



مکانیک خاک

تألیف و ترجمه:

دکتر محمودرضا کی‌منش
(عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور)

دکتر سهیل قره
(عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور)



سرشناسه:	کی منش، محمودرضا، ۱۳۳۸ -
عنوان و نام پدیدآور:	مکانیک خاک / تالیف و ترجمه محمودرضا کی منش، سهیل قره.
مشخصات نشر:	تهران: نوآور، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری:	ص: ۳۴۴، مصور، جدول، نمودار.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۳۴۰-۴
وضعیت فهرست نویسی:	فیپا
یادداشت:	کتابنامه: ص. ۳۴۲ - ۳۴۴.
موضوع:	خاک -- مکانیک
موضوع:	Soil mechanics
موضوع:	خاک -- مکانیک -- مسائل، تمرینها و غیره (عالی)
موضوع:	(Soil. Higher mechanics -- Problems, exercises, etc
شناسه افزوده:	قره، سهیل
رده بندی کنگره:	TA ۷۱۰/م۷ ۱۳۹۵
رده بندی دیویی:	۱۵۱۳۶/۶۲۴
شماره کتابشناسی ملی:	۴۳۹۳۷۹۲

مکانیک خاک

تألیف و ترجمه: دکتر محمودرضا کی منش، دکتر سهیل قره
 ناشر: نوآور
 شمارگان: ۱۰۰ نسخه
 نوبت چاپ:
 شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۳۴۰-۴



نشر نوآور

مرکز پخش:

نوآور، تهران، خیابان انقلاب، خیابان فخررازی، خیابان شهدای
 ژاندارمری نرسیده به خیابان دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸
 طبقه دوم، واحد ۶ تلفن: ۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱ www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و
 مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به
 نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این
 کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر
 الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی‌دی، دی‌وی‌دی،
 فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور
 ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار
 می‌گیرند.

فهرست مطالب

فصل اول: ویژگیهای بنیادی خاک

- ۱-۱- منشاء خاکها
- ۲-۱- طبیعت خاکها
- ۳-۱- خواص خمیری خاکهای ریزدانه
- ۴-۱- آنالیز اندازه ذرات
- ۵-۱- توصیف و طبقه‌بندی خاک
- دستورالعمل ارزیابی سریع
- آزمایش ضربه
- آزمایش قابلیت انبساط
- آزمایش مقاومت خشک
- جزئیات توصیف خاک
- سیستم‌های طبقه‌بندی خاک
- ۶-۱- روابط وزنی-حجمی
- ۷-۱- تراکم خاک
- تراکم آزمایشگاهی
- تراکم صحرائی
- غلطک‌های چرخ صاف
- غلطک‌های پنوماتیک
- غلطک‌های پاچه‌بزی
- غلطک‌های شبکه‌ای
- غلطک‌های ویبره
- صفحات لرزان
- زمین کوب مکانیکی
- آزمایش وضعیت رطوبت
- خلاصه
- مسائل
- مراجع

فصل دوم: تراوش

- ۱-۲- آب خاک
- ۲-۲- نفوذپذیری و آزمایشات
- تعیین ضریب نفوذپذیری
- روش‌های آزمایشگاهی
- آزمایش پمپاژ چاه
- آزمایش‌های گمانه
- ۳-۲- تئوری تراوش
- ۴-۲- شبکه جریان
- ۵-۲- شرایط خاک ناهمسان
- ۶-۲- شرایط خاک ناهمسان
- ۷-۲- راه حل عددی با استفاده از روش تفاضل محدود
- ۸-۲- شرایط انتقال
- ۹-۲- تراوش در سدهای خاکی

تبدیل همدیس $\tau = W2$
 کاربرد در مقاطع سد خاکی
 کنترل تراوش در سدهای خاکی
 ۱۰-۲- طراحی فیلتر

خلاصه

مسائل

مراجع

فصل سوم: تنش موثر

۱-۳- مقدمه

۲-۳- اصل تنش موثر

تنش عمودی موثر ناشی از وزن خاک

۳-۳- راه حل عددی با استفاده از روش تفاضل محدود

۴-۳- پاسخ تنش موثر به تغییرات تنش کل

اندازه‌گیری تحکیم

۵-۳- تنش موثر در خاکهای نیمه اشباع

۶-۳- تاثیر تراوش بر تنش موثر

۷-۳- روانگرایی

روانگرایی ناشی از تراوش

شرایط مجاورت سپر فولادی

روانگرایی دینامیکی- لرزه ای

خلاصه

مسائل

مراجع

فصل چهارم: تحکیم

۱-۴- مقدمه

۲-۴- آزمایش ادنومتر

تاریخچه تنش

خصوصیات تراکم‌پذیری

منحنی $e - \log \sigma'$ بر جا

۳-۴- نشست تحکیم

۴-۴- درجه تحکیم

۵-۴- تئوری ترزاقی برای تحکیم یک بعدی

حل معادله تحکیم

۶-۴- تعیین ضریب تحکیم

روش لگاریتم زمان (با توجه به کاساگرانده)

روش ریشه دوم زمان (با توجه به نظریه تیلور)

نسبت فشردگی

۷-۴- فشردگی ثانویه

۸-۴- راه حل عددی با استفاده از روش تفاضل محدود

۹-۴- تصحیح برای دوره ساخت

۱۰-۴- زهکشهای عمودی

۱۱-۴- پیش بارگذاری

خلاصه

مسائل

مر

فصل پنجم: رفتار خاک تحت تنش برشی

۱-۵- مقدمه‌های بر مکانیک محیط‌های پیوسته

۲-۵- مدل‌های ساده الاستیسیته خاک

الاستیسیته خطی

الاستیسیته غیر خطی

۳-۵- مدل‌های ساده پلاستیسیته خاک

خاک یک ماده اصطکاکی

مدل موهر - کولمب

تأثیر شرایط زهکشی بر مقاومت برشی

۴-۵- آزمایش برشی آزمایشگاه

آزمایش برشی مستقیم

تفسیر نتایج آزمایش برش مستقیم

آزمایش سه محوره

محدودیتها و اصلاحات آزمایش

تفسیر نتایج آزمایش سه محوره: سختی

آزمایش تحت فشار معکوس

انواع آزمایشهای سه محوره

دیگر آزمایشات

۵-۵- مقاومت برشی خاکهای درشدانه

روانگرایی

۶-۵- مقاومت برشی خاکهای ریز دانه اشباع

تحکیم یکنواخت

مقاومت با توجه به تنش موثر

مقاومت زهکشی نشده

حساسیت

۷-۵- چهار چوب وضعیت بحرانی

رفتار حجمی در طول برش زهکشی شده

تعریف خط وضعیت بحرانی

۸-۵- مقاومت پسماند

۹-۵- تخمین پارامترهای مقاومت با استفاده از آزمایشهای شاخص

زاویه وضعیت بحرانی مقاومت برشی (ϕ_{cv}')

زاویه اصطکاک پسماند

خلاصه

مسائل

مراجع

فصل ششم: بررسی‌های صحرائی

۱-۶- مقدمه

۲-۶- روشهای بررسی اکتشافی

چاهکهای آزمایشی

- چاه‌ها و سوها
 مته‌های نمونه‌گیر مکانیکی
 مته‌های قابل حمل و دستی
 حفاری شستشویی
 حفاری دورانی
 مشاهدات آبهای زیر زمینی
 ۳-۶- نمونه‌گیری
 نمونه‌گیر کوبشی باز
 نمونه‌گیر جداره نازک
 نمونه‌گیر شیاردار (دوکفه‌ای)
 نمونه‌گیر پیستونی
 نمونه‌گیر پیوسته
 نمونه‌گیر با هوای فشرده
 نمونه‌گیر دریچه‌ای
 ۴-۶- انتخاب روش (های) آزمایش آزمایشگاهی
 ۵-۶- لاگ گمانه
 ۶-۶- آزمایش نفوذ مخروط (CPT)
 ۷-۶- روشهای ژئوفیزیکی
 انکسار لرزه‌ای
 تحلیل طیفی امواج سطحی
 مقاومت الکتریکی
 ۸-۶- زمین آلوده
 خلاصه
 مراجع

فصل هفتم: آزمونهای برجا

- ۱-۷- مقدمه
 ۲-۷- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)
 تفسیر SPT در خاکهای درشتدانه
 تفسیر SPT در خاکهای ریزدانه (C_u)
 ۳-۷- آزمایش پره صحرایی (FVT)
 ۴-۷- آزمون پرسیمتر (PMT)
 تفسیر PMT در خاکهای ریزدانه (C_u, G)
 رفتار خطی خاک الاستیک
 رفتار پلاستیک-الاستیک خاک
 استنتاج عملی پارامترهای خاک
 تفسیر PMT در خاکهای درشت دانه (ψ, ϕ', G)
 ۵-۷- آزمون نفوذ مخروط (CPT)
 تفسیر CPT در خاکهای درشت دانه (G_0, ϕ'_{max}, I_D)
 تفسیر نتایج CPT در خاکهای ریزدانه ($c_u, OCR, K_0, \phi'_{max}, G_0$)
 ۶-۷- انتخاب روش (های) آزمون برجا
 خلاصه
 مسائل
 مراجع

فصل اول

ویژگیهای بنیادی خاک

نتایج یادگیری

بعد از مطالعه و یادگیری موضوعات این فصل، شما باید توانایی موارد ذیل را داشته باشد:

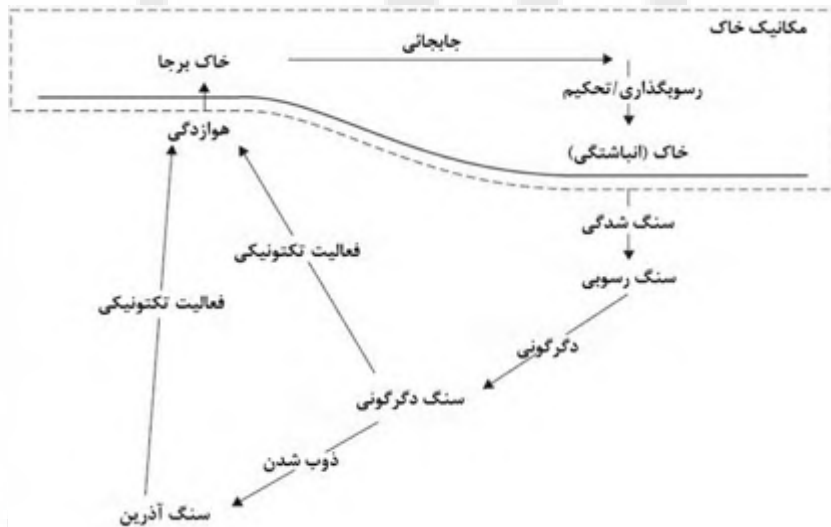
- ۱- درک چگونگی تشکیل خاکهای رسوبی و ترکیب و ساختمان خاکها در مقیاس بافت ریز خاک (بخشهای ۱-۱ و ۲-۱).
- ۲- توصیف (بخش ۱-۳ و ۴-۱) و طبقه‌بندی (بخش ۱-۵) خاکها بر اساس خصوصیات فیزیکی آنها.
- ۳- تعیین خصوصیات فیزیکی بنیادی محیط پیوسته خاک (به طور مثال در مقیاس بافت درشت خاک، بخش ۱-۶).
- ۴- مشخص کردن تراکم مورد نیاز برای تولید مصالح خاکریز مهندسی با خواص پیوسته مورد نظر، برای استفاده در سازه‌های ژئوتکنیکی (بخش ۱-۷).

۱-۱- منشأ خاکها

از دیدگاه مهندس عمران، خاک متشکل از ذرات معدنی سیمانته شده یا با سیمان‌تاسیون ضعیف است که از هوازدگی و فرسایش سنگ به عنوان بخشی از چرخه سنگ تشکیل می‌گردد (شکل ۱-۱).

فضای خالی بین ذرات خاک حاوی آب و هوا می‌باشد. سیمان‌تاسیون ضعیف می‌تواند ناشی از کربنات‌ها یا اکسیدهای رسوب شده بین ذرات و یا ناشی از مواد آلی باشد. فرآیند رسوبگذاری و فشردگی خاک‌ها به همراه سیمان‌تاسیون، خاک را به سنگ‌های رسوبی تبدیل می‌کند (فرآیند سنگ شدگی). در صورت باقی ماندن مصالح حاصل از هوازدگی سنگ در همان محل، خاک برجا تشکیل می‌گردد. اگر مصالح حاصل از هوازدگی سنگ به مکان دیگر منتقل شوند و سپس رسوب کنند خاک انتقالی تشکیل می‌گردد. لازم به ذکر است عامل جابجائی مصالح می‌تواند نیروی ثقل، باد، آب و یخچال‌ها باشند.

شکل و اندازه ذرات می‌تواند در طول فرآیند جابجائی دستخوش تغییر شود و ذرات در محدوده اندازه‌های مشخصی مرتب شوند. اندازه ذرات می‌تواند از ۱۰۰ میلی‌متر تا کمتر از ۰/۰۰۱ میلی‌متر تغییر کند. در انگلستان اندازه ذرات همانند آنچه در شکل ۱-۲ نشان داده شده است توصیف می‌شود. در شکل ۱-۲، واژه‌های "رس"، "سیلت" و غیره فقط برای توصیف اندازه ذرات بین محدوده مشخصی بکار می‌رود. به هر حال زمانی که خاک‌ها بر اساس رفتار مکانیکی دسته‌بندی می‌شوند از همین واژه‌ها استفاده می‌شود (رجوع شود به بخش ۱-۵). اگرچه اصطلاحات مشابه برای توصیف انواع خاصی از خاک استفاده می‌شود، طبقه‌بندی بر اساس رفتار مکانیکی آنها به کار برده می‌شود.



شکل ۱-۱- پرفه سنگ

اسم	سیلت			ماسه			شن			تخته سنگ / قلوپسنگ	
	ریز	متوسط	درشت	ریز	متوسط	درشت	ریز	متوسط	درشت	۶۰	۳۰۰
	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۲	۰/۶	۲	۶	۲۰	۶۰	۳۰۰
	۰/۰۰۱	۰/۰۱		۰/۱		۱		۱۰			

اندازه ذرات (میلی‌متر)

شکل ۱-۲- محدوده اندازه ذرات



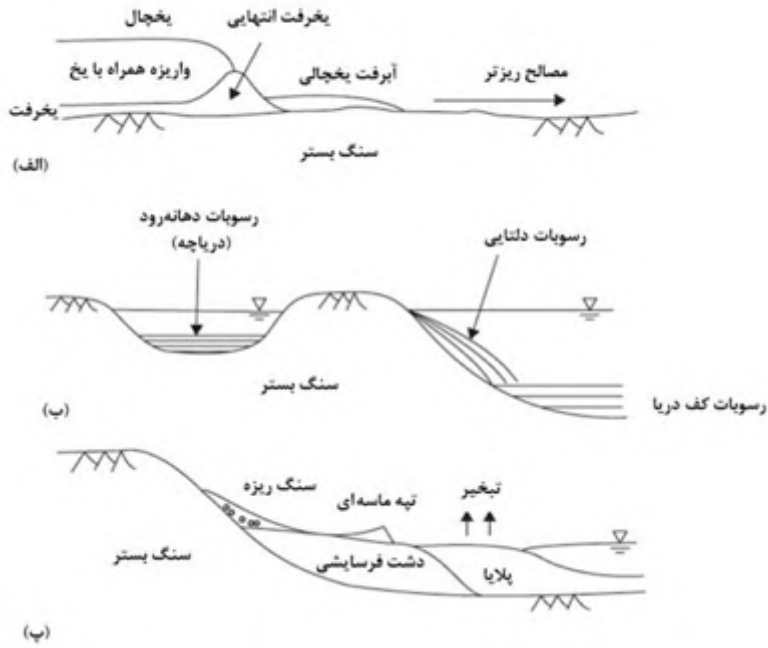
نحوه جابجائی و توالی رسوبگذاری، بر روی توزیع اندازه ذرات خاک در یک محل مشخص تأثیر زیادی دارند. تعدادی از رژیم‌های مرسوم رسوب‌گذاری خاک در شکل ۱-۳ نشان داده شده‌اند. در رژیم‌های یخچالی مصالح خاک، توسط عملکرد اصطکاکی و یخ زدن-ذوب شدن یخچال‌ها، از سطح سنگ‌های زیرین سائیده می‌شوند. مصالح مذکور که اندازه آنها معمولاً از ذرات رس تا قلوه‌سنگ بسیار متغیر است، به‌مراه لایه زیرین یخچال حمل می‌شوند و همزمان با ذوب یخچال ته‌نشین می‌شوند؛ مصالحی که از فرآیند مذکور بدست می‌آیند به عنوان رسوبات یخچالی یا یخرفت شناخته می‌شوند. همانطور که در شکل ۱-۳ الف نشان داده شده است، همزمان با ذوب یخچال، یخرفت به قسمت کناری انتقال داده می‌شود و مصالح ریزتر و سبک‌تر به راحتی به صورت معلق حمل می‌شوند که دانه-بندی بر حسب فاصله از یخچال متغیر می‌باشد (که در شکل ۱-۳-الف نشان داده شده است).

آب در شرایط آب و هوایی گرم‌تر عامل اصلی انتقال ذرات آب می‌باشد (به طور مثال رودخانه‌ها و دریاها) که در شکل ۱-۳-ب نشان داده شده است. این رسوبات به عنوان آبرفت شناخته می‌شوند، که ترکیب آن به سرعت جریان آب بستگی دارد. در رودخانه‌های با جریان آب سریع‌تر، ذرات بزرگ بصورت معلق حمل شده و موجب تشکیل آبرفت با ترکیبی از ذرات با اندازه شن و ماسه می‌گردد. در حالیکه رودخانه‌هایی با جریان آرام تنها ذرات ریزتر را با خود حمل می‌کنند. در محل ورود رودخانه به دریا، مصالح به صورت سنگ بستر یا دلتا رسوب کنند.

در محیط‌های خشک (صحرا) باد عامل اصلی انتقال ذرات، فرسایش رخنمون‌های سنگی و تشکیل دامنه‌ای با شیب کم از رسوبات ریزدانه بادرفتی (لس) می‌باشد. (شکل ۱-۳ پ).

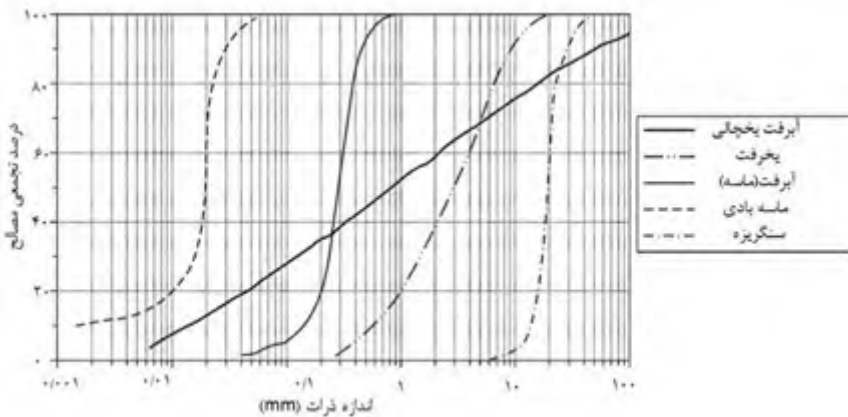
در سمت ساحل، همچنین ممکن است یک حوضه رسوبی از دریاچه‌های نمکی موقت که رسوبات نمکی را برجای می‌گذارند، تشکیل شود. همچنین اختلاف زیاد دمای شب و روز باعث هوازدگی حرارتی رخنمون سنگ و تشکیل خرده‌سنگ‌ها می‌شود. این فرآیند سطحی از لحاظ زمین‌شناسی بسیار جوان بوده و بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی از آن به عنوان رسوبات یخرفتی ذکر می‌شود. خاک‌هایی که بعد از رسوب‌گذاری، تحت تراکم و تحکیم چشمگیری قرار دارند خیلی قدیمی‌تر بوده و بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی به عنوان خاک در امتداد سنگ شناخته می‌شوند.

تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۴۱۹۱



شکل ۱-۳- محیط‌های مفتلف رسوبگذاری: (الف) یفحالی، (ب) رودخانه‌ای، (پ) صدرا

در یک خاک، درصد نسبی ذرات با اندازه‌های مختلف به عنوان دانه‌بندی توصیف می‌شود و منحنی‌های رایج برای مصالح، در محیط‌های مختلف رسوبگذاری، در شکل ۱-۴ نشان داده شده‌اند. شیوه تعیین دانه‌بندی ذرات رسوبی و کاربرد آنها در طبقه‌بندی خاک در بخش ۱-۴ و ۱-۵ ارائه شده است.



شکل ۱-۴- توزیع دانه‌بندی رسوبات در محیط‌های مفتلف رسوبگذاری

در یک ناحیه مشخص، مصالح زیرسطحی مخلوطی از خاک‌ها و سنگ‌ها می‌باشند که از لحاظ زمین‌شناسی مربوط به صدها میلیون سال قبل است. در نتیجه دانش و فهم کامل تاریخچه زمین‌شناسی یک ناحیه، برای اطلاع از خواص احتمالی رسوبات که بر روی سطح هستند، دارای اهمیت می‌باشد، همانطور که ممکن است رژیم‌های رسوبی در طول دوره‌های زمین‌شناسی به طور چشمگیری تغییر یافته باشند. به عنوان نمونه بخش میانه غربی انگلستان در دوره زمین‌شناسی کربنیفر، ۳۱۵ تا ۳۴۵ میلیون سال قبل، یک منطقه دلتایی بود که در آنجا مواد آلی ته نشین شده متعاقباً به ذغال سنگ تبدیل شدند.

پس از آن در دوره تریاس (۲۲۵ تا ۲۸۰ میلیون سال قبل) به دلیل تغییر سطح دریا، مصالح ماسه‌ای رسوبگذاری شدند که متعاقباً سخت و تبدیل به ماسه سنگ بانتر شدند. شکل‌گیری کوه‌ها در طی این دوره در قاره اروپا باعث چین‌خوردگی لایه‌های سنگی شد. پس از آن در اثر سیل در دریای شمال در طی دوره های کرتاسه - ژوراسیک (۱۳۶-۲۲۵ میلیون سال پیش) ذرات ریز و مصالح کربناته (رس لیاس و سنگ آهک اولیتیک) رسوب نمودند.

عصر یخبندان در دوره پلیستوسن، ۱/۵ تا ۲ میلیون سال قبل، متعاقباً موجب یخبندان تمامی انگلستان به جزء جنوبی‌ترین بخش آن شد که فرسایش بخشی از سنگ‌های نرم تازه رسوبگذاری شده و رسوب‌گذاری یخ رفت را بدنبال داشت. توالی ذوب یخچال‌ها سبب بوجود آمدن دره‌های رودخانه و رسوبگذاری آبرفت بر روی یخرفت گردید.

همانطور که در شکل ۱-۵ نشان داده شده است، تاریخچه زمین‌شناسی بیانگر شرایط خاکهای سطحی می‌باشد و رسوبات آبرفتی بر روی رس و سنگهای مستحکم تر قرار گرفته‌اند. این مثال اهمیت زمین‌شناسی مهندسی را در فهم شرایط زمین نشان می‌دهد. معرفی کامل این موضوع در کتاب Waltham (2002) قابل دسترسی می‌باشد.

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱