجم نمونه را در برابر زمان و یا کرنش های طولی و یا جابجایی ها ترسیم نمود.

۱۱/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۴-۱۲- آزمایش برش مستقیم

$$\sigma = \text{Normal stress} = \frac{\text{Normal force}}{\text{Cross-sectional area of the specimen}}$$

$$\tau = \text{Shear stress} = \frac{\text{Resisting shear force}}{\text{Cross-sectional area of the specimen}}$$

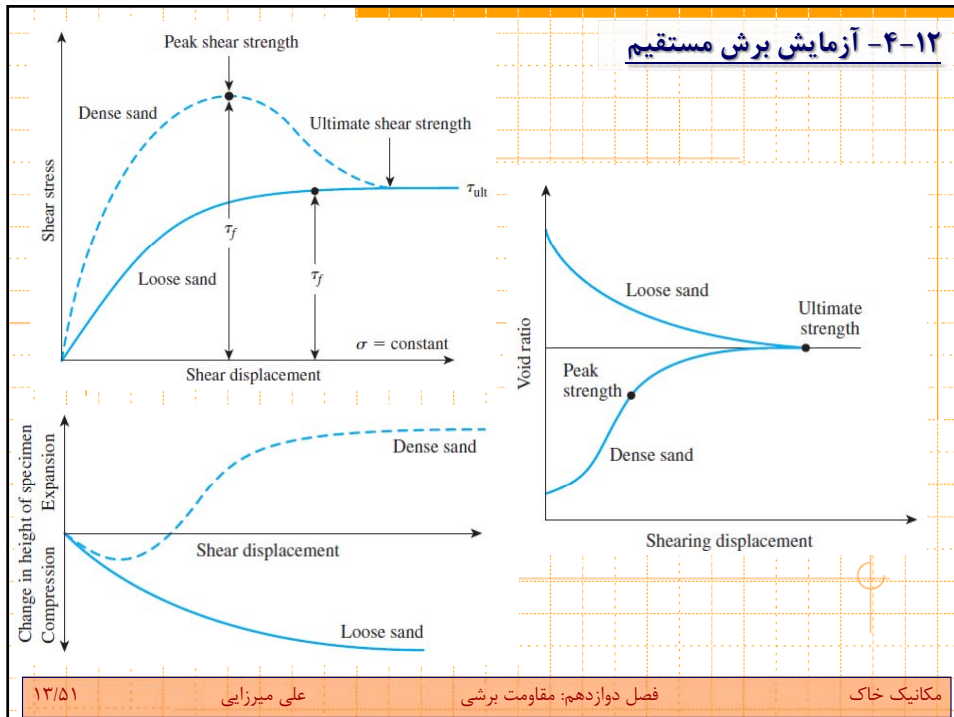
۱۲/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۴-۱۲- آزمایش برش مستقیم



۱۳/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۴- آزمایش برش مستقیم

• در خاک های ماسه ای شل و یا رس های عادی تحکیم یافته، معمولا تنش های برشی خاک به صورت پیوسته افزایش یافته و نهایتا به مقدار تنش برشی تسلیم می رسد.

• در خاک های ماسه ای سفت و یا رس های پیش تحکیم یافته، تنش های برشی ابتدا به صورت پیوسته افزایش یافته و نهایتا به یک مقدار ماکزیمم رسیده و بعد از آن مقدار تنش های برشی کاهش یافته و به سمت یک مقدار تنش برشی کمتر متمایل شده و ثابت می گردد.

• در خاک های ماسه ای شل و یا رس های عادی تحکیم یافته، در طول مرحله بارگذاری نمونه خاک همواره دچار کاهش حجم می گردد.

• در خاک های ماسه ای متراکم و یا رس های پیش تحکیم یافته، در طول مرحله بارگذاری نمونه خاک ابتدا دچار اندکی کاهش حجم شده و سپس با ادامه بارگذاری حجم خاک افزایش یافته و اصطلاحا نمونه خاک دچار اتساع می گردد.

۱۴/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۴- آزمایش برش مستقیم

• با دانستن دو دسته جواب برای مقادیر تنش های برشی و نرمال می توان دو دایره موهر را برای دو حالت گسیختگی ترسیم نموده و مقادیر پارامترهای مقاومت برشی مجهول خاک را بدست آورد.

• همچنین می توان پارامترهای مجهول مقاومت برشی را با حل دو معادله دو مجهولی برای پوش گسیختگی موهر بدست آورد.

• مقادیر پارامترهای مقاومت برشی خاک را می توان برای تنش های برشی گسیختگی حداکثر و یا تنش های برشی گسیختگی نهایی بر حسب نیاز و کاربرد محاسبه نمود.

• اگرچه آزمایش برش مستقیم یکی از پرکاربردترین آزمون های آزمایشگاهی برای تعیین مقاومت برشی خاک ها بوده، لیکن این آزمایش دارای دو ایراد اصلی می باشد:

۱- صفحه گسیختگی برشی از پیش تعریف شده است.

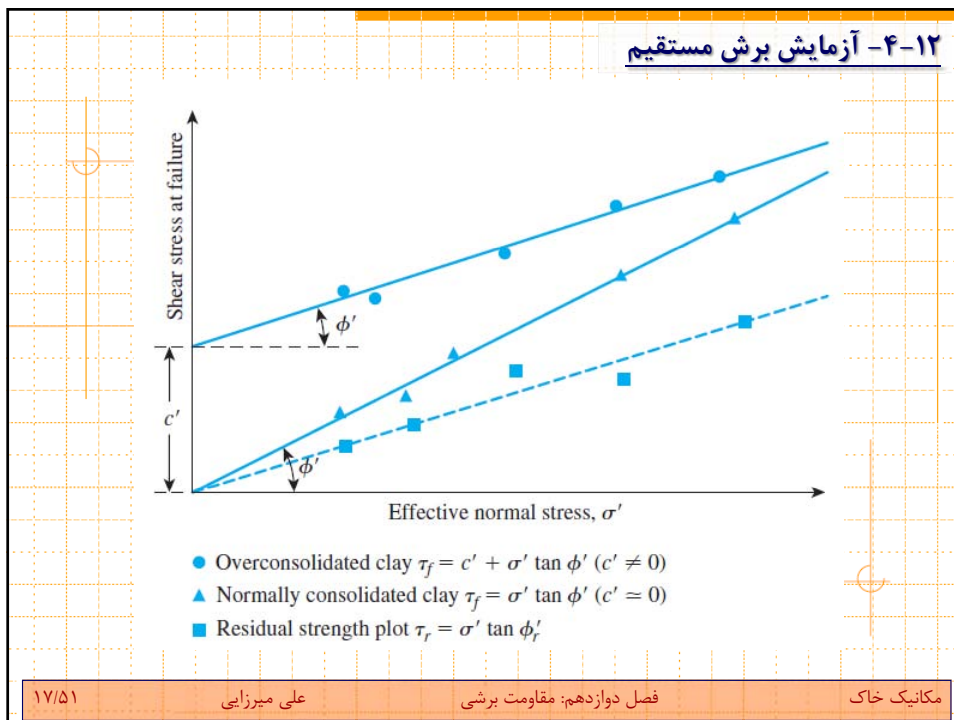
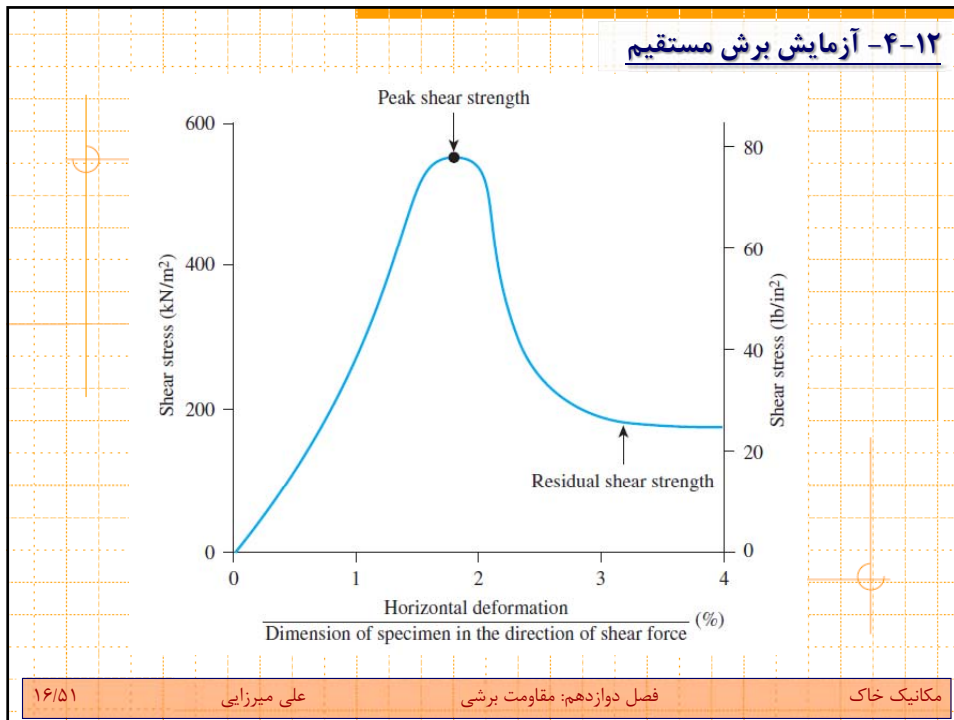
۲- در گوشه های قالب، درون نمونه خاک تمرکز تنش به وجود می آید.

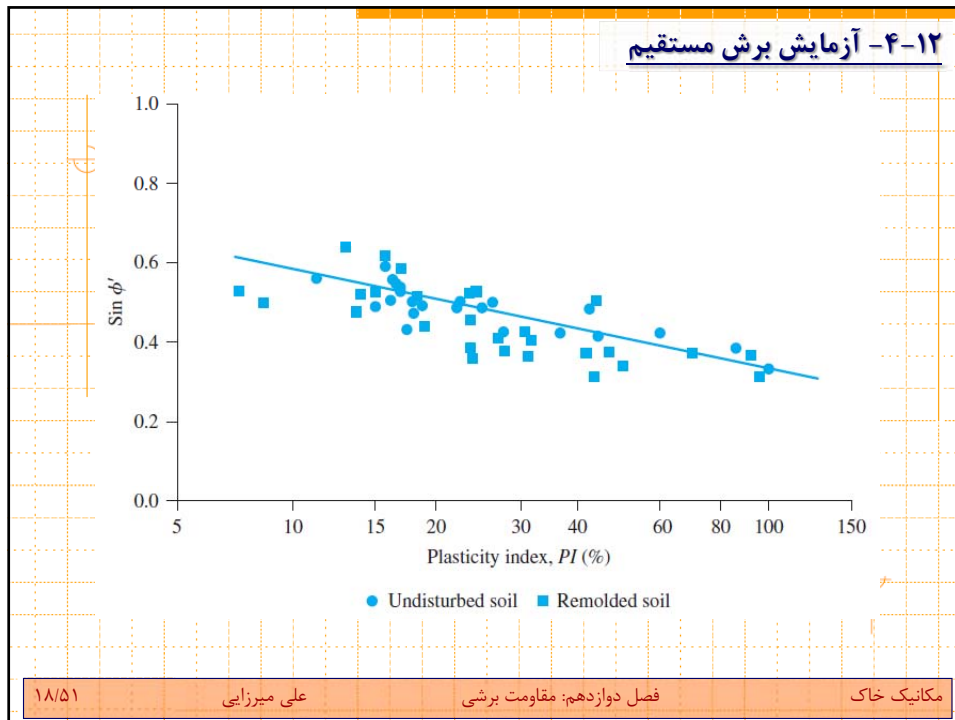
۱۵/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک





۴-۱۲- آزمایش برش مستقیم

Soil	Clay-size fraction (%)	Residual friction angle, ϕ'_r (deg)
Selset	17.7	29.8
Wiener Tegel	22.8	25.1
Jackfield	35.4	19.1
Oxford clay	41.9	16.3
Jari	46.5	18.6
London clay	54.9	16.3
Walton's Wood	67	13.2
Weser-Elbe	63.2	9.3
Little Belt	77.2	11.2
Biotite	100	7.5

مکانیک خاک

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

علی میرزایی

۱۹/۵۱

۱۲-۴- آزمایش برش مستقیم

Example 12.1

Following are the results of four drained direct shear tests on an *overconsolidated clay*:

- Diameter of specimen = 50 mm
- Height of specimen = 25 mm

Test no.	Normal force, N (N)	Shear force at failure, S_{peak} (N)	Residual shear force, $S_{residual}$ (N)
1	150	157.5	44.2
2	250	199.9	56.6
3	350	257.6	102.9
4	550	363.4	144.5

Determine the relationships for *peak shear strength* (τ_p) and *residual shear strength* (τ_r).

۲۰/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۵- آزمایش سه محوری

• یکی از معروفترین آزمایش های تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک ها آزمایش سه محوری (Triaxial Test) می باشد.

• در این آزمایش یک نمونه استوانه ای خاک با قطر و ارتفاع مفروض و استاندارد (فرضا قطر ۳۸ و ارتفاع ۷۶ میلی متر، قطر ۵۰ و ارتفاع ۱۰۰ میلی متر) درون یک محفظه شیشه ای واقع شده و اطراف آن یک غشا لاستیکی بسیار نازک کشیده می شود.

• در ادامه نمونه خاک با استفاده از تکنیک های مختلف کاملا اشباع شده و سپس به نمونه خاک فشار همه جانبه توسط افزایش فشار آب درون سلول اعمال شده و در ادامه بار محوری به صورت پیوسته و تا لحظه گسیختگی کامل خاک به آن اعمال می شود.

• در هر یک از مراحل بارگذاری همه جانبه و یا محوری می توان به نمونه خاک اجازه زهکشی داده و یا آزمایش را در حالت زهکشی نشده انجام داد.

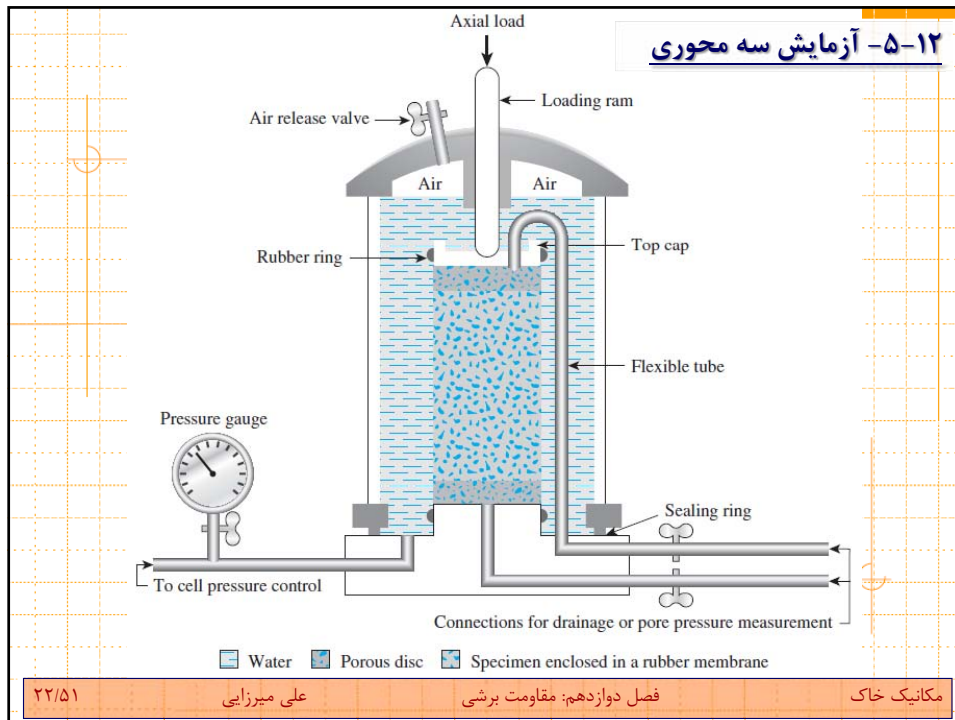
• بارگذاری محوری معمولا با یک نرخ ثابت یا با کنترل نرخ تنش های وارد بر نمونه (تنش کنترل، فرضا افزایش تنش محوری به میزان ۴ کیلوپاسکال بر ساعت) و یا با کنترل نرخ کرنش های وارد بر نمونه خاک (کرنش کنترل، ایجاد تغییر شکل ها با نرخ ۲ میلی متر بر دقیقه) انجام می شود.

۲۱/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک



۱۲-۵- آزمایش سه محوری

• به طور کلی، آزمایش های سه محوری شامل دو مرحله (۱) تحکیم و اعمال فشارهای همه جانبه و (۲) بارگذاری محوری می باشد.

• بسته به آن که در هر یک از مراحل بارگذاری همه جانبه و یا محوری اجازه تحکیم و زهکشی اجازه فشارهای آب حفره ای داده شده، آزمایش های مختلف سه محوری را می توان به صورت زیر انجام داد:

(۱) **آزمایش تحکیم یافته- زهکشی شده (CD) (Consolidated-Drained)** : در این نوع آزمایش سه محوری، نمونه خاک در هر دو مرحله اعمال فشارهای همه جانبه و بارگذاری محوری در شرایط زهکشی کامل بوده و امکان زایل شدن اضافه فشارهای آب حفره ای وجود دارد.

(۲) **آزمایش تحکیم یافته- زهکشی نشده (CU) (Consolidated-Undrained)** : در این نوع آزمایش سه محوری، نمونه خاک در مرحله اعمال فشارهای همه جانبه در شرایط زهکشی کامل بوده و امکان زایل شدن اضافه فشارهای آب حفره ای وجود دارد و در مرحله اعمال بارهای محوری در شرایط زهکشی نشده بوده و تغییرات فشار آب حفره ای اندازه گیری می شود.

۲۳/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۵- آزمایش سه محوری

۳) آزمایش تحکیم نیافته- زهکشی نشده (UU) (Unconsolidated-Undrained): در این نوع آزمایش سه محوری، نمونه خاک در هر دو مرحله اعمال فشارهای همه جانبه و اعمال بارهای محوری در شرایط زهکشی نشده بوده و تغییرات فشار آب حفره ای اندازه گیری می شود.

نکته: در صورتی که در هر یک از مراحل بارگذاری همه جانبه و یا محوری امکان زهکشی برای نمونه خاک فراهم گردد، به واسطه زایل شدن اضافه فشارهای آب حفره ای نمونه خاک دچار تغییر حجم شده و مقادیر تغییر حجم نمونه خاک اندازه گیری می شود.

نکته: در صورتی که در هر یک از مراحل بارگذاری همه جانبه و یا محوری نمونه در حالت زهکشی نشده باشد، نمونه خاک دچار تغییر حجمی نشده و فشار آب حفره ای آن همواره تغییر نموده و تغییرات فشار آب حفره ای با زمان اندازه گیری می شود.

۲۴/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۵- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۱- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی شده

• در این آزمایش، بعد از اشباع کامل نمونه خاک، فشار همه جانبه دلخواه σ_3 به نمونه خاک اعمال می شود. به واسطه اعمال این فشار همه جانبه، اضافه فشارهای آب حفره ای u_c درون خاک ایجاد می شود. به نسبت اضافه فشار آب حفره ای ایجاد شده به فشار همه جانبه پارامتر B اسکمپتون اطلاق می شود.

$$B = \frac{u_c}{\sigma_3}$$

• در صورتی که حفرات خاک به نحو صحیحی کاملاً اشباع شده باشند، مقدار پارامتر B برابر واحد خواهد شد.

Type of soil	Theoretical value
Normally consolidated soft clay	0.9998
Lightly overconsolidated soft clays and silts	0.9988
Overconsolidated stiff clays and sands	0.9877
Very dense sands and very stiff clays at high confining pressures	0.9130

• مقادیر واقعی پارامتر B برای برخی از خاک ها:

۲۵/۵۱

علی میرزایی

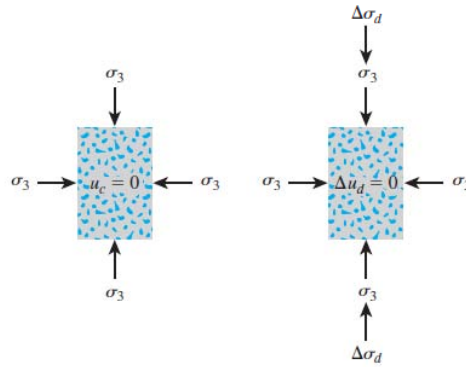
فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۵- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۱- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی شده

• در ادامه شیرهای زهکشی بالا و پایین نمونه خاک باز شده و اجازه داده شده تا اضافه فشارهای آب حفره ای ایجاد شده با خروج آب از درون حفرات خاک زائل گردد.



• وضعیت تنش ها در مرحله تحکیم

• وضعیت تنش ها در مرحله بارگذاری محوری

• بعد از اتمام مرحله تحکیم، همچنان شیرهای زهکشی نمونه خاک باز بوده و بارهای محوری $\Delta\sigma_d$ به نمونه به صورت پیوسته با کنترل نرخ بارگذاری اعمال شده تا نمونه به گسیختگی برسد.

• در مرحله بارگذاری محوری برشی نیز سرعت بارگذاری به نحوی انتخاب شده تا اضافه فشارهای آب حفره ای کاملاً زهکشی و زائل گردند.

۲۶/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

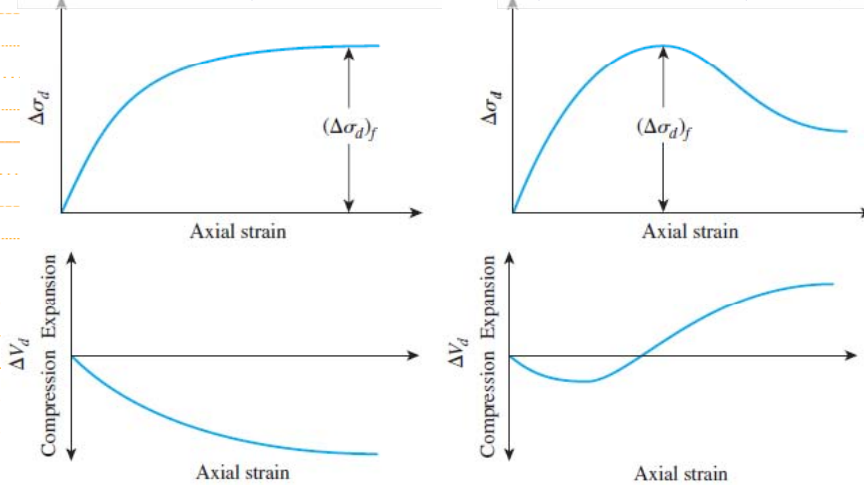
مکانیک خاک

۱۲-۵- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۱- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی شده

• نمودارهای تغییرات حجم و تنش انحرافی در رس های عادی تحکیم یافته و ماسه های شل

• نمودارهای تغییرات حجم و تنش انحرافی در رس های پیش تحکیم یافته و ماسه های متراکم



۲۷/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۵- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۱- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی شده

• در این آزمایش در مرحله برش، مقدار تنش های اصلی حداقل برابر σ_3 و مقدار تنش های اصلی حداکثر برابر $\sigma_3 + (\Delta\sigma_d)$ می باشند.

• در عمل در این آزمایش، نمونه خاک را در دو و یا سه مقدار مختلف تنش تحکیمی همه جانبه دلخواه بارگذاری نموده و مقدار متناظر تنش اصلی حداکثر را برای هر کدام از تنش های تحکیمی در لحظه گسیختگی بدست می آورند.

• با دانستن دو مقدار تنش های اصلی حداقل و حداکثر در لحظه گسیختگی، می توان دواير موهر را ترسیم نموده و پارامترهای مقاومت برشی را برای لحظه گسیختگی محاسبه نمود.

• به واسطه زهکشی کامل و زائل شدن اضافه فشارهای آب حفره ای، تمامی تنش ها در طول آزمایش، از نوع تنش موثر بوده و با استفاده از نتایج این آزمایش می توان پارامترهای مقاومت برشی حالت زهکشی شده خاک را محاسبه نمود.

۲۸/۵۱

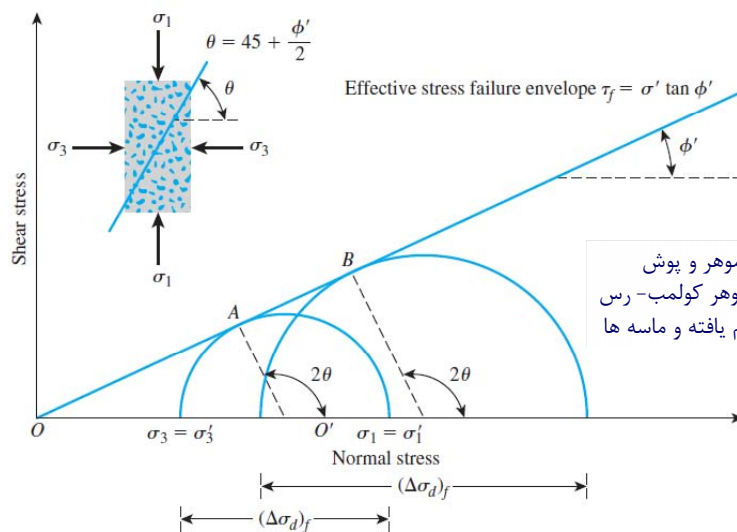
علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۵- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۱- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی شده



۲۹/۵۱

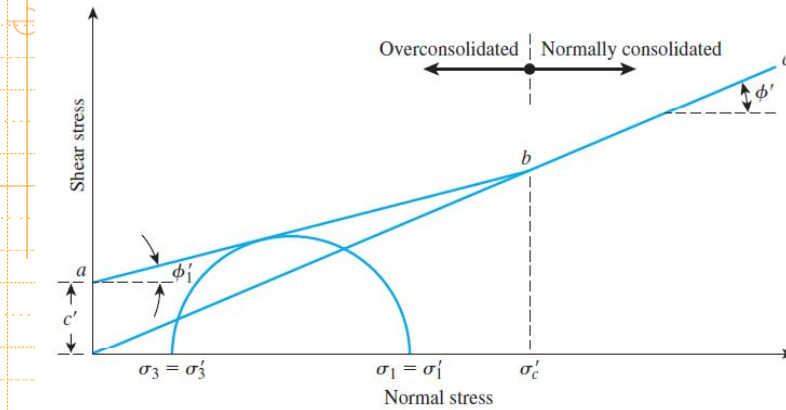
علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۵-۱۲- آزمایش سه محوری

۱-۵-۱۲- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی شده



• تاثیر میزان پیش تحکیم یافتگی بر روی شکل پوش گسیختگی موهر - کولمب

۳۰/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۵-۱۲- آزمایش سه محوری

۱-۵-۱۲- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی شده

• مثال: نتایج حاصل از دو آزمایش CD بر روی یک رس اشباع به شرح زیر است. مطلوبست محاسبه پارامترهای مقاومت برشی خاک:

$$\sigma_3 = 70 \text{ kN/m}^2$$

$$(\Delta\sigma_d)_f = 130 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_3 = 160 \text{ kN/m}^2$$

$$(\Delta\sigma_d)_f = 223.5 \text{ kN/m}^2$$

• مثال: نتایج حاصل از آزمایش CD بر روی یک رس اشباع عادی تحکیم یافته به شرح زیر است. مطلوبست محاسبه پارامترهای مقاومت برشی خاک:

$$\sigma_3 = 70 \text{ kN/m}^2$$

$$(\Delta\sigma_d)_f = 130 \text{ kN/m}^2$$

۳۱/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۵- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۲- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی نشده

• آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی نشده (CU) متداولترین آزمایش های سه محوری می باشد. در این آزمایش ابتدا نمونه خاک تحت اثر یک تنش همه جانبه مفروض تحکیم یافته و سپس در انتهای مرحله تحکیم شیرهای زهکشی نمونه بسته شده و بارهای محوری قائم با یک نرخ ثابت به نمونه خاک اعمال شده و تا لحظه گسیختگی خاک ادامه خواهند یافت.

• در این آزمایش در مرحله بارگذاری محوری، به واسطه عدم زهکشی آب، فشار آب حفره ای تغییر نموده و درون نمونه خاک اضافه فشار آب حفره ای ایجاد می شود.

• به نسبت اضافه فشار آب حفره ای ایجاد شده به بار محوری وارد بر خاک اصطلاحاً پارامتر A اسکمپتون اطلاق می گردد:

$$\bar{A} = \frac{\Delta u_d}{\Delta \sigma_d}$$

۳۲/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

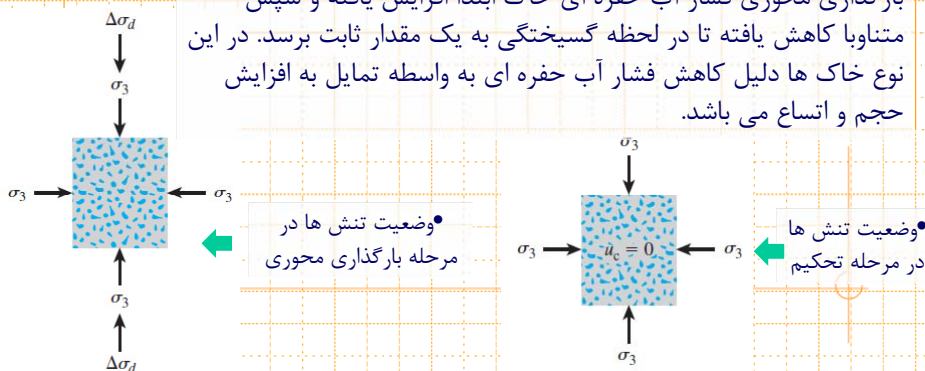
مکانیک خاک

۱۲-۵- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۲- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی نشده

• در خاک های رسی عادی تحکیم یافته و ماسه ای شل، در مرحله بارگذاری محوری فشار آب حفره ای خاک همواره افزایش یافته تا در لحظه گسیختگی به یک مقدار ثابت برسد.

• در خاک های رسی پیش تحکیم یافته و ماسه ای متراکم، در مرحله بارگذاری محوری فشار آب حفره ای خاک ابتدا افزایش یافته و سپس متناوباً کاهش یافته تا در لحظه گسیختگی به یک مقدار ثابت برسد. در این نوع خاک ها دلیل کاهش فشار آب حفره ای به واسطه تمایل به افزایش حجم و اتساع می باشد.



۳۳/۵۱

علی میرزایی

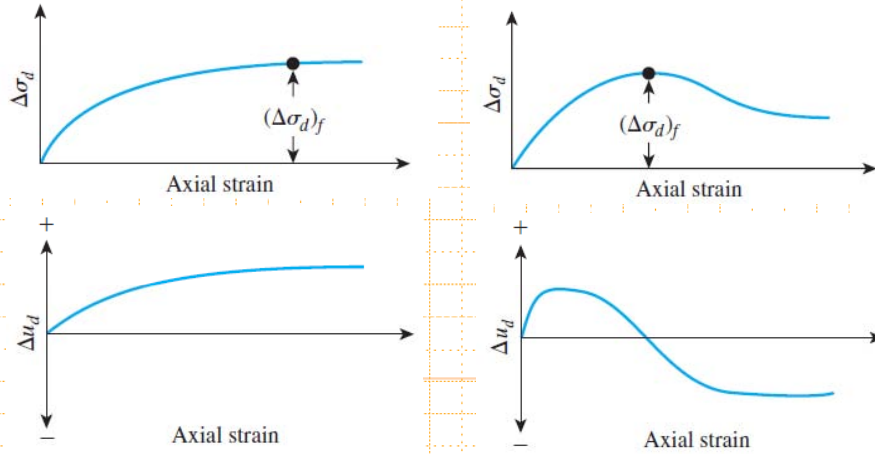
فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۵-۱۲- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۲- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی نشده

- نمودارهای تغییرات فشار آب حفره ای و تنش انحرافی در رس های عادی تحکیم یافته و ماسه های شل
- نمودارهای تغییرات فشار آب حفره ای و تنش انحرافی در رس های پیش تحکیم یافته و ماسه های متراکم



۳۴/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۵-۱۲- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۲- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی نشده

- در آزمایش CU نتایج خروجی آزمایش شامل تنش های کل و فشار آب حفره ای بوده و با توجه به این مقادیر می توان پارامترهای مقاومت برشی را برای دو حالت تنش های کل (زهکشی نشده) و وضعیت تنش های موثر (زهکشی شده) محاسبه نمود:

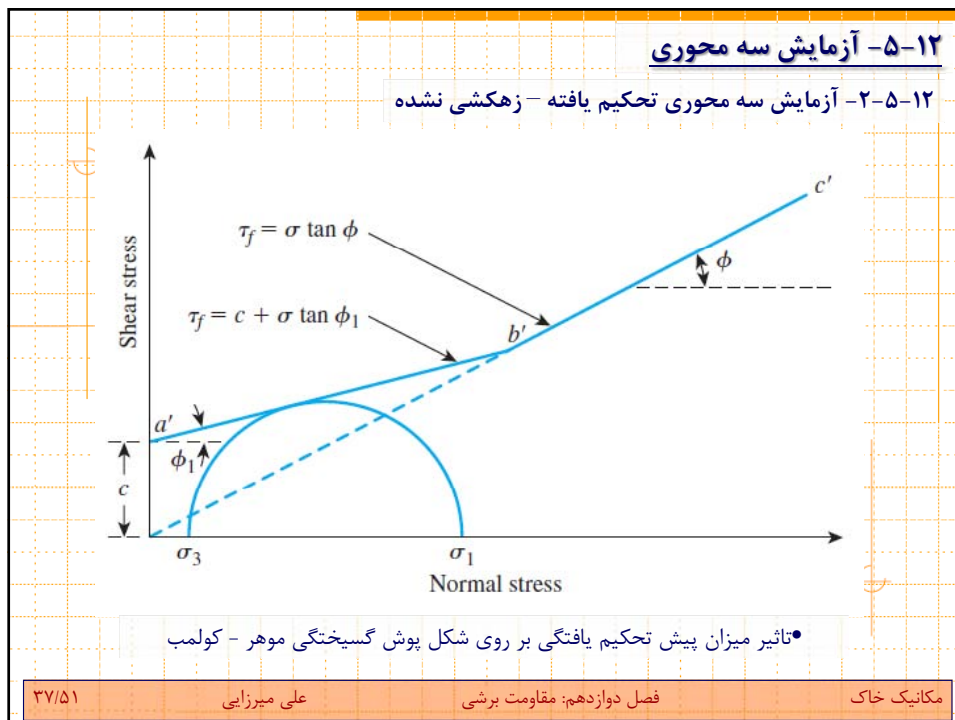
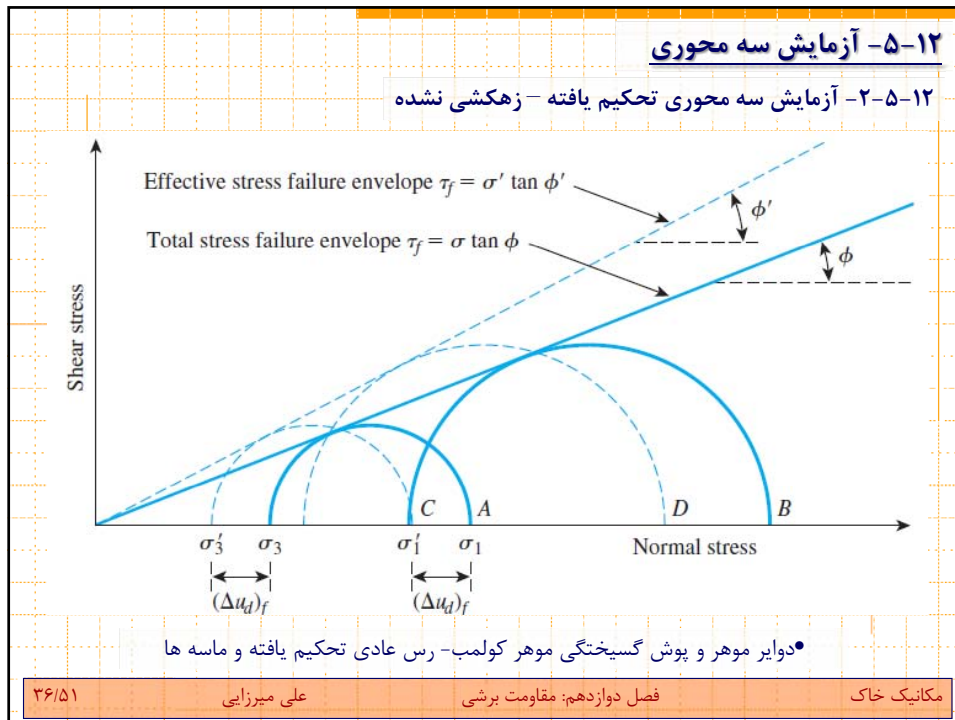
- تنش اصلی حداکثر کل در لحظه گسیختگی $\sigma_3 + (\Delta\sigma_d)_f = \sigma_1$
- تنش اصلی حداکثر موثر در لحظه گسیختگی $\sigma_1 - (\Delta u_d)_f = \sigma'_1$
- تنش اصلی حداقل کل در لحظه گسیختگی σ_3
- تنش اصلی حداقل موثر در لحظه گسیختگی $\sigma_3 - (\Delta u_d)_f = \sigma'_3$

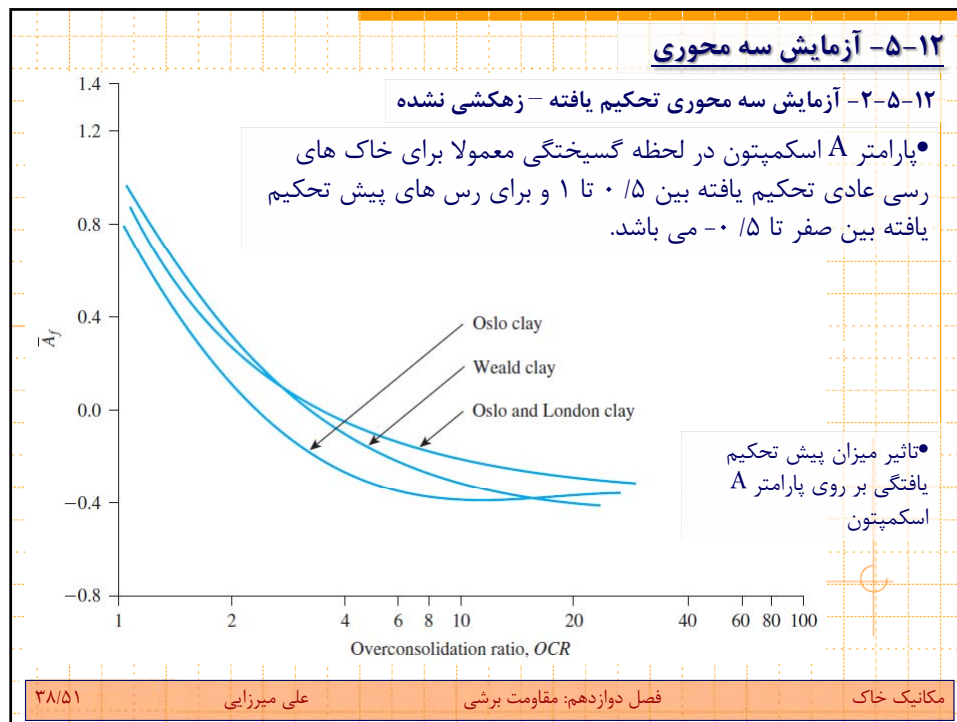
۳۵/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک





۵-۱۲- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۲- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی نشده

Location	Liquid limit	Plastic limit	Liquidity index	Sensitivity ^a	Drained friction angle, ϕ' (deg)	\bar{A}_r
Seven Sisters, Canada	127	35	0.28		19	0.72
Sarpborg	69	28	0.68	5	25.5	1.03
Lilla Edet, Sweden	68	30	1.32	50	26	1.10
Fredrikstad	59	22	0.58	5	28.5	0.87
Fredrikstad	57	22	0.63	6	27	1.00
Lilla Edet, Sweden	63	30	1.58	50	23	1.02
Gtå River, Sweden	60	27	1.30	12	28.5	1.05
Gtå River, Sweden	60	30	1.50	40	24	1.05
Oslo	48	25	0.87	4	31.5	1.00
Trondheim	36	20	0.50	2	34	0.75
Drammen	33	18	1.08	8	28	1.18

• برخی از مقادیر پارامترهای مقاومت برشی در خاک های مختلف

۳۹/۵۱ علی میرزایی فصل دوازدهم: مقاومت برشی مکانیک خاک

۵-۱۲- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۲- آزمایش سه محوری تحکیم یافته - زهکشی نشده

• مثال: نتایج حاصل از دو آزمایش CU بر روی یک ماسه اشباع به شرح زیر است. مطلوبست محاسبه پارامترهای مقاومت برشی زهکشی شده و نشده خاک:

$$\begin{aligned}\sigma_3 &= 140 \text{ kN/m}^2 \\ (\Delta\sigma_d)_f &= 125 \text{ kN/m}^2 \\ (\Delta u_d)_f &= 75 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

• مثال: در یک خاک رس عادی تحکیم یافته، مقادیر زاویه اصطکاک داخلی زهکشی شده و نشده به ترتیب برابر ۳۲ و ۲۲ درجه می باشند. در صورتی که این خاک تحت اثر فشار همه جانبه تحکیمی ۲۵۰ کیلو پاسکال تحت آزمایش سه محوری تحکیم یافته، زهکشی نشده واقع گردد، مطلوبست محاسبه مقدار فشار آب حفره ای و پارامتر A اسکمپتون در لحظه گسیختگی.

۴۰/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۵-۱۲- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۳- آزمایش سه محوری تحکیم نیافته - زهکشی نشده

• در آزمایش سه محوری تحکیم نیافته- زهکشی نشده (UU) در هر دو مرحله تحکیم و بارگذاری محوری شیرهای زهکشی نمونه بسته بوده و امکان زهکشی اضافه فشارهای آب حفره ای وجود نخواهد داشت.

• در ابتدا، به واسطه اعمال تنش های همه جانبه اضافه فشارهای آب حفره ای u_c ایجاد شده و سپس به واسطه اعمال تنش های انحرافی اضافه فشارهای آب حفره ای Δu_d ایجاد می شود.

$$u = u_c + \Delta u_d \quad u_c = B\sigma_3 \text{ and } \Delta u_d = \bar{A}\Delta\sigma_d$$

$$u = B\sigma_3 + \bar{A}\Delta\sigma_d = B\sigma_3 + \bar{A}(\sigma_1 - \sigma_3)$$

۴۱/۵۱

علی میرزایی

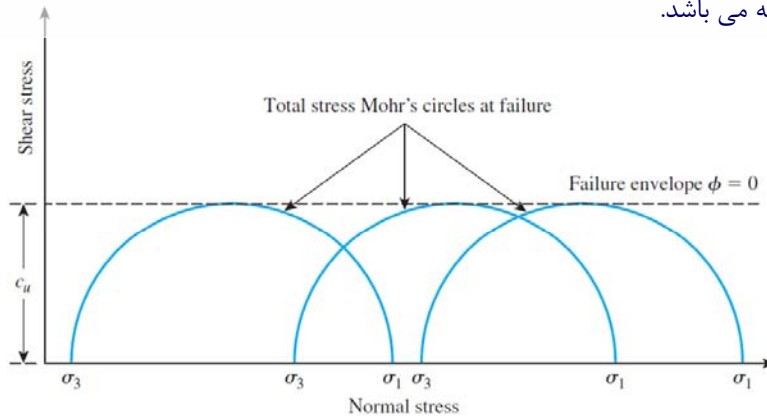
فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۵-۱۲- آزمایش سه محوری

۳-۵-۱۲- آزمایش سه محوری تحکیم نیافته - زهکشی نشده

• در این آزمایش مقدار تنش انحرافی در لحظه گسیختگی مستقل از مقدار تنش همه جانبه بوده و هر گونه افزایش تنش های همه جانبه تاثیری در مقدار تنش انحرافی در لحظه گسیختگی نخواهد شد. این امر به واسطه عدم زهکشی و تحکیم در مرحله اعمال تنش های همه جانبه می باشد.



۴۲/۵۱

علی میرزایی

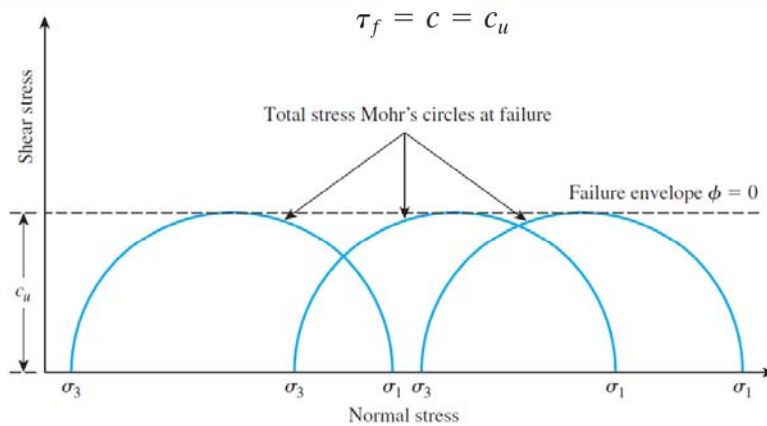
فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۵-۱۲- آزمایش سه محوری

۳-۵-۱۲- آزمایش سه محوری تحکیم نیافته - زهکشی نشده

• در واقع در آزمایش سه محوری UU، پوش گسیختگی موهر کولمب به صورت یک خط خواهد بود و مقدار مقاومت برشی خاک برابر با چسبندگی زهکشی نشده خاک (c_u) خواهد بود.



۴۳/۵۱

علی میرزایی

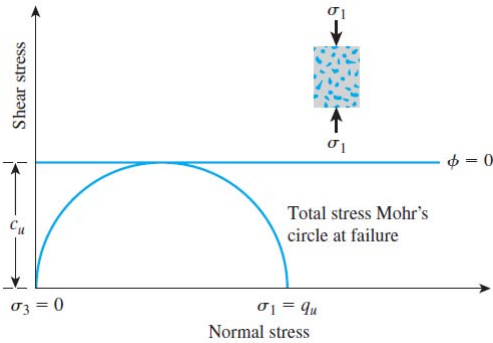
فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۵- آزمایش سه محوری

۱۲-۵-۴- آزمایش فشاری محدود نشده (Unconfined Compression Test)

- در صورتی که آزمایش سه محوری UU به گونه ای انجام شده که در آن فشار همه جانبه وارد بر نمونه خاک برابر صفر باشد، به آن آزمایش فشاری محدود نشده اطلاق می شود.
- پوش گسیختگی موهر - کولمب در آزمایش فشاری محدود نشده نیز یک خط بوده و عرض از مبدا آن بیانگر چسبندگی زهکشی نشده خاک (c_u) می باشد:



۴۴/۵۱

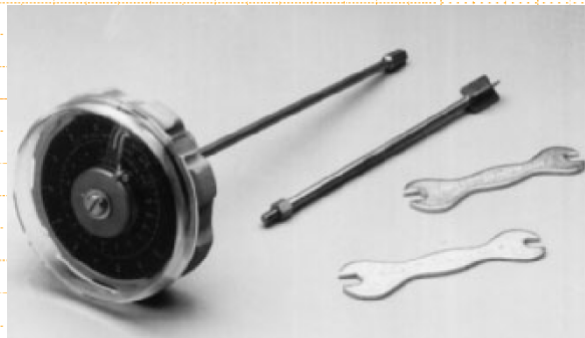
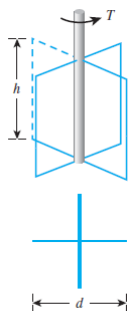
علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۶- آزمایش برش پره

- از جمله آزمایش های آزمایشگاهی و صحرایی بوده که با استفاده از آن می توان مقدار مقاومت برشی خاک را اندازه گیری نمود.



۴۵/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۱۲-۶- آزمایش برش پره

$\beta = \frac{1}{2}$ for triangular mobilization of undrained shear strength
 $\beta = \frac{2}{3}$ for uniform mobilization of undrained shear strength
 $\beta = \frac{3}{8}$ for parabolic mobilization of undrained shear strength

$M_s = \underbrace{(\pi dh)}_{\text{Surface area}} c_u \underbrace{(d/2)}_{\text{Moment arm}}$

$T = M_s + \underbrace{M_e + M_e}_{\text{Two ends}}$

$T = \pi c_u \left[\frac{d^2 h}{2} + \beta \frac{d^3}{4} \right]$

$c_u = \frac{T}{\pi \left[\frac{d^2 h}{2} + \beta \frac{d^3}{4} \right]}$

$d = \text{diameter of the shear vane}$
 $h = \text{height of the shear vane}$

مکانیک خاک فصل دوازدهم: مقاومت برشی علی میرزایی ۴۶/۵۱

۱۲-۷- مسیرهای تنش

- نتایج آزمایش های سه محوری را نیز می توان به وسیله مسیرهای تنش بیان نمود.
- در واقع مسیرهای تنش پارامترهایی مناسب برای بیان برخی الگوهای بارگذاری پیچیده و غیر معمول همچون تغییرات تنش ایجاد شده به واسطه یک گودبرداری و یا احداث تدریجی یک پی بر روی خاک و ... می باشد.
- از جمله معروفترین پارامترهای مورد استفاده در مسیرهای تنش، پارامترهای q' و p' پیشنهادی لمب (۱۹۶۴) می باشد:

$p' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}$ • تنش متوسط موثر

$q' = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}$ • تنش انحرافی

به عنوان مثال، در آزمایش سه محوری در مرحله تحکیم وضعیت متغیرهای مسیر تنش به صورت زیر می باشد:

$p' = \frac{\sigma'_3 + \sigma'_3}{2} = \sigma'_3 = \sigma_3$

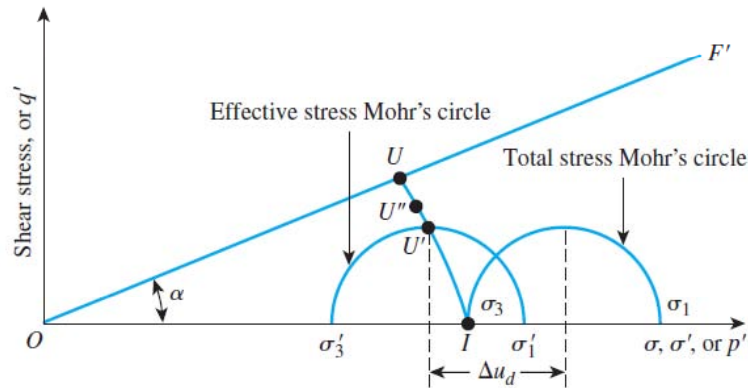
$q' = \frac{\sigma'_3 - \sigma'_3}{2} = 0$

مکانیک خاک فصل دوازدهم: مقاومت برشی علی میرزایی ۴۷/۵۱

۷-۱۲- مسیرهای تنش

$$\sin \phi' = \tan \alpha$$

• رابطه بین پارامتر آلفا در معادله مذکور و زاویه اصطکاک داخلی خاک به صورت زیر خواهد بود:



• مسیر تنش خاک در آزمایش سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده در خاک های رس عادی تحکیم یافته از ابتدای مرحله تحکیم تا رسیدن به لحظه گسیختگی

۵۰/۵۱

علی میرزایی

فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک

۷-۱۲- مسیرهای تنش

• در صورتی که آزمایش به صورت زهکشی نشده بر روی رس های عادی تحکیم یافته انجام پذیرد، پارامترهای مسیر تنش به صورت زیر خواهند بود:

$$q' = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} = \frac{\Delta \sigma_d}{2} \quad p' = \sigma_3 + \frac{(\Delta \sigma_d)_f}{2} - (\Delta u_d)_f$$

• در حالت کلی در خاک های پیش تحکیم یافته و یا ماسه ای متراکم و یا در واقع خاک هایی که دارای پارامترهای مقاومت برشی زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی بوده، معادله پوش گسیختگی به صورت یک خط با شیب و عرض از مبدا مفروض خواهد بود:

$$q' = m + p' \tan \alpha$$

• می توان نشان داد که رابطه بین پارامترهای مقاومت برشی معیار موهر - کولمب و مسیر تنش به صورت زیر خواهد بود:

$$m = c' \cos \phi'$$

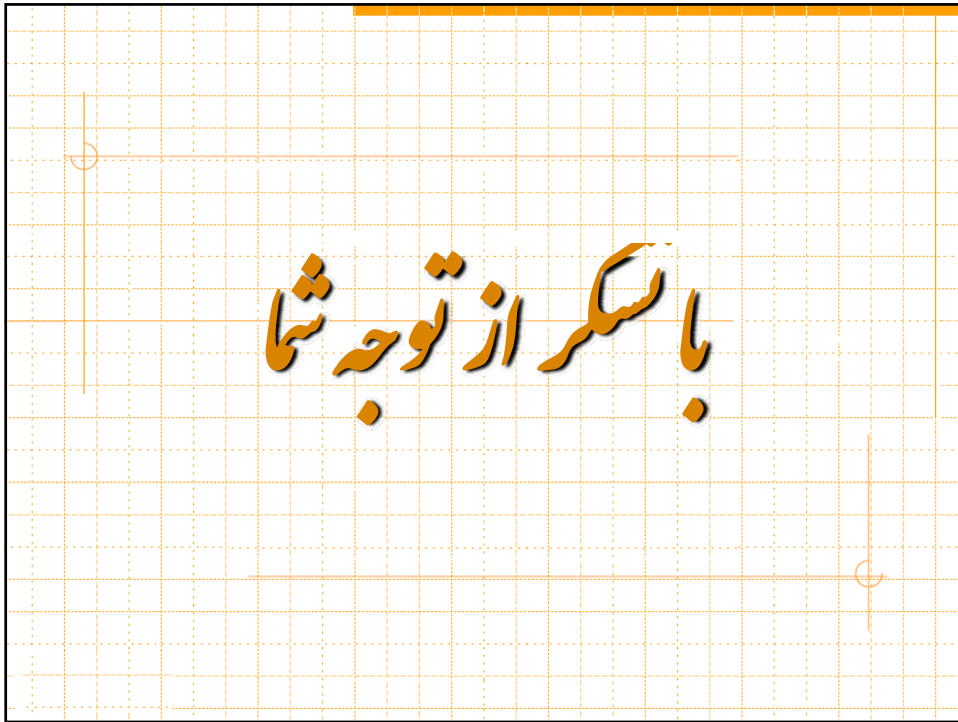
$$\alpha = \tan^{-1}(\sin \phi')$$

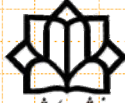
۵۱/۵۱

علی میرزایی



فصل دوازدهم: مقاومت برشی

مکانیک خاک






دانشگاه سوادکوه
دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران

مکانیک خاک

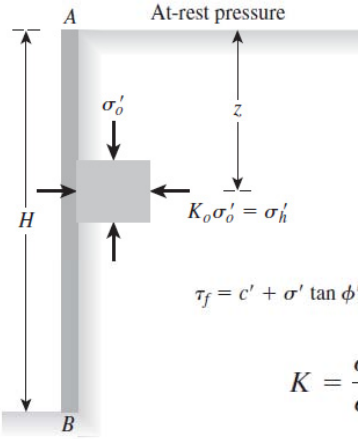
فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

علی میرزایی



مقدمه:

- دانستن نحوه توزیع فشار جانبی خاک در تحلیل بسیاری از مسائل همچون طراحی دیوارهای حائل، خاکریزها و پایداری شیروانی های خاک حایز اهمیت می باشد.
- در این فصل به بیان تئوری های توزیع فشار جانبی در خاک ها پرداخته شده است.



At-rest pressure

σ'_o

$K_o \sigma'_o = \sigma'_h$

$\tau_f = c' + \sigma'_o \tan \phi'$

$K = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_o}$

۱۳-۱- فشارهای جانبی در حالت سکون، محرک و مقاوم

شیروانی خاکی نشان داده شده در شکل زیر را در نظر بگیرید. فرض شود که در یک المان از این شیروانی مطابق شکل، وضعیت تنش های موثر قائم و افقی مطابق شکل نشان داده شده باشد.

فرض شود که نسبت تنش های افقی به تنش های قائم با یک پارامتر بدون بعد K نشان داده شود:

۱/۳۰

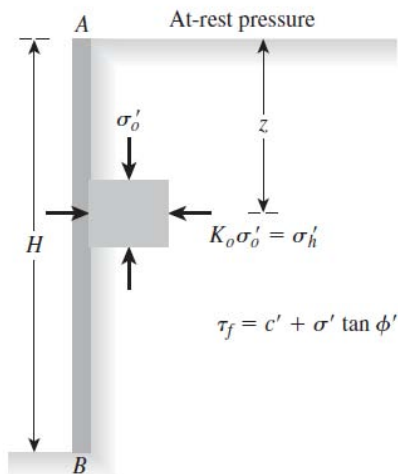
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۱- فشارهای جانبی در حالت سکون، محرک و مقاوم

• با توجه به وضعیت دیوار پشت خاکریز، مقدار نسبت تنش های افقی به تنش های قائم می تواند در سه وضعیت مختلف واقع گردد.



حالت اول: دیوار AB ساکن باشد

• در این وضعیت خاک در حالت تعادل ایستا بوده و به فشارهای جانبی (تنش های افقی) اصطلاحاً فشارهای جانبی در حالت سکون اطلاق شده و به نسبت تنش های افقی به تنش های قائم در حالت ایستا اصطلاحاً ضریب فشار جانبی خاک در حالت سکون (K_o) اطلاق می شود.

$$K = K_o = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_o}$$

۲/۳۰

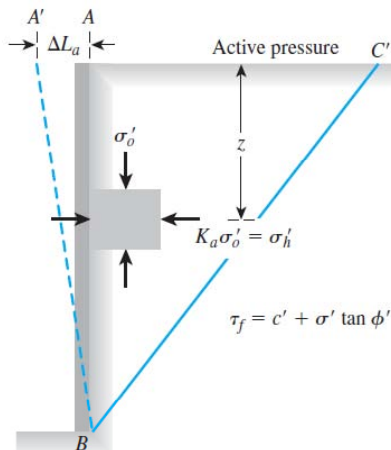
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۱- فشارهای جانبی در حالت سکون، محرک و مقاوم

حالت دوم: دیوار AB به سمت بیرون دوران کند.



• در این وضعیت دیوار AB به وضعیت A'B دوران نموده و به واسطه این امر گوه گسیختگی ABC تشکیل شده و خاک در امتداد صفحه BC به وضعیت تعادل پلاستیک رسیده و در صورت دوران بیش از حد در امتداد صفحه BC لغزیده خواهد شد.

• در این وضعیت فشار جانبی خاک را اصطلاحاً فشار جانبی خاک در وضعیت محرک اطلاق نموده و به نسبت فشار جانبی محرک خاک به تنش قائم اصطلاحاً ضریب فشار جانبی محرک خاک اطلاق می شود.

$$K = K_a = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_o} = \frac{\sigma'_a}{\sigma'_o}$$

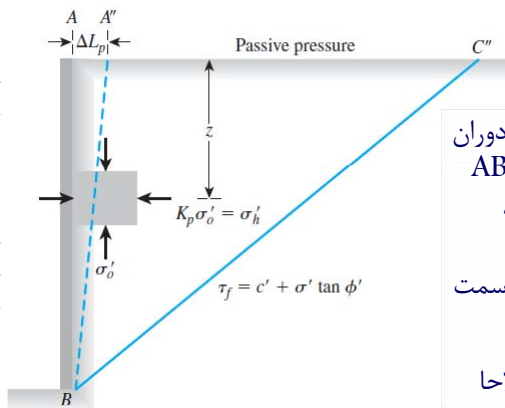
۳/۳۰

علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۱- فشارهای جانبی در حالت سکون، محرک و مقاوم



حالت سوم: دیوار AB به سمت داخل دوران کند.

• در این وضعیت دیوار AB به وضعیت A'B' دوران نموده و به واسطه این امر گسیختگی ABC تشکیل شده و خاک در امتداد صفحه BC به وضعیت تعادل پلاستیک رسیده و در صورت دوران بیش از حد در امتداد صفحه BC به سمت بالا لغزیده خواهد شد.

• در این وضعیت فشار جانبی خاک را اصطلاحاً فشار جانبی مقاوم اصطلاحاً نموده و به نسبت فشار جانبی مقاوم خاک به تنش قائم اصطلاح ضریب فشار جانبی مقاوم خاک اطلاق می شود.

$$K = K_p = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_o} = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_o}$$

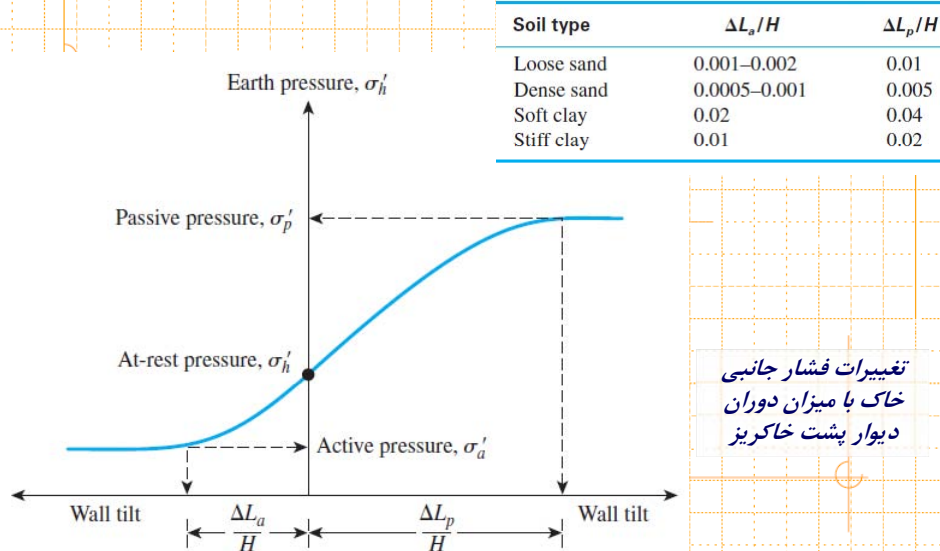
۴/۳۰

علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۱- فشارهای جانبی در حالت سکون، محرک و مقاوم



تغییرات فشار جانبی خاک با میزان دوران دیوار پشت خاکریز

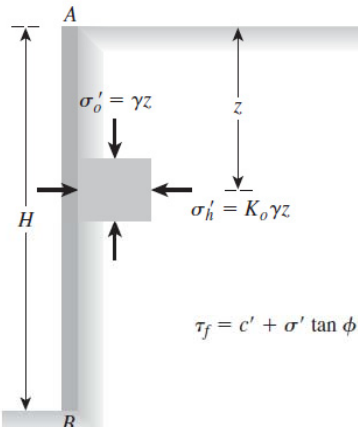
۵/۳۰

علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۲- فشار جانبی خاک در حالت سکون



Vertical effective stress = $\sigma'_o = \gamma z$
 Horizontal effective stress = $\sigma'_h = K_o \gamma z$

$K_o = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_o} = \text{at-rest earth pressure coefficient}$

$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi'$

$K_o = 1 - \sin \phi'$

• رابطه پیشنهادی جکی (۱۹۴۴)
 برای ضریب فشار جانبی در حالت سکون در خاک های دانه ای

• رابطه پیشنهادی شریف و همکاران (۱۹۸۴) برای خاک های دانه ای:
 $K_o = (1 - \sin \phi) + \left[\frac{\gamma_d}{\gamma_{d(\min)}} - 1 \right] 5.5$

• رابطه پیشنهادی ماین و کولهاوی (۱۹۸۲) برای خاک های رسی پیش تحکیم یافته و عادی تحکیم یافته:
 $K_o = (1 - \sin \phi')(OCR)^{\sin \phi'}$

۶/۳۰ علی میرزایی فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک مکانیک خاک

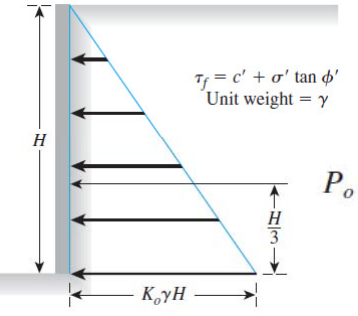
۱۳-۲- فشار جانبی خاک در حالت سکون

$K_o = 0.44 + 0.42 \left[\frac{PI(\%)}{100} \right]$

• رابطه پیشنهادی ماساراج (۱۹۷۹) برای خاک های رسی عادی تحکیم یافته

• رابطه بین ضریب فشار جانبی خاک های رسی عادی تحکیم یافته و پیش تحکیم یافته:
 $K_{o(\text{overconsolidated})} = K_{o(\text{normally consolidated})} \sqrt{OCR}$

• مقدار برآیند فشارهای جانبی وارد بر دیوار حایل در حالت سکون و محل اثر آن را می توان با توجه به شکل زیر محاسبه نمود:

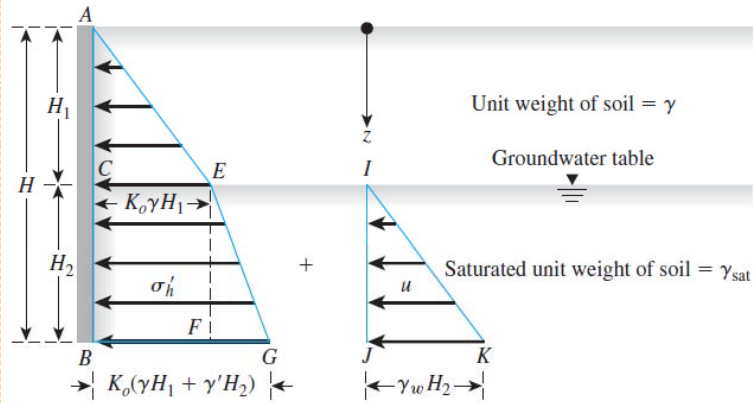


$P_o = \frac{1}{2} K_o \gamma H^2$

۷/۳۰ علی میرزایی فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک مکانیک خاک

۱۳-۲- فشار جانبی خاک در حالت سکون

• در صورتی که خاک اشباع باشد، برای محاسبه توزیع فشار جانبی در حالت سکون، بایستی ضریب فشار جانبی را تنها در تنش های موثر اثر داده و فشار جانبی کل را به صورت حاصل جمع فشار جانبی موثر و فشار آب حفره ای در نظر گرفت.



۸/۳۰

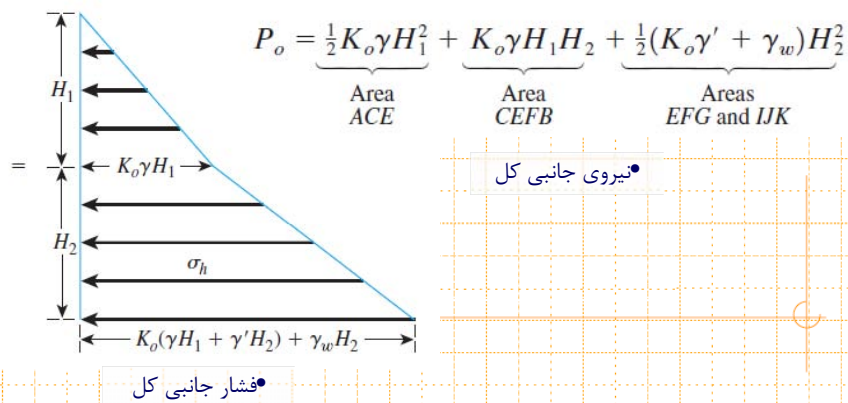
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۲- فشار جانبی خاک در حالت سکون

• در صورتی که خاک اشباع باشد، برای محاسبه توزیع فشار جانبی در حالت سکون، بایستی ضریب فشار جانبی را تنها در تنش های موثر اثر داده و فشار جانبی کل را به صورت حاصل جمع فشار جانبی موثر و فشار آب حفره ای در نظر گرفت.



۹/۳۰

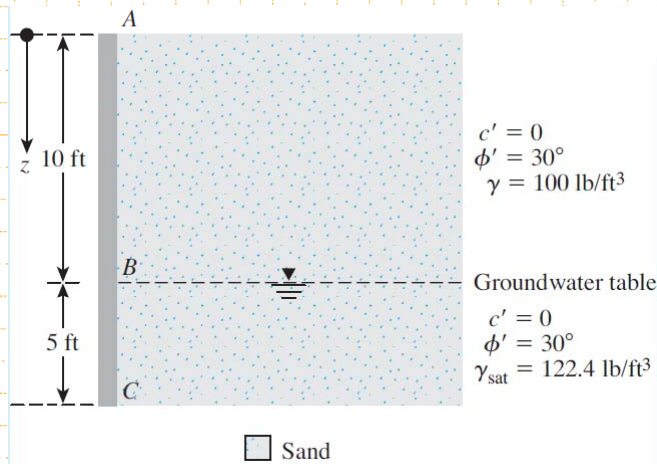
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۲- فشار جانبی خاک در حالت سکون

• مثال: در شکل زیر مطلوبست ترسیم دیاگرام توزیع فشار جانبی در حالت سکون و محاسبه مقدار برآیند نیروهای جانبی و محل اثر آن:



۱۰/۳۰

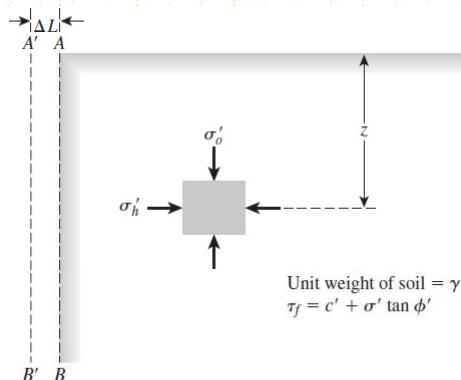
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۳- تئوری فشار جانبی محرک رانکین

• در صورتی که یک شیروانی خاکی مطابق شکل زیر دارای اجازه حرکت به سمت بیرون از شیروانی را داشته باشد، این حرکت ادامه یافته و در صورت ادامه آن خاک به وضعیت گسیختگی پلاستیک می رسد.



• در صورتی که دیوار ساکن باشد، مقدار فشار جانبی حالت سکون برابر خواهد بود با:

$$\sigma'_h = K_o \sigma'_o$$

• در صورتی که اجازه حرکت به سمت بیرون فراهم گردد و خاک به مرز گسیختگی پلاستیک برسد، مقدار فشار جانبی حالت محرک برابر است با:

$$K_a \sigma'_o = \sigma'_h$$

۱۱/۳۰

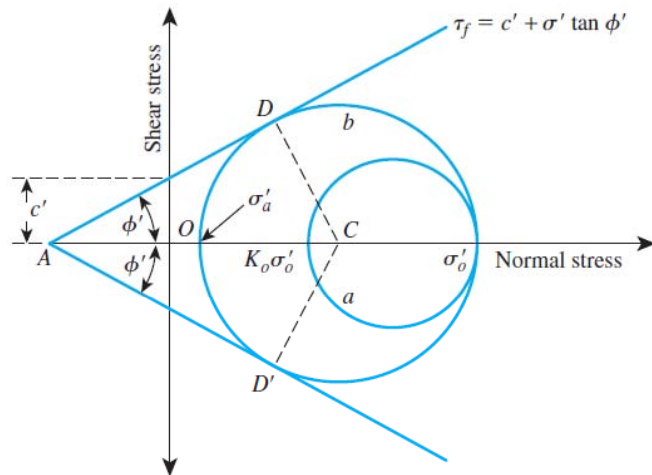
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۳- تئوری فشار جانبی محرک رانکین

• برای محاسبه مقدار ضریب فشار جانبی محرک حالت رانکین، می توان از دایره موهر و پوش گسیختگی موهر - کولمب استفاده نمود:



۱۲/۳۰

علی میرزایی

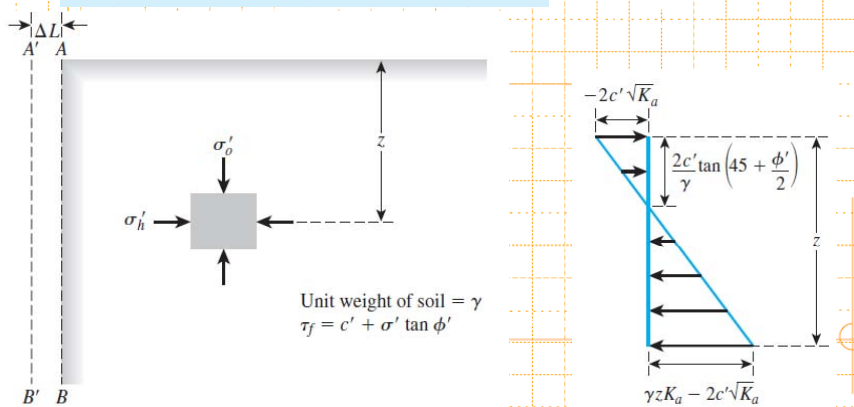
فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۳- تئوری فشار جانبی محرک رانکین

• با توجه به شکل صفحه قبلی، مقدار فشار جانبی محرک برای خاک نشان داده شده برابر مقدار رابطه زیر خواهد بود:

$$\sigma'_a = \gamma z \tan^2\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right) - 2c' \tan\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right)$$



۱۳/۳۰

علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

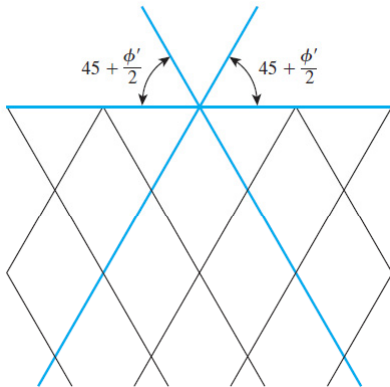
۱۳-۳- تئوری فشار جانبی محرک رانکین

• در خاک های ماسه ای و رس عادی تحکیم یافته، مقدار C' برابر صفر بوده، در نتیجه:

$$\sigma'_a = \sigma'_o \tan^2\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right)$$

• و نهایتاً مقدار ضریب فشار جانبی حالت محرک رانکین در خاک های فاقد چسبندگی برابر زیر خواهد شد:

$$K_a = \frac{\sigma'_a}{\sigma'_o} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right)$$



۱۴/۳۰

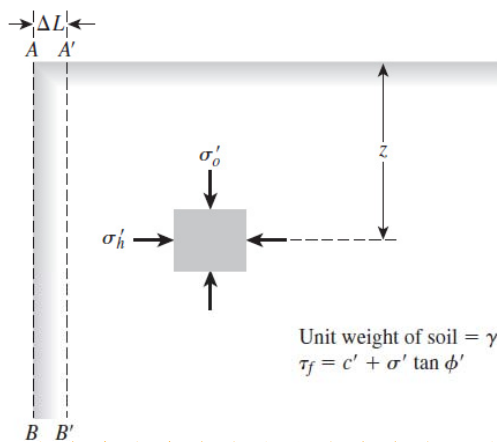
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۴- تئوری فشار جانبی مقاوم رانکین

• در صورتی که یک شیروانی خاکی مطابق شکل زیر دارای اجازه حرکت به سمت داخل شیروانی را داشته باشد، این حرکت ادامه یافته و در صورت ادامه آن خاک به وضعیت گسیختگی پلاستیک می رسد.



• در صورتی که دیوار ساکن باشد، مقدار فشار جانبی حالت سکون برابر خواهد بود با:

$$\sigma'_h = K_o \sigma'_o$$

• در صورتی که اجازه حرکت به سمت بیرون فراهم گردد و خاک به مرز گسیختگی پلاستیک برسد، مقدار فشار جانبی حالت محرک برابر است با:

$$K_p \sigma'_o = \sigma'_h$$

۱۵/۳۰

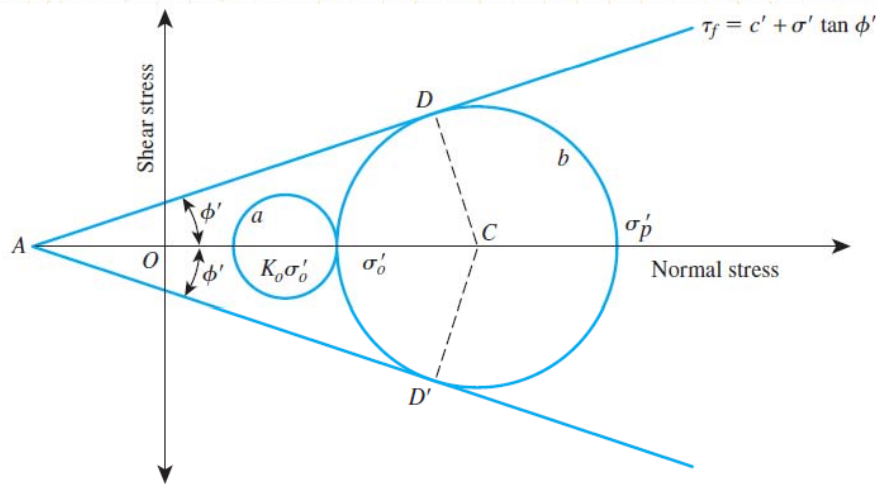
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۳- تئوری فشار جانبی مقاوم رانکین

• برای محاسبه مقدار ضریب فشار جانبی مقاوم حالت رانکین، می توان از دواير موهر و پوش گسيختگی موهر - کولمب استفاده نمود:



۱۶/۳۰

علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

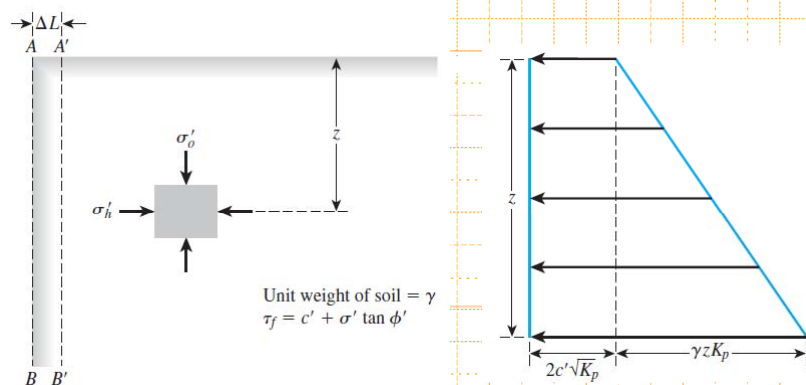
مکانیک خاک

۱۳-۳- تئوری فشار جانبی مقاوم رانکین

$$\sigma'_p = \sigma'_o \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$= \gamma z \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

• با توجه به شکل صفحه قبلی، مقدار فشار جانبی مقاوم برای خاک نشان داده شده برابر مقدار رابطه زیر خواهد بود:



۱۷/۳۰

علی میرزایی

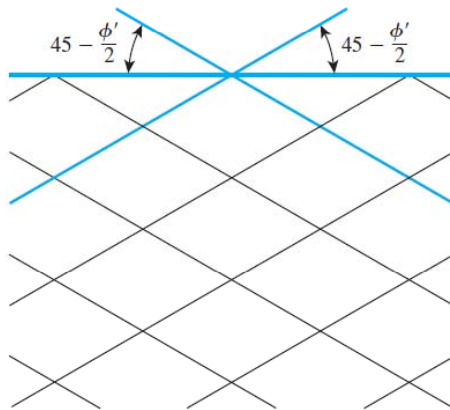
فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۳- تئوری فشار جانبی مقاوم رانکین

• در خاک های ماسه ای و رس عادی تحکیم یافته، مقدار c' برابر صفر بوده، در نتیجه:

$$\sigma'_p = \sigma'_o \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)$$



• و نهایتاً مقدار ضریب فشار جانبی حالت مقاوم رانکین در خاک های فاقد چسبندگی برابر زیر خواهد شد:

$$\frac{\sigma'_p}{\sigma'_o} = K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)$$

۱۸/۳۰

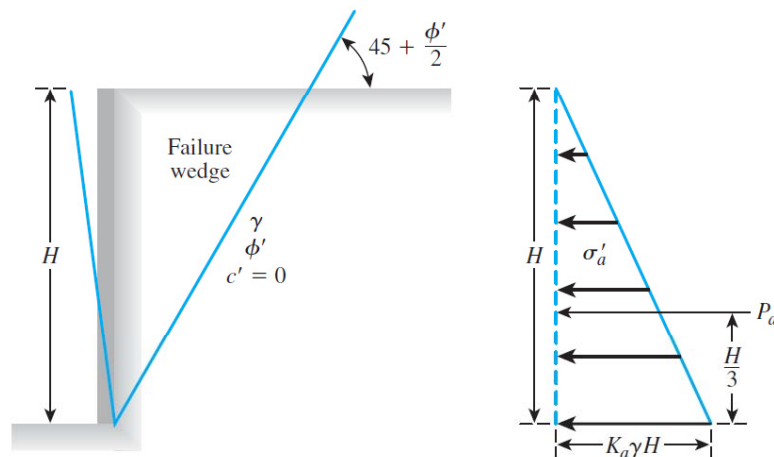
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۴- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

مخاک خشک فاقد چسبندگی:



۱۹/۳۰

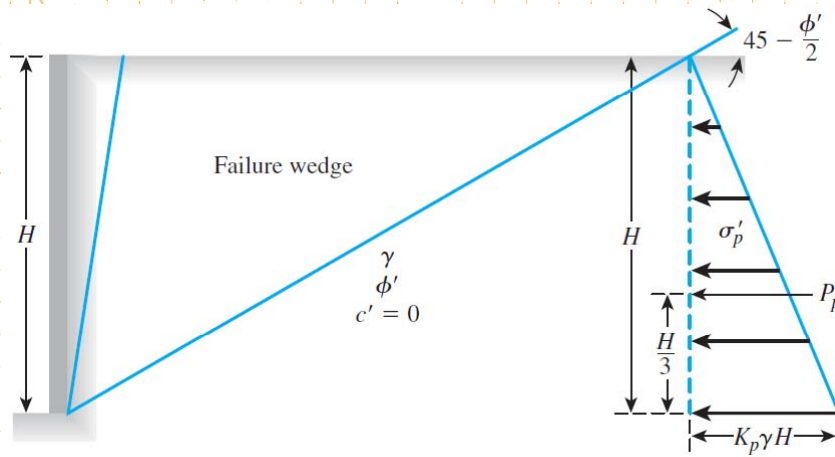
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۴-۱۳- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

مخاک خشک فاقد چسبندگی:



۲۰/۳۰

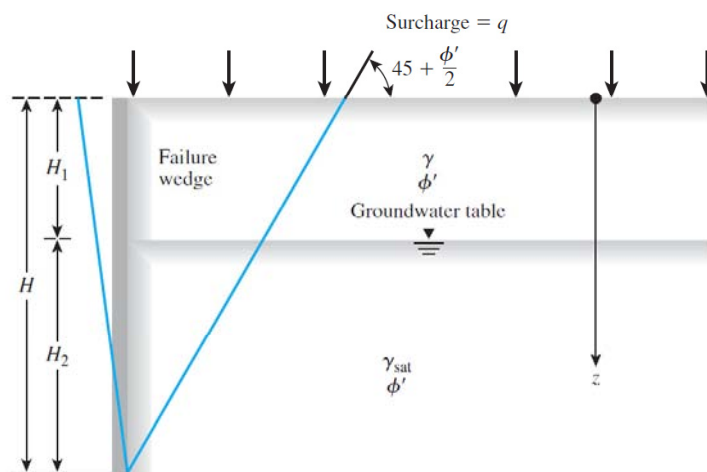
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۴-۱۳- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

مخاک فاقد چسبندگی دارای آب زیرزمینی و سربار:



۲۱/۳۰

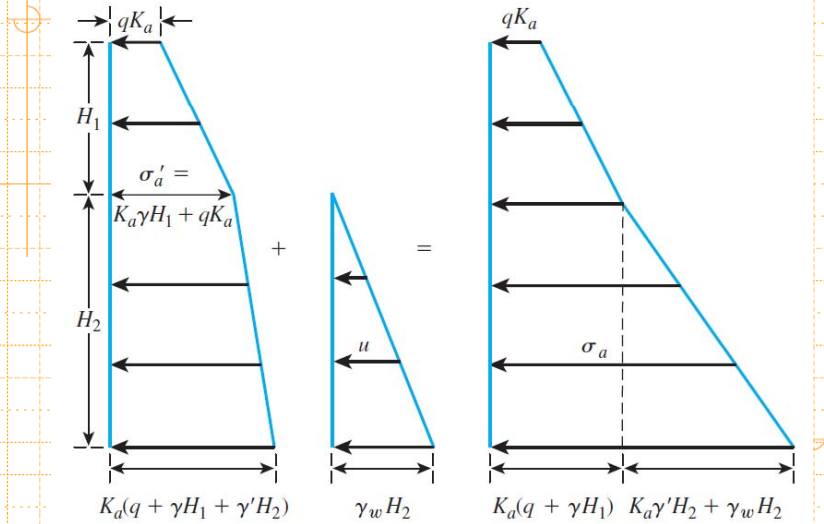
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۴-۱۳- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

مخاک فاقد چسبندگی دارای آب زیرزمینی و سربار:



۲۲/۳۰

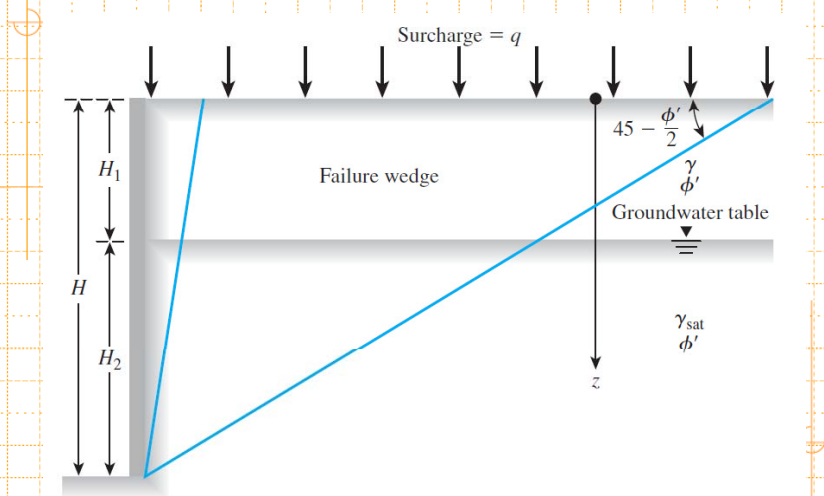
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۴-۱۳- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

مخاک فاقد چسبندگی دارای آب زیرزمینی و سربار:



۲۳/۳۰

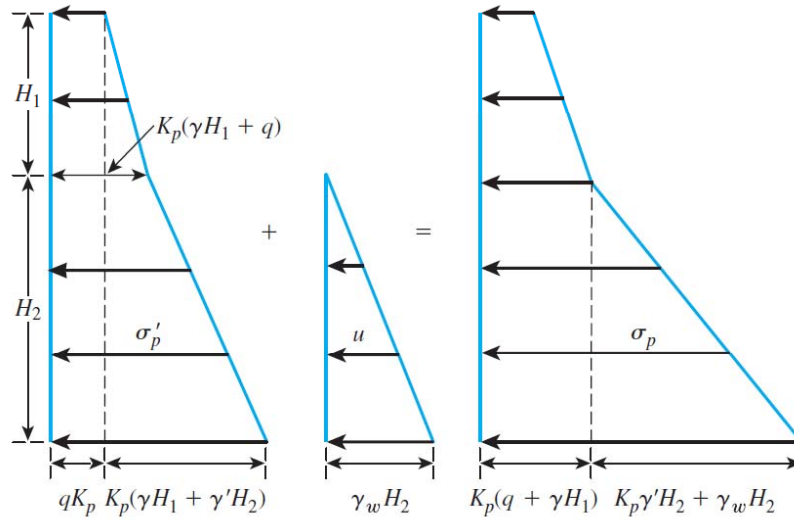
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۴-۱۳- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

مخاک فاقد چسبندگی دارای آب زیرزمینی و سرریز:



۲۴/۳۰

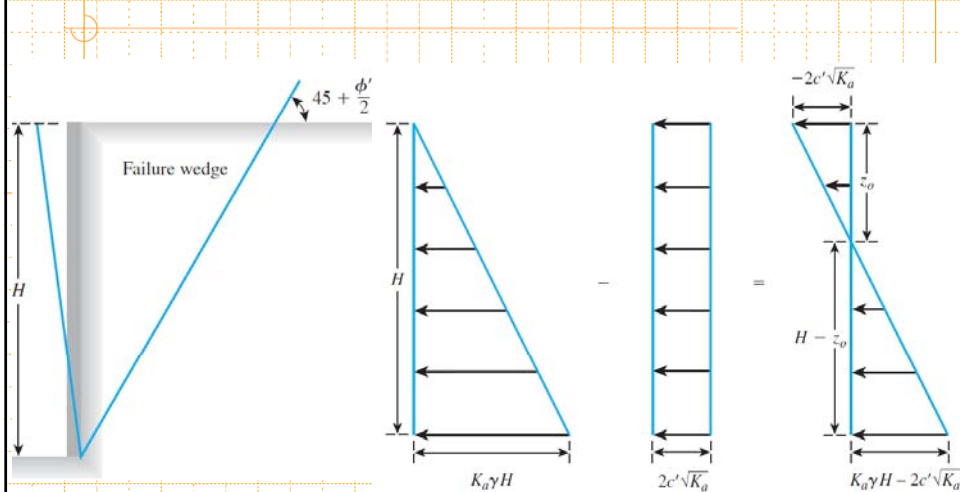
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۴-۱۳- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

مخاک چسبنده خشک:



۲۵/۳۰

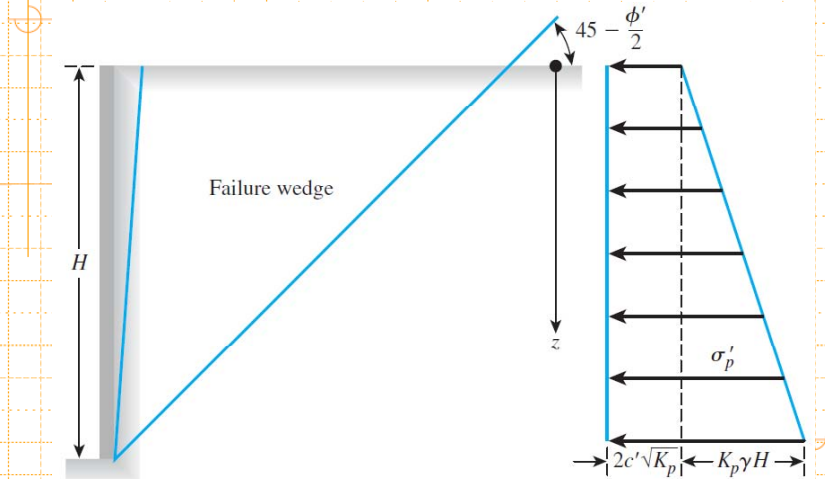
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۴-۱۳- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

مخاک چسبنده خشک:



۲۶/۳۰

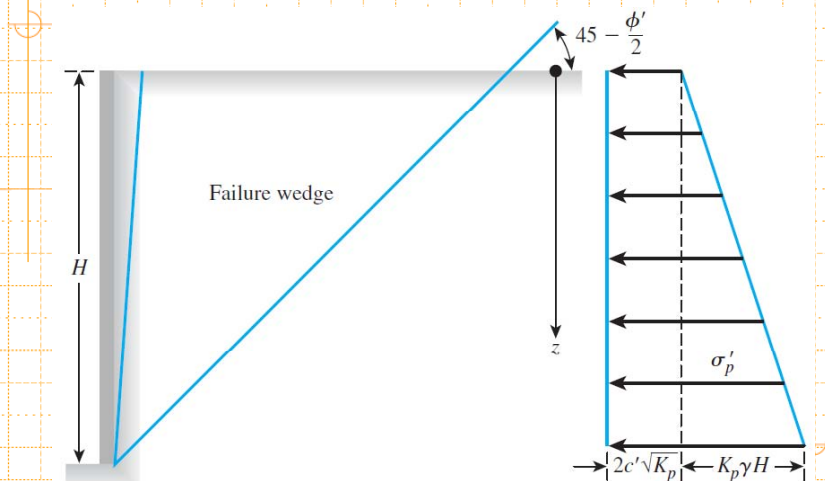
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۴-۱۳- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

مخاک چسبنده خشک:



۲۷/۳۰

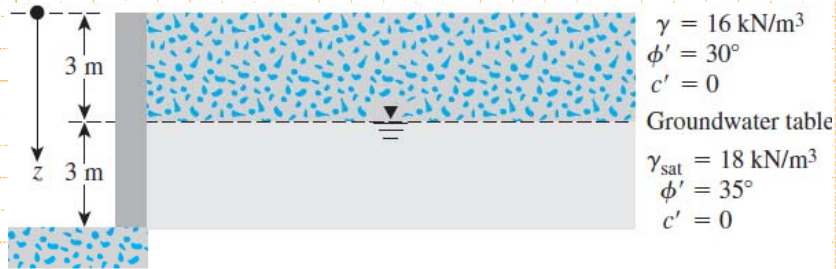
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۴-۱۳- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

• مثال: در شکل زیر مطلوبست ترسیم توزیع فشار جانبی محرک رانکین و مقدار و محل برآیند آن



۲۸/۳۰

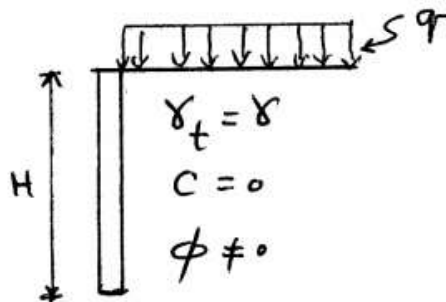
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۴-۱۳- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

در دیوار حائل شکل، حداکثر مقدار سربار q بر حسب γ و H چقدر باشد تا لنگر واژگونی در حالت وجود سربار q از دو برابر لنگر واژگونی در حالت عدم وجود سربار تجاوز نکند؟



۲۹/۳۰

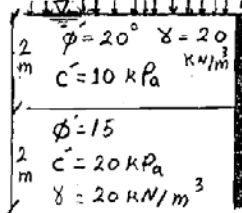
علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

۱۳-۴- مثال های کاربردی از تئوری های محرک و مقاوم رانکین

یک دیوار حائل مطابق شکل مقابل مفروض است. برای جلوگیری از ترک خوردگی، سرباری به شدت q بر روی سطح خاک پشت دیوار اعمال می شود. حداقل مقدار سربار فوق چه میزان باید باشد؟ (بر حسب کیلونیوتن بر متر)



۳۰/۳۰

علی میرزایی

فصل سیزدهم: فشار جانبی خاک

مکانیک خاک

با سکر از توجه شما