

تحلیل مکانیک خاک از منظر عملیات خاکی

علی اکبر مرادی غیائی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

چکیده

تحلیل مکانیک خاک از منظر عملیات خاکی به بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک جهت طراحی و اجرای پروژه‌های ساختمانی و زیرساخت‌ها مربوط می‌شود. این تحلیل باید شامل ارزیابی تغییر شکل‌ها، حرکت سیالات و همچنین پایداری ساختارهای خاکی باشد. در مرحله عملیات خاکی، بررسی و متراکم‌سازی خاک با استفاده از تجهیزات مکانیکی مثل غلتک‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا اطمینان حاصل شود که بستر مناسب برای سازه ایجاد شده است.

واژگان کلیدی

مکانیک خاک، عملیات خاکی، شهرداری

۱. عمران، شهرداری فدामी.

مقدمه

خاک‌ها مخلوطی از مواد معدنی و آلی می‌باشند که از تجزیه و تخریب سنگ‌ها در نتیجه هوازدگی بوجود می‌آیند که البته نوع و ترکیب خاک‌ها در مناطق مختلف بر حسب شرایط ناحیه فرق می‌کند. مقدار آبی که خاک‌ها می‌توانند بخود جذب کنند. از نظر کشاورزی و همچنین در کارخانه‌های راه‌سازی و ساختمانی دارای اهمیت بسیاری است که البته این مقدار در درجه اول بستگی به اندازه دانه‌های خاک دارد.

هرچه دانه خاک ریزتر باشد، آب بیشتری را به خود جذب می‌کند که این خصوصیت برای کارهای ساختمان‌سازی مناسب نیست. بطور کلی خاک خوب و حد واسط از دانه‌های ریز و درشت تشکیل یافته است. تشکیل خاک‌ها به گذشت زمان، مقاومت سنگ اولیه یا سنگ مادر، آب و هوا، فعالیت موجودات زنده و بالاخره توپوگرافی ناحیه‌ای که خاک در آن تشکیل می‌شود بستگی دارد.

عوامل موثر در تشکیل خاک

• سنگ‌های اولیه یا سنگ مادر

کمیت و کیفیت خاک‌های حاصل از سنگ‌های مختلف اعم از سنگهای آذرین، رسوبی و دگرگونی به کانی‌های تشکیل دهنده سنگ، آب و هوا و عوامل دیگر بستگی دارد. خاک حاصل از تخریب کامل سیلیکاتهای دارای آلومینیوم و همچنین سنگهای فسفاتی از لحاظ صنعتی و کشاورزی ارزش زیادی دارد. در صورتیکه خاک‌هایی که از تخریب سنگ‌های دارای کانی‌های مقاوم (از قبیل کوارتز و غیره) در اثر تخریب شیمیایی پدید آمده‌اند و غالباً شنی و ماسه‌ای می‌باشند فاقد ارزش کشاورزی می‌باشند.

• ارگانسیم

تمایز انواع خاک‌ها از نقطه نظر کشاورزی به نوع و مقدار مواد آلی (ازت و کربن) موجود در آن بستگی دارد. نیتروژن موجود در اتمسفر بطور مستقیم قابل استفاده برای گیاهان نمی‌باشد. بلکه ترکیبات نیتروژن‌دار لازم برای رشد گیاهان باید به شکل قابل حل در خاک وجود داشته باشد که این عمل در خاک‌ها بوسیله برخی از گیاهان و باکتری‌ها انجام می‌شود. خاک‌ها معمولاً دارای یک نوع مواد آلی کربن‌دار تیره رنگی هستند که هوموس نامیده می‌شوند و از بقایای گیاهان بوجود می‌آید.

• زمان

هر قدر مدت عمل تخریب کانی‌ها و سنگ‌ها بیشتر باشد عمل تخریب فیزیکی و شیمیایی کاملتر انجام می‌گیرد. زمان تخریب کامل بسته به نوع سنگ، ساخت و بافت سنگ‌ها و نیز ترکیب و خاصیت تورق کانی‌ها متفاوت می‌باشد ولی بطور کلی سنگهای رسوبی خیلی زودتر تجزیه شده و به خاک تبدیل می‌شوند، در صورتیکه سنگهای آذرین مدت زمان بیشتری لازم دارند تا تجزیه کامل در آنها صورت گرفته و به خاک تبدیل گردند.

• آب و هوا

و فور آب‌های نفوذی و عوامل آب و هوا از قبیل حرارت، رطوبت و غیره در کیفیت خاک‌ها اثر بسزایی دارند. جریان آبهای جاری بخصوص در زمین‌های شیب‌دار موجب شستشوی خاک‌ها می‌شوند و با تکرار این عمل مقدار مواد معدنی و آلی بتدریج تقلیل می‌یابد. اثر تخریبی اتمسفر همانطور که قبلاً بیان گردید روی برخی از کانی‌ها موثر و عمیق می‌باشد و هر قدر رطوبت همراه با حرارت زیادتر باشد شدت تخریب نیز بیشتر می‌گردد.

• توپوگرافی محل تشکیل خاک

اگر محلی که خاک‌ها تشکیل می‌شوند دارای شیب تند باشد در نتیجه مواد تخریب شده ممکن است بوسیله آبهای جاری و یا عامل دیگری خیلی زود بسادگی از محل خود بجای دیگری حمل گردند و یا شستشو بوسیله آبهای جاری و یا عامل دیگری خیلی زود بسادگی از محل خود بجای دیگری حمل گردند و یا شستشو بوسیله آبهای جاری باعث تقلیل مواد معدنی و آلی خاک‌ها شود در نتیجه این منطقه خاک‌های خوب تشکیل نخواهند شد. ولی برعکس در محل‌های صاف و مسطح که مواد تخریب شده بسادگی نمی‌توانند به جای دیگری حمل شوند فرصت کافی وجود داشته و فعل و انفعالات بصورت کامل انجام می‌پذیرد.

مواد تشکیل دهنده خاک‌ها

موادی که خاک‌ها را تشکیل می‌دهند به چهار قسمت تقسیم می‌شوند:

- **مواد سخت:** مواد سخت را ترکیبات معدنی تشکیل می‌دهند ولی ممکن است دارای مقداری مواد آلی نیز باشند. البته این ترکیبات معدنی از تخریب سنگ‌های اولیه یا سنگ مادر حاصل شده‌اند که گاهی اوقات همراه با مواد تازه کلوئیدی و نمک‌ها می‌باشند.

- **موجودات زنده در خاک‌ها:** تغییراتی که در خاک‌ها انجام می‌پذیرد بوسیله موجودات زنده در خاک انجام می‌گیرد. قبل از همه ریشه گیاهان، باکتری‌ها، قارچها، کرم‌ها و بالاخره حلزون‌ها در این تغییرات شرکت دارند.

- **آب موجود در خاک‌ها:** آبی که در خاک وجود دارد حمل مواد حل‌شده را به عهده دارد که البته این مواد حمل شده برای رشد و نمو گیاهان به مصرف می‌رسد. آب موجود در خاک‌ها از باران و آبهای نفوذی، آب جذب شده و بالاخره آبهای زیرزمینی تشکیل شده که در مواقع خشکی از محل خود خارج شده و بمصرف می‌رسد.

- **هوای موجود در خاک:** هوا همراه با آب در خوه‌های خاک‌ها وجود دارد که البته این هوا از ضروریات رشد و نمو گیاهان و ادامه حیات حیوانات می‌باشد. مقدار اکسیژنی که در این هوا وجود دارد از دی اکسید کربن کمتر است و این بدان علت است که ریشه گیاهان برای رشد و نمو اکسیژن مصرف کرده و دی اکسید کربن پس می‌دهند.

تقسیم‌بندی خاک‌ها از لحاظ سنگ‌های تشکیل دهنده

بر حسب دانه‌های تشکیل دهنده خاک و هم‌چنین شرایط میزالوژی و پتروگرافی زمین خاک‌های مختلفی وجود دارد که عبارتند از:

• خاک رسی:

ذرات رس (Clay) دارای قطری کوچکتر از ۰,۰۰۲ میلی‌متر می‌باشند و در حدود ۵۰٪ خاک را تشکیل می‌دهند. خاک‌های رسی چون دارای دانه‌های بسیار ریزی هستند به خاک سرد معروفند و در مقابل رشد گیاهان مقاومت نشان داده و رشد آنها را محدود می‌کنند.

• خاک‌های سیلتی:

۵۰٪ ین نوع خاک‌ها را ذرات سیلت تشکیل داده است که دارای قطری بین ۰,۰۵ تا ۰,۰۰۲ میلی‌متر می‌باشند و بر حسب اینکه ناخالصی مثل ماسه، رس و غیره به‌همراه دارند به نام خاک‌های سیلتی ماسه‌ای و یا سیلتی رسی معروفند.

• خاک‌های ماسه‌ای:

این خاک‌ها از ۷۵٪ ماسه تشکیل شده‌اند. قطر دانه‌ها از ۰,۰۶ تا ۲ میلیمتر است و بر حسب اندازه دانه‌های ماسه به خاک‌های ماسه‌ای درشت، متوسط و ریز تقسیم می‌گردند. مقدار کمی رس خاصیت خاک‌های ماسه‌ای را تغییر می‌دهد و این نوع خاک آب را بیشتر در خود جذب می‌کند تا خاک‌های ماسه‌ای که فاقد رس هستند.

• خاک‌های اسکلتی:

خاک‌های اسکلتی به خاک‌هایی اطلاق می‌گردد که در حدود ۷۵٪ آن را دانه‌هایی بزرگتر از ۲ میلی‌متر از قبیل قلوله سنگ، دیگ و شن تشکیل می‌دهند. این خاک‌ها، آب را به مقدار زیاد از خود عبور می‌دهند و لذا همیشه خشک می‌باشند.

نیم‌رخ عمومی خاک‌ها

نیم‌رخ خاک‌ها معمولاً از ۳ افق A, B, C تشکیل شده است.

• **افق A:** که به نام خاک بالایی نامیده می‌شود، فوقانی‌ترین منطقه خاک است و این همان افقی است که رشد و نمو گیاهان در آن نفوذ می‌کنند. این افق از مواد خاکی نرم (رس) که غنی از مواد آلی و موجودات زنده میکروسکوپی است تشکیل یافته است که وجود این مواد آلی باعث رنگ خاکستری تا سیاه این افق می‌گردد. البته این زمین غالباً برای کشاورزی مناسب می‌باشند. اکسیدهای آهن و همچنین بعضی از مواد محلول ممکن است از این منطقه به افق B برده شوند و در آنجا رسوب کنند.

• **افق B:** قشر بین افق A و C را یک قشر دیگر تشکیل می‌دهد که به نام افق B یا خاک میانی نامیده می‌گردد. در این افق عمل تخریب و تجزیه به مراتب بیشتر از افق C پیشرفت و اثر کرده است و از کانی‌های سنگ مادر فقط آن دسته دیده می‌شوند؛ که بسیار مقاومند (مثل کوارتز (ولی سایر کانی‌ها به شدت تجزیه شده‌اند. این افق معمولاً

از مواد رسی، ماسه و شن‌های ریز و درشت و گاه مقادیر کمی بقایای نباتی تشکیل شده است. در این افق علاوه بر مواد رسی، در آب و هوای مرطوب، اکسیدهای آهن و همچنین مواد محلول‌تر که بوسیله آب‌های نفوذی از افق A به آنجا آورده شده‌اند دیده می‌شوند.

- **افق C:** که به آن خاک زیرین نیز گفته می‌شود، افقی است که مواد سنگی به میزان خیلی کم تخریب و تجزیه شده‌اند و در نتیجه سنگ‌های اولیه زیاد تغییر نکرده بلکه بصورت قطعات خرد شده می‌باشند. زیر این منطقه سنگ‌های تخریب نشده یعنی سنگ اولیه قرار دارد که هیچگونه تخریب و یا تجزیه‌ای در آن صورت نگرفته است.

مکانیک خاک

ریشه لغوی

مکانیک خاک از دو کلمه Soil به معنی خاک و Mechanics به معنی مکانیک گرفته شده است.

دید کلی

- در علوم مهندسی، خاک مخلوط غیر یکپارچه‌ای از دانه‌های کانیها و مواد آلی فاسد شده می‌باشد که فضای خالی بین آنها توسط آب و هوا (گازها) اشغال شده است. خاک به عنوان مصالح ساختمانی در طرح‌های مهمی در مهندسی عمران به کار گرفته می‌شود و هم چنین شالوده اکثر سازه‌ها بر روی آن متکی است؛ بنابراین مهندسان عمران باید بخوبی خواص خاک از قبیل مبدا پیدایش، دانه بندی، قابلیت زهکشی آب، نشست، مقاومت برشی، ظرفیت باربری و غیره را مطالعه نمایند.
- مکانیک خاک شاخه‌ای از علوم مهندسی است که به مطالعه مشخصات فیزیکی و رفتار توده خاکی تحت بارهای وارده می‌پردازد. مهندسی پی، کاربرد اصول مکانیک خاک در مسائل عملی است.

تاریخچه

تاریخچه عملیات خاکی را می‌توان به دوره‌های دور تاریخ بشری نسبت داد و آن را با قدمت پیدایش شهرنشینی یکی دانست. حفر قنات‌ها، کانالهای آبرسانی، ایجاد پل‌ها و سدهای محکم و سایر بناهایی که آثار آنها در کشورهای دنیا از ده‌ها قرن قبل تا کنون به یادگار مانده است، همه از مواردی است که به نحوی با عملیات خاکی ارتباط دارد.

سیر تحولی و رشد

- توجه به بررسی و مطالعه خاک با یک دیدگاه مهندسی و به منظور تحلیل ریاضی خواص آن، از قرن ۱۸ میلادی آغاز شد و در واقع اولین بار در عین حال مهمترین رابطه ساده در زمینه مکانیک خاک، در سال ۱۷۷۳ توسط کولمب - یک مهندس ارتشی فرانسه - ارائه گردید. این رابطه ساده که یک رابطه اساسی در بررسی مقاومت یا عدم مقاومت خاک است عبارت است از:

$$\tau = c + b_n \tan(\varphi)$$

- کارهای بوسینسک درمورد تئوری اجسام الاستیک که در سال ۱۸۸۵ انتشار یافت به ارائه راه حل‌های دقیق در محاسبه تنش‌ها و تغییر شکل‌های درون محیط خاکی منجر گردید و توانست در تحلیل بخش مهمی از مبحث مکانیک خاک، پاسخگو باشد.
- دانش مکانیک خاک به صورت مدرن، در ابتدای قرن حاضر گسترش روز افزونی یافت و مانند سایر علوم مهندسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، بطوری که در سال ۱۹۲۵ کارل ترزاگی، استاد دانشگاه هاروارد، نتیجه تحقیقات خود را به صورت مقاله‌ای ارائه داد و در سال ۱۹۴۳ کتاب «اصول نظری مکانیک خاک» را تدوین و منتشر کرد. کارل ترازگی (۱۸۸۳-۱۹۶۳) را به حق بنیانگذار دانش مکانیک خاک نامیده‌اند.
- در اینجا شایسته است از سهم محققین روسی نیز یادآور گردد، چه پژوهشگرانی چون سینتوویچ در کشور روسیه به موازات دانشمندان غربی در توسعه دادن مبحث مکانیک خاک کارهای زیادی ارائه دادند. نامبرده نیز در سال ۱۹۳۴ کتاب اصول علم مکانیک خاک را منتشر نمود.
- امروزه اهمیت دانش مکانیک خاک -مانند علوم دیگر- روز به روز رو به فزونی است و این به ویژه به این علت است که تجربه‌های گذشته در این زمینه بدون گسترش تئوری‌های مطمئن‌تر و راه حل‌های اقتصادی تر تکافوی حل مسائل جدید را در عمل نمی‌نماید. به علاوه، بسط مسائل مبحث مکانیک خاک همراه با توسعه روش‌ها و دیدگاه‌های جدید در زمینه مکانیک محیط دانه‌ای، گسترش و افزایش دقت در تحلیل‌های ریاضی و مدل سازی‌ها را در هر دو زمینه الزامی نموده و نیز به نتیجه رسانده است.

مباحث کلی مکانیک خاک

- طرح تئوری‌هایی که نشان دهنده رفتار توده خاکی در برابر عوامل بیرونی، مثل نیروهای مختلف، باشد.
- کاربرد معلومات تئوری و تجربی در موارد و مسائل اجرایی
- خواص فیزیکی، شیمیایی و کانی شناسی خاکها: شناخت خواص فیزیکی - شیمیایی و کانی شناسی خاکها در بسیاری از بررسی‌ها و مطالعات و تصمیم گیری‌ها در عملیات خاکی نقش مهمی دارد. خواص فیزیکی - شیمیایی خاکها را باید عمدتاً در عوامل زیر جستجو کرده و مربوط به آنها دانست:

ترکیب کانی شناسی دانه‌ها:

از آنجایی که خاکها از تجزیه و هوازدگی سنگهای پوسته زمین پدید آمده است، لذا کانی‌های تشکیل دهنده خاکها باید همان کانی‌های تشکیل دهنده سنگ مادر باشد.

طبیعت سطح ذرات خاک (سطح مخصوص)

سطح خارجی دانه‌های خاک، یعنی فصل مشترک محیط جامد با محیط مجاور آن که ممکن است، آب یا هوا باشد.

محل پدید آمدن بعضی پدیده‌های فیزیکی یا شیمیایی است که این پدیده‌ها برخواص دیگر خاک مثل؛ مقاومت و نفوذپذیری و ... تاثیر می‌گذارد.

پدیده‌های فیزیکی - شیمیایی در سطح مشترک خاک و آب:

ذرات جسم جامد از شبکه‌ای از یون‌های مختلف تشکیل شده است که از این رو بین سطح خارجی ذره و محیط اطراف آن کنش و واکنش‌هایی پدیدار می‌گردد.

خاصیت موینی:

خاصیت بالا رفتن آب در لوله‌های موین و در حفره‌های بین ذرات خاک را خاصیت موینی گویند.

نیروهای دافعه و جاذبه بین ذرات:

نیروهای بین ذره‌ای در خاک به دو گونه‌اند: نیروهای جاذبه مولکولی بین دانه‌ها (وان در وال) و نیروهای دافعه که از نوع الکتروکینماتیکی است.

• خواص مکانیکی خاکها:

اصطکاک:

مقاومت جسم در برابر حرکت به علت وجود اصطکاک بین دو سطح تماس است.

چسبندگی:

مقاومت خاکی به علت چسبندگی دانه‌ها حاصل از مقاومت مولکولی (یعنی نیروی جاذبه الکتروشیمیایی) بین ذرات ریز است.

گسیختگی توده خاک:

گسیختگی توده خاک عبارتست از پایان شرایط مقاومت و آغاز برش در خاک است.

تحکیم:

تحکیم عبارتست از کاهش حجم حفره‌های آب‌دار درون خاک به علت افزایش فشارهای جانبی.

کاربرد مکانیک خاک

- خاک از یک طرف به عنوان مصالح مورد توجه مهندسین و طراحان قرار می‌گیرد و از سوی دیگر به عنوان یک محیط طبیعی که در اختیار آدمی قرار گرفته است مورد توجه و استفاده است. جایی که به عنوان مصالح مورد نظر است مانند خاکریزها، سرای خاکی، روسازی راه و فرودگاه، پشت دیوار حایل، زهکش‌ها و به عنوان بخشی از بتن، ماده اصلی تهیه آجر و سرامیک، ماده اصلی تهیه چینی و کاشی و... حالت انتخابی و اختیاری دارد و درجایی که به عنوان محیط مورد توجه است، مانند زیر پی‌ها، زیر پایه پل‌ها و زیربنای جاده‌ها و محل حفر تونل‌ها و محل قرار دادن لوله‌ها و تاسیسات مکانیکی و الکتریکی (کابل‌های تلفن و برق و لوله کشی گاز و فاضلاب و محل احداث قنات‌ها و

محل حفر چاهها و کانالها و ... همه حالت غیر انتخابی (یعنی اجباری) دارد و به هر حال در تمام موارد ذکر شده، شناخت خواص فیزیکی و مکانیکی خاک ضرورت غیر قابل اجتناب دارد.

- مثلاً در یک پروژه راهسازی، چه نوع خاکی با چه نوع دانه بندی باید انتخاب شود و لایه‌های آن با چه ضخامتی و با چه رطوبتی و تا چه حد باید کوبیده شود تا جایی حاصل بتواند در برابر نیروهای وارد بر آن مقاوم باشد و وجود آبهای سطحی و بارندگی بر دوام آن اثر مخرب نداشته باشد و در برابر یخ‌زدگی و فرسایش و تغییرات جوی نیز پایدار بماند. در ایجاد یک سد خاکی، شیب‌ها چه مقدار باشد که هم پایدار باشد و هم اقتصادی، در صورتی که سد همگن با زهکشی است، لایه‌های زهکشی با چه ابعادی و با چه دانه بندی و چه مقدار نفوذپذیری باید باشد؟ سرعت حرکت آب و ... زه چه مقدار است؟ تورم یا نشست خاک چه مقدار باشد؟ میزان تراکم و درصد رطوبت و ضخامت لایه‌ها برای کمپاکت کردن خاک چه مقدار باید باشد؟ روش‌های حفاظت دامنه‌ها و تاج سر به چه عواملی بستگی دارد؟

و بسیاری پرسش‌های دیگر که مهندس طراح باید برای آنها جواب دقیق داشته باشد. به این ترتیب درمورد هرگونه پروژه ساختمانی و راهسازی و سد سازی مسائل متعددی از فیزیک و مکانیک خاک باید پاسخ داده شود. اهمیت دقت بیشتر و نیاز به تئوریهای دقیق‌تر هنگامی بیشتر می‌شود که حجم کارها و اهمیت پروژه بیشتر باشد.

رابطه مکانیک خاک با سایر علوم

- مبحث مکانیک خاک دانشی است که در آن خواص فیزیکی و مکانیکی خاکها، ارتباط این خواص با عوامل بیرونی، مقاومت خاک در برابر نیروها، تغییر شکل خاک در اثر نیروها، مسایل مربوط به حرکت یا سکون آب در خاک، چگونگی و مقدار فشرده شدن خاکها و چگونگی و مقدار تنش‌ها و تغییر شکل‌های هر نقطه از محیط خاکی در اثر عملکرد یک نیروی خارجی و ... بحث می‌شود.

در این راستا گاهی نیاز به مطالعه خواص شیمیایی و کانی شناسی دانه‌های خاک است و گاهی نیاز به بررسی پیدایش و منشا خاکها و گاهی نیاز به استفاده از دانش هیدرولیک و دانش‌های دیگر است. از این رو ارتباط این مبحث با دیگر مباحث علمی چون: فیزیک، شیمی، زمین شناسی، کانی شناسی، هیدرولیک و مکانیک سیالات راناباید از نظر دور داشت.

جمع بندی و نتیجه گیری

در عملیات خاکی، چه در محاسبه و چه در اجرا، امکان خطا وجود دارد و نمی‌توان به‌طور کلی آن‌ها را نادیده گرفت اما تمام تلاش گروه برداشت، طراحی و اجرا باید معطوف به حداقل رساندن خطای عملیات خاکی باشد تا کارایی و ایمنی لازم تامین شود. برای این کار می‌توان از چندین روش اطلاعات را برداشت و ثبت کرد و با ترکیب آن‌ها و تهیه مدلی سه‌بعدی، کاری دقیق‌تر انجام داد.

نکته مهم در اجرای عملیات خاکی، زهکشی همزمان است؛ به طوری که اگر بارندگی مانع از زهکشی شود، عملیات خاکی تا بهبود شرایط متوقف خواهد شد. شناخت نوع خاک در عملیات خاکی اهمیت ویژه‌ای دارد؛ خاک دستی، خاک نباتی و خاک‌های نامرغوب باید از محوطه خارج شده و از خاک با تراکم مناسب برای آماده‌سازی بستر استفاده شود.

منابع و مآخذ

- [1] “Designing Buildings.” Accessed: Mar. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Earthworks>
- [2] E. Chanthier, “What Are Earthworks?” Accessed: Mar. 03, 2024. [Online]. Available: <https://excavationchanthier.ca/en/blog/what-are-earthworks/>
- [3] BECO, “Earthworks & foundations.” Accessed: Mar. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.beco-bermueller.de/en/applications/civil-engineering/earthworks-foundations/>
- [4] “Difference Between Earthwork and Excavation.” Accessed: Mar. 03, 2024. [Online]. Available: <https://kilgorecompanies.com/blog/2022/08/01/difference-between-earthwork-and-excavation/>
- [5] “Earthwork: Definition, Types, Techniques and Equipments.” Accessed: Mar. 03, 2024. [Online]. Available: <https://testbook.com/civil-engineering/earthwork>
- [6] “The Role of Earthworks in Civil Engineering.” Accessed: Mar. 03, 2024. [Online]. Available: <https://cwggroup.com.au/earthworks-in-civil-engineering/>