شرکت ملی نفت ایران
شرکت مهندسی و توسعه نفت

جمهوری اسلامی ایران
وزارت نفت

شرکت مهندسین مشاور
هندسه پارس

شرکت مهندسین مشاور
هندسه پارس کاوش

ضابطه
فنی و مهندسی ایمنی و حفاظت جاده‌ها، سلرها و تاسیسات نفتی میادین نفتی غرب کارون در برابر سیلاب در حوزه ژئوتکنیک

معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری
اداره کل نظام فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح‌ها

۱۴۰۲

shaghool.ir

جناب آقای دکتر خجسته مهر

معاون محترم وزیر و مدیرعامل شرکت ملی نفت ایران

موضوع: ابلاغ ضوابط محافظت و ایمنی جاده‌ها، سلرها و تاسیسات میادین نفتی غرب کارون در برابر سیلاب

با سلام

احتراماً، در راستای اجرای ابلاغیه شماره ۸۷۸۴۷ مورخ ۱۳۹۹/۰۸/۰۵ ریاست محترم دفتر و سرپرست نهاد ریاست جمهوری، با موضع تکلیف وزارت نفت برای تدوین ضوابط حفاظت و ایمنی مستحدثات و تاسیسات صنعت نفت در برابر سانحه طبیعی سیلاب، در اولویت اول تدوین ضوابط یادشده برای میادین نفتی غرب کارون با همکاری شرکت مهندسی و توسعه نفت به انجام رسیده است. بدین وسیله دو ضابطه زیر به منظور اجرا ابلاغ می‌گردد.

- ضابطه فنی و مهندسی ایمنی و حافظت جاده‌ها، سلرها و تاسیسات میادین نفتی غرب کارون در برابر سیلاب- در حوزه سیلاب و خطوط لوله
- ضابطه فنی و مهندسی ایمنی و حافظت جاده‌ها، سلرها و تاسیسات میادین نفتی غرب کارون در برابر سیلاب- در حوزه ژئوتکنیک

مزیداً، داده‌های اخذ شده از وزارت نیرو، محاسبات، روش‌های تحقیق، برخی مثال‌ها و سایر موارد در دو مجلد "مستندات " گردآوری گردیده است و صرفا برای اطلاع کاربر می‌باشد و جنبه اجرایی ندارد . نام دو مستند یادشده در ادامه آورده شده است:

- مستندات ضابطه فنی و مهندسی ایمنی و حافظت جاده‌ها، سلرها و تاسیسات میادین نفتی غرب کارون در برابر سیلاب- در حوزه سیلاب و خطوط لوله
- مستندات ضابطه فنی و مهندسی ایمنی و حافظت جاده‌ها، سلرها و تاسیسات میادین نفتی غرب کارون در برابر سیلاب- در حوزه ژئوتکنیک

موارد یاد شده در تارنمای معاونت امور مهندسی، پژوهش و فناوری وزارت نفت به آدرس الکترونیکی doert.mop.ir از ابتدای دهه مبارک فجر قابل دسترسی می‌باشد.

ومن ا... التوفیق

وحیدرضا زیدی‌فرد

shaghool.ir

به نام خدا

پیش گفتار

میادین نفتی غرب کارون جزو میادین مشترک در کشور هستند که در آینده با توسعه کامل آن تاثیر به سزایی در پایداری و ثبات تولید نفت در کشور خواهند داشت. در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ سیلابی در این منطقه رخ داد که موجب آب گرفتگی و مشکلاتی در منطقه هورالعظیم شد. به منظور حل مسئله طی ابلاغیه شماره ۸۷۸۴۷ مورخ ۱۳۹۹/۰۸/۰۵ ریاست محترم دفتر و سرپرست نهاد ریاست جمهوری، وزارت نفت مکلف به تدوین ضوابط مرتبط با محافظت و ایمنی مستحدثات و تاسیسات در برابر سیلاب شد و این ماموریت به معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری سپرده شد. در همین راستا به دستور وزیرمحترم وقت، تدوین ضوابط فنی و مهندسی ایمنی و حفاظت جاده‌ها، سلرها، و تاسیسات میادین نفتی غرب کارون در برابر سیلاب با همکاری شرکت ملی نفت ایران در اولویت قرار گرفت که منجر به عقد قرارداد با دو مهندس مشاور شرکت مهندسین مشاور سازه پردازی ایران و شرکت هندسه پارس کاوش، به کارفرمایی شرکت مهندسی و توسعه نفت به عنوان طرف قرارداد و نمایندگی و نظارت اداره کل نظام فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح‌ها گردید.

نتیجه کار مشتمل بر دو ضابطه بوده که یکی در حوزه سیلاب و خط لوله و دیگری در حوزه ژئوتکنیک می‌باشد. به علاوه کلیه آمارهای اخذ شده از وزارت نیرو، محاسبات و روش‌های تحقیق در دو مجلد دیگر به عنوان مستندات گردآوری شده است تا مجموعه کارهای انجام شده برای اطلاع به صورت مدون حفظ شود.

در پایان لازم است از همکاری شرکت مهندسین مشاور سازه پردازی ایران و شرکت هندسه پارس کاوش، جناب آقای سنگین (مدیر کل اداره نظام فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح‌ها)، جناب آقای اسعد سجادی (نماینده اداره کل نظام فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح‌ها)، جناب آقای شریفی (مدیرعامل شرکت مهندسی و توسعه نفت)، جناب آقای باقری (مجری طرح توسعه میدان نفتی آزادگان جنوبی) و کلیه دست اندر کاران محترم تشکر و قدردانی نمایم.

وحید رضا زیدی فرد

معاون وزیر در مهندسی، پژوهش و فناوری وزارت نفت

۱۴۰۲

shaghool.ir

درخواست کننده: ***معاونت مهندسی، پژوهش، فناوری وزارت نفت، اداره کل نظام فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح‌ها***

کارفرما: ***شرکت مهندسی و توسعه نفت***

نماینده و ناظر پروژه: ***آقای دکتر سید رامین اسعد سجادی، اداره کل نظام فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح‌ها***

شرکت مشاور: ***شرکت مهندسین مشاورین هندسه پارس و شرکت مهندسین مشاورین هندسه پارس کاوش***

اسامی تهیه و تدوین ضابطه

آقای دکتر سید رامین اسعد سجادی	**معاونت مهندسی، پژوهش، فناوری وزارت نفت – اداره کل نظام فنی و اجرایی و ارزشیابی طرح‌ها**
آقای دکتر علی فاخر	**شرکت مهندسین مشاور هندسه پارس**
آقای دکتر علیرضا شریفی سلطانی	**مشاور کارفرما**
آقای دکتر روزبه رضانژاد ملکشاه	**شرکت مهندسین مشاور هندسه پارس**
آقای دکتر اکبر چشمی	**شرکت مهندسین مشاور هندسه پارس کاوش**
آقای مهندس هادی حسینی	**شرکت مهندسین مشاور هندسه پارس**
آقای دکتر سعید عسکریان	**شرکت مهندسین مشاور هندسه پارس**
آقای مهندس داوود باقری	**شرکت مهندسین مشاور هندسه پارس**
آقای مهندس محمد مرسل‌نژاد	**شرکت مهندسین مشاور هندسه پارس**

با تشکر از زحمات:
آقای دکتر وحیدرضا زیدی‌فرد
آقای دکتر پرویز سنگین
آقای مهندس ابوذر شریفی
آقای مهندس ناجی سعدونی
آقای مهندس کرامت بهبهانی
آقای مهندس اسماعیل باقری
آقای مهندس سام منصور مؤید
آقای مهندس همایون کاظمینی
آقای مهندس مهدی نجاریان
آقای مهندس سهراب رستمی اصانلو
آقای مهندس محمدرضا اقبال
آقای مهندس سید افشار مجد
آقای مهندس محمد عباسی
آقای مهندس سعید علومی
آقای مهندس مهدی طالبیان
آقای مهندس مهدی دشت پیما
آقای مهندس حسین صادقی مقدم
آقای مهندس امید افشاریان زاده
آقای مهندس رضا شفیعی
خانم مهندس بتول رفیعی
خانم مهندس لیلی منتظری
خانم مهندس نسترن عبداللهی
آقای مهندس امیر قمشی
خانم مهندس سارا مرادی
آقای مهندس نریمان خرسندی
خانم مهندس مائده آبادی
آقای مهندس کوشا شوشتری اخوان
آقای مهندس مجید رحیمی
آقای مهندس حامد جهانگیریان
آقای مهندس فرشاد رستمیان
آقای مهندس امیر حسین یزدی
آقای مهندس مرتضی جساس
آقای مهندس محمود رضا خوش نویس انصاری

فهرست

فصل اول- معرفی ضابطه

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- هدف و دامنه کاربرد ۲
۱-۳- محدوده جغرافیایی ۳
۱-۴- متن ضابطه و مستندات آن ۳
۱-۵- نحوه استفاده از ضابطه ۴
۱-۶- موارد عمومی ۴
۱-۷- ملاحظات زیست محیطی ۵
۱-۷-۱- ملاحظات عمومی زیست محیطی جهت استفاده از مصالح خاکریزی ۵
۱-۷-۲- ملاحظات استفاده از شن و ماسه ۵
۱-۷-۳- ملاحظات استفاده از سیمان ۵
۱-۷-۴- ملاحظات استفاده از آهک ۶

فصل دوم- کلیات

۲-۱- مقدمه ۸
۲-۲- لزوم تعیین معیارها و مبانی طراحی ژئوتکنیکی ۸
۲-۳- مطالعات ژئوتکنیک ۹
۲-۳-۱- اطلاعات موجود ۹
۲-۳-۲- مطالعات ژئوتکنیک مورد نیاز در هر پروژه ۹
۲-۴- منابع قرضه ۱۰
۲-۴-۱- معرفی منابع موجود ۱۰
۲-۴-۲- انتخاب منابع قرضه در پروژه‌ها ۱۵

فصل سوم- ابنیه مورد بحث در این ضابطه

۳-۱- مقدمه ۱۷
۳-۲- جاده‌ها ۱۷
۳-۳- سلرها و گودال‌های سوخت ۱۹
۳-۴- پی سازه‌ها و تاسیسات صنعت نفت ۲۱

فصل چهارم- جاده‌ها

۴-۱- مقدمه ۲۳
۴-۲- انواع جاده‌ها در منطقه ۲۳
۴-۳- آسیب‌های جاده بر اثر سیلاب ۲۵
۴-۳-۱- انواع آسیب‌های مشاهده شده در اثر سیلاب در مناطق مختلف جهان ۲۵
۴-۳-۲- آسیب‌های مشاهده شده در منطقه هورالعظیم ۲۸
۴-۴- ضوابط احداث جاده جدید برای مقابله با سیلاب ۳۰
۴-۴-۱- احداث بدنه خاکریز جاده جدید ۳۰
۴-۴-۲- حفاظت سطحی شیروانی از خاکریز جدید ۴۰
۴-۴-۳- اجزای جاده ۴۸
۴-۴-۴- کالورت جاده ۴۸
۴-۵- الزامات ترمیم جاده ۵۱
۴-۵-۱- ترمیم بدنه خاکریز جاده ۵۲
۴-۵-۲- ترمیم حفاظت شیروانی خاکریز ۵۳
۴-۵-۳- ترمیم کالورت جاده ۵۳

فصل پنجم- سلر و گودال سوخت

۵-۱- مقدمه ۵۵
۵-۲- تشریح سلرها و گودال‌های سوخت منطقه ۵۵
۵-۳- آسیب سلرها و گودال‌های سوخت بر اثر سیلاب ۵۶
۵-۳-۱- انواع آسیب‌های متداول در اثر سیلاب ۵۷
۵-۳-۲- آسیب‌های مشاهده شده در سیلاب در منطقه هورالعظیم ۵۷
۵-۴- ملاحظات مهندسی ژئوتکنیک احداث خاکریز سلرها و گودال‌های سوخت جدید ۵۹
۵-۴-۱- ساخت بدنه خاکریز سلرها و گودال‌های سوخت ۶۰
۵-۴-۲- حفاظت شیروانی خاکریز سلرها و گودال‌های سوخت ۶۳
۵-۴-۳- آب‌بندی گودال سوخت ۶۳
۵-۴-۴- برخاست در گودال سوخت ۶۵
۵-۵- گودال آب و گل ۶۵

۶-۵- راه‌حل ترمیم سلرها و گودال‌های سوخت پس از آسیب‌های ناشی از سیلاب ۶۵

فصل ششم- پی در سازه‌ها و تاسیسات صنعت نفت

۶-۱- مقدمه ۶۸
۶-۲- انواع مستحدثات و پی آنها در منطقه هورالعظیم ۶۸
۶-۳- آسیب‌های مشاهده شده در پی ساختمان‌ها و تجهیزات در اثر سیلاب در منطقه هورالعظیم ۷۰
۶-۴- ملاحظات مهندسی ژئوتکنیک احداث پی جدید در مواجهه با سیلاب و آب ۷۱
۶-۴-۱- احداث پی سطحی ۷۱
۶-۴-۲- شمع ۷۵
۶-۴-۳- حفاظت در برابر خوردگی بتن ۷۷

فهرست منابع و مراجع ۷۹

فصل اول
معرفی ضابطه

فصل اول- معرفی ضابطه

۱-۱- مقدمه

تالاب هورالعظیم بزرگ‌ترین تالاب مرزی ایران است که در مرز ایران و عراق در غرب استان خوزستان واقع شده است. پیشتر در زمان انجام عملیات اکتشاف و بهره برداری میادین نفتی غرب کارون جهت سهولت عملیات اجرایی با قطع ارتباط آبی بین مخازن شمالی و جنوبی تالاب، بخش جنوبی تالاب خشک گردید. در سال‌های اخیر به دلیل شرایط زیست‌محیطی و به منظور کنترل ریزگردها در استان خوزستان جریان مذکور مجدداً برقرار و آب به این بخش تالاب هدایت شد که باعث بروز مشکلاتی در بهره‌برداری و توسعه میادین نفتی غرب کارون شده است. وقوع سیلاب به دلیل بارندگی‌های فراوان نیز به این موضوع دامن زده است. تهیه این ضابطه به دنبال سیل رخ داده در فروردین ماه سال ۱۳۹۸ در دستور کار قرار گرفت. مطالب ذکر شده در این ضابطه با هدف تمرکز بر محافظت و ایمنی سلرها، جاده‌ها و تاسیسات در حوزه مهندسی ژئوتکنیک است.

۱-۲- هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این ضابطه، ارائه حداقل الزامات موردنیاز در حوزه ژئوتکنیک جهت طراحی، اجرا، ایمنی و حفاظت سازه‌های خاکی و پی سازه‌های غیر خاکی مجموعه تاسیسات و راه‌های دسترسی صنعت نفت واقع در تالاب هورالعظیم برابر سیلاب می‌باشد. موارد قید شده در این ضابطه لازم الاجرا بوده مگر زمانی که به عنوان راهنما قید صریح شده باشد.

این ضابطه در موارد مهندسی ژئوتکنیک مرتبط با ایمنی و حفاظت جادها، سلرها و محوطه تاسیسات میادین نفتی غرب کارون کاربرد دارد. از همین رو علاوه بر مفاد ضابطه به استانداردهای تخصصی مرتبط نیز ارجاع داده شده است. علاوه بر این ضابطه حاضر صرفا محدود به موارد مهندسی ژئوتکنیک مربوط به سیلاب است. در موارد غیر مرتبط به سیلاب لازم است به مراجع و استانداردهای معتبر مربوط مراجعه نمود. موارد اشاره شده شامل محوطه خاکی ترفیع و استحصال شده تاسیسات نفتی، سلرها و بدنه جاده‌ها در آب منطقه هورالعظیم می‌باشد.

۱-۳- محدوده جغرافیایی

مطالب ذکر شده در این ضابطه به منظور استفاده در پروژه‌های صنعت نفت واقع در تالاب هورالعظیم تهیه شده است. تالاب هورالعظیم نقطه انتهایی حوضه آبریز کرخه می‌باشد که در غرب کارون و در مرز مشترک ایران و عراق قرار گرفته است.

موقعیت منطقه مذکور در ناحیه غرب کارون در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. میادین نفتی داخل هورالعظیم که در معرض سیلاب و آب دائم قرار دارند مرتبط با موضوع این ضابطه هستند. میدان نفتی سهراب در حوضچه شماره ۱، میدان نفتی آزادگان شمالی در حوضچه شماره ۲ هورالعظیم و میدان‌های نفتی آزادگان جنوبی، یاران شمالی و یاران جنوبی به ترتیب در حوضچه‌های شماره ۳، ۴ و ۵ هورالعظیم قرار دارند و میادین نفتی یادآوران در قسمت جنوبی حوضچه شماره ۵ بیرون از تالاب هورالعظیم قرار دارد.

شکل ۱-۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه هورالعظیم

۱-۴- متن ضابطه و مستندات آن

مطالب ذکر شده شامل ضوابط فنی و مهندسی است که در قالب یک ضابطه مهندسی در حوزه ژئوتکنیک به عنوان حداقل الزامات توسط معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری برای طرح‌های میادین نفتی غرب کارون جهت مقابله با شرایط سیلاب و آب دائم تهیه شده است.

۱-۵- نحوه استفاده از ضابطه

مطالب ذکر شده در این ضابطه شامل نحوه طراحی ژئوتکنیکی ابنیه خاکی محوطه سلرها، بدنه جاده‌ها و محوطه تاسیسات و پی ابنیه‌های مختلف در منطقه هورالعظیم برای محافظت و ایمنی در برابر سیلاب و آب دائم می‌باشد و بیانگر حداقل مقادیر و نکات اجرایی لازم است. با این حال تعیین معیارهای هر پروژه و سازه تابع ویژگی‌های آن سازه و یا سایر ضوابط موجود می‌باشد. از جمله این معیارها می‌توان به دوره بازگشت سیلاب طراحی، ارتفاع و دوره موج طراحی، میزان نشست مجاز و ظرفیت باربری اشاره کرد. پس از تعیین معیارها می‌توان با استفاده از مطالب ارائه شده در این ضابطه فرآیند طراحی را کامل نمود، بدیهی است که محدوده این ضابطه در حوزه مهندسی ژئوتکنیک در مقابل آب دائم (خشک شدن و پر آب شدن بخشی از هورالعظیم نیز جزو آب دائم محسوب می‌شود) و سیلاب می‌باشد. بنابراین ضروری است رعایت سایر استانداردهای مرتبط با طراحی سلرها، جاده‌ها و تاسیسات مد نظر قرار گیرد.

مطالب ارائه شده در این ضابطه بر اساس نوع مستحدثات به گونه‌ای تدوین شده است که برای طراحی و اجرای هر یک از مستحدثات موجود در منطقه مورد بررسی (شامل جاده، سلر، گودال سوخت، انواع پی و محوطه تاسیسات صنعت نفت) باید به فصل مربوطه مراجعه نمود. همچنین در موارد ضروری در فرآیند طراحی به استانداردهای بین‌المللی و داخلی موجود ارجاع داده شده است. بدیهی است که با به‌روزرسانی استانداردها باید ویرایش جدید آنها مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۶- موارد عمومی

- استفاده کننده از این ضابطه (کارفرما، شرکت‌های مهندسین مشاور، پیمانکار و غیره) باید آخرین قوانین، مقررات و استانداردهای مربوط به ایمنی، بهداشت، محیط زیست (HSE) و پدافند غیر عامل را رعایت نماید. این ضابطه در محدوده قانون، مقررات و استانداردهای ایمنی، بهداشت و محیط زیست و پدافند غیر عامل نمی‌باشد و رعایت آخرین قانون و مقررات و استانداردهای ایمنی، بهداشت، محیط زیست و پدافند غیر عامل بر عهده استفاده کننده می‌باشد.
- تاسیسات و مستحدثات ساخته شده در منطقه باید به صورت دوره‌ای مورد پایش قرار گیرند. این پایش‌ها می‌تواند شامل پایش رقوم آب (قبل، حین و بعد از سیلاب)، پایش رقوم، نشست و آب‌شستگی[1] خاکریزها، تعمیر و لایروبی کالورت‌ها، تعمیر گودال سوخت و غیره باشد. به کارفرما توصیه اکید می‌شود که ضمن در نظر گرفتن برنامه پایش موارد یاد شده، در صورت نیاز به تعمیر و نگهداری تاسیسات و مستحدثات اقدام نماید.
- در این ضابطه الزام می‌شود که تاسیسات اصلی فراورش (CPF/CTEP) باید بیرون از هورالعظیم ساخته شود.
- برخی مقادیر، روابط و توصیه‌ها در این ضابطه بر اساس ارجاع به استانداردها یا مراجع معتبر آورده شده است. چناچه آن استاندارد یا مرجع در آینده به روز رسانی شود، لازم است آخرین ویرایش آن مورد استفاده قرار گیرد.

[1] Scour

۱-۷- ملاحظات زیست محیطی

با توجه به اهمیت زیست محیطی تالاب هورالعظیم لازم است کلیه مصالح و روش‌های اجرایی متناسب با شرایط زیست محیطی تالاب باشد. ضروری است ملاحظات زیست محیطی برای تمام روش‌های اجرای خاکریز، جاده و سلر و محوطه تاسیسات در نظر گرفته شود. استفاده از برخی از روش‌ها که موجب ورود مصالح مضر برای محیط زیست، مانند آهک یا سیمان، به داخل محیط تالاب می شوند مطابق ملاحظات این بخش ممنوع اعلام شده‌است.

۱-۷-۱- ملاحظات عمومی زیست محیطی جهت استفاده از مصالح خاکریزی

در روش‌های مورد استفاده در منطقه برای احداث بدنه خاکریز، آثار اجرای طرح بر منابع زیست محیطی باید مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند. اثرات زیست محیطی هر نوع عملیات ساخت و ساز مانند دپو، تخلیه و آماده سازی مصالح در مراحل حمل و نقل که بعضا ایجاد گرد و غبار و تولید زهاب ساختمانی را به دنبال دارد باید ارزیابی شود و طرح باید الزاماً بر اساس قوانین سازمان حفاظت محیط زیست کشور، اثرات زیست محیطی قابل قبول داشته باشد. در صورتی که از روش‌هایی با مصالح متفاوت از روش‌های گفته شده در این ضابطه استفاده شود ابتدا باید آزمایش‌های لازم بر روی مصالح مورد استفاده انجام گیرد و اثرات سوء زیست محیطی مصالح مذکور ارزیابی شود.

۱-۷-۲- ملاحظات استفاده از شن و ماسه

ملاحظات زیست محیطی زیر باید در استفاده از شن و ماسه در هورالعظیم مورد توجه باشد:

- در کارگاه برای جلوگیری از پخش گرد و غبار ناشی از شن و ماسه باید تمهیدات لازم در نظر گرفته شود.
- هنگام حمل و انتقال مصالح توسط کامیون‌ها، ارتفاع مصالح بارگیری شده نباید بیش از ارتفاع محفظه بارگیری باشد. همچنین لازم است مصالح بارگیری شده با پوشش‌های برزنتی مناسب پوشانده شوند.
- در شرایط باد شدید، فعالیت‌هایی که منجر به ایجاد گرد وغبار می‌شوند باید متوقف شوند.
- مصالح مورد نیاز در محوطه کارگاه باید در محل‌هایی دپو شود که در معرض سیل یا روان آب‌ها و در نهایت در مسیر راهیابی به تالاب نباشد.

۱-۷-۳- ملاحظات استفاده از سیمان

ملاحظات زیست محیطی زیر باید در استفاده از سیمان در هورالعظیم مورد توجه باشد:

- تحت هیچ شرایطی پودر سیمان که قابلیت هیدراته شدن دارد نباید وارد آب گردد.
- محدوده آماده سازی و شستشوی سیمان و بتن در کارگاه بایستی حدود حداقل ۱۰ متر از زهکش آب‌های سطحی و منابع آبی فاصله داشته باشد.
- آب‌های آلوده به سیمان و بتن هرگز نباید به داخل هورالعظیم تخلیه شوند.
- پساب یا زهآب آلوده به سیمان بعلت دارا بودن PH بالای حد ۱۲ نبایستی وارد منابع آبی شود.

- از ریختن بتن مرطوب[1] به داخل منابع آبی پرهیز شود.
- باید از ریزش بتن و مصالح در تالاب در مسیر انتقال مصالح جلوگیری شود و تمهیدات لازم برای انجام کار به صورت پاکیزه مورد توجه باشد.
- استفاده از روش‌هایی مانند لحاف بتنی و ژئوبگ برای حفاظت شیب‌ها به علت امکان ورود دوغاب بتن به داخل هورالعظیم مجاز نیست.
- استفاده از روش‌های بهسازی خاک مثل جت گروتینگ و اختلاط عمیق به دلیل احتمال بالای ورود دوغاب سیمان به داخل هورالعظیم مجاز نمی‌باشد مگر اینکه با تمهیداتی مانند رعایت فاصله کافی بین آب و محل بهسازی همراه باشد.

۱-۷-٤- ملاحظات استفاده از آهک

استفاده از آهک برای تثبیت خاک در بالای سطح آب مجاز است و به کارگیری آهک یا مخلوط خاک با آهک در زیر سطح آب مجاز نیست. ملاحظات زیست محیطی زیر باید در استفاده از آهک در هورالعظیم مورد توجه باشد:

- دپو و انباشته شدن مقادیر زیاد آهک در محل پروژه باید به نحوی که مانع به راه افتادن گردغبار آهکی گردد، انجام شود.
- آهک به چشم و پوست آسیب می‌رساند و تنفس بخار آهک زنده[2]، هنگام شکفتن، زیان آور است. به همین دلیل بهتر است در کارگاه ساختمانی از آهک هیدراته استفاده شود. اگر باید آهک زنده در محل مصرف شکفته شود، ضوابط ایمنی مربوطه رعایت گردد.
- در عملیات اجرایی، آهک نباید وارد آب هورالعظیم شود و همچنین نمی‌بایست در زمین نفوذ کند.

[1] Wet concrete
[2] Quick Lime

فصل دوم

کلیات

فصل دوم- کلیات

۲-۱- مقدمه

در این فصل کلیاتی از مراحل اولیه مورد نیاز در طراحی و اجرا در حوزه مهندسی ژئوتکنیک در محدوده هورالعظیم ارائه می‌شود. بدین منظور ابتدا معیارها و مبانی مهندسی ژئوتکنیک مورد نیاز برای هر پروژه به منظور طراحی ژئوتکنیکی ارائه می‌شود. سپس اطلاعاتی از مطالعات ژئوتکنیک انجام شده و روند انجام شناسایی‌های مورد نیاز در منطقه میادین نفتی غرب کارون بیان می‌شود. در انتهای این فصل نیز لیستی از منابع قرضه موجود در این منطقه ارائه و شرایط انتخاب قرضه مناسب توضیح داده می‌شود.

۲-۲- لزوم تعیین معیارها و مبانی طراحی ژئوتکنیکی

نخستین گام در طراحی ژئوتکنیکی، تعیین معیارها و مبانی طراحی است. به طور کلی این معیارها و مبانی باید بر اساس موارد کلی اشاره شده در ضوابط ژئوتکنیکی موجود تعیین شود مگر مواردی که در این ضابطه تغییر یافته است. ضروری است طراح ژئوتکنیک با توجه به خصوصیات هر پروژه و ضوابط موجود نسبت به تهیه معیارها و مبانی آن پروژه اقدام نماید. در هر صورت معیارهای زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- ارتفاع موج طرح
- دوره بازگشت سیلاب
- دوره موج طرح
- ضرایب بار و مقاومت در روش حالت حدی (LRFD) و مقاومت در روش تنش مجاز
- ضریب اطمینان ظرفیت باربری
- ضریب اطمینان پایداری شیروانی

- ضریب اطمینان در برابر برخاست[1]
- نشست مجاز

۲-۳- مطالعات ژئوتکنیک

مطالعات ژئوتکنیک عملیاتی است که به منظور شناخت ژئوتکنیکی زمین و تعیین مشخصات و متغیرهای آن انجام می‌شود.

۲-۳-۱- اطلاعات موجود

در منطقه هورالعظیم و بخصوص در محل تاسیسات موجود در میادین نفتی، مطالعات ژئوتکنیکی متعددی انجام شده است. البته در هر طرح جدید تنها اکتفا به مطالعات گذشته مجاز نیست و باید شناسایی‌های جدید متناسب با طرح انجام گیرد و مطالعات ژئوتکنیک گذشته نیز صحت سنجی شود. اطلاعات موجود حاصل از مطالعات ژئوتکنیک در این منطقه صرفا جهت اطلاع خواننده و آگاهی از سوابق گذشته شرح داده می‌شود.

بر اساس مجموعه مطالعات ژئوتکنیک انجام یافته، خاک در محدوده هورالعظیم به طور غالب از نوع رس[2] و به صورت محدودتر لای[3] است که بر اساس سیستم طبقه‌بندی متحد خاک[4] به عنوان CL و ML شناخته می‌شود. عمدتاً تا اعماق حدود ۱۵ متری خاک ریزدانه نرم[5] تا سفت[6] و از اعماق حدود ۱۵ تا ۳۰ متر خاک ریزدانه خیلی سفت[7] و در اعماق بیشتر خاک ریزدانه سخت[8] مشاهده می‌شود. این طبقه بندی بر اساس معیارهای استاندارد FHWA-NHI-06-088 انجام شده است (Samtani and Nowatzki, 2006). البته شایان ذکر است که در برخی از گمانه‌های حفاری شده در بخش شمالی میدان نفتی یاران جنوبی و محدوده ناحیه فرآورش میدان نفتی یادآوران، لایه‌هایی از نوع ماسه لای‌دار رویت شده است. به علاوه در میدان نفتی یادآوران نیز لنزهایی از خاک مارن نیز مشاهده شده است.

۲-۳-۲- مطالعات ژئوتکنیک مورد نیاز در هر پروژه

مطالعات ژئوتکنیک مورد نیاز در مقابله با سیلاب،تفاوتی با شناسایی‌های مورد نیاز برای سایر پروژه‌ها ندارد. مطالعات ژئوتکنیک یک پروژه باید در سه یا چهار مرحله به صورت زیر انجام شود (معاونت مهندسی، پژوهش و فناوری وزارت نفت، ۱۳۸۴):

۱. جمع‌آوری اطلاعات موجود و شناسایی اولیه
۲. مطالعات مقدماتی
۳. مطالعات تفصیلی برای طراحی

[1] Uplift
[2] Clay
[3] Silt
[4] Unified
[5] Soft
[6] Stiff
[7] Very Stiff
[8] Hard

٤. مطالعات تکمیلی در حین اجرا

انجام دادن تمامی یا بخشی از مراحل چهارگانه فوق بستگی به عوامل متعددی نظیر اهمیت و حساسیت پروژه، وسعت و اقتصاد طرح، شرایط توپوگرافی و زمین شناسی منطقه دارد.

شناسایی‌های ژئوتکنیکی مورد نیاز باید بر اساس نوع سازه تعیین شوند. به عنوان مثال در سازه‌هایی که نشست تحکیمی اهمیت دارد و بر روی خاک ریزدانه قرار دارند انجام آزمایش تحکیم ضروری است.

۲-٤- منابع قرضه

منابع قرضه ریزدانه (رس و سیلت) و درشت دانه (ماسه، شن و مصالحی در اندازه بولدر، تخته‌سنگ یا قلوه‌سنگ) باید در ابتدای هر پروژه شناسایی شود. در این منطقه با توجه به کمبود منابع قرضه درشت‌دانه، استفاده از منابع قرضه ریزدانه اجتناب ناپذیر است مگر آنکه استفاده از منابع قرضه درشت دانه توجیه فنی و اقتصادی داشته یا در این ضابطه الزام شده باشد.

۲-٤-۱- معرفی منابع موجود

منابع قرضه موجود در منطقه (تا تاریخ تدوین این ضابطه) به‌طورکلی به هفت گروه شن و ماسه، قلوه سنگ، مصالح زیر اساس، اساس، رس، ماسه بادی و ریپ رپ تقسیم‌بندی می‌شوند. موقعیت برداشت، فاصله حمل و مسائل فنی هر گروه از منابع قرضه به تفکیک در جداول ۲-۱ تا ۲-۴ ارائه شده است. شایان ذکر است اطلاعات منابع قرضه اشاره شده در این جدول صرفا جنبه اطلاع رسانی دارد و باید با توجه به خصوصیات هر پروژه به بررسی منابع قرضه موجود و انتخاب مصالح مناسب پرداخته شود.

جدول ۱-۲ شرح کلی از منابع قرضه شن و ماسه اطراف منطقه هورالعظیم (صرفا جهت اطلاع)

نوع منبع قرضه	موقعیت برداشت منبع قرضه	فاصله زمینی حمل بر اساس مسیرهای موجود در مرکز میادین نفتی غرب کارون (محدوده میانی جاده شط علی)	توضیحات
شن و ماسه (رودخانه‌ای و شکسته)	منابع رودخانه‌ای از شمال اندیمشک و دزفول تا ۱۰ کیلومتری جنوب شوش	حدود ۱۸۰ تا ۲۵۰ کیلومتر	معادن زیادی در حاشیه رودخانه‌ها یا بسترهای متروک رودخانه‌ها در شمال شهرهای دزفول، اندیمشک، غرب و شمال غرب شوش وجود داد. این منابع بدون خردایش و با فرایند سرند یا شستشو می‌توانند برای زیر اساس جاده‌ها مورد استفاده قرار گیرند. به علت چسبندگی ضعیف، در مقابل اثرات امواج مقاومت ضعیفی دارند.
	رودخانه‌های مدفون در غرب و شمال غرب شهر شوش	حدود ۱۹۵ کیلومتر	پی جویی و اکتشاف این منابع تا حدی مشکل است. با این وجود به علت دوری از مسیر رودخانه، مشکلات برداشت از مسیر رودخانه‌ها را ندارد. این مصالح به علت چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی بالا برای زیر اساس جاده‌ها مناسب است و در مقابل اثرات تهاجمی امواج مقاومت بهتری دارند.
	خردایش سنگ آهک آسماری واقع در کوه آسماری	حدود ۲۵۰ کیلومتر	استحصال این مصالح به علت خردایش هزینه نسبتا زیادی دارد. با این وجود به علت داشتن وجوه تیز گوشه برای اجرای زیر اساس، اساس و آسفالت سطح جاده مناسب است. این نوع مصالح چسبندگی و زاویه اصطکاک مناسبی داشته و در مقابل اثر امواج مقاوم تر است.
	خردایش سنگ آهک آسماری واقع در شمال و غرب اندیمشک	حدود ۳۱۵ کیلومتر	استحصال این مصالح به علت خردایش هزینه نسبتا زیادی دارد. با این وجود به علت داشتن وجوه تیز گوشه برای اجرای زیر اساس، اساس و آسفالت سطح جاده مناسب است. این نوع مصالح چسبندگی و زاویه اصطکاک مناسبی داشته و در مقابل اثر امواج مقاوم تر است

جدول ۲-۲ شرح کلی از منابع قرضه مصالح زیراساس و اساس اطراف منطقه هورالعظیم (صرفا جهت اطلاع)

نوع منبع قرضه	موقعیت برداشت منبع قرضه	فاصله زمینی حمل بر اساس مسیرهای موجود در مرکز میادین نفتی غرب کارون (محدوده میانی جاده شط علی)	توضیحات
مصالح زیر اساس	مصالح رودخانه‌ای و رودخانه‌ای مدفون به شرحی که گفته شد	حداقل ۱۸۰ کیلومتر	استحصال این مصالح به علت خردایش هزینه نسبتا زیادی دارد و استهلاک چکش‌های سنگ شکن را بسیار بالا می‌برند. عموما به صورت سرند شده و یا شستشو می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. کنترل دانه بندی با استفاده از تغییر در طرح سرندها به سهولت امکان پذیر است. زاویه اصطکاک و چسبندگی این مصالح نسبت به مصالح شکسته کمتر است
	مصالح شکسته شده از سنگ‌های آهکی	حداقل ۲۵۰ کیلومتر	هزینه خردایش و فاصله حمل از مهمترین مشکلات بهره برداری از این منابع است. در کوه آسماری حدود ۲۵۰ کیلومتر و در شمال غربی اندیمشک حدود ۳۱۵ کیلومتر تا نقطه میانی جاده شط علی فاصله دارد. با این وجود منابع اندیمشک با بخش شمالی هورالعظیم فاصله کمتری دارد.
	منابع مخروط افکنه‌ای در جنوب شهرک بختیاری	حدود ۱۹۰ کیلومتر	این مصالح تا بخش شمالی هورالعظیم فاصله کمتری دارند. درصد زیاد ریز دانه از جمله مهمترین مشکلات این منابع است. هم نیاز به شستشو و هم سرند کردن دارند. عموما نیاز کمی به خردایش دارند و لذا با هزینه کمتر استخراج می‌شوند.
	منابع واریزه‌ای در شمال اندیمشک و دزفول	حدود ۳۵۰ کیلومتر	مهمترین مشکل این منابع فاصله حمل بیشتر نسبت به سایر منابع است. عموما نیاز بسیار کمی به خردایش داشته و نسبت به مصالح مخروط افکنه‌ای درصد ذرات ریزدانه کمی نیز دارند.
اساس	خردایش منابع رودخانه ای	حداقل ۱۸۰ کیلومتر	این منابع به شدت از نظر جنبه‌های شکستگی ضعیف بوده و قطعا نیاز به خردایش دارند. هزینه خردایش این مصالح زیاد است. خردایش و هزینه استخراج مصالح در حاشیه رودخانه کرخه بیشتر است. درصد ذرات پولکی در این مصالح بالا است. ممکن است از نظر مصالح درشت دانه در دانه بندی مسئله و نقص داشته باشند.
	خردایش سنگ‌های آهکی	حداقل ۲۵۰ کیلومتر	خردایش این منابع نسبت به رسوبات رودخانه‌ای سهولت بیشتری دارد. با این وجود این منابع عموما هزینه معدن کاری بیشتری دارند. این مصالح از نظر فنی یعنی وجوه شکستگی و دانه بندی مشخصات مناسبی دارند. بدون در نظر گرفتن هزینه معدن کاری بهترین گزینه از نظر فنی و اقتصادی هستند
	منابع واریزه ای	حداقل ۳۵۰ کیلومتر	این منابع هزینه معدن کاری کمتری نسبت به سنگ‌های آهکی داشته و از نظر فنی یعنی وجوه شکستگی و دانه بندی شرایطی مشابه و یا بهتر از مصالح خردایش یافته از سنگ آهک دارند. مهمترین مشکل این منابع فاصله حمل زیادتر نسبت به سایر منابع قرضه موجود در منطقه در این منابع است.

جدول ۳-۲ شرح کلی از منابع قرضه رس و ماسه بادی اطراف منطقه هورالعظیم (صرفا جهت اطلاع)

نوع منبع قرضه	موقعیت برداشت منبع قرضه	فاصله زمینی حمل بر اساس مسیرهای موجود در مرکز میادین نفتی غرب کارون (محدوده میانی جاده شط علی)	توضیحات
رس	رسوبات دشت سیلابی	در حدود ۲ تا ۲۰ کیلومتری	این منابع عموما با لایه‌هایی از رسوبات ماسه‌ای بستر کانال‌های جریان رودخانه‌های قدیمی و ماسه ناشی از حرکت تپه‌های ماسه‌ای خصوصا در برخورد تپه‌های ماسه‌ای به رودخانه‌ها مخلوط شده و به صورت تناوبی از لنزهای ماسه و لایه‌های رسی دیده می‌شود. در سمت شرق و جنوب شرق رودخانه کرخه درصد ماسه و لنزهای ماسه‌ای کمتر است.
ماسه بادی	تپه‌های ماسه‌ای شمال حمیدیه، سوسنگرد و بستان	حدود ۷۰ کیلومتر	این مصالح عموما چسبندگی بسیار ضعیفی داشته و در مقابل فرسایش بسیار ضعیف هستند. اختلاط این مواد با ترکیبات رسی می‌تواند باعث کاهش تغییرات حجم ناشی از تغییرات رطوبت شود اما بر روی چسبندگی و مقاومت فرسایش خاک اثر منفی دارد.

جدول ٤-٢ شرح کلی از منابع قرضه قلوه سنگ و ریپ رپ اطراف منطقه هورالعظیم (صرفا جهت اطلاع)

نوع منبع قرضه	موقعیت برداشت منبع قرضه	فاصله زمینی حمل بر اساس مسیرهای موجود در مرکز میادین نفتی غرب کارون (محدوده میانی جاده شط علی)	توضیحات
قلوه سنگ	مصالح رودخانه‌ای در شمال غربی اندیمشک	حدود ۲۲۰ کیلومتر	این مصالح عموما از طریق سرند کردن قابل جدایش هستند. مقاومت زیادی در مقابل امواج دارند.
ریپ رپ	ماسه سنگ شمال سوسنگرد و حمیدیه	حدود ۶۰ کیلومتر	این مصالح نزدیک ترین مصالحی است که در محدوده هورالعظیم قابلیت استفاده به عنوان ریپ رپ را دارد. این مصالح تناوبی از لایه‌های نازک رس سنگ و گل سنگ است. عموما بر اساس معیارهای تعریف شده در استانداردها دوام کافی ندارند.
	ماسه سنگ جنوب روستای فرحان کبر	حدود ۱۲۰ کیلومتر	این منابع دوام بیشتری از مصالح واقع در شمال حمیدیه و سوسنگرد دارد. به ندرت بر اساس با معیارهای تعریف شده در استانداردها دوام کافی دارند.
	اطراف هفتکل و رامهرمز	حدود ۲۰۰ کیلومتر	در اطراف هفتکل و رامهرمز معادن زیادی از سنگ لاشه وجود دارد که عموما شرایطی در حد استانداردهای تعریف شده را دارا هستند. هرچند این سنگ‌ها در دراز مدت ممکن است در اثر اثر امواج تخریب شوند.

۲-٤-۲- انتخاب منابع قرضه در پروژه‌ها

شایان ذکر است که می‌توان از مطالب ذکر شده در بخش پیشین، که صرفا جنبه اطلاع داشته است، جهت بررسی منابع قرضه موجود در اطراف منطقه میادین نفتی غرب کارون و انتخاب مصالح مناسب استفاده کرد. برای انتخاب مصالح قرضه لازم است آزمایش‌های مربوطه مطابق استانداردهای ذکر شده در مراجع، انجام شود. به طور کلی اقدامات لازم الاجرا برای انتخاب منابع قرضه مناسب به شرح زیر است:

الف) تخمین حجم مصالح مورد نیاز طرح

ب) شناسایی منابع قرضه و حجم تقریبی مصالح مناسب قابل استخراج از آن

ج) اجرای آزمایش‌های موردنیاز بر روی منابع قرضه مطابق با استانداردهای ذکر شده در مراجع معتبر

د) مقایسه منابع قرضه به لحاظ ضوابط فنی و اقتصادی و انتخاب گزینه برتر

فصل سوم

ابنیه مورد بحث در این ضابطه

فصل سوم- ابنیه مورد بحث در این ضابطه

۳-۱- مقدمه

در این فصل ابنیه مورد بررسی در این ضابطه که در منطقه هورالعظیم قرار گرفته‌اند معرفی می‌شوند. این ابنیه شامل بدنه و خاکریز جاده‌ها، محوطه سلرها، گودال‌های سوخت، پی سازه‌ها و محوطه تاسیسات صنعت نفت می‌باشد. در فصل‌های بعد ضوابط فنی و مهندسی، ایمنی و حفاظت هر یک از این ابنیه و مستحدثات به صورت جداگانه ارائه می‌شود.

۳-۲- جاده‌ها

جاده‌های موجود در منطقه میادین نفتی هورالعظیم، بر اساس عملکرد آن‌ها به دو بخش جاده‌های اصلی و فرعی تقسیم‌بندی می‌شوند. جاده‌های اصلی جاده‌هایی هستند که با هدف اتصال سلرها و تاسیسات به یکدیگر ساخته شده اند که مهم‌ترین آنها جاده اکتشاف می‌باشد. جاده‌های فرعی برای اتصال نقاط مختلف در یک منطقه (عموما اتصال به جاده اصلی) به کار می‌روند. به عنوان مثال از جاده‌های فرعی موجود در منطقه می‌توان به جاده‌های دسترسی اشاره کرد که به طور عمده شامل جاده دسترسی به سلرها و جاده دسترسی به گودال‌های سوخت است. در شکل ۱-۳ و شکل ۲-۳ به ترتیب یک نمونه از جاده‌های اصلی و فرعی موجود در منطقه نشان داده شده است.

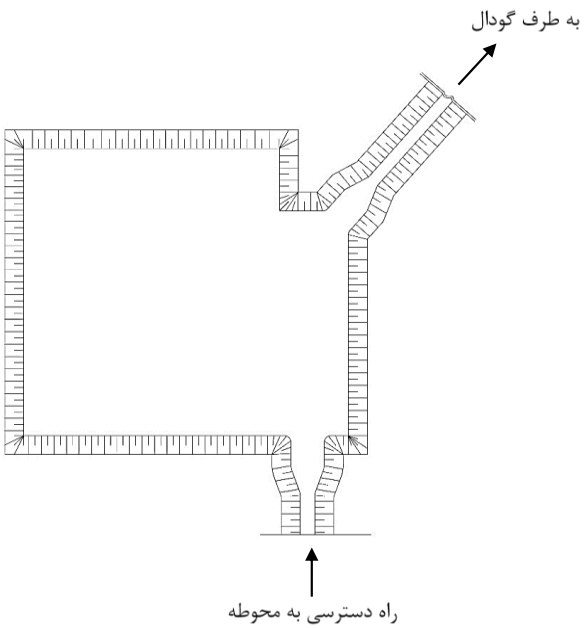
شکل ۱-۳ یک نمونه از جاده‌های اصلی موجود در منطقه با روسازی آسفالتی (جاده شهید همت)

شکل ۲-۳ یک نمونه از جاده‌های فرعی موجود در منطقه با روسازی خاکی

۳-۳- سلرها[1] و گودال‌های سوخت[2]

سلر، محوطه‌ای است که در بخش فوقانی چاه نفت قرار دارد و تاسیسات سر چاهی، لوله، دکل حفاری و سایر تجهیزات بر روی آن قرار می‌گیرند. در شکل ۳-۳ تصویری از محوطه یک سلر و متعلقات مربوط به آن دیده می‌شود. همچنین پلان محوطه یک نمونه سلر و راه‌های منتهی به آن در شکل ۴-۳ نشان داده شده است.

شکل ۳-۳ محوطه سلر و تجهیزات سرچاهی

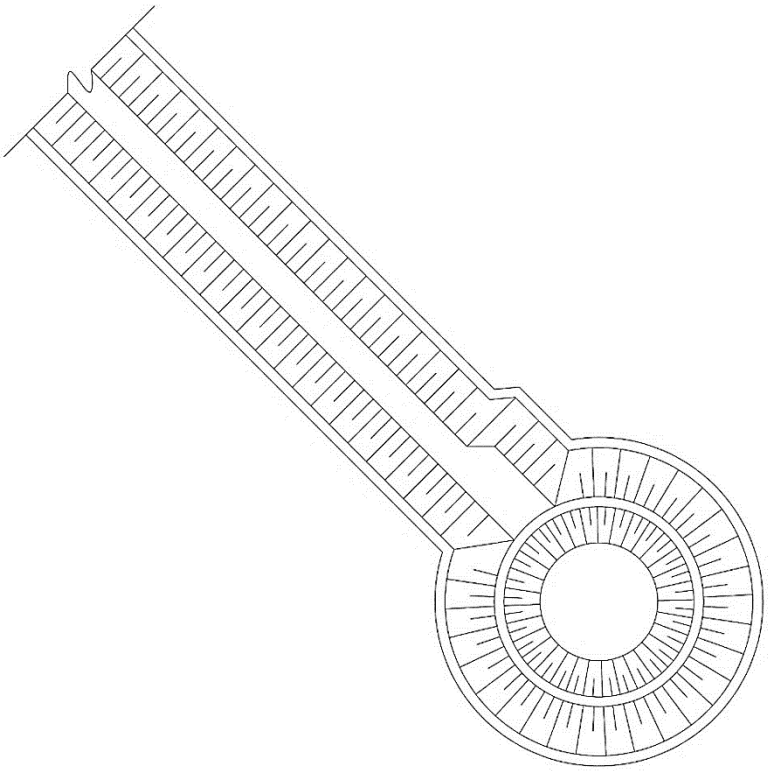


شکل ٤-۳ پلان محوطه یک نمونه سلر و راه‌های منتهی به آن

[1] Cellar
[2] Burning Pit

گودال سوخت یک گودال خاکی–بتنی است که با فاصله از محوطه سلر و چاه نفت احداث می‌شود. یک خط لوله از محوطه سلر به گودال سوخت احداث می‌شود که با استفاده از آن هیدروکربن‌های زائد به درون گودال سوخت منتقل شده و در آنجا سوزانده می‌شود. در شکل ۵–۳ تصویری از یک گودال سوخت موجود در منطقه نشان داده شده است. همچنین شکل ۶–۳ پلان یک نمونه گودال سوخت را نشان می‌دهد.

شکل ۵–۳ تصویر یک گودال سوخت



شکل ٦–۳ پلان یک نمونه گودال سوخت

۳-٤- پی[1] سازه‌ها و تاسیسات صنعت نفت

سازه‌های مختلفی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد که شامل مخازن ذخیره سازه‌های فرآیندی، خطوط لوله، تاسیسات مکانیکی، سازه‌های کنترلی، ساختمان‌های اداری و غیره می‌باشد. با توجه به نوع سازه، پی موردنیاز به منظور احداث هر یک از آنها متفاوت است. جزئیات مسائل مربوط به پی در فصل ششم این ضابطه اشاره شده است.

[1] Foundation

فصل چهارم
جاده‌ها

فصل چهارم- جاده‌ها

٤-١- مقدمه

در فصل حاضر به جاده‌ها در منطقه هورالعظیم پرداخته می‌شود. ابتدا انواع جاده‌های این منطقه معرفی و خرابی‌های رخ داده در اثر سیلاب در آن‌ها ذکر خواهد شد. سپس نکات طراحی، اجرا و حفاظت جاده‌های جدید در اثر سیلاب در حوزه مهندسی ژئوتکنیک در چهار بخش بدنه خاکریز، حفاظت شیروانی خاکریز، روسازی و کالورت[1] جاده بیان می‌شود.

٤-٢- انواع جاده‌ها در منطقه

در ابتدای این فصل لازم است انواع جاده‌ها در هورالعظیم و آسیب‌های وارده به آنها تشریح شود. برای مثال موقعیت جاده اکتشاف در منطقه هورالعظیم در شکل ۱-۴ نشان داده شده است.

همانطور که در فصل سوم اشاره شد جاده‌های موجود در منطقه هورالعظیم، به دو بخش زیر تقسیم بندی می‌شود:

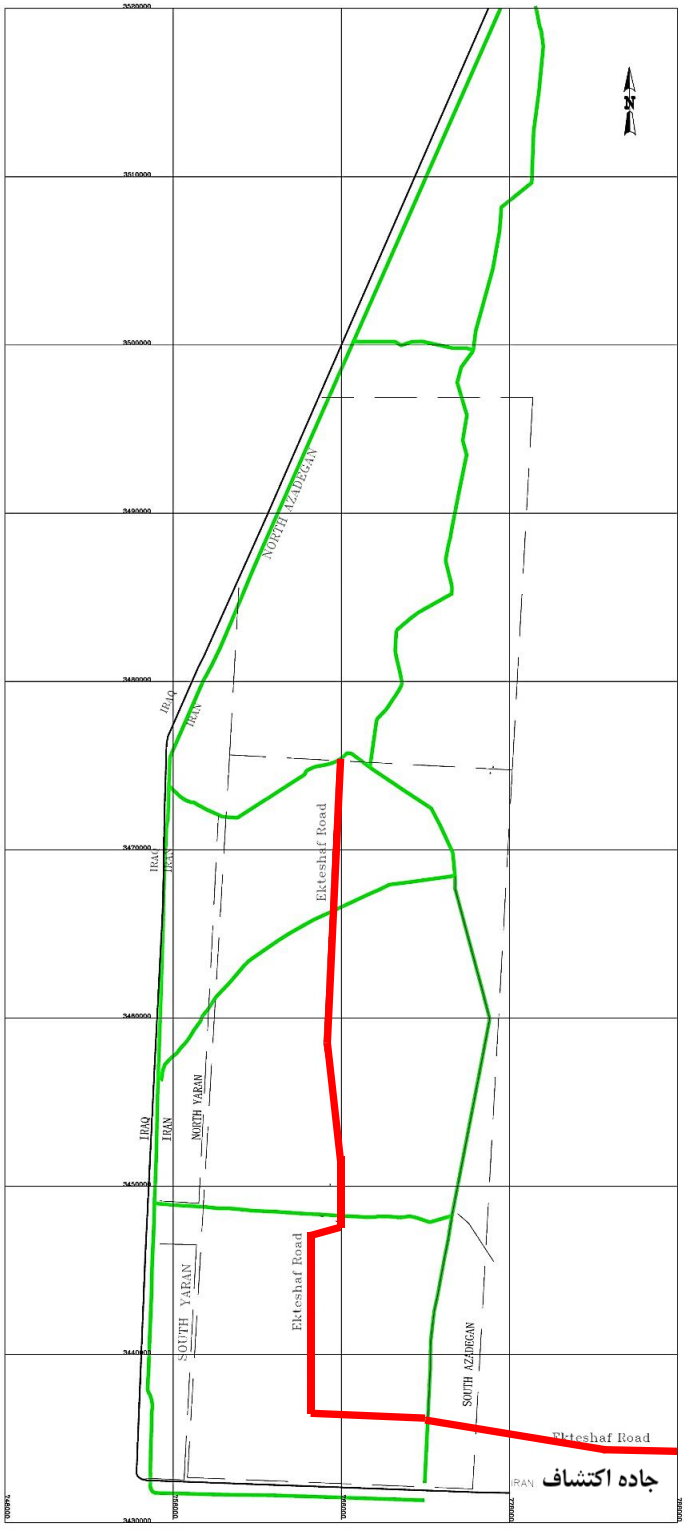
الف) جاده‌های اصلی:

جاده‌های اصلی جاده‌هایی هستند که با هدف اتصال مناطق مختلف هورالعظیم به یکدیگر ساخته شده اند و عموماً دارای روسازی آسفالتی هستند. یکی از جاده‌های اصلی محدوده هورالعظیم، جاده اکتشاف می‌باشد.

ب) جاده‌های فرعی:

جاده‌های فرعی شامل جاده‌های دسترسی به سلرها و گودال سوخت است که بیشتر آن‌ها دارای روسازی شنی می‌باشند.

[1] Culvert



شکل ۱-٤ جاده‌های موجود در منطقه هورالعظیم

٤-٣- آسیب‌های جاده بر اثر سیلاب

بر اثر سیلاب و بالا آمدن سطح آب ممکن است در کل جاده یا بخشی از آن آسیب‌هایی وارد شود. در این بخش آسیب‌ها در دو قسمت تشریح می‌شود:

- انواع آسیب‌های مشاهده شده در اثر سیلاب در مناطق مختلف جهان
- آسیب‌های مشاهده شده در منطقه هورالعظیم در اثر سیلاب

٤-٣-١- انواع آسیب‌های مشاهده شده در اثر سیلاب در مناطق مختلف جهان

انواع آسیب‌های جاده‌ها بر اثر سیلاب در مراجع فنی (Briaud and Maddah, 2016) ارائه شده است. حالت‌های کلی گسیختگی یا خرابی جاده که در مواجهه با سیلاب می‌تواند رخ دهد شامل موارد زیر می‌باشد:

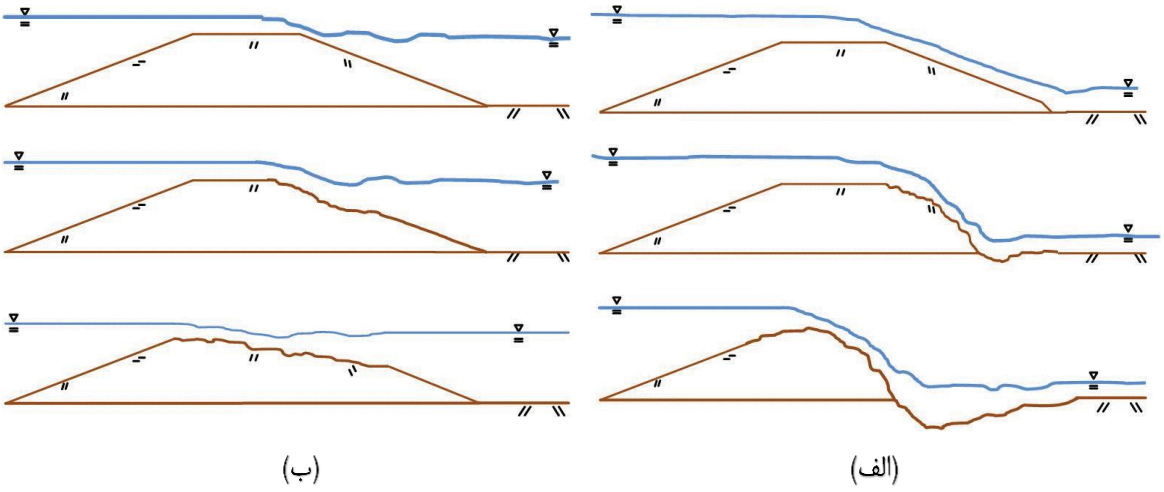
١. فرسایش ناشی از سرریز شدن آب[1]
٢. نرم شدگی[2] در اثر اشباع شدن خاکریز جاده یا خاک بستر
٣. تراوش[3] از زیر خاکریز یا از داخل بدنه و رگاب[4]
٤. فرسایش[5] در اثر موج
٥. لغزش[6] جانبی بر روی بستر
٦. سایر حالت‌های خرابی از جمله خرابی کالورت و خرابی روسازی.
٧. ترک خوردگی و سایر عوارض ناشی از افت سطح آب و خشک شدن خاکریز.

در ادامه توضیحی برای هر یک از آن‌ها به اختصار ارائه می‌شود.

٤-٣-١-١- فرسایش ناشی از سرریز شدن آب

سرریز شدن آب از خاکریزهای جاده زمانی اتفاق می‌افتد که سطح آب به تاج خاکریز برسد و از روی خاکریز عبور کند. فرسایش ناشی از سرریز شدن آب را می‌توان در دو حالت کلی تقسیم بندی کرد. در یک حالت فرسایش از پنجه خاکریزی شروع شده و در بالادست به صورت بریدگی در تاج خاکریز ادامه می‌یابد که به این حالت فرسایش ناشی از شرایط جریان سقوط آزاد[7] گفته می‌شود (شکل ٢-٤-الف). در حالت دیگر، فرسایش از شیب پایین دست شروع شده و به قسمت‌های دیگر توسعه می‌یابد. به این حالت فرسایش ناشی از شرایط جریان غوطه‌ور[8] گفته می‌شود (شکل ٢-٤-ب).

[1] Overtopping
[2] Softening
[3] Seepage
[4] Piping
[5] Erosion
[6] Sliding
[7] Freefall flow condition
[8] Submerged flow condition



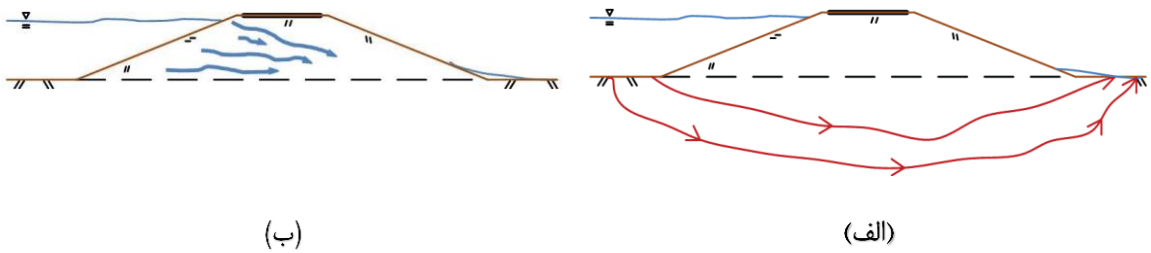
شکل ۲-٤ مراحل پیشرفت فرسایش خاکریز حفاظت نشده ناشی از سرریز شدن آب
(الف) تحت شرایط جریان سقوط آزاد و (ب) تحت شرایط جریان غوطه ور (Briaud and Maddah, 2016)

٤-۳-۱-۲- نرم شدگی در اثر اشباع شدن خاکریز جاده یا خاک بستر

اگر خاکریز جاده یا خاک بستر در معرض بارندگی‌های مکرر بسیار شدید، آب راکد یا سیلاب طولانی مدت باشد، ممکن است در حالت اشباع قرار گیرد. در حالت نرم شدگی ناشی از اشباع شدن، آب به داخل بدنه خاکریز نفوذ می‌کند ولی فرسایشی رخ نمی‌دهد که منجر به گسیختگی شود. در این حالت تنش موثر در خاک خاکریز و همچنین مقاومت و سختی آن کاهش می‌یابد. در این حالت به اصطلاح نرم‌شدگی خاکریز جاده رخ می‌دهد.

٤-۳-۱-۳- تراوش از زیر خاکریز یا از داخل بدنه و رگاب

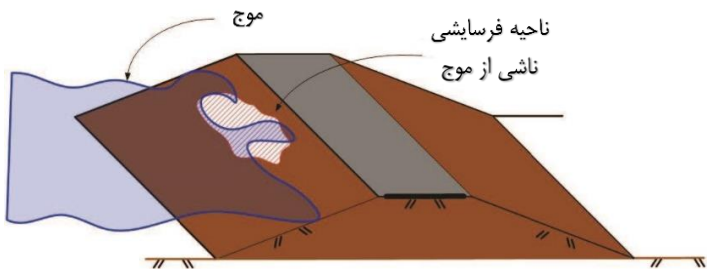
تراوش از پایین خاکریز زمانی رخ می‌دهد که مصالح بستر خاکریز نفوذپذیر باشد. در این حالت، همانطور که در شکل ۳-۴-الف نشان داده شده است، ممکن است جریان آب موجب فرسایش بستر خاکریز و ایجاد یک فضای خالی و در نهایت شسته شدن مصالح خاکریز از طریق ایجاد حفرات شود. در صورتی که خاکریز نفوذپذیری بیشتری نسبت به بستر آن داشته باشد مطابق شکل ۳-۴-ب تراوش از داخل بدنه خاکریز اتفاق می‌افتد. در این حالت با افزایش جریان تراوش، نیروهای هیدرولیکی آن افزایش می‌یابد و فرسایش ناشی از تراوش آغاز می‌شود. این فرسایش به سرعت می‌تواند یک یا چند مجرا برای عبور آب در داخل خاکریز ایجاد کند و رگاب رخ دهد.



شکل ۳-٤ حالت‌های مختلف تراوش (الف) تراوش از زیر خاکریز؛ و (ب) تراوش از داخل بدنه خاکریز (Briaud and Maddah, 2016)

٤-۳-۱-٤- فرسایش در اثر موج

فرسایش ناشی از موج مطابق شکل ۴-۴ به فرسایش در اثر برخورد موج اشاره دارد. امواج، تنش‌های برشی هیدرولیکی ایجاد می‌کنند که با تنش‌های ایجاد شده توسط جریان‌های سیلاب یک طرفه کاملاً متفاوت است.



شکل ٤-٤ تصویری شماتیک از فرسایش ناشی از موج (Briaud and Maddah, 2016)

٤-۳-۱-٥- لغزش جانبی بر روی بستر

لغزش جانبی بر روی بستر زمانی اتفاق می‌افتد که فشار افقی ناشی از بالا آمدن تراز آب در یک طرف خاکریز برابر با مقاومت جانبی یا مقاومت لغزشی خاکریز شود. فشار آب در جوانب خاکریز دارای توزیع مثلثی است. همانطور که سطح آب در سمت بالادست بالا می‌آید، این فشار افقی افزایش می‌یابد و ممکن است برابر با نیروی اصطکاکی در سطح مشترک بین خاکریز و خاک بستر آن شود و در نتیجه خاک به سمت پایین دست لغزش کند.

٤-۳-۱-٦- ترک خوردگی و سایر عوارض ناشی از افت سطح آب و خشک شدن خاکریز

پایین رفتن سطح آب پس از فروکش کردن سیلاب می‌تواند باعث زهکشی خاک و ترک خوردگی آن شود. همچنین محتمل است مشکلاتی مانند کاهش تراکم بروز کند. بنابراین باید عملکرد خاکریز پس از سیلاب مورد توجه قرار گیرد.

٤-٣-٢- آسیب‌های مشاهده شده در منطقه هورالعظیم

این ضابطه به دنبال سیل رخ داده در فروردین ماه سال ۱۳۹۸ و آسیب‌های مربوطه تهیه شد. این سیل، موجب ورود مقدار قابل توجهی آب از بالادست هورالعظیم، به منطقه و در نهایت بالا آمدن تراز آب در هر پنج حوضچه هورالعظیم و خرابی و آسیب جاده‌های موجود در منطقه شد. آسیب‌های مشاهده شده در بازدیدهای انجام شده در هنگام تهیه این ضابطه شامل نکات مهمی است که برای اطلاع خواننده به صورت اجمالی در اینجا آورده شده است. مهم ترین آسیب‌ها بر اثر سیلاب در جاده یاران شمالی و جاده اکتشاف مشاهده شد. اطلاع از این آسیب‌ها برای استفاده کننده از این ضابطه اعم از کارفرما، مهندسین مشاور و پیمانکار ضروری است. یادآور می‌شود که ممکن است آسیب‌های احتمالی آینده محدود به این موارد نباشد، بدین ترتیب ضروری است در طرح‌ها و پروژه‌های آتی نسبت به شناسایی انواع آسیب به‌روز در محل اقدام نمود.

الف) جاده یاران شمالی:

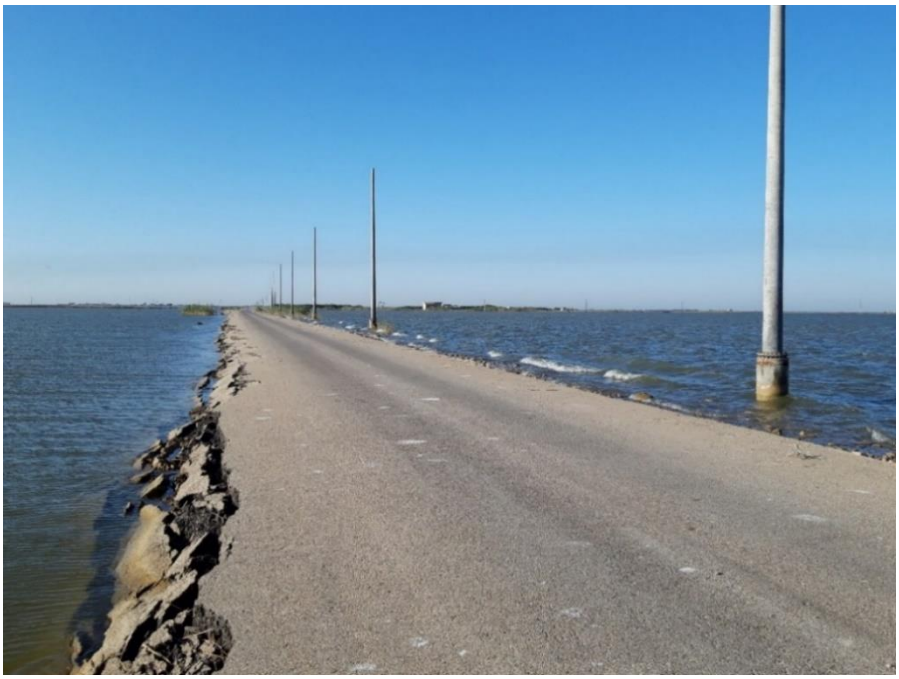
در جاده یاران شمالی اشباع شدن خاک رس بدنه خاکریز جاده و خاک بستر در اثر سیلاب منجر به نشست و آسیب به روسازی آسفالتی شد. این آسیب ابتدا مطابق شکل ۵-۴ به صورت گسترش ترک‌های شبکه‌ای آغاز شد و تا تخریب روسازی ادامه یافت. ورود آب به میدان آزادگان جنوبی بر اثر سیلاب، موجب آبشستگی جدار خاکریزها (شیروانی)، که عموماً با خاک رس احداث شده است و در نهایت باریک شدن جاده‌ها گردید. همچنین در جاده‌های با روسازی آسفالتی، شانه‌های جاده به دلیل عدم حفاظت مناسب دچار آسیب شده بود.

شکل ٥-٤ نشست‌های انتقال یافته به روسازی جاده و تخریب آن در جاده یاران شمالی

ب) جاده اکتشاف:

جاده اکتشاف که جاده اصلی دسترسی به محوطه سلرها در منطقه است نیز در اثر سیلاب متحمل خساراتی شد که در شکل ۶-۴ تصویری از آن ارائه شده است. از آنجایی که تراز آب در این نواحی اختلاف کمی با تراز جاده داشته است، آثار تخریبی آن به روسازی

آسفالتی نیز گسترش یافت. بالاتر بودن تراز سیلاب از تراز خاکریز زیرسازی جاده و همچنین احداث زیرسازی جاده در شرایط خشک منطقه هورالعظیم از دلایل اصلی آسیب‌های رخ داده در جاده‌های منطقه می‌باشد.



شکل ٦-٤ تخریب جاده اکتشاف در میدان آزادگان جنوبی

بر اثر سیلاب در بخش‌هایی از جاده اکتشاف مطابق شکل ۷-۴ به دلیل عدم وجود سیستم حفاظت جدار (شیروانی)، پاشنه خاکریزها شسته شده است. در نهایت این موضوع موجب گسیختگی شیروانی خاکریز، کاهش پایداری و به موجب آن بروز ترک‌های کششی در سطح جاده شده است که در شکل مذکور مشاهده می‌شود.

شکل ۷-۴ وقوع ترک‌های کششی طولی در سطح خاکریز تعریض شده جاده اکتشاف

٤-٤- ضوابط احداث جاده جدید برای مقابله با سیلاب

برای احداث جاده جدید در منطقه هورالعظیم به نحوی که در مقابل آب دائم و سیلاب محافظت شود لازم است از روش‌ها و نکاتی که در ادامه شرح داده می‌شوند استفاده گردد. این روش‌ها در پنج بخش به شرح زیر تقسیم بندی می‌شود:

- احداث بدنه جاده با خاکریزی درون آب تا رقوم سیلاب
- احداث حداقل سه لایه ساب گرید روی خاکریز ایجاد شده در رقوم بالاتر از سیلاب
- احداث روسازی جاده شنی و آسفالتی
- حفاظت از جدار (شیروانی) خاکریز جاده
- احداث کالورت جاده

٤-٤-١- احداث بدنه خاکریز جاده جدید

٤-٤-١-١- کلیات

احداث خاکریز جاده جدید در دو حالت زیر انجام می‌شود:

- احداث خاکریز در آب (ناشی از سیلاب، حق‌آبه یا عوامل دیگر)
- احداث خاکریز در بستر خشک که در آینده به علت وقوع سیلاب، تخصیص حق‌آبه منطقه یا عوامل دیگر دچار آب گرفتگی طولانی مدت خواهد شد.

در آب موجود یا در منطقه‌ای که در معرض آب ناشی از سیلاب باشد، به طور اصولی خاکریز جاده باید با ترکیب مصالح خاکی و سنگی احداث شود. اما در احداث بدنه جاده در منطقه هورالعظیم باید به مشکل عدم دسترسی به مصالح مناسب (به ویژه مصالح درشت دانه) در فاصله نزدیک و مشکلات اجرای بدنه در آب توجه شود. استفاده از مصالح خرده سنگی برای ساخت بدنه در این منطقه به دلیل فاصله طولانی حمل ممکن است به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نباشد. بنابراین در این منطقه می‌توان روش‌هایی همچون اختلاط ماسه بادی و رس از قرضه محلی و اختلاط مصالح رودخانه‌ای و رس محلی را مورد توجه قرار داد تا نیاز به تامین مصالح از فواصل حمل زیاد به حداقل برسد. در هر صورت چنانچه استفاده از سایر مصالح توجیه فنی و اقتصادی داشته باشد می‌توان از آن‌ها به مسئولیت مهندس مشاور و کارفرما استفاده کرد. در این بخش به تفکیک ضوابط لازم در مورد اختلاط مصالح، بهسازی با روش‌های نوین و نظایر آن، ارائه خواهد شد. ابتدا به برخی نکات کلی به شرح زیر در خصوص بدنه جاده اشاره می‌شود.

الف) رقوم نهایی جاده باید با توجه به مشخصات سیلاب از جمله دوره بازگشت سیلاب، شرایط توپوگرافی و آب‌گیری منطقه تعیین و محاسبه شود. ضمنا باید ارتفاع نهایی خاکریز بالاتر از تراز سیلاب و آب موجود در منطقه باشد.

برای انتخاب تراز تمام شده خاکریز جاده‌ها و سلرها (EL) باید مطابق شکل ۸-۴ به موارد زیر توجه شود:

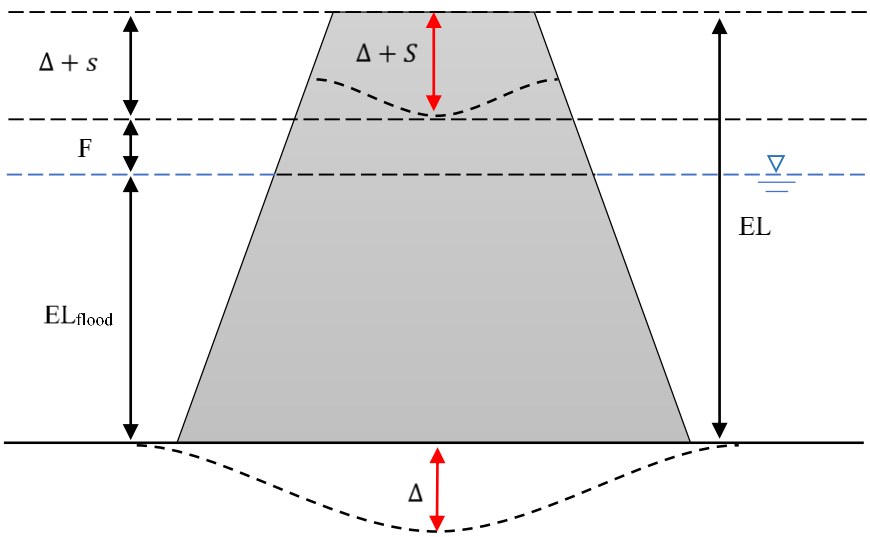
I. EL_{flood} = رقوم آب در سیلاب

II. F = ارتفاع آزاد[1] بالای سطح آب (حداقل نیم متر) (USACE, 2002)

[1] Freeboard

III. Δ = نشست زمین طبیعی زیر خاکریز (خاک بستر)

IV. S = نشست بدنه خاکریز



شکل ۸-٤ نشست رخ داده در خاکریز سلرها و جاده‌ها

آنگاه تراز تمام شده مطابق زیر به دست می‌آید:

$$EL = EL_{flood} + F + \Delta + S \qquad (۴-۱)$$

مورد (I) برابر با رقوم سیلاب (EL_{flood}) است و باید مطابق "ضابطه فنی و مهندسی ایمنی و حفاظت جاده‌ها، سلرها و تاسیسات نفتی منطقه هورالعظیم در برابر سیلاب در حوزه سیلاب و خط لوله" تعیین شود.

مورد (II) باید حداقل نیم متر در نظر گرفته شود. البته باد و موج نقش مهمی در انتخاب ارتفاع آزاد دارد و باید مطابق "ضابطه فنی و مهندسی ایمنی و حفاظت جاده‌ها، سلرها و تاسیسات نفتی منطقه هورالعظیم در برابر سیلاب در حوزه سیلاب و خط لوله" برای این منطقه در نظر گرفته شوند.

مورد (III) با روش‌های متداول مندرج در مراجع و استانداردهای ژئوتکنیک تعیین می‌شود. این مورد شامل نشست آنی و تحکیم است که محاسبه آنها افزون بر به‌کارگیری روابط کلاسیک می‌تواند با نرم افزارهای مبتنی بر مدلسازی عددی انجام گیرد.

مورد (IV) شامل نشست بدنه خاکریز تحت وزن خود است. این نشست که ناشی از متراکم شدن خاکریز با گذشت زمان می‌باشد، با مدل سازی عددی مبتنی بر مکانیک محیط‌های پیوسته قابل محاسبه نیست. مقدار این نشست به خصوص برای لایه‌های زیر سطح آب قابل توجه است زیرا لایه‌های زیر سطح آب امکان تراکم مناسب در هنگام اجرا را ندارند. مقدار این نشست با اندازه‌گیری‌های مشابه قابل انجام است. بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده در هورالعظیم و همچنین مقادیر ذکر شده در منابع مختلف، اعداد مندرج در جدول ۱-۴ برای تخمین نشست به عنوان حداقل پیشنهاد می‌گردد.

همانطور که در جدول ۱-۴ مشاهده می‌شود نشست رس متراکم نشده در زیر سطح آب برابر با پانزده درصد ارتفاع خاکریز در آب است که بر اساس تحلیل داده‌های پایش زمان احداث و نقشه برداری در یک دوره ده ساله محاسبه شده است.

جدول ۱-٤ مقدار نشست خاکریز به صورت درصدی از ارتفاع لایه

نوع خاک	نشست
رس متراکم نشده در زیر سطح آب	۱۵ درصد ضخامت
رس متراکم شده در بالای سطح آب	۳ درصد ضخامت
راکفیل با تراکم متوسط	۱ درصد ضخامت
راکفیل متراکم شده	۰/۲۵ درصد ضخامت

ب) در طراحی بدنه خاکریز جاده جدید باید در نظر داشت که حداقل ضریب اطمینان باید بر اساس آیین‌نامه‌های معتبر موجود مانند جلد سوم نشریه ۳۰۰ برای شرایط مختلف انتخاب شود (سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۸۵). نشست و ضرایب اطمینان پایداری باید محاسبه و با مقادیر مجاز کنترل شوند. ضرایب اطمینان پایداری می‌تواند با ساخت مدل‌های تعادل حدی و مقدار نشست می‌تواند با مدلسازی اجزاء محدود کنترل شود.

ج) نشست رخ داده در جاده باید کمتر از مقدار نشست مجاز باشد. مقدار نشست مجاز جاده باید با توجه به کاربری جاده و نوع روسازی آن تعیین شود. در جاده‌های با رویه آسفالتی می‌توان نشست مجاز یکنواخت را حداکثر ۳۰ الی ۶۰ سانتی‌متر (Johnson, 1975) در نظر گرفت مشروط به اینکه ترمیم روسازی حداکثر در دوره‌های ده ساله انجام شود. صدمات موضعی جاده باید مورد پایش باشد و در صورت لزوم اصلاح شود. باید توجه کرد که مدلسازی اجزا محدود برای محاسبه نشست باید به صورت مرحله‌ای با در نظر گیری مراحل اجرا انجام گیرد.

د) به طور کلی خاک بستر و خاکریزها، تکیه‌گاه مناسبی برای جاده‌ها و سایر زیرساخت‌های حمل‌ونقل هستند. اگر تنش بیش از حد به خاکریز یا بستر وارد شود منجر به گسیختگی چرخشی، جابه‌جایی یا انتقالی می‌شود. در شکل ۹-۴ انواع گسیختگی احتمالی ذکر شده نشان داده شده است که در طراحی خاکریز بدنه جاده در منطقه باید آنها را در نظر داشت (Ariema and Butler, 1990).

و) شایان ذکر است که به منظور تجربه نمودن مواردی در ساخت (خاکریز احداث شده در داخل آب) که امکان بررسی آن در زمان تهیه این ضابطه وجود نداشته است (تا زمان تهیه ضابطه حداقل بیش از پنج سال از عمر خاکریزهای موجود گذشته است) نسبت به انجام آزمایش و مدل‌سازی فیزیکی در آزمایشگاه اقدام شد. در ادامه در قسمت‌های مختلف بسته به نیاز به نتایج به دست آمده اشاره خواهد شد. بر اساس آزمایش‌های انجام گرفته در هنگام تهیه این ضابطه، اختلاط رس با ماسه بادی روش مطلوب‌تری نسبت به اختلاط رس با مصالح رودخانه‌ای است و نتایج بهتری برای این روش در آزمایش‌ها مشاهده شده است.

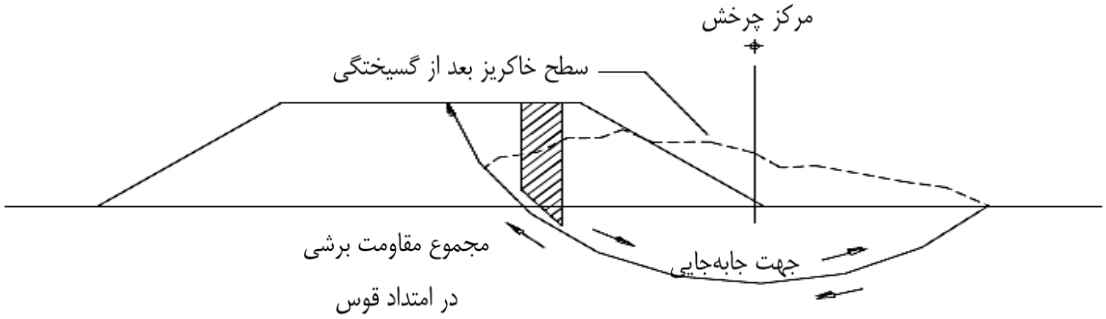
ح) باید دوام کلیه مصالح استفاده شده در روش‌های مختلف که در منطقه برای احداث بدنه جاده به کار می‌رود خصوصاً در برابر آب و مواد نفتی و سایر موارد بررسی شود.

ط) در طراحی خاکریز جاده‌ها و محوطه سلرها باید نکاتی در نظر گرفته شود که به تفکیک جداگانه تشریح می‌شود،طراحی خاکریز جاده‌ها و محوطه سلرها باید شامل موارد زیر باشد:

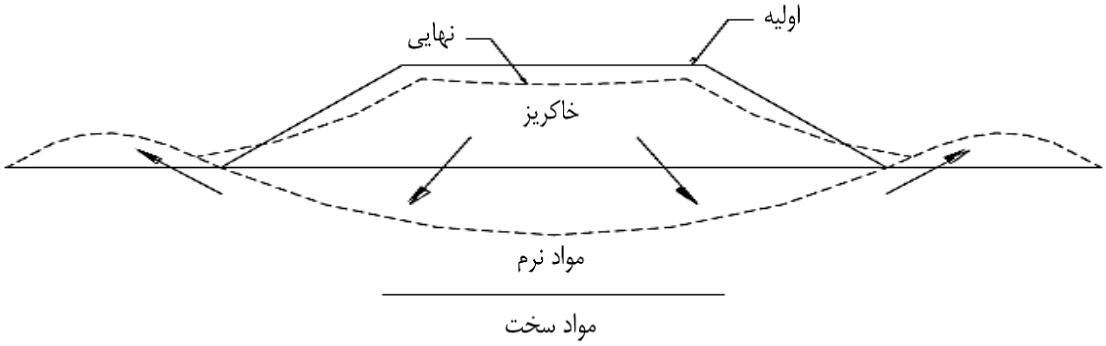
- هنگام بارگذاری استاتیکی و دینامیکی (مانند حرکت خودرو و زلزله) لغزش اتفاق نیافتد.
- نشست قابل کنترل و محدود باشد.
- بیرون‌زدگی جانبی (شامل لغزش یا گسیختگی موضعی) اتفاق نیفتد.
- در زمان فروکش کردن آب، ریزش اتفاق نیافتد.

- نشست و دوام خاکریز در خشک و تر شدن‌های مکرر، مشکل آفرین نشود.
- در صورت کافی نبودن ظرفیت باربری خاک بستر ساخت مرحله‌ای در نظر گرفته شود.

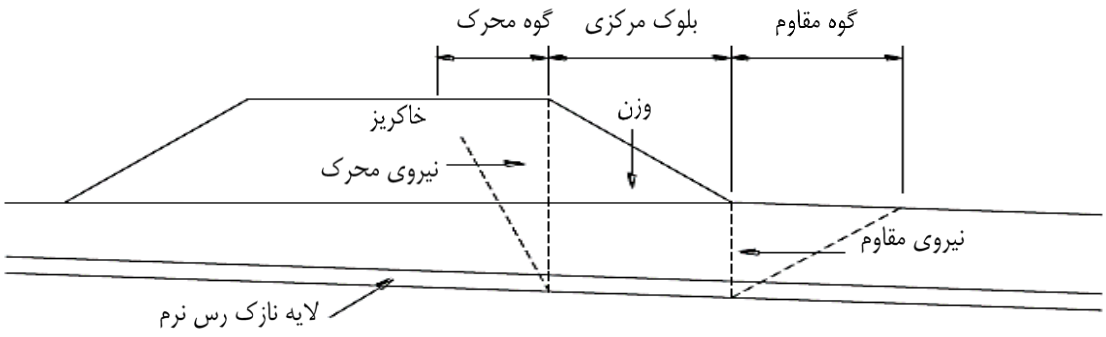
ی) شیب جداره خاکریز حداقل ۱ قائم و ۳ افقی در نظر گرفته شود (تجربیات محلی نشان می‌دهد که عملکرد بدنه جاده و حفاظت شیروانی در صورت حداقل شیب ۱ به ۳ مطلوب است).



(الف) گسیختگی چرخشی



(ب) گسیختگی جابه‌جایی (نشست)



(ج) گسیختگی انتقالی

شکل ۹-٤ گسیختگی‌های عمومی خاکریز (Ariema and Butler, 1990)

در ادامه روش‌های قابل اجرا در منطقه برای احداث بدنه خاکریز جاده جدید معرفی و ضوابط اجرای آن‌ها ارائه می‌شود. همچنین در انتها به روش‌هایی که ممکن است کارایی کمتری داشته باشند اشاره می‌شود.

٤-١-٤-٢- اختلاط رس محلی با ماسه بادی برای احداث بدنه جاده

دسترسی به ماسه بادی در منطقه هورالعظیم در فاصله حمل به نسبت کم ممکن است. بنابراین با توجه به تجربیات منطقه لازم است اختلاط رس محلی با ماسه بادی به عنوان گزینه به نسبت ارزان و در دسترس بررسی شود.

ماسه بادی را می‌توان با نسبت‌های مختلف به عنوان افزودنی با رس موجود در منطقه مخلوط کرد تا خواص تغییرشکل پذیری، قابلیت تراکم و مقاومت خاک بهبود یابد. با وجود منابع ماسه بادی در مجاورت منطقه و همچنین فراوانی قرضه خاک رس محلی، استفاده از مخلوط رس و ماسه بادی اولویت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها دارد.

٤-١-٤-١-٢- طراحی بدنه جاده در زیر سطح آب

بر اساس تجربیات گذشته اختلاط رس محلی با حدود ۲۰ تا حداکثر ۴۰ درصد ماسه بادی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اما تعیین درصد اختلاط در هر پروژه باید با بررسی‌های لازم انجام شود. در هنگام تهیه این ضابطه برخی آزمایش‌ها بر روی نمونه‌هایی با درصدهای مختلف اختلاط رس با ماسه بادی از منطقه هورالعظیم انجام شد و اختلاط ۳۵ درصد ماسه بادی با رس بر اساس آزمایش‌های تراکم (حداکثر دانسیته)، برش مستقیم، تک‌محوری، سه‌محوری و CBR به عنوان گزینه برتر انتخاب شد. استفاده از این درصد اختلاط برای طراحی اجباری نیست، لیکن توصیه اکید می‌شود در فهرست درصدهای مورد مطالعه در آزمایشگاه قرار گیرد.

با توجه به این‌که امکان تعیین پارامترهای طراحی خاک رس مخلوط شده با ماسه بادی ریخته شده در داخل آب میسر نمی‌باشد لازم است در روند طراحی ابتدا در آزمایشگاه نسبت به تعیین پارامترها، اقدام نموده و سپس با اجرای خاکریز آزمایشی و انجام آزمایش‌های مناسب بر آن، تدقیق گردد. نکات ذیل در این رابطه باید مورد توجه قرار گیرد:

- برای به دست آوردن درصد اختلاط مناسب، ابتدا لاز م است با انجام آزمایش CBR یا تک محوری، منحنی تغییرات CBR و مقاومت مخلوط بر حسب درصد اختلاط بدست آید. درصد اختلاط‌های انتخاب شده در این مرحله باید حداقل ۵ درصد با یکدیگر در مقدار ماسه بادی تفاوت داشته باشند.
- حداقل سه درصد اختلاط مختلف از درصدهایی که موجب بیشترین مقاومت و تراکم (حداکثر وزن مخصوص) می‌شود، با قضاوت مهندسی انتخاب گردد تا مورد آزمایش‌های تکمیلی در آزمایشگاه قرار گیرد.
- پس از انتخاب درصد اختلاط‌های مناسب (حداقل سه مورد) لازم است با انجام آزمایش‌های تکمیلی شامل برش مستقیم، تحکیم، سه‌محوری و غیره بر روی نمونه اشباع ساخته شده با درصدهای تراکم ۷۰ الی ۱۰۰ درصد، پارامترهای ژئوتکنیکی اولیه شامل چسبندگی، زاویه اصطکاک و متغیرهای تحکیم خاک به دست آید (جهت اطلاع و راهنمایی، تجربیات قبلی نشان می‌دهد که خاک ریخته شده در داخل آب به درصد تراکم بالا نخواهد رسید. برای طراحی اولیه می‌توان از قضاوت مهندسی در خصوص درصد تراکم خاکریز اجرا شده در آب استفاده کرد).

- درصدهای اختلاط حاصل از مطالعات آزمایشگاهی فوق (حداقل سه مورد) بر اساس قضاوت مهندسی باید برای اجرای خاکریزهای آزمایشی به کار گرفته شود.
- مقادیر پارامترهای به دست آمده در مطالعات آزمایشگاهی فوق‌الذکر نشانگر پارامترهای خاکریز در زیر سطح آب است. حصول تراکم حداقل ۹۰ درصد در بالای سطح آب در نشریه ۱۰۱ (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۲) الزام شده و قابل حصول است ولی حصول تراکم بالا در زیر سطح آب مقدور نیست. بنابراین ضروری است نمونه‌های خاک با درصد تراکم‌های مختلف برای خاکریز در زیر سطح آب مطالعه گردد.
- فرآیند اجرای خاکریزی در آب پیچیده است لذا اجرای خاکریز آزمایشی که متعاقبا در بخش بعدی تشریح می‌شود ضروری است. بررسی تجربی بارش خاک در استوانه‌های آب می‌تواند نقش مفیدی برای شبیه‌سازی و قضاوت در مورد انباشت (تراکم) مخلوط خاک رس محل و ماسه بادی داشته باشد.
- صرفا جهت اطلاع و راهنمایی بیان می‌شود که در آزمایش‌هایی که در هنگام تهیه این ضابطه صورت گرفت، تهیه نمونه با درصد تراکم کمتر از ۷۰ درصد برای آزمایش برش مستقیم و سه‌محوری UU امکان‌پذیر نبوده است. همچنین درصد تراکم حداکثر ۶۰ درصد در آزمایش بارش خاک در استوانه آب حاصل گردید. این درصدها می‌تواند به عنوان راهنما برای برنامه ریزی آزمایش‌ها استفاده شود. درصد تراکم واقعی خاکریز با اجرای خاکریز آزمایشی مشخص خواهد شد.
- اجرای خاکریز آزمایشی در مراحل طراحی بر اجرای آن در شروع عملیات اجرایی اولویت موکد دارد زیرا بدین ترتیب بازطراحی و تدقیق طرح می‌تواند قبل از عملیات اجرایی صورت پذیرد. اما چنانچه امکان انجام آن در هنگام طراحی نباشد، باید در ابتدای اجرا صورت گیرد. البته در این صورت لازم است طراح تلاش کند که پارامترهای خاک را با استفاده از آزمایش‌های آزمایشگاهی چنان تعیین کند که تفاوت آن‌ها با پارامترهای حاصل از خاکریز آزمایشی چنان کم باشد که تغییرات قراردادی زیادی در پروژه ایجاد نشود. به عنوان راه حل پیشنهادی در این شرایط پیشنهاد می شود در قرارداد از درصد ثابتی برای اختلاط ماسه بادی استفاده گردد. علی رغم اینکه در طراحی نهایی این درصد اختلاط دچار تغییر گردد.
- برای خاکریز در زیر سطح آب پیشنهاد می‌شود مقادیر پارامترهای خاک بر اساس آزمایش‌های فوق الذکر و با قضاوت در مورد درصد تراکم خاکریز تعیین شود. این درصد تراکم متعاقباً با اجرای خاکریز آزمایشی تدقیق می‌گردد.
- پس از انتخاب پارامترهای خاک باید با ساخت مدل تعادل حدی و اجزاء محدود، ضرایب اطمینان و نشست خاکریز کنترل شود تا معیارهای نشست مجاز یا ضریب اطمینان تامین شود.
- بدیهی است طراحی بدنه خاکریز نیازمند انجام مطالعات ژئوتکنیک در خاک بستر (واقع در زیر تراز خاکریز) و همچنین بدنه خاکریز آزمایشی می‌باشد.

٤-٤-١-٢-٢- طراحی بدنه جاده بالای سطح آب

بدنه جاده در بالای رقوم سیلاب شامل سابگرید و روسازی می‌باشد. بدنه خاکریز در زیر سابگرید و زیر رقوم سیلاب می‌باشد. نکات مهم در مورد بدنه جاده در بالای رقوم سیلاب به شرح زیر ارائه می‌گردد.

- در بالای رقوم سطح سیلاب، طراحی حداقل سه لایه سابگرید با تراکم ۹۵٪ الزامی است. مجموع ضخامت لایه‌های سابگرید نباید کمتر از ۶۰ سانتی‌متر باشد.
- در جاده با روسازی شنی علاوه بر سابگرید باید حداقل یک لایه زیراساس و رویه شنی باید در طراحی پیش‌بینی شود.
- در جاده با روسازی آسفالتی علاوه بر سابگرید، باید حداقل یک لایه زیراساس، اساس و لایه‌های آسفالتی در طراحی پیش‌بینی شود.
- جهت طراحی سابگرید و روسازی به استانداردهای معتبر اعم از نشریه ۱۰۱ (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۲)، نشریه ۲۳۴ (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۰) و غیره مراجعه شود.
- جهت اطلاع و راهنمایی تجربیات محلی نشان داده است برای رسیدن به تراکم ۹۵ درصد در سابگرید خاک رس به تنهایی کفایت نمی‌کند و ضروری است طراح تمهیدات لازم اعم از اختلاط با مصالح دانه‌ای را مد نظر قرار دهد.

٤-٤-١-٢-٣- اجرا بدنه‌ی جاده در داخل آب

الف) خاکریز آزمایشی

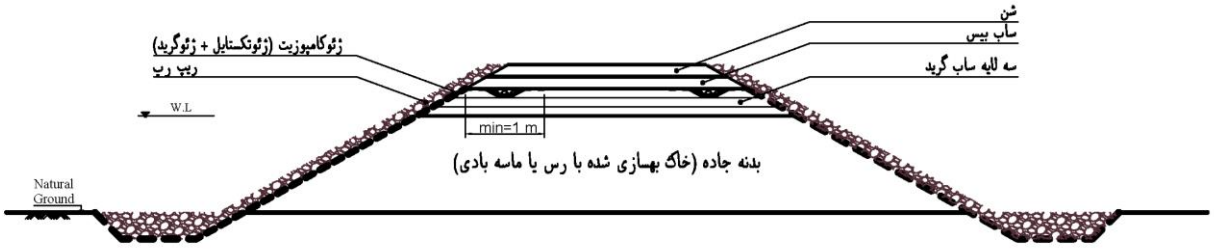
- پیش از اجرای بدنه جاده در آب لازم است خاکریز آزمایشی اجرا گردد. امکان پذیری اجرای خاکریز در آب و تراکم حاصل بستگی به نوع مصالح خاکی، نسبت اختلاط، روش اجرا، ماشین آلات، سرعت اجرا، عمق و جریان آب و سایر عوامل دارد. بنابراین اجرای خاکریز آزمایشی ضروری است.
- پیمانکار باید برای هر درصد اختلاط حداقل ۲۰ متر جاده آزمایشی تا رسیدن به رقوم آب موجود و تراکم خاک بالاتر از تراز آب، اجرا کند و برای هر کدام از آنها درصد تراکم، مقاومت برشی و مشخصات تحکیمی را اندازه‌گیری کند. آزمایش‌های مناسب می‌تواند به روش‌های مختلف با حفر گمانه، چاهک یا سایر روش‌ها مطابق مشخصات فنی تهیه شده توسط مشاور انجام شود. این آزمایش‌ها در راستای تدقیق پارامترهای طراحی مطابق نکات بندهای قبل خواهد بود. بدیهی است که پارامترهای حاصل از خاکریز آزمایشی ملاک تصمیم گیری‌های آتی و تدقیق طراحی خواهد بود.
- ممکن است که سطح آب در زمان اجرای خاکریز آزمایشی پایین‌تر از رقوم سیلاب باشد. در نتیجه بخشی از خاکریز پس از وقوع سیلاب و بالا رفتن سطح آب اشباع می‌شود. بنابراین لازم است پارامترهای خاک برای لایه‌هایی که بعدا اشباع می‌شوند با استفاده از اخذ نمونه‌های دست نخورده از لایه‌های مذکور و انجام آزمایش‌های مقاومتی پس از اشباع نمودن نمونه به دست آید.

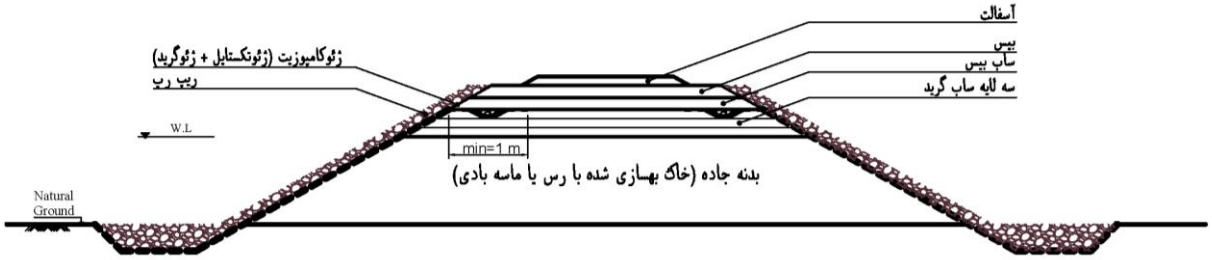
ب) مراحل اجرای جاده

- مراحل اجرای بدنه خاکریز با استفاده از اختلاط رس و ماسه بادی بایستی مطابق مقطع شکل ۱۰-۴ و شکل ۱۱-۴ به صورت زیر باشد:
  ۱. برداشتن لجن و نی بستر
  ۲. ریختن مخلوط خاک رس محلی و ماسه بادی با درصد اختلاط تعیین شده با استفاده از ماشین آلات راهسازی به صورت خالی کردن خاک در آب

۳. تراکم خاک بیرون آمده از سطح آب با استفاده از غلتک قبل از اجرای سابگرید (در صورت نشست، مجدداً خاک ریخته شده و با غلتک متراکم گردد)
٤. اجرای سابگرید در حداقل سه لایه بر روی خاک همتراز شده با رقوم سیلاب (ضروری است سابگرید بالای رقوم سیلاب اجرا گردد)
٥. اجرای روسازی به صورت شنی یا آسفالتی
٦. اجرای ژئوکامپوزیت بر روی بدنه جاده (در جاده شنی بخش از ژئوکامپوزیت برگشتی افقی بین ساب گرید و زیراساس باشد و در جاده آسفالتی بخشی از ژئوکامپوزیت برگشتی افقی به طول حداقل یک متر باید بین اساس و زیراساس قرار بگیرد. بخش افقی ژئوکامپوزیت تابع آخرین استانداردهای مرتبط با ژئوکامپوزیت باشد که ارجح بر این ضابطه است. بر اساس تجربیات محلی اجرای لایه فیلتر شنی در زیر ریپ‌رپ توصیه نمی‌شود).
۷. اجرای حفاظت شیروانی اعم از ریپ‌رپ یا سایر موارد قید شده در ضابطه

- لازم است در حین اجرا و پس از اتمام اجرای جاده، پایش رقوم جاده به صورت دوره‌ای صورت گیرد.
- ضروری است برای تامین سرعت کافی در اجرا برنامه‌ریزی تعداد کافی کامیون بارگیری شده در نزدیکی محل تخلیه انجام پذیرد تا در تخلیه مداوم مصالح به درون آب وقفه‌ای صورت نپذیرد.

برای نمونه مقطع شماتیک جاده با روسازی شنی و آسفالتی به ترتیب در شکل ۱۰-۴ و شکل ۱۱-۴ ارائه شده است.

شکل ۱۰-٤ مقطع جاده شنی



شکل ۱۱-٤ مقطع جاده آسفالتی

٤-٤-١-٣- اختلاط با مصالح رودخانه‌ای

مصالح رودخانه‌ای از نظر دسترسی در منطقه هورالعظیم، شرایط مشابهی با ماسه بادی دارد. بنابراین اختلاط مصالح رودخانه‌ای با رس محلی را می‌توان به عنوان روشی برای احداث بدنه جاده به کار برد. بدیهی است مقایسه اقتصادی در این زمینه ضروری است.

یکی دیگر از انواع خاک‌های دانه‌ای که می‌توان آن را در اختلاط با خاک رس استفاده کرد مصالح شنی و ماسه‌ای رودخانه‌ای است، که همانند خاک ماسه بادی می‌تواند به عنوان ماده پرکننده (جهت ریختن خاک در آب برای استحصال جاده) استفاده شود. مصالح رودخانه‌ای را می‌توان با نسبت‌های مختلف در ترکیب با خاک‌های چسبنده استفاده کرد تا خواص تغییرشکل پذیری، تراکم و مقاومت خاک بهبود یابد.

٤-٤-١-٣-١- طراحی

بر اساس تجربیات گذشته اختلاط رس محل با ۲۰ تا ۴۰ درصد مصالح ماسه رودخانه‌ای می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اما تعیین درصد اختلاط در هر پروژه باید با بررسی‌های لازم انجام شود. نکات ذکر شده برای روش اختلاط ماسه بادی با رس محلی در بخش‌های ۴-۴-۱-۲- برای اختلاط مصالح رودخانه‌ای با رس محلی نیز باید مورد توجه قرار گیرد.

٤-٤-١-٣-٢- اجرا

در خصوص خاکریز آزمایشی و مراحل اجرای اختلاط مصالح رودخانه‌ای با رس محلی بایستی نکات ذکر شده در بند ۴-۴-۱-۲-۳ مورد توجه قرار گیرد.

٤-٤-١-٤- سایر روش‌های اجرای بدنه خاکریز

شایان ذکر است چنانچه اجرای بدنه خاکریز به روش‌های فوق‌الذکر به دلایلی از قبیل سرعت بالای جریان آب، عمق زیاد خاکریزی در آب و غیره امکان‌پذیر نباشد از روش‌های این قسمت می‌توان استفاده کرد. این روش‌ها به دلایل اقتصادی و در بعضی موارد به دلیل محدودیت‌های اجرایی در سطح گسترده و به صورت عمومی قابل توصیه نیست. هر چند به صورت موضعی، محدود و در صورت عدم وجود راهکار مهندسی دیگر، با رعایت آخرین قانون و مقررات ایمنی، بهداشت و محیط زیست می‌تواند استفاده شود.

٤-٤-١-٤-١- راکفیل[1]

استفاده از راکفیل طبق این ضابطه در شرایط خاص امکان‌پذیر است. برای مثال اگر سرعت جریان آب در محل پروژه زیاد و سرعت اجرا کند باشد آنگاه خاک ریخته شده در آب شسته می‌شود و امکان اجرای خاکریز وجود نخواهد داشت. در این شرایط باید از مصالح سنگی استفاده شود. استفاده از این گزینه نیز به دلیل فاصله زیاد معادن تامین سنگ در اغلب پروژه‌های هورالعظیم دشوار است و صرفاً

[1] Rockfill

در شرایط خاص (مشکلات اجرایی یا داشتن توجیه اقتصادی) قابل استفاده است. برای طراحی این قسمت به استانداردهای معتبر مانند OCDI (OCDI, 2002) مراجعه شود.

٤-٤-١-٤-٢- اختلاط عمیق[1]

در روش اختلاط عمیق خاک، افزونه‌ها تا عمق بهسازی به درون خاک تزریق شده و سپس به کمک یک مته بزرگ یا چند مته کوچک هم محور، خاک به همراه افزونه مخلوط می‌شود.

جنس معمول افزونه‌ها سیمان و آهک است که ورود آنها به داخل آب در هورالعظیم مجاز نیست. بنابراین این روش فقط برای بخش مرکزی بدنه خاکریز قابل استفاده است. لازم است با توجه به نوع دستگاه و فشارهای مربوطه فاصله کافی بین محل اجرای این روش و سطح شیروانی در نظر گرفته شود.

در صورت استفاده از این روش، آیین‌نامه‌های معتبر طراحی و اجرا همچون FHWA-HRT-13-046 (Bruce et al., 2013) قابل استفاده است.

٤-٤-١-٤-٣- تزریق پر فشار[2]

روش جت گروتینگ یا تزریق پرفشار، یکی از روش‌های بهسازی خاک و تحکیم بستر می‌باشد که در آن، سیال دوغاب سیمان به داخل خاک تزریق می‌گردد. تزریق پرفشار خاک برجا سبب تغییر، اصلاح و بهبود ساختار و پارامترهای مقاومتی خاک می‌گردد.

جنس معمول افزونه‌ها دوغاب سیمان است که ورود آنها به داخل آب در هورالعظیم مجاز نیست. بنابراین این روش فقط برای بخش مرکزی بدنه خاکریز قابل استفاده است. لازم است با توجه به نوع دستگاه و فشارهای مربوطه فاصله کافی بین محل اجرای این روش و سطح شیروانی در نظر گرفته شود. تعیین این فاصله برای جت گروتینگ باید با ضریب اطمینان مناسب صورت گیرد. برای جزئیات روش طراحی و اجرایی به مراجع معتبر مثل (Croce et al., 2014) مراجعه شود.

٤-٤-١-٤-٤- ستون شنی[3]

ستون شنی یک روش اصلاح خاک می‌باشد. این روش مبتنی بر تعویض بخشی از حجم خاک نیازمند بهسازی به وسیله حفر چاه‌هایی با قطر، عمق و فاصله معین از یکدیگر و پر کردن چاه‌ها به وسیله ماسه یا شن یا سنگریزه و متراکم نمودن به صورت ستون‌های عمودی می‌باشد.

روش ستون شنی موجب کاهش نشست خاکریز و افزایش پایداری آن می‌شود. عامل مهم در بکارگیری این روش دسترسی به مصالح سنگی است که فاصله زیاد معادن سنگی از منطقه هورالعظیم موجب مقرون به صرفه نبودن این روش می‌شود. برای جزئیات روش طراحی و اجرایی به مراجع معتبر مانند استاندارد FHWA/RD-83/026 (Barksdale and Bachus, 1983) مراجعه شود.

[1] Deep Soil Mixing
[2] Jet Grouting
[3] Stone column

٤-٤-١-٤-٥- شمع و ریزشمع

استفاده از شمع و ریزشمع یکی از روش‌های مناسب برای بهبود باربری سازه‌ها در مناطق با بستر سست می‌باشد. به کارگیری این روش با توجه به هزینه بالای ساخت شمع و زمان بر بودن، همانند سایر روش‌های بهسازی ستونی، از منظر اقتصادی برای احداث جاده‌های طویل در منطقه هورالعظیم توصیه نمی‌شود اما در نقاط خاص برای تامین پایداری شیروانی‌ها در طول‌های کوتاه یا در مجاورت سازه‌های احداث شده بر روی بدنه جاده قابل استفاده است. برای جزئیات روش طراحی و اجرایی به مراجع معتبر مانند استانداردهای API (API, 2011)، FHWA NHI-10-016 (Brown et al., 2010) و FHWA-NHI-16-009 (Hannigan et al., 2016) برای شمع و استاندارد NHI-05-039 (Sabatini et al., 2005) برای ریزشمع مراجعه شود.

٤-٤-١-٤-٦- تراکم دینامیکی[1] یا جایگزینی دینامیکی[2]

روش تراکم دینامیکی شامل رهاسازی متوالی کوبه‌های (وزنه‌های) سنگین از ارتفاع نسبتاً زیاد در یک الگوی از پیش طراحی شده می‌باشد. عمق بهبود در روش تراکم دینامیکی به عوامل مختلفی مانند وزن و ارتفاع سقوط کوبه، شرایط توده خاک و تجهیزات مورد استفاده بستگی دارد. این روش به ویژه در لایه‌های ماسه‌ای سست کارایی بسیار مناسبی دارد.

با توجه به اجرای خاکریز راه‌ها با عرض محدود در آب و رسی بودن خاک منطقه استفاده از این روش در منطقه هورالعظیم در سطح گسترده کارآیی لازم را نخواهد داشت اما استفاده از آن برای سطوح بزرگ مانند محوطه سلرها و جاده‌های مجاور محوطه سلرها قابل بررسی است. برای جزئیات روش طراحی و اجرایی به مراجع معتبر مانند استاندارد FHWA-SA-95-037 (Lucas, 1995) مراجعه شود.

٤-٤-٢- حفاظت سطحی شیروانی از خاکریز جدید

٤-٤-٢-١- کلیات

سطح شیروانی‌های خاکریز جاده‌ها که در هورالعظیم احداث می‌شوند باید در مقابل موج و جریان آب حفاظت شوند. در این بخش کلیاتی از حفاظت سطحی شیروانی‌ها ارائه می‌گردد. پایداری ژئوتکنیکی شیروانی‌ها در برابر گسیختگی در بخش ۴-۴-۱-۱ اشاره شد و این بخش تنها به حفاظت شیروانی اختصاص دارد. نکات ذیل در این رابطه باید مورد توجه قرار گیرد:

الف) برای انتخاب روش حفاظت شیروانی جدید در منطقه هورالعظیم، باید گزینه‌های ریپ‌رپ و گابیون بررسی و مقایسه گردد.

ب) در مقایسه گزینه‌ها توجه شود که ریپ‌رپ به عنوان لایه حفاظتی انعطاف پذیر است و در اثر جابه‌جایی جزئی ناشی از نشست یا سایر تغییرات، تخریب نمی‌شود.

پ) روش گابیون به دلیل احتمال پاره شدن مش‌ها دوام کمتری نسبت به روش ریپ‌رپ دارد. استفاده از گابیون فقط برای شرایط خاص که جایگزین مهندسی مناسب وجود ندارد و برای بخش بسیار محدود قابل انجام می‌باشد.

[1] Dynamic Compaction
[2] Dynamic Replacement

ج) لازم است استفاده از پوشش گیاهی به منظور کاهش شدت آسیب وارده به شیروانی جاده بگونه‌ای که خرابی‌ها به روسازی انتقال پیدا نکند بررسی شود. از آنجا که آسیب‌پذیری این روش در سال‌های ابتدایی اجرا بالا است، و نباید آن را به عنوان روشی مستقل برای حفاظت درازمدت یک جاده در منطقه در نظر گرفت.

د) سیستم حفاظت شیروانی باید در منطقه هورالعظیم به نحوی طراحی شود که در برابر امواج و جریان ایجاده شده در هورالعظیم پایدار باشد.

ه) سیستم حفاظت شیروانی نباید دچار لغزش شود و باید از نظر ژئوتکنیکی پایدار باشد. همچنین فیلتر در این سیستم باید به نحوی طراحی شود که ضمن اینکه اجازه عبور جریان آب از خاک ریزدانه به خاک درشت‌دانه را می‌دهد، از شسته شدن خاک ریزدانه نیز جلوگیری می‌نماید.

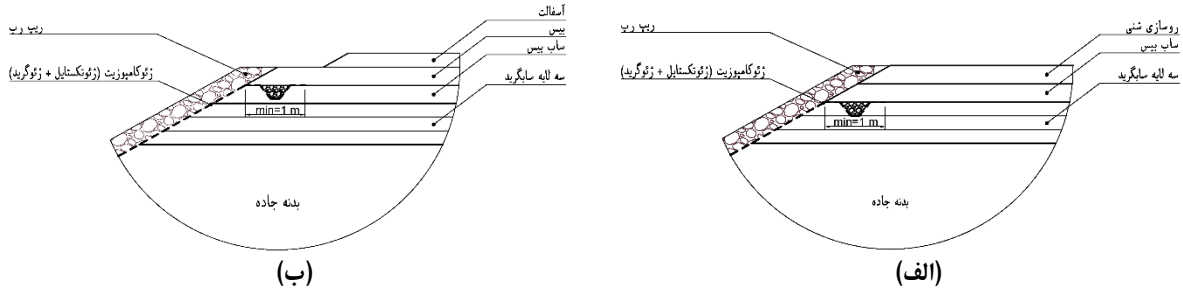
و) استفاده از سایر روش‌ها از جمله لحاف بتنی که برای اجرای آن نیاز به بتن‌ریزی در محل (بر روی شیب شیروانی) می‌باشد، در قسمت‌های در معرض آب به دلیل خطر نفوذ شیرابه بتن به داخل آب هورالعظیم ممنوع است.

در ادامه جزئیات روش‌های قابل اجرا در منطقه برای حفاظت از جدار خاکریز جدید معرفی و نحوه محاسبه پارامترهای آن بیان می‌شود. ضمنا مشخصات فنی هر روش با توجه به شرایط منطقه در انتهای آن ارائه می‌شود.

٤-٤-٢-٢- روش ریپ‌رپ (سنگ‌چین)

ریپ‌رپ به عنوان یک لایه سنگ‌چین تعریف می‌شود که می‌توان از آن به منظور جلوگیری از فرسایش شیروانی خاکریز در مقابل آب و موج استفاده کرد. از مصالح غیر سنگی مانند دال‌های بتنی پیش‌ساخته یا مکعب‌های بتنی که به صورت مرتب از کف تا بالا چیده شده باشند، نیز می‌توان به عنوان ریپ‌رپ استفاده کرد. لازم به ذکر است به علت عدم ورود شیرابه سیمان در بلوک بتنی در داخل هورالعظیم بلوک‌های بتنی باید بیرون از هورالعظیم ساخته، کاملا خشک و سپس به داخل هورالعظیم حمل شوند. بین بدنه خاکریز و ریپ‌رپ لازم است یک لایه فیلتر سنگدانه‌ای یا ژئوکامپوزیت (ترکیب ژئوتکستایل و ژئوگرید) استفاده شود. مهار ژئوکامپوزیت در بالای جاده شنی با پیش بینی یک طول افقی (حداقل به طول یک متر) بین سابگرید و زیراساس و در بالای جاده آسفالتی با پیش‌بینی همین طول بین اساس و زیراساس انجام می‌شود.

جزئیات اجرای این روش به عنوان حفاظت جدار جاده در شکل ۱۲-۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۲-٤ جزئیات اجرای روش ریپ‌رپ در حفاظت جدار در (الف) جاده شنی و (ب) جاده آسفالتی

٤-٤-٢-٢-١- تعیین ضخامت لایه ریپ‌رپ

در اینجا برخی مقادیر یا روابط بر اساس مراجع معتبر آورده شده است. چناچه آن مرجع در آینده به روز رسانی شود، لازم است آخرین ویرایش مورد استفاده قرار گیرد.

ضخامت لایه ریپ‌رپ باید مطابق رابطه هادسون به صورت زیر محاسبه گردد (USACE, 1995):

$$r = nK_{\Delta}\left(\frac{W}{w_r}\right)^{1/3} \qquad (۴-۲)$$

که در آن:

r ضخامت لایه بر حسب فوت،

n تعداد واحد آرمورهایی (قطعه حفاظتی) که در ضخامت لایه حفاظتی می‌تواند جای گیرد (عموماً برابر با ۲)،

K_{Δ} ضریب لایه (مطابق جدول ۲-۴)،

W وزن هر واحد آرمور بر حسب پوند (یا W_{50} یعنی وزنی که ۵۰ درصد واحدها کوچکتر از آن است و W_{100} یعنی وزنی که ۱۰۰ درصد واحدها کوچکتر از آن است) و

w_r وزن واحد آرمور بر حسب پوند بر فوت مکعب است.

وزن واحد آمور بر حسب پوند بر اساس رابطه (۳-۴) محاسبه گردد (USACE, 1995).

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3 \cot\theta} \qquad (۴-۳)$$

که در آن:

H ارتفاع موج شاخص بر حسب فوت (USACE, 2002)،

K_D ضریب پایداری (در جدول ۲-۴ ارائه شده است)،

γ_r وزن واحد آرمور بر حسب پوند بر فوت مکعب است.

γ_w وزن مخصوص آب در محل بر حسب پوند بر فوت مکعب و

θ شیب سازه (نسبت به افق) است.

ضخامت لایه حفاظتی ریپ‌رپ مطابق رابطه (۴-۴) باید بزرگتر از دو برابر قطر اسمی سنگ W_{50} باشد (USACE, 1995). علاوه بر این، ضخامت باید حداقل ۲۵ درصد بیشتر از قطر اسمی بزرگترین سنگ باشد. حداقل ضخامت لایه حفاظتی باید ۱ فوت (۳۰ سانتی‌متر) باشد.

$$r_{min} = max\left[2.0\left(\frac{W_{50}}{\gamma_r}\right)^{1/3}، 1.25\left(\frac{W_{100}}{\gamma_r}\right)^{1/3}، \text{فوت } 1\right] \qquad (۴-۴)$$

جدول ۲-٤ مقادیر پیشنهادی برای تعین ضریب لایه و ضریب پایداری جهت استفاده در تعیین وزن و ضخامت آرمور

(USACE, 1995)

آرمور	n[1]	قرارگیری	شیب $(\cot\theta)$	K_D	K_Δ
سنگ معدن					
تیز گوشه	۱	تصادفی	۱/۵ تا ۳/۰	استفاده نشود	–
تیز گوشه	۲	تصادفی	۱/۵ تا ۳/۰	۲/۰	۱/۰۰
تیز گوشه	بیشتر از ۳	تصادفی	۱/۵ تا ۳/۰	۲/۲	۱/۰۰
تیز گوشه	۲	خاص[2]	۱/۵ تا ۳/۰	۷/۰ تا ۲۰/۰	–
ریپ‌رپ	۲	تصادفی	۲/۰ تا ۶/۰	۲/۲	–
آرمور بتی					
تتراپاد	۲	تصادفی	۱/۵ تا ۳/۰	۷/۰	۱/۰۴
بلوک مکعبی	۲	تصادفی	۱/۵ تا ۳/۰	۶/۵	۱/۱۰

[1] n برابر است با تعداد آرمورهای کروی معادل مربوط به وزن متوسط سنگ که در ضخامت لایه قرار می‌گیرند.

[2] در این قرارگیری محورهای بلند سنگ عمود بر روی شیب قرار گرفته‌اند.

٤-٤-٢-٢-٢- دانه‌بندی لایه ریپ‌رپ

برای تعیین دانه‌بندی لایه ریپ‌رپ مورد استفاده در منطقه باید از روابط و دستورالعمل‌های زیر استفاده شود (USACE, 1995):

۱. حد پایین W_{50} ($W_{50\,min}$)، باید بر اساس الزامات پایداری با استفاده از معادله (۳-۴) انتخاب شود.

۲. حد بالایی W_{50} ($W_{50\,max}$)، باید تقریبا ۱/۵ برابر $W_{50\,min}$ باشد.

۳. حد پایینی W_{15} ($W_{15\,min}$)، باید تقریبا ۰/۴ برابر $W_{50\,min}$ کمتر باشد.

٤. حد بالایی W_{15} ($W_{15\,max}$)، باید بر اساس ضوابط فیلتر که در مرجع EM 1110-2-1901 موجود است، تعیین شود (USACE, 1995).

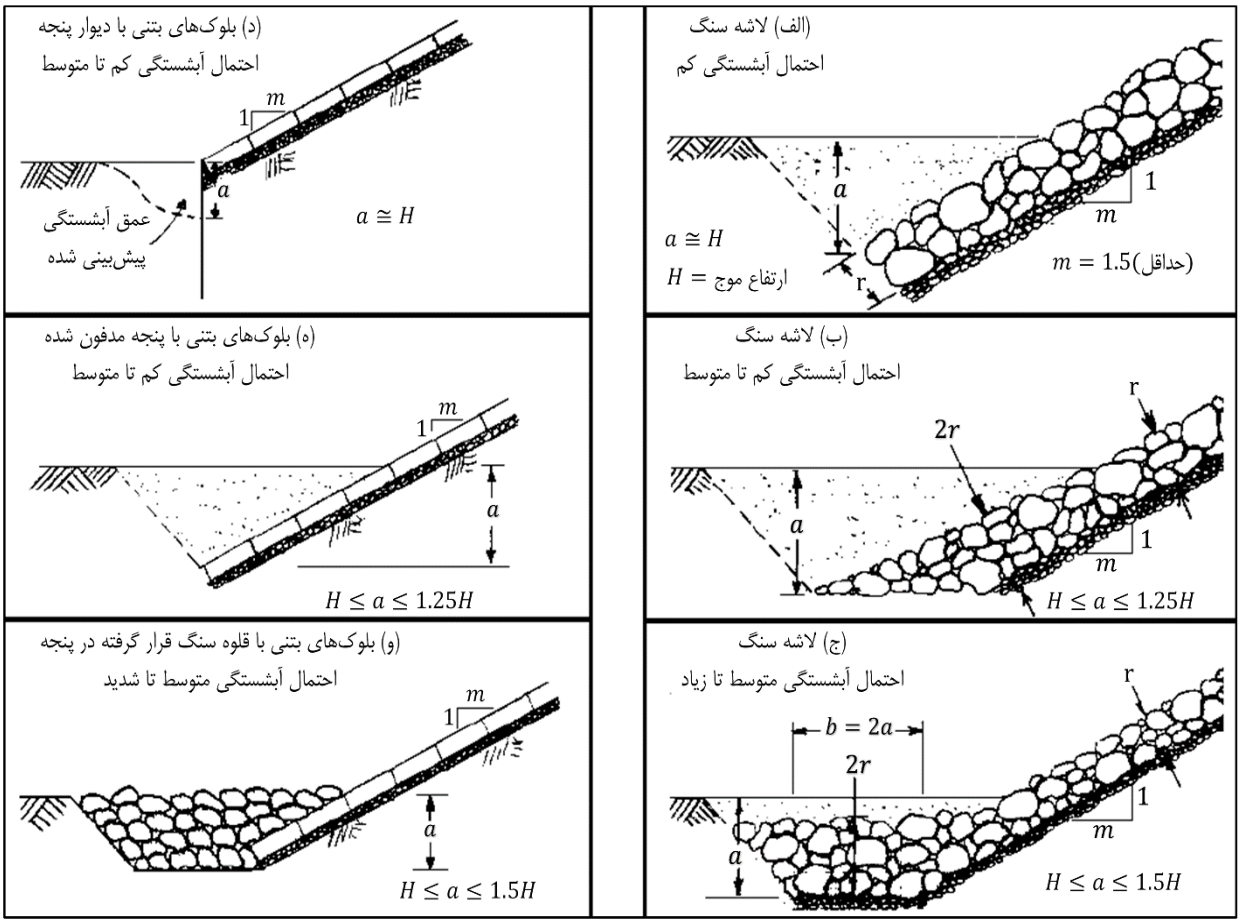
٥. حد پایینیW_{100} ($W_{100\,min}$)، باید از دو برابر $W_{50\,min}$ کمتر باشد.

٦. حد بالایی W_{100} ($W_{100\,max}$)، باید برابر با حداکثر اندازه‌ای باشد که می‌توان از نظر اقتصادی از معادن بدست آورد. اما مقدار آن نباید از ۴ برابر $W_{50\,min}$ تجاوز کند.

٤-٤-٢-٢-٣- حفاظت از پنجه در روش ریپ‌رپ

برای جلوگیری ازگسیختگی پنجه خاکریز در اثر آب شستگی و زیرشویی[1] توسط امواج، بایستی حفاظت پنجه لایه حفاظتی مورد توجه قرار گیرد. بدین منظور باید از راهنمای موجود در مرجع EM 1110-2-1614 استفاده گردد (USACE, 1995). خلاصه‌ای از این راهنما در شکل ۱۳-۴ نشان داده می‌شود که شکل کلی احتمالی حفاظت پنجه می‌باشد.

[1] Undercutting



شکل ۱۳-٤ حفاظت از پنجه ریپ‌رپ طبق مرجع EM 1110-2-1614 (USACE, 1995)

٤-٤-٢-٢-٤- مشخصات فنی روش ریپ‌رپ

فهرست آزمایش‌های ضروری سنگ مطابق آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران نشریه ۲-۳۰۰ (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵)، در جدول ۳-۴ ارائه گردیده است که باید برای هر ۱۰،۰۰۰ متر مکعب از مصالح ریپ‌رپ مورد استفاده در منطقه هورالعظیم انجام گیرد. درصورت صلاحدید مشاور مبنی بر انجام آزمایش‌های بیشتر، لازم است تعداد آزمایش‌ها افزایش یابد.

جدول ۳-٤ آزمایش‌های اجباری سنگ مورد استفاده در سازه‌های دریایی و ساحلی نشریه ۲-۳۰۰ (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۵)

نوع آزمایش	روش آزمایش استاندارد	عنوان روش آزمایش استاندارد
وزن مخصوص انبوهی	ASTM C127	وزن مخصوص انبوهی و جذب آب سنگ‌دانه درشت
جذب آب	ASTM C127	وزن مخصوص انبوهی و جذب آب سنگ‌دانه درشت
مقاومت فشاری	ASTM D2938	مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌های مغزه سنگ دست نخورده
سلامت	ASTM D5240	آزمایش صفحات سنگ برای ارزیابی سلامت برای مصرف در سنگ‌چین با استفاده از سولفات سدیم یا منیزیم

دوام در برابر وارفتگی	ASTM D4644	دوام به وارفتگی شیل‌ها و سایر سنگ‌های ضعیف
سایش	ASTM C535	مقاومت در برابر سایش سنگ‌دانه درشت توسط سایش و ضربه در دستگاه لس آنجلس

برای پذیرش کیفیت مصالح سنگی به عنوان راهنما از معیار ارائه شده در راهنمای کاربرد سنگ در موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظتی (شفیعی‌فر، ۱۳۹۰) مطابق با جدول ۴-۴ استفاده گردد. قبل از استفاده از هر معدن در منطقه، بایستی نسبت به نمونه‌گیری و انجام آزمایش‌ها جهت حصول اطمینان از داشتن مشخصات ذیل اقدام شود.

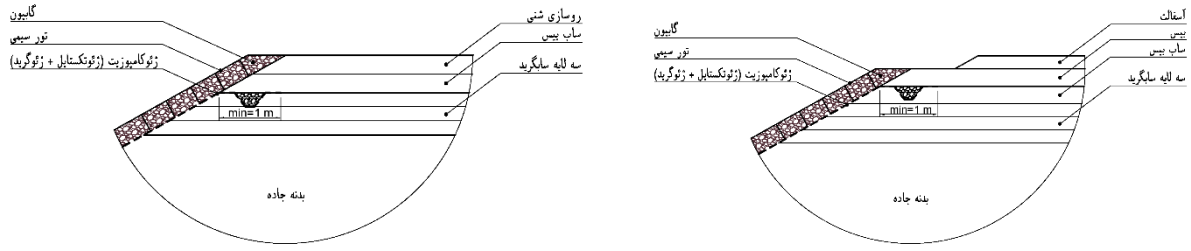
جدول ٤-٤ راهنمای معیار پذیرش کیفیت مصالح سنگی (شفیعی‌فر، ۱۳۹۰)

	حداکثر جذب آب (٪)	حداقل دانسیته خشک (kN/m3)	حداقل اندیس بار نقطه‌ای خشک (MPa)	حداقل مقاومت تک محوری خشک (MPa)	حداکثر سایش لس آنجلس (٪)	حداکثر ارزش ضربه‌ای (٪)	سلامت سنگ (٪)	شاخص دوام (٪)
سنگ آهکی- ماسه‌سنگی	15	17	1/5	14	50	35	18	80
سنگ آذرین	6	23	4	50	30	15	7	90

٤-٤-٢-٣- روش گابیون

همانطور که در بند (پ) از قسمت ۴-۴-۲-۱ آمده است، استفاده از گابیون به صورت گسترده پیشنهاد نمی‌شود ولی در مناطق خاص که روش‌های مهندسی جایگزینی وجود ندارد به صورت محدود قابل استفاده است.

گابیون‌ها از سبدهای مستطیلی مشبک ساخته شده‌اند که با سنگ پر می‌شوند. در اجرای این روش، ابتدا یک لایه ژئوکامپوزیت (ترکیب ژئوتکستایل و ژئوگرید) بر روی شیب شیروانی اجرا می‌شود و سپس بر روی آن گابیون با ضخامت مشخص اجرا خواهد شد. جزئیات اجرای این روش به عنوان حفاظت سطحی شیروانی در شکل ۱۴-۴ نشان داده شده است.



(ب) (الف)

شکل ١٤-٤ جزئیات اجرای روش گابیون در حفاظت شیروانی خاکریز (الف) جاده آسفالتی (ب) جاده شنی

٤-٤-٢-٣-١- تعیین ضخامت مورد نیاز برای گابیون

ضخامت گابیون بر اساس برقراری تعادل بین نیروهای برخاست[1] و نیروهای گرانش در گابیون، باید به صورت زیر محاسبه گردد (Pilarczyk, 2004):

$$\frac{H_s}{\Delta D} = F\xi_{op}^{-2/3} \; with \; 6 < F < 9 \qquad (۴-۵)$$

که در آن

H_s ارتفاع موج شاخص[2]؛

Δ دانسیته نسبی گابیون (معمولاً برابر با ۱)؛

D ضخامت گابیون؛

F فاکتور پایداری؛

$\xi_{op} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H_s/(1.56\,T_P^2)}}$ پارامتر بالاروی؛

α شیب؛ و

T_P دوره موج در پیک طیف است.

٤-٤-٢-٣-٢- دانه بندی فیلتر قرار گرفته در زیر گابیون

به دلیل دانه بندی درشت‌تر گابیون نسبت به خاک زیرین، بایستی فرسایش و انتقال مصالح لایه زیرین گابیون مورد توجه قرار گیرد. برای جلوگیری از این فرسایش باید از ژئوکامپوزیت یا فیلتر دانه‌ای در زیر لایه گابیون استفاده کرد. ضوابط فنی ژئوکامپوزیت و فیلتر دانه‌ای در بخش‌های بعدی ارائه می‌گردد.

٤-٤-٢-٣-٣- پایداری ژئوتکنیکی

حمله موج به گابیون‌ها باعث نوسانات فشار آب حفره‌ای در بدنه خاکریز و خرابی لغزشی موضعی می‌گردد. برای جلوگیری از این مکانیسم آسیب باید از گابیون‌های ضخیم یا شیب ملایم استفاده گردد. بدین منظور ضخامت گابیون بایستی طبق ضوابط اشاره شده در (Pilarczyk ,2004) کنترل شود.

٤-٤-٢-٣-٤- حفاظت از پنجه در روش گابیون

برای حفاظت از پنجه می‌توان از روش‌ها و ابعاد گفته شده در بخش ۴-۳-۲-۱-۳ استفاده کرد.

[1] Uplift
[2] Significant Wave Height

٤-٤-٢-٣-٥- مشخصات فنی روش گابیون

سنگ‌های مورد استفاده در گابیون در منطقه باید ویژگی‌های مندرج در ASTM D6711 را داشته باشند (ASTM, 2015). اندازه سنگ‌های مورد استفاده باید بر اساس ضخامت گابیون مطابق جدول ۵-۴ تعیین شود. نحوه اندازه‌گیری سنگ‌ها باید بر اساس ASTM D5519 باشد (ASTM, 2015).

جدول ٥-٤ اندازه سنگ مورد استفاده بر اساس ضخامت گابیون

اندازه سنگ (mm)	ضخامت (m)
۱۲۷-۷۶	۰/۱۷
۱۲۷-۷۶	۰/۲۳
۲۰۳-۱۰۲	۰/۳

مشخصات قسمت‌های مختلف گابیون باید منطبق بر استاندارد ASTM A975 (ASTM, 2021)، مقاومت کششی سیم‌های مورد استفاده باید در رده نرم[1] بر اساس ASTM A641 (ASTM, 2019) و نحوه ساخت و نصب گابیون‌ها باید بر اساس ASTM D7014 باشد (ASTM, 2018).

٤-٤-٢-٤- فیلتر و ژئوکامپوزیت برای حفاظت لایه سطحی

٤-٤-٢-٤-١- کلیات

لایه‌های حفاظت سطحی مثل ریپ‌رپ یا گابیون که در بالا تشریح شد نیاز به فیلتر دارد. فیلتر باید بین لایه حفاظت سطحی و خاک قرار گیرد. در اینجا ضوابط مربوط به فیلترها ارائه می‌گردد.

فیلترهای دانه‌ای یا ژئوکامپوزیت‌ها (ترکیب ژئوتکستایل و ژئوگرید) در منطقه همراه با آرمورهای پوششی همچون ریپ‌رپ، گابیون‌ها و غیره می‌توانند از سازه‌ها در مقابل فرسایش حفاظت کنند. نفوذپذیری فیلترها باید بیشتر از نفوذپذیری خاک زیرین باشد.

برای طراحی و استقرار لایه ژئوکامپوزیت نیاز است تا دستورالعمل‌های پیشنهاد شده توسط استاندارد CEM (USACE, 2002) که در نشریه ۵۲۸ (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۰) نیز تاکید شده است رعایت شود.

٤-٤-٢-٤-٢- معیارهای طراحی فیلترهای دانه‌ای

روزنه‌ها در فیلتر دانه‌ای باید به قدری کوچک باشد که ذرات خاک به صورت فیزیکی قادر به عبور از روزنه‌ها نباشند. اصول طراحی فیلترها بر اساس پایداری فصل مشترک (معیار رگاب)، پایداری داخلی و پایداری نفوذپذیری قرار دارد (Pilarczyk, 2004). برای طراحی به مراجع معتبر از جمله استاندارد USACE در خصوص حفاظت خاکریزهای ساحلی و سازه‌های دریایی (USACE, 1953) مراجعه گردد.

[1] Soft temper

٤-٤-٢-٤-٣- معیارهای طراحی ژئوکامپوزیت‌ها

روزنه‌ها در ژئوکامپوزیت‌ها باید به قدری کوچک باشد که ذرات خاک به صورت فیزیکی قادر به عبور از آنها نباشند. برای طراحی به مراجع معتبر از جمله نشریه ۵۲۸ (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۰) مراجعه گردد.

٤-٤-٣- اجزای جاده

نکات ذیل بایستی در تفکیک روسازی و بدنه خاکریز مورد توجه قرار گیرد:

الف- روسازی در جاده شنی به زیراساس و شن و در جاده آسفالتی به زیراساس، اساس و آسفالت تقسیم می‌شود که طبق این ضابطه بر روی حداقل سه لایه سابگرید قرار دارد. برای احداث روسازی لازم است از آیین‌نامه‌ها و ضوابط مربوطه از جمله نشریه شماره ۲۳۴ (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۰)، نشریه شماره ۱۰۱ (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۲) و سایر موارد استفاده شود.

ب) در بالای رقوم سطح سیلاب، طراحی و اجرای حداقل سه لایه سابگرید با تراکم ۹۵ درصد الزامی است به گونه‌ای که ضخامت کل لایه‌های سابگرید از ۶۰ سانتی‌متر کمتر نباشد. برای طراحی سابگرید به استانداردهای معتبر از جمله نشریه ۱۰۱ (برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۲) مراجعه شود. جهت آگاهی خواننده تجربیات محلی نشان داده است که استفاده از رس محلی به تنهایی قابلیت رسیدن به تراکم ۹۵ درصد و حفظ آن را در درازمدت در شرایط منطقه هورالعظیم ندارد و لذا توصیه می‌شود از روش‌های تثبیت خاک رس یا ترکیب با مصالح درشت دانه استفاده گردد. متذکر می‌گردد در صورت تثبیت خاک رس رعایت قوانین و مقررات ایمنی، بهداشت و محیط زیست الزامی است.

ج) مقدار CBR در سابگرید برای طراحی لایه‌های روسازی به کار می‌رود. این مقدار باید در هر یک از لایه‌های سابگرید که مجموع ضخامت آنها حداقل ۶۰ سانتی‌متر است اندازه گیری شود. لایه‌های زیر این ۶۰ سانتی‌متر با قواعد مهندسی ژئوتکنیک مورد بررسی قرار می‌گیرد. این قواعد در این ضابطه در قسمت احداث بدنه خاکریز جاده جدید بیان شده است.

در شکل ۱۰-۴ و شکل ۱۱-۴ به صورت شماتیک مقطعی از جاده نشان داده شده است.

٤-٤-٤- کالورت جاده

با توجه به وقوع سیلاب‌های فصلی در منطقه هورالعظیم و بالا آمدن سطح آب، جهت جلوگیری از جمع شدن آب در یک طرف جاده و اعمال فشار جانبی بر بدنه آن و همچنین زیر آب رفتن کل خاکریز و روسازی جاده، باید کالورت‌هایی (آبرو) به طور منظم در طول جاده احداث گردد.

٤-٤-٤-١- طراحی و اجرا

دهانه و ارتفاع آبروها باید براساس مقدار دبی محاسبه شده از مطالعات هیدرولوژی و با توجه به روابط هیدرولیکی و شرایط جریان ورودی، مجرا و خروجی آبرو انتخاب شود. طراحی و اجرای کالورت‌ها لازم است بر اساس استانداردهای FHWA-HIF-12-026 (Schall et al., 2012)، EM 1110-2-1601 (USACE, 1994) و آیین‌نامه‌های سازه‌ای و راهسازی مربوطه انجام گیرد.

٤-٤-٤-٢- حفاظت سطحی اطراف کالورت

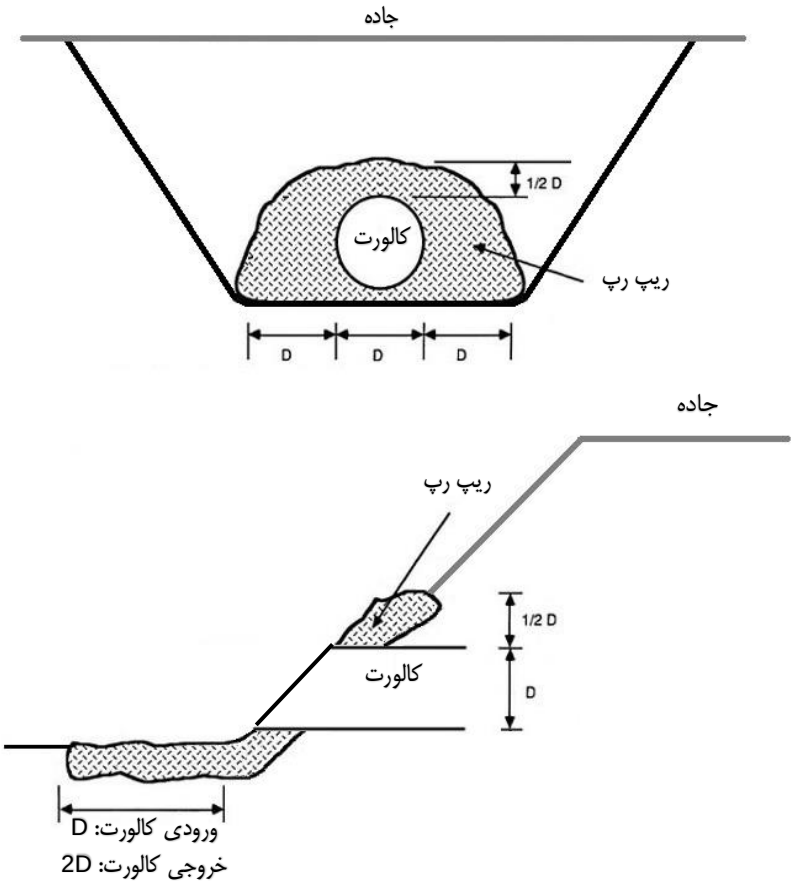
با توجه به اینکه سیستم‌های حفاظت سطحی در اطراف کالورت‌ها در معرض جریان عبوری هستند باید پایداری این سیستم‌ها در مقابل جریان کنترل شود. لازم است از ریپ‌رپ برای حفاظت اطراف کالورت‌ها استفاده شود. جزئیات استفاده از این روش در شکل ۱۵-۴ نشان داده شده است.

لازم است اندازه سنگ استفاده شده در ریپ‌رپ از رابطه زیر محاسبه شود. این رابطه محدود به شیب‌های طولی کمتر از ۲ درصد برای کالورت است (USACE, 1994).

$$D_{30} = S_f C_s C_V C_T d \left[\left(\frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right)^{1/2} \frac{V}{\sqrt{K_1 g d}} \right]^{2.5} \qquad (۴-۶)$$

پارامترهای مورد استفاده در این رابطه به صورت زیر تعریف و مقداردهی می‌شود:

- D_{30} قطر سنگ ریپ‌رپی است که ۳۰ درصد مصالح ریپ‌رپ از نظر وزن و طول کوچکتر از آن است. در صورت استفاده از پارامتر D_{50} در طراحی ریپ‌رپ، رابطه تقریبی بین پارامترهای D_{50} و D_{30} به صورت $D_{30} = D_{50}\ (D_{85}/D_{15})^{1/3}$ است. D_{30}، D_{50} و D_{85} به ترتیب اندازه ریپ‌رپی که ۳۰، ۵۰ و ۸۵ درصد مصالح ریپ‌رپ وزن کمتر از آن دارند.
- S_f حداقل ضریب اطمینان که برابر با ۱/۱ است و ممکن است با توجه به شرایط خاصی نیز افزایش یابد.
- C_s ضریب پایداری برای گسیختگی اولیه است. مقدار آن در حالت‌های مختلف به صورت زیر است:
  - سنگ دانه‌ای: ۰/۳
  - سنگ گرد گوشه: ۰/۳۷۵



شکل ۱۵-٤ جزئیات حفاظت سطحی اطراف ورودی و خروجی کالورت با استفاده از ریپ‌رپ

- C_V ضریب توزیع سرعت عمودی است. مقدار آن در حالت‌های مختلف به صورت زیر است:
  - برای کانال‌های مستقیم و در داخل خم‌ها: ۱/۰
  - برای خارج از خم‌ها: $1.283 - 0.2\log(R/W)$ (در حالت $R/W > 26$ برابر با ۱/۰)
    در این رابطه R شعاع خم و W عرض کانال است.
  - پایین دست کانال‌های بتنی: ۱/۲۵
  - انتهای دایک‌ها: ۱/۲۵
- C_T ضریب ضخامت (برای ضخامت برابر با مقدار بزرگتر $1D_{100}$ یا $1.5D_{50}$ این ضریب برابر با ۱/۰ است). این ضریب افزایش پایداری را زمانی که ریپ‌رپ ضخیم‌تر از حداقل ضخامت قرار گیرد نشان می‌دهد. D_{50} و D_{100} به ترتیب اندازه ریپ‌رپی که ۵۰ و ۱۰۰ درصد مصالح ریپ‌رپ وزن کمتر از آن دارند.
- d عمق محلی جریان
- γ_w وزن مخصوص آب
- V سرعت متوسط عمق محلی

- g شتاب گرانشی
- K_1 ضریب تصحیح شیب جانبی است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$K_1 = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \phi}} \quad (۴-۷)$$

- θ زاویه شیب نسبت به افق
- ϕ زاویه شیب طبیعی مصالح ریپ‌رپ (معمولاً ۴۰ درجه)

٤-٥- الزامات ترمیم جاده

با توجه به اینکه وضعیت فنی هر یک از محوطه سلرها، جاده‌ها و تاسیسات صدمه خورده مشخص نمی‌باشد بنابراین این ضابطه نمی‌تواند مانند موارد جدید نسبت به ایجاد یک دستورالعمل واحد برای آنها اقدام نماید و هر مورد ترمیمی از لحاظ فنی با توجه به مشخصات آن باید مورد بررسی مستقل قرار گیرد. بعلاوه در شرایط ترمیم محتمل است کلیه موارد فنی و مهندسی قید شده در این ضابطه قابل اجرا نباشد از همین رو موارد ترمیمی کیفیت جاده‌های جدید را ندارد. برای موارد ترمیمی به "ضابطه فنی و مهندسی ایمنی و حفاظت جاده‌ها، محوطه سلرها و تاسیسات منطقه هورالعظیم در برابر سیلاب در حوزه تراز سیلاب و خطوط لوله" مراجعه شود. با این وجود برخی کلیات به عنوان راهنما در ادامه این بخش آمده است.

برخی از جاده‌های هورالعظیم بر اثر سیلاب تخریب شده اند یا ممکن است در آینده تخریب شوند. انواع خرابی‌های متداول در برابر سیلاب‌های گذشته در شکل ۱۶-۴ نشان داده است.

برای ترمیم جاده‌های دارای خرابی در منطقه هورالعظیم به نحوی که در مقابل سیلاب مقاوم باشد می‌توان از روش‌ها و نکاتی که در ادامه شرح داده می‌شوند استفاده کرد. این مباحث در چهار بخش ترمیم بدنه خاکریز جاده، ترمیم حفاظت سطحی از خاکریز جاده، ترمیم روسازی جاده و ترمیم کالورت جاده تقسیم بندی می‌شود.

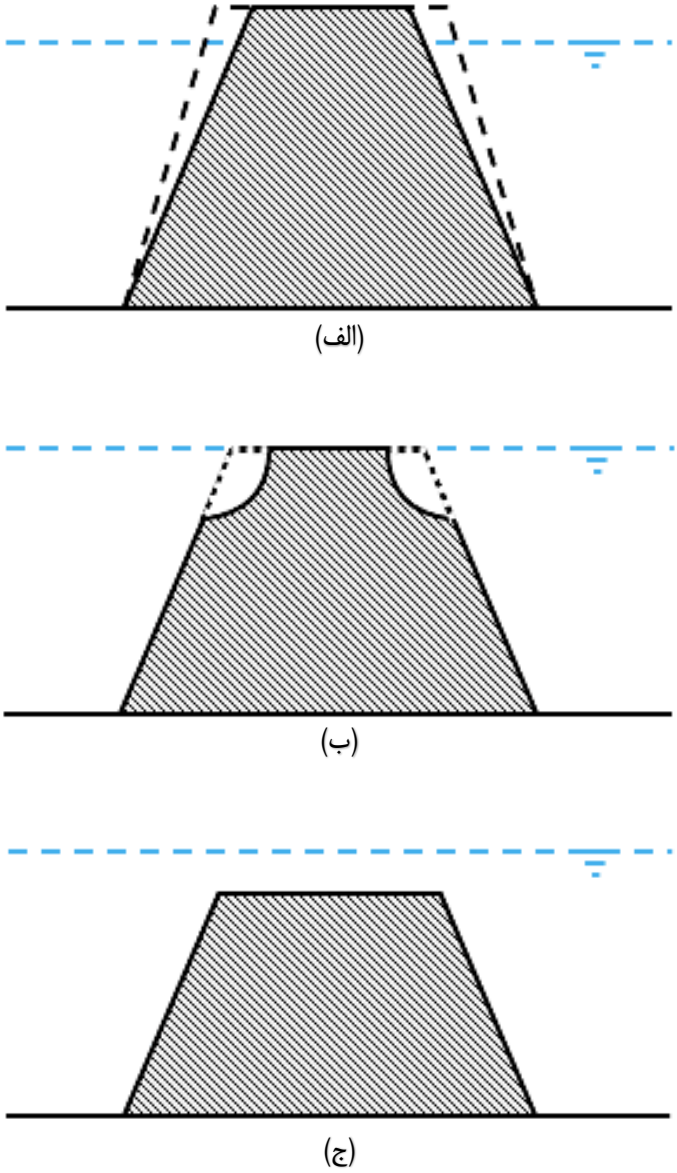
این توصیه‌های ترمیم جاده‌ها را می‌توان مطابق شکل ۱۶-۴ به سه وضعیت زیر تقسیم و بررسی کرد:

الف) جاده در اثر برخورد امواج باریک شده باشد.

ب) روسازی حاشیه راه دچار شستگی شده باشد.

پ) جاده زیر آب باشد.

لازم به ذکر است که موارد ذکر شده در این ضابطه مربوط به حوزه ژئوتکنیک بوده و در سایر حوزه‌ها لازم است به استانداردها و آیین‌نامه‌های مربوطه مراجعه شود.



شکل ١٦-٤ حالات مختلف خرابی جاده در اثر وجود سیلاب و آب دائمی (الف) باریک شدن جاده؛ (ب) شسته شدن حاشیه روسازی جاده؛ (ج) زیر آب رفتن جاده.

٤-٥-١- ترمیم بدنه خاکریز جاده

- در خرابی‌هایی مانند باریک شدن جاده و شسته شدن حاشیه روسازی (حالت الف و ب در شکل ۱۶-۴)، ابتدا لازم است لایه‌ای از سرتاسر بدنه خاکریز برداشته شود، سپس با انتخاب یکی از روش‌های ذکر شده در بخش احداث بدنه خاکریز ۴-۴-۱ نسبت به اجرای بدنه تا رسیدن به مقطع مورد نظر اقدام گردد. ضخامت لایه‌ای از جاده موجود که تراشیده می‌شود، باید حداقل تا عمق ۶۰ سانتی‌متر باشد تا پیوند کافی بین مصالح قدیمی و جدید ایجاد شود.

- در خرابی‌هایی مانند زیر آب رفتن جاده (حالت پ در شکل ۱۶-۴) لازم است تراز فوقانی خاکریز مطابق بخش احداث بدنه خاکریز ۴-۴-۱ بالا برده شود تا به رقوم سیلاب برسد و متعاقبا سابگرید و روسازه مطابق دستورالعمل این ضابطه اجرا شود.
- پارامترهای ژئوتکنیکی جاده تخریب شده باید با انجام آزمایش‌های ژئوتکنیکی برجا مشخص شوند و تحلیل‌های پایداری و نشست مطابق بخش ۴-۴-۱ انجام شوند.
- اگر آب‌شستگی چنان باشد که بافت لایه تا عمق مشخصی به هم خورده باشد آنگاه باید تا آن عمق اقدام به برداشت لایه کرد.

٤-٥-٢- ترمیم حفاظت شیروانی خاکریز

- اگر حفاظت شیروانی به صورت موضعی تخریب شده است ولی سایر نقاط شیروانی برجا مانده است، آنگاه باید به ترمیم بخش تخریب شده اقدام نمود.
- در صورت خرابی کامل سیستم حفاظت سطحی موجود یا عدم همخوانی با الزامات ارائه شده در بخش ۴-۴-۲ (برای مثال عدم تطابق ضخامت یا دانه‌بندی ریپ‌رپ)، لازم است پس از برداشتن سیستم پیشین نسبت به اجرای سیستم جدید مطابق با مشخصات ارائه شده در همین بخش اقدام نمود.

٤-٥-٣- ترمیم کالورت جاده

- اگر کالورت دچار تخریب سازه‌ای شده باشد، باید مطابق آیین‌نامه‌های سازه‌ای مربوطه اقدام به ترمیم آن نمود.
- چنانچه حفاظت بستر در مجاورت کالورت دچار تخریب شده باشد، آنگاه در ترمیم آن بایستی نکات بخش ۴-۴-۴ مورد توجه قرار گیرد.
- چنانچه خاک اطراف کالورت نیز دچار شستگی شده باشد آنگاه باید ترمیم شود. در ترمیم آن بایستی نکات بخش ۴-۴-۴ مورد توجه قرار گیرد.

فصل پنجم

سلر و گودال سوخت

فصل پنجم- سلر و گودال سوخت

۵-۱- مقدمه

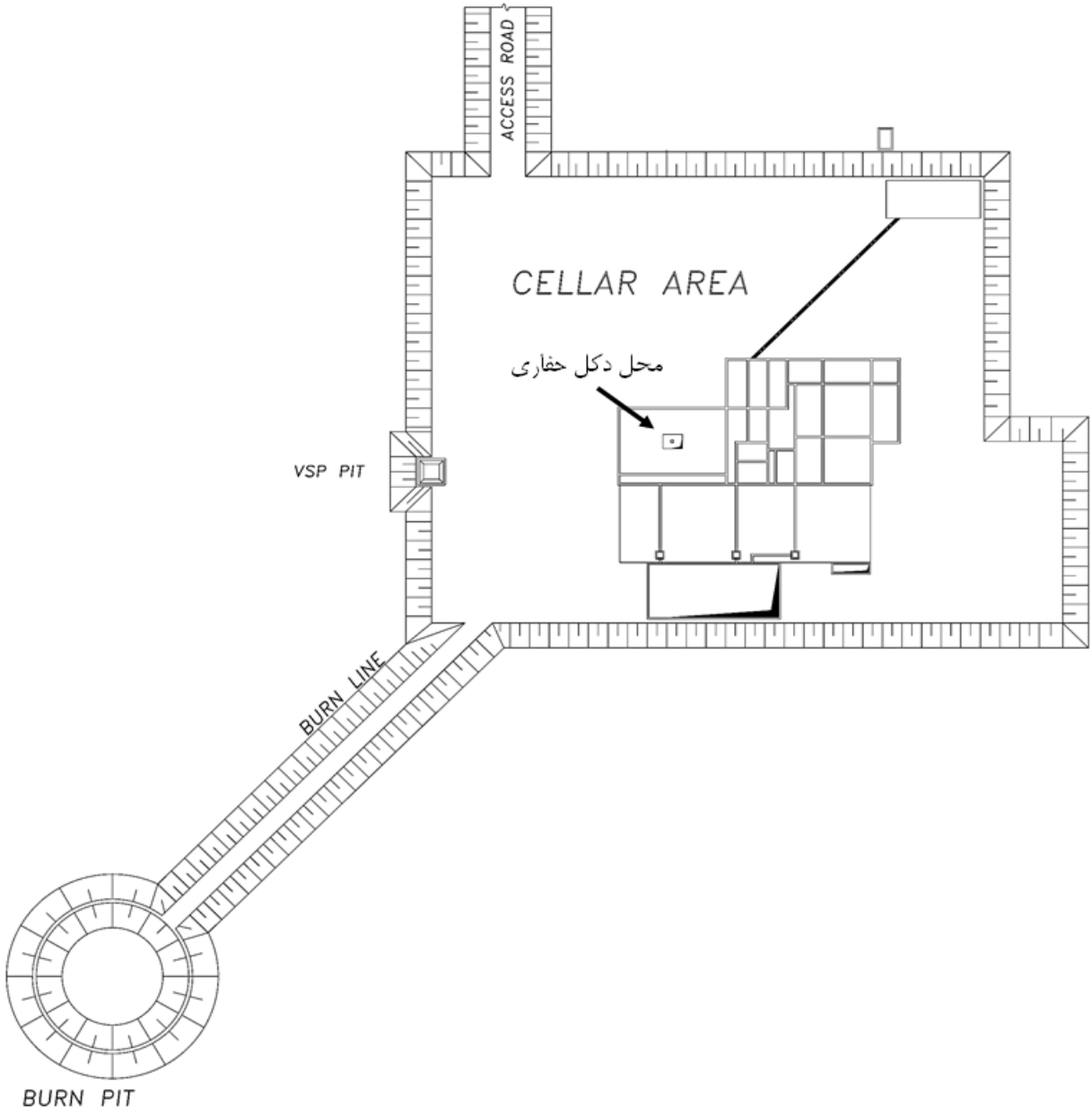
این فصل به بررسی سلرها و گودال‌های سوخت موجود در منطقه هورالعظیم از جنبه مهندسی ژئوتکنیک در مواجهه با سیلاب می‌پردازد. در ابتدای این فصل به تشریح و معرفی سلر و گودال سوخت پرداخته و آسیب‌های ناشی از سیلاب در آنها بیان می‌شود. لازم است نکات کلی زیر در این فصل در نظر گرفته شود:

- مهم‌ترین ملاحظه مهندسی ژئوتکنیک سلرها و گودال‌های سوخت در رابطه با سیلاب، توجه به بالاترین تراز سیلاب است. به عبارتی سطح محوطه سلرها هرگز نباید غرقاب شوند.
- محوطه سلرها و گودال‌های سوخت با استفاده از خاکریزهایی اجرا می‌شوند که از نظر مواجهه با سیلاب مشابه خاکریز جاده‌ها هستند. بنابراین ضوابط گفته شده در فصل چهارم در خصوص خاکریز جاده‌ها برای آنها نیز لازم الاجرا است. این ملاحظات در این فصل تکرار نمی‌شود لیکن ضوابط تکمیلی نسبت به فصل چهارم (جاده‌ها) قید خواهد شد.

۵-۲- تشریح سلرها و گودال‌های سوخت منطقه

سلر، محوطه‌ای است که در بخش فوقانی چاه نفت قرار دارد و تاسیسات سر چاهی، لوله، دکل حفاری و سایر موارد بر روی آن قرار می‌گیرد.

گودال سوخت یک گودال کم عمق خاکی و بتنی است که توسط دیواری احاطه شده است. کاربرد گودال سوخت در دفع، جمع‌آوری موقت، انتقال و در صورت نیاز سوزاندن مایعات و یا مخلوطی از مایع و گاز در شرایط اضطرار یا خاص عملیاتی به صورت کنترل شده و ایمن می‌باشد. پلان شماتیکی از یک محوطه سلر و گودال سوخت در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۱-۵ پلان شماتیک محوطه سلر و گودال سوخت

۵-۳- آسیب سلرها و گودال‌های سوخت بر اثر سیلاب

بر اثر سیلاب امکان دارد در بخشی از خاکریزی که محوطه سلر و گودال سوخت بر روی احداث شده است آسیب به وجود آید. در این بخش آسیب‌ها در دو قسمت تشریح می‌شود:

- انواع آسیب‌های متداول در اثر سیلاب
- آسیب‌های مشاهده شده در منطقه هورالعظیم

۵-۳-۱- انواع آسیب‌های متداول در اثر سیلاب

آشنایی با انواع آسیب‌های جاده در اثر سیلاب برای طراحان و مجریان آتی ضروری است. بنابراین توصیه میشود انواع آسیب‌های ذکر شده در این ضابطه مورد توجه قرار گیرد.

حالت‌های کلی گسیختگی یا آسیب خاکریز سلر و گودال سوخت که در مواجهه با سیلاب رخ می‌دهد مانند آسیب‌های کلی رخ داده در خاکریز جاده‌ها می‌باشد. این موارد عبارت است از:

۱. فرسایش ناشی از سرریز شدن آب
۲. نرم شدگی در اثر اشباع شدن خاکریز
۳. تراوش (از پایین یا داخل) و رگاب
٤. فرسایش سطح شیروانی در اثر موج
٥. لغزش جانبی بر روی بستر

توضیحات هر یک از این آسیب‌ها در فصل قبل در بخش ۴-۳-۱ برای جاده‌ها ارائه شده که برای محوطه سلر و گودال سوخت مشابه است.

۵-۳-۲- آسیب‌های مشاهده شده در سیلاب در منطقه هورالعظیم

افزون بر آسیب‌های کلی که در بالا اشاره شد، لازم است به آسیب‌های خاص مشاهده شده در سیلاب در منطقه هورالعظیم بیشتر توجه شود.

در اثر سیل رخ داده در سال ۱۳۹۸، آسیب‌های مختلفی در محوطه سلرها و گودال‌های سوخت در منطقه هورالعظیم به وجود آمد. آسیب‌های مشاهده شده در بازدیدهای انجام شده در هنگام تهیه این ضابطه شامل نکات مهمی است که در اینجا به تفکیک سلرها و گودال‌های سوخت به اختصار می‌آید. اطلاع از این آسیب‌ها برای طراحان و مجریان آتی ضروری است. البته قطعا آسیب‌های محتمل آتی محدود به این موارد نیست.

الف) آسیب‌های مشاهده شده در محوطه سلرها در منطقه هورالعظیم باید به شرح زیر مورد توجه طراح باشد:

- در عمده محوطه سلرهای موجود در منطقه، گودال محل چاه در سلر پر از آب شدند. بارزترین مشکل شناسایی شده در این بخش‌ها تراز پایین خاکریز، نداشتن ارتفاع آزاد نسبت به رقوم آب تالاب هورالعظیم یا عدم حفاظت سطحی مناسب در برابر امواج یا تراوش آب از طریق بدنه خاکریز محوطه بوده است. اختلاف اندک رقوم خاکریزی و رقوم آب در شکل ۲-۵ که مربوط به خاکریز سلر می‌باشد کاملا مشهود است. مطابق این شکل در معدودی از سلرها هیچ‌گونه تمهید حفاظتی از سازه‌ها و تاسیسات موجود بر روی خاکریز محوطه سلر وجود ندارد که موجب فرسایش شیروانی محوطه سلر شده است.

شکل ۲-۵ تراز پایین خاکریز سلر در مقایسه با رقوم آب مجاوردر میدان نفتی آزادگان جنوبی

- در برخی از محوطه سلرها مانند شکل ۳-۵ با گذشت زمان پوشش روسازی بتنی مسلح از بین رفته و المان‌های مسلح کننده آن نمایان شده است. علاوه بر این، تغییرات تراز آب تالاب منجر به نشست خاکریزها و همچنین نفوذ آب به ساب‌گرید و زیراساس و صدمه به آن‌ها شده و از آنجایی که روسازی بتنی از انعطاف‌پذیری لازم برخوردار نمی‌باشد، عموماً ترک‌خوردگی و تخریب این دال‌های بتنی مسلح را به همراه داشته است.

شکل ۳-۵ از بین رفتن پوشش بتنی روسازی محوطه سلر در میدان نفتی آزادگان جنوبی

ب) آسیب‌های مشاهده شده در گودال‌های سوخت در منطقه هورالعظیم باید به شرح زیر مورد توجه طراح باشد:

- خاکریزهای گودال سوخت عمدتاً از جنس مصالح ریزدانه رسی ساخته شده که در برخی از آن‌ها تمهیداتی برای حفاظت شیروانی خاکریز در نظر گرفته نشده است. از همین رو این خاکریزها در اثر تماس با آب تالاب و امواج، متحمل آسیب‌های جدی شدند.
- شسته شدن تدریجی خاک ریزدانه رسی از بدنه خاکریز، اشباع شدن و از دست رفتن مقاومت آن منجر به تخریب بسیاری از بخش‌های خاکریز گودال سوخت شد.
- آسیب‌ها به گودال‌های سوخت در جریان سیل سال ۱۳۹۸ تا حدی بود که عملا گودال سوخت مستغرق شده و کارایی و عملکرد خود را از دست دادند. این موضوع در شکل ۴-۵ کاملاً مشهود است.

شکل ٤-٥ استغراق خاکریز رسی گودال سوخت به دلیل پایین بودن تراز خاکریز آن

٥-٤- ملاحظات مهندسی ژئوتکنیک احداث خاکریز سلرها و گودال‌های سوخت جدید

برای احداث محوطه سلر و گودال سوخت جدید در منطقه هورالعظیم با توجه به ملاحظات سیلاب باید از روش‌ها و نکاتی که در ادامه در بخش‌های مختلف شرح داده می‌شوند استفاده گردد. احداث محوطه سلر و گودال سوخت جدید شامل احداث بدنه خاکریز و حفاظت سطحی از شیروانی خاکریز سلر و گودال سوخت و بخش‌های بتنی و سایر موارد می‌باشد. لازم به ذکر است که موارد ذکر شده در ضابطه حاضر مربوط به حوزه ژئوتکنیک بوده و در سایر حوزه‌ها لازم است به استانداردها و آیین‌نامه‌های مرتبط مراجعه شود.

۵-٤-۱- ساخت بدنه خاکریز سلرها و گودال‌های سوخت

برای ساخت بدنه خاکریز سلرها و گودال‌های سوخت در منطقه هورالعظیم باید از روش‌های شرح داده شده برای ساخت بدنه خاکریز جاده استفاده شود. این روش‌ها شامل خاکریز با اختلاط با ماسه بادی یا اختلاط با مصالح رودخانه‌ای برای رقوم زیر سیلاب و اجرای حداقل ۳ لایه ساب‌گرید (حداقل ۶۰ سانتی‌متر ساب‌گرید) و اجرای لایه زیر اساس است که جزئیات آن‌ها در بخش ۴-۴-۱ بیان شده است. لازم است تمامی نکات ذکر شده در بند ۴-۴-۱ متناسب با خاکریز سلر و گودال سوخت رعایت شود. متعاقب موارد یادشده، سایر اجزای سلر مانند رویه شنی، بخش دال بتنی و پی زیر دکل حفاری و سایر موارد احداث خواهد شد.

افزون بر نکات بالا، لازم است نکات ذیل در نظر گرفته شود:

الف) سلر

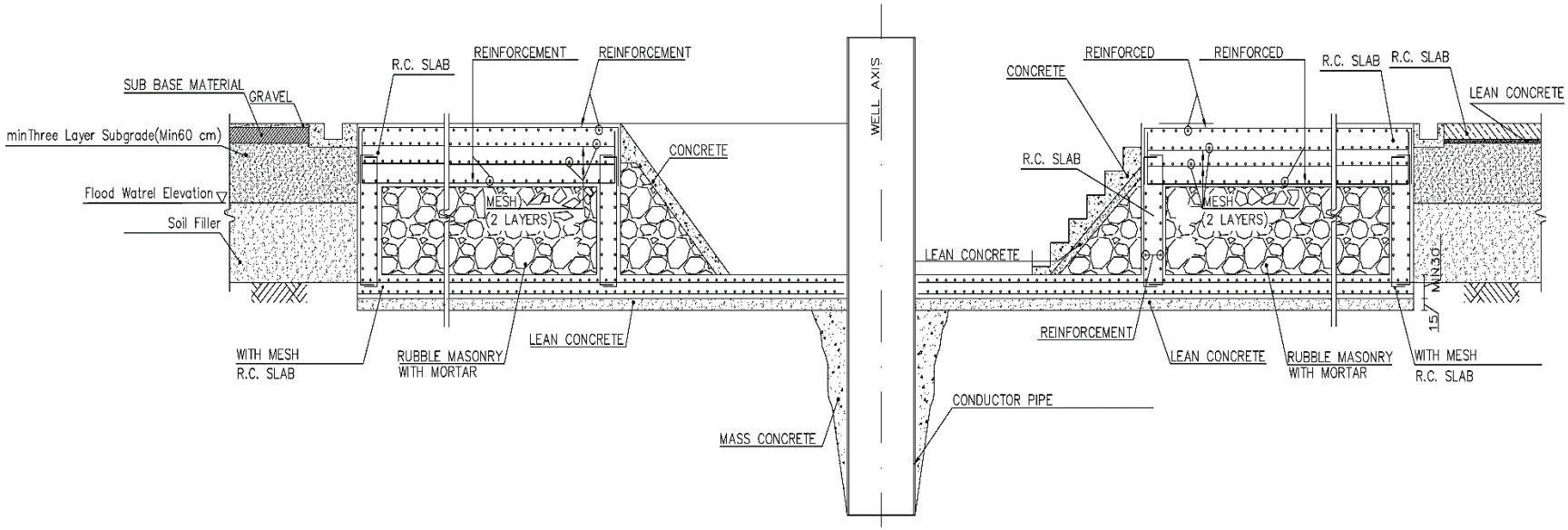
- کلیه موارد فصل چهار باید در خصوص خاکریز سلر در نظر گرفته شود.
- تحت هیچ شرایطی سطح محوطه سلر در سیلاب نباید مغروق شود.
- بخشی از پی گسترده که دکل حفاری بر روی آن قرار می‌گیرد نباید بر روی خاک کوبیده شده قرار بگیرد. از همین رو محدوده‌ای از پی گسترده اصلی که قرار است روی آن، دکل حفاری قرار بگیرد باید پس از ساخت خاکریز محوطه سلر تا مرحله روی زیر اساس، حفاری شده تا به بستر طبیعی زمین برسد. حفاری باید به گونه‌ای باشد که دیواره‌های بخش حفاری شده قائم باشد، به گونه‌ای که یک گودال مکعب مستطیلی ایجاد شود. سپس کف و دیواره‌های گودال توسط بتن مسلح تا زیر تراز پی گسترده اصلی استقرار دکل حفاری پوشانده شود. سپس داخل گودال تا زیر تراز پی گسترده اصلی استقرار دکل حفاری سنگ لاشه و ملات پر شود (می‌توان به جای سنگ لاشه و ملات از بتن نیز به به عنوان پرکننده استفاده کرد شایان ذکر است در صورت استفاده از بتن به جای استفاده از سنگ لاشه با ملات به علت حجم بالای بتن مسئله حرارتی بتن در طراحی و اجرا باید در نظر گرفته شود). سپس پی استقرار دکل حفاری که قرار است وزن دکل حفاری و عملیات دکل حفاری را تحمل کند قرار می‌گیرد. برای محاسبه ضخامت دال‌ها، آرماتورها و مش‌ها و علی الخصوص کنترل نشست مجاز باید با توجه به مشخصات دکل، قدرت دکل و همچنین ارتعاش منتقل شده از دکل به پی از استانداردهای مرتبط استفاده کرد. در شکل ۵-۵ تصویر شماتیکی از این توضیحات آورده شده است.
- مشخصات سنگ لاشه و ملات باید مطابق استانداردهای مرتبط باشد. به علاوه لازم است مقاومت فشاری ترکیب سنگ لاشه و ملات بتواند تنش زیر پی گسترده اصلی که دکل حفاری روی آن قرار می‌گیرد را به بستر طبیعی منتقل نماید که باید توسط مهندس مشاور مورد محاسبه قرار بگیرد و مستندات لازم ارائه شود. در زمان اجرای سنگ لاشه و ملات مهندس ناظر مشاور از کلیه مراحل و لایه‌ها عکس تهیه کند و تائیدیه اجرای صحیح سنگ لاشه و ملات به همراه کلیه عکس‌ها از تمام مراحل اجرا به کارفرما کتباً از طرف مهندسین مشاور ارسال شود. تجربیات محلی نشان می‌دهد که استقرار مهندس ناظر در کلیه زمان اجرای سنگ لاشه با ملات توسط مهندس مشاور باید الزام آور باشد.
- تجربیات محلی نشان داده است که برخی سنگ‌های لاشه در حالت خشک مقاومت فشاری مناسبی دارند. لیکن در حالت اشباع به شدت مقاومت آن‌ها کاهش می‌یابد (در حالت اشباع مشاهده شده است که با دست خرد می‌شوند). با توجه به

تراوش آب از طریق بدنه خاکریز، آزمایش‌های مرتبط با سنگ لاشه در حالت اشباع نیز علاوه بر سایر آزمایش‌های مرتبط در استانداردهای معتبر برای سنگ لاشه مد نظر قرار بگیرد.

- تجربیات محلی نشان می‌دهد با توجه به اینکه پی گسترده اصلی که دکل حفاری روی آن قرار می‌گیرد در یک مرحله اجرا نمی‌شود بخش بندی پی برای ریختن قسمت به قسمت بتن مطابق استانداردهای معتبر مرتبط برای بتن‌ریزی انجام نمی‌شود. در این شرایط باید مراحل بتن‌ریزی مطابق استانداردهای معتبر توسط مهندس مشاور کتباً به کارفرما اطلاع داده شود و در زمان بتن‌ریزی حضور مهندس ناظر در تمام مراحل کار الزامی است.
- تجربیات محلی نشان می‌دهد در بعضی مواقع در زمان ریختن بتن در دال‌ها، بخشی از بتن با افزودن آب بدون ویبره مناسب اجرا شده است که موجب صدور دستور تخریب گردید. در این حالت نمونه آزمایشگاهی قبل از افزودن آب اخذ شده که حاکی از مناسب بودن بتن بوده است.
- بر روی سلر همواره باید پمپ تخلیه به صورت دائم وجود داشته باشد تا در زمان اجرا و بهره برداری مورد استفاده قرار بگیرد.

ب) گودال سوخت

- در خصوص ساخت خاکریز گودال سوخت تمامی نکات ذکر شده در استاندارد IPS-G-CP-210 (IPS, 2021) و IPS-E-PR-460 (IPS, 2009) باید رعایت شود.
- سطح بالاترین نقطه گودال سوخت مانند محوطه سلر باید به گونه‌ای محاسبه شود تا آب سیلاب وارد آن نشود. دایک دور گودال سوخت صرف نظر از ملاحظات آب‌بندی جهت جلوگیری از تراوش از نظر مهندسی ژئوتکنیک باید مشابه جاده شنی باشد.
- گودال سوخت در منطقه هورالعظیم باید به شکل دایره ای اجرا شود.



شکل ۵-۵ شکل شماتیک برای اجرای بخش پی گسترده زیر دکل حفاری

۵-٤-۲- حفاظت شیروانی خاکریز سلرها و گودال‌های سوخت

برای حفاظت سطحی خاکریز سلرها و گودال‌های سوخت در منطقه هورالعظیم می‌توان از روش‌های شرح داده شده برای حفاظت سطحی شیروانی خاکریز جاده استفاده کرد. این روش‌ها شامل ژئوکامپوزیت (ترکیب ژئوتکستایل و ژئوگرید) و ریپ‌رپ می‌باشد. لازم است تمام نکات ذکر شده در بخش ۴-۴-۲ رعایت شود (در شرایط خاص می‌توان از روش گابیون استفاده کرد که جزئیات آن در فصل چهارم قید شده است).

۵-٤-۳- آب‌بندی گودال سوخت

ملاحظات اجرا و ایمنی گودال‌های سوخت باید طبق استاندارد IPS-G-CP-210 (IPS, 2021)، IPS-E-PR-460 (IPS,2009) و سایر استانداردهای معتبر مورد توجه باشد. همچنین توصیه این استانداردها در خصوص آب‌بندی گودال سوخت باید مورد توجه قرار گیرد.

- برای آب‌بندی خاکریز گودال سوخت بایستی از رس متراکم شده (توصیه می‌شود حداقل تراکم ۹۵ درصد باشد) در قسمت داخلی آن استفاده شود. همچنین می‌توان از افزودنی‌هایی مانند بنتونیت برای کاهش نفوذپذیری خاک رسی نیز استفاده کرد.
- جهت اطلاع مهندسین مشاور راهنمایی می‌شود که گودال سوخت به غیر از مسئله سیلاب در برابر آب دائم قرار دارد. از همین رو مسئله تراوش در آن باید به علت آب دائم مورد توجه قرار بگیرد.
- به دلیل اهمیت جلوگیری از ورود مواد نفتی داخل گودال سوخت به داخل هورالعظیم لازم است روش‌های مختلف آب‌بندی برای بدنه دایک دور گودال سوخت بررسی و مقایسه گردد.
- استفاده از (الف) رس کوبیده، (ب) ژئوممبرین و (ج) ترکیب رس کوبیده و ژئوممبرین برای آب‌بندی دیواره و کف گودال سوخت باید در هر پروژه بررسی شود.
- در صورت استفاده از ژئوممبرین، برای جلوگیری از رسیدن حرارت به ژئوممبرین و آتش گرفتن آن، بایستی به عنوان پوشش بر روی آن کیسه بتنی، کیسه شنی، بتن در زیر آب یا شن تک سایز استفاده گردد.
- لازم است در طراحی سیستم آب‌بندی و پوشش آن، پایداری در مقابل فشار برخاست بر اساس مراجع معتبر نظیر مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان (دفتر مقررات ملّی ساختمان، ۱۴۰۰) در نظر گرفته شود.
- برای جزئیات بیشتر در مورد آب‌بندی و استفاده از ژئوممبرین لازم است به استانداردهای BS8102 (BSI, 2009) مراجعه شود.
- کف و دیواره گودال سوخت باید توسط بتن مسلح پوشیده شود. در کف و جداره گودال سوخت باید در ابتدا بتن مگر در حدود ده سانتی‌متر اجرا و سپس روی آن از بتن مسلح استفاده شود. ضخامت بتن مسلح باید توسط مهندسین مشاور با توجه به شیب، حجم و حرارت داخل گودال سوخت طراحی شود لیکن ضخامت بتن مسلح نباید کمتر از ۱۵ سانتی‌متر باشد و باید حداقل دو لایه آرماتور در بالا و پایین داشته باشد.

- باید حداقل یک متر رس کوبیده شده بر روی بتن مسلح کف گودال سوخت قرار بگیرد. همچنین باید حداقل یک و نیم متر رس کوبیده شده بر روی بتن مسلح دیوارهای گودال سوخت قرار بگیرد.
- با توجه به مقدار رس اضافه شده بر روی بتن مسلح نسبت به دو استاندارد IPS-G-CP-210 (IPS, 2021) و IPS-E-PR-460 (IPS, 2009) ضروری است ابعاد گودال سوخت به گونه‌ای محاسبه شود که حجم مفید باقی مانده داخل گودال سوخت جوابگوی عملیات حفاری و بهره برداری باشد.
- در زمان بهره برداری باید تروش آب به داخل گودال سوخت به صورت مرتب مورد پایش قرار بگیرد و در صورت تجمع آب تروش یافته، با استفاده از پمپ دائم مستقر در سلر، آب درون گودال سوخت خالی شود.

الف) رس کوبیده (Government of Manitoba, 2007):

ضخامت لایه رس در کف و دیواره‌ها با ضخامت مناسب پیشنهاد می‌گردد. رس مورد استفاده باید دارای مشخصات زیر باشد:

- ضخامت لایه رس روی ژئوممبرین با اندازه گیری ضریب انتقال حرارت رس مورد نظر در پروژه و تحلیل حرارتی به دست آید ولی به عنوان راهنمای اولیه حداقل مقادیر در حدود ۱ متر در کف و ۲ متر در دیواره گودال سوخت پیشنهاد می‌گردد.
- دانه‌بندی آن بایستی به صورت زیر باشد:

$\geq 50\%$ درصد خاک ریزدانه

$\geq 20\%$ درصد خاک رس

$\leq 45\%$ درصد خاک ماسه

- مقادیر حدود اتربرگ آن نیز به صورت باشد:

$(PI) > 20\%$ شاخص پلاستیسیته

$(LL) > 30\%$ حد روانی

- رس باید دارای تراکم ۹۵ درصد از حداکثر چگالی پروکتور (ASTM, 2007) با درصد رطوبت بین ۰/۹ تا ۱/۲ رطوبت بهینه باشد. رس باید به صورت لایه‌های ۱۵ تا ۲۰ سانتی متری اجرا می شود.
- ضریب هدایت هیدرولیکی (ضریب نفوذپذیری) خاک رس کوبیده شده نیز باید حداکثر ۱×۱۰^{-۹} متر بر ثانیه باشد.

ب) ژئوممبرین:

رس به تنهایی نمی‌تواند از نفوذ آب به داخل گودال سوخت جلوگیری کند. بنابراین ژئوممبرین یا بتن آب بند نیز افزون بر رس کوبیده استفاده شود. لایه ژئوممبرین از جنس پلیمر است و به تنهایی قابل استفاده نیست زیرا باید مورد محافظت قرار گیرد. در صورت استفاده از ژئوممبرین، برای جلوگیری از رسیدن حرارت به آن، باید لایه رس متراکم شده بر روی آن اجرا گردد. جنس لایه‌های ژئوممبرین نیز باید از نوع HDPE باشد. برای جزئیات بیشتر در مورد آببندی و استفاده از ژئوممبرین لازم است به استانداردهای معتبر مانند BS8102 مراجعه شود (BSI, 2009).

از آنجا که ممکن است ژئوممبرین با تماس با خاک زیرین آسیب ببیند توصیه می‌شود یک لایه ژئوگرید یا ژئوتکستایل برای محافظت سطح زیرین به کار رود. در برخی موارد لازم است تا روی ژئوممبرین نیز از لایه حفاظتی استفاده شود.

ج) بتن آب بند

بتن آب بند باید چنان طراحی شود که افزون بر طرح اختلاط مناسب برای آب بندی بدنه بتن مانع نفوذ آب از درزهای اجرایی و حرارتی شود. بنابراین پیش بینی واتر استاپ در درزها ضروری است. برای جزئیات بتن آب بند به مراجع معتبر مانند BS8102 (BSI, 2009) و نشریه ۱۲۳ (سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۹۵) مراجعه شود.

۵-٤-٤- برخاست در گودال سوخت

در زمان وقوع سیلاب که بالاترین رقوم سطح آب است نیروی برخاست گودال سوخت باید محاسبه قرار بگیرد. لازم است در طراحی سیستم آببندی و پوشش آن، پایداری در مقابل فشار برخاست بر اساس مراجع معتبر در نظر گرفته شود. وزن لایه خاکی روی ژئوممبرین باید بیشتر از نیروی وارد بر ژئوممبرین باشد. ضریب اطمینان ۱/۵ توصیه می‌گردد.

۵-۵- گودال آب و گل

گودال آب و گل در محدوده سلر برای جمع آوری موقت هر گونه آب اضافه ناشی از عملیات حفاری احداث می شود. دیواره و کف این گودال باید به صورت بتنی اجرا گردد. همچنین استفاده از واتر استاپ برای درزهای اجرایی سرد و درزهای انبساطی ضروری است. تراز فوقانی این گودال مشابه محوطه سلر باید بالاتر از تراز سیلاب باشد. کنترل برخاست برای گودال آب و گل ضروری است.

۵-٦- راه‌حل ترمیم سلرها و گودال‌های سوخت پس از آسیب‌های ناشی از سیلاب

بدیهی است که این ضابطه برای سلرها و جاده‌های جدیدالاحداث تدوین شده است و در عملیات ترمیم بخشی از ضوابط ژئوتکنیکی در این ضابطه قابل اجرا نمی‌باشد از همین رو بخش ترمیم صرفا به عنوان راهنما ارائه می‌شود.

- در صورت تخریب بخشی از بدنه خاکریز سلر و گودال سوخت و نیاز به ترمیم، ابتدا لایه‌ای به ضخامت حداقل ۰/۵ متر از بخش آسیب دیده بدنه خاکریز برداشته شود، سپس با انتخاب یکی از روش‌های ذکر شده در بخش احداث بدنه خاکریز مانند اختلاط با ماسه بادی و اختلاط با مصالح رودخانه‌ای (مطابق فصل چهارم) نسبت به اجرای بدنه تا رسیدن به مقطع مورد نظر اقدام گردد.
- اگر مشخص شود که تراز موجود محوطه سلر برای مواجهه با سیلاب مطابق با ضوابط مندرج در فصل چهار نباشد، با توجه به وجود تاسیسات نصب شده بر روی سلر و عدم امکان ترفیع سطح آن توصیه می‌شود یک خاکریز حفاظتی پیرامونی با حفظ ضوابط ژئوتکنیکی فصل چهار این ضابطه در دور سلر کشیده شود. همچنین شیروانی آن حفاظت گردد. جنس و جزئیات خاکریز حفاظتی در ترازهای بالای رقوم سلر موجود چنان در نظر گرفته شود که مانع نفوذ سیلاب به

محوطه سلر شود. رقوم جاده‌های دسترسی به سلر به خصوص در ناحیه ورود و خروج به گونه‌ای ترفیع شود که آب در زمان سیلاب وارد محوطه سلر نشود.

- در صورت تخریب توصیه می‌شود گودال سوخت مجددا احداث شود.
- برای موارد ترمیم به ضابطه فنی و مهندسی ایمنی و حفاظت جاده‌ها، سلرها و تاسیسات میادین نفتی غرب کارون در برابر سیلاب در حوزه سیلاب و خطوط لوله مراجعه شود.
- در صورت آسیب سیستم حفاظت سطحی موجود و یا عدم همخوانی با الزامات ارائه شده در بخش ۴-۴-۲ (برای مثال عدم تطابق ضخامت و یا دانه‌بندی ریپ‌رپ)، لازم است پس از برداشتن سازه حفاظت سطحی نسبت به اجرای سازه جدید مطابق با مشخصات ارائه شده در همین بخش اقدام گردد.

فصل ششم

پی در سازه‌ها و تاسیسات صنعت نفت

فصل ششم- پی در سازه‌ها و تاسیسات صنعت نفت

٦-١- مقدمه

این فصل درباره ملاحظات مهندسی ژئوتکنیک پی سازه‌ها و تاسیسات صنعت نفت در مواجهه با سیلاب است. سیلاب که با بالا آمدن سطح آب و جریان سریع آن همراه است می‌تواند باعث کاهش ظرفیت باربری و آبشستگی خاک زیر پی شود. در ضمن سیلاب می‌تواند باعث کاهش مدول الاستیسیته و نشست خاک شود. این جنبه‌های مهندسی ژئوتکنیک در این فصل تشریح شده است. ملاحظات ارائه شده در این فصل به طور کلی برای پی‌های سطحی و عمیق ارائه شده است. اما از آنجا که انواع پی‌های تاسیسات در هورالعظیم بسیار متنوع است، به تناسب ممکن است ملاحظات خاص برای برخی پی‌های ویژه مطرح باشد.

٦-٢- انواع مستحدثات و پی آنها در منطقه هورالعظیم

برای طراحی پی‌ها در منطقه هورالعظیم باید مستحدثات مربوطه، توسط طراح به خوبی شناخته شود. تعیین ضریب اطمینان برای ظرفیت باربری پی و همچنین نشست مجاز پی پس از شناخت مستحدثات و عملکرد آنها انجام می‌گیرد. در اینجا توضیحات کلی در مورد مستحدثات و پی آنها آمده است. لیکن طراح نباید به این توضیحات کلی بسنده کند و لازم است اطلاعات دقیق را در هر پروژه کسب نماید.

افزون بر ساختمان‌ها و مخازن که در مراجعی مانند استانداردهای API 650 (API, 2011) و BS EN14015 (BS, 2004) و غیره بحث شده‌اند و همچنین محوطه سلر، گودال سوخت و جاده‌ها که در سایر فصول این ضابطه آمده‌اند، در این فصل به سایر سازه‌های پرکاربرد در صنعت نفت منطقه هورالعظیم شامل منیفولد و واحد تفکیک‌گر اشاره می‌شود. تشریح تمامی سازه‌های موجود در منطقه هورالعظیم و پی آنها در این ضابطه مقدور نیست و می‌توان به مراجع عمومی مراجعه کرد.

الف) منیفولدها

منیفولدها از تاسیسات موجود در منطقه هستند (شکل ۱-۶) که ابتدا هیدروکربن‌ها به آن‌ها منتقل و پس از این مرحله به سمت واحد تفکیک‌گر منتقل می‌شود.

منیفولدها شامل اجزایی می‌باشند که هر یک بسته به نوع طراحی ممکن است دارای پی‌های منفرد، نواری یا سایر انواع پی باشند. در هر صورت انتخاب نشست مجاز هر یک از اجزای منیفولد باید در مرحله طراحی با توجه نوع سازه، نوع پی، حساسیت سازه و عملکرد آن و سایر ملاحظات مرتبط انتخاب شود. همکاری متقابل بین متخصصین پایپینگ و مکانیک با متخصصین ژئوتکنیک و سازه برای انتخاب نشست مجاز برای هر یک از مستحدثات توصیه می‌شود.

شکل ۱-٦ مثالی از منیفولد در میدان نفتی آزادگان جنوبی

ب) واحد تفکیک‌گر

تاسیسات GOSP[1] نوعی واحد فراورشی محسوب می‌شوند که می‌توانند موقت و یا دائمی باشند (شکل ۲-۶). تاسیسات مهمی که بر روی خاکریزها در GOSP قرار می‌گیرند شامل مخازن ذخیره، لوله و انواع ساختمان است که باید در طراحی پی آنها به اثرات ناشی از بالا آمدن سطح آب در خاکریز توجه شود.

[1] Gas–Oil Separation Plant

شکل ۲-٦ مثالی از GOSP در میدان نفتی آزادگان جنوبی

٦-۳- آسیب‌های مشاهده شده در پی ساختمان‌ها و تجهیزات در اثر سیلاب در منطقه هورالعظیم

بر اثر سیل رخ داده در سال ۱۳۹۸، در پی‌های موجود در منطقه آسیبی در اثر سیلاب مشاهده نشده است. با این وجود اگر سطح آب در این مناطق بالاتر از تراز پی قرار گیرد احتمال آسیب‌های کلی زیر وجود دارد:

- **فرسایش خاک مجاور پی:** جریان سیلاب باعث فرسایش، انتقال و ته‌نشینی مصالح خاکی می‌شود. در خاک‌های سیلتی و رسی به ترتیب به آستانه سرعت ۰/۶ و ۱/۵ متر بر ثانیه آب برای شروع فرسایش در اثر سیلاب نیاز است (HNFMSC, 2006). از آنجایی که افزایش سرعت آب در سیلاب تا ۵ متر بر ثانیه امکان‌پذیر است، لذا خاک منطقه در معرض فرسایش قرار دارد مگر آنکه با اقدامات حفاظتی مناسب محافظت شوند.
- **گسیختگی خاک در اثر اشباع شدن:** برای خاک‌های چسبنده، مقاومت برشی زهکشی نشده ممکن است پس از اشباع شدن به طور قابل توجهی کاهش یابد. از دست دادن مقاومت خاک تا ۵۰ درصد یا بیشتر به دلیل اشباع شدن آن و از دست دادن خاصیت مویینگی، اغلب باعث گسیختگی تدریجی و کاهش ظرفیت باربری همراه با کج شدن پی‌های قرار گرفته در اعماق بسیار کم می‌شود.
- **گسیختگی رگاب**[1]: رگاب شکلی از فرسایش زیرسطحی بر اثر نفوذ آب است که شامل ایجاد کانال‌های فرسایشی مشابه لوله است و سبب تشکیل حفرات بزرگ در سطح زیرین خاک می‌شود. همچنین رگاب معمولا با رانش و نشست زمین همراه است. گسیختگی توده خاک ناشی از رگاب عموماً در خاک‌های واگرای رسی که در معرض جریان‌های تراوش هستند اتفاق می‌افتد، اما ممکن است در برخی خاک‌های ماسه‌ای نیز رخ دهد.

[1] Piping

٦-٤- ملاحظات مهندسی ژئوتکنیک احداث پی جدید در مواجهه با سیلاب و آب

برای احداث پی جدید در منطقه هورالعظیم شامل منیفولد، GOSP و سایر موارد، ضروری است محوطه با خاکریزی طبق ضوابط مندرج در فصل چهار ترفیع شود (به گونه‌ای که در زمان سیلاب غرقاب نشود)، برای محاسبه رقوم سطح سیلاب به "ضابطه فنی و مهندسی ایمنی و حفاظت جاده‌ها، سلرها و تاسیسات منطقه هورالعظیم در برابر سیلاب در حوزه تراز سیلاب و خطوط لوله" مراجعه شود.

ملاحظاتی برای مقابله با سیلاب باید در نظر گرفته شود که در ادامه به تفکیک در بخش‌های پی منفرد، نواری، گسترده و شمع و حفاظت در برابر خوردگی ارائه شده است.

٦-٤-١- احداث پی سطحی

در احداث پی سطحی ملاحظات ظرفیت باربری، نشست و سایر ملاحظات مقابله با سیلاب باید در نظر گرفته شود. بررسی ظرفیت باربری و نشست لزوما موضوع این ضابطه نیست و چنانچه دستورالعمل یا استاندارد خاصی در پروژه حاکم است باید از آنها استفاده شود. در غیر این صورت روابط این بخش به کار رود.

٦-٤-١-١- ظرفیت باربری

ظرفیت باربری پی این سازه‌ها باید بر اساس رابطه زیر محاسبه شود (Canadian Geotechnical Society, 2006).

$$q_u = cN_cS_c + q_sN_qS_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma S_\gamma \qquad (۱-۶)$$

در این رابطه

N_γ، N_q و N_c ضرایب ظرفیت باربری (بدون بعد)؛

s_γ، s_q و s_c ضرایب شکل، عمق، شیب بار، شیب زمین و شیب کف پی (بدون بعد)؛

q_s تنش قائم در تراز کف پی (N/m^2)؛

B عرض پی یا حداقل بعد پی (m)؛

c چسبندگی خاک (N/m^2)؛ و

γ وزن مخصوص خاک (N/m^3) است

برای محاسبه هر یک از این ضرایب و ضرایب اطمینان مجاز باید به مراجع مربوطه (Canadian Geotechnical Society, 2006) مراجعه شود. همچنین لازم است تا ملاحظات مربوط به بالا آمدن تراز آب در اثر سیلاب طرح، در روابط ظرفیت باربری لحاظ شود. این ملاحظات شامل موارد زیر می‌باشد:

- پارامترهای مقاومتی (پارامترهای چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) لایه‌هایی که زیر رقوم سیلاب هستند باید از طریق آزمایش‌هایی که به صورت اشباع انجام می‌شوند طبق ضوابط فصل چهار به دست آیند. به علاوه پارامترهای مقاومتی برای کلیه لایه‌های بالای رقوم سیلاب نیز به سبب اثرات موج اشباع در نظر گرفته شوند.

- در محاسبه ظرفیت باربری لازم است وزن مخصوص غوطه‌وری خاک، در جمله‌های مربوط به عمق و عرض پی در نظر گرفته شود.

٦-٤-١-٢- نشست

با توجه به نوع لایه‌های زیرسطحی که ریزدانه و اشباع هستند، نشست پی شامل نشست آنی و تحکیمی است.

- نشست آنی مطابق با رابطه زیر محاسبه شود (Canadian Geotechnical Society, 2006):

$$S_e = \frac{qBI_GI_FI_E(1-\nu^2)}{E_0} \qquad (۲-۶)$$

در این رابطه

q: تنش وارد بر سطح زمین (N/m^2)؛

B: حداقل بعد مساحت زیربار (m)؛

I_G: ضریب تاثیر سختی غیر یکنواخت زمین (بدون بعد) بر اساس مراجع معتبر؛

I_F: ضرایب تاثیر سختی پی (بدون بعد) بر اساس مراجع معتبر؛

I_E: ضرایب تاثیر عمق مدفون پی (بدون بعد) بر اساس مراجع معتبر؛

ν: ضرایب پواسون (بدون بعد) و

E_0: مدول الاستیسیته خاک (N/m^2) است.

- برای محاسبه نشست تحکیمی باید از یکی از روابط ارائه شده در ادامه استفاده شود.

الف) یکی از روابط محاسبه نشست تحکیمی به صورت زیر می‌باشد (Canadian Geotechnical Society, 2006):

$$S_c = \sum_{i=1}^{n}(m_v\Delta\sigma_z'\delta h)_i \qquad (۳-۶)$$

در این رابطه

m_v: مقدار متوسط ضریب تغییر حجم برای تنش متوسط (m^2/N)؛

$\Delta\sigma_z'$: اضافه تنش قائم اعمال شده بر مرکز لایه (افزون بر تنش اولیه) (N/m^2)؛ و

δh: ضخامت لایه در حال تحکیم (m) است.

ب) اگر خاک از نوع رس عادی تحکیم یافته باشد بایستی نشست تحکیمی از رابطه زیر محاسبه شود (Das, B.M. and Sivakugan, N., 2019):

$$S_c = \frac{C_cH_c}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_0'+\Delta\sigma_{av}'}{\sigma_0'}\right) \qquad (۴-۶)$$

اگر خاک از نوع رس پیش تحکیم یافته باشد بایستی نشست تحکیمی از روابط زیر محاسبه شود (Das, B.M. and Sivakugan, N., 2019):

$$\sigma_0' + \Delta\sigma_{av}' \le \sigma_c' \rightarrow S_c = \frac{C_s H_c}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_0' + \Delta\sigma_{av}'}{\sigma_0'}\right)$$
$$\sigma_0' < \sigma_c' < \sigma_0' + \Delta\sigma_{av}' \rightarrow \qquad (۵-۶)$$
$$S_c = \frac{C_s H_c}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_c'}{\sigma_0'}\right) + \frac{C_c H_c}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_0' + \Delta\sigma_{av}'}{\sigma_0'}\right)$$

در این روابط

σ_0': تنش موثر میانگین لایه رسی قبل از ساخت پی (N/m^2)

$\Delta\sigma_{av}'$: میزان افزایش میانگین تنش موثر لایه رسی بر اثر ساخت پی (N/m^2)

σ_c': تنش موثر پیش تحکیمی (N/m^2)

H_c: ضخامت لایه رس (m)؛

e_0: نسبت تخلخل خاک (بدون بعد)؛

C_c: نشانه فشردگی (بدون بعد) و

C_s: نشانه تورم خاک (بدون بعد) است

چنانچه پی بر روی یک خاکریز جدید احداث می‌شود لازم است نشست خاکریز تحت وزن خود طبق ضوابط فصل چهار این ضابطه محاسبه گردد.

پارامترهای تغییرشکل پذیری لایه‌هایی که زیر رقوم سیلاب هستند باید از طریق آزمایش‌هایی که به صورت اشباع انجام می‌شوند طبق ضوابط فصل چهار به دست آیند. به علاوه پارامترهای تغییرشکل پذیری برای کلیه لایه‌های بالای رقوم سیلاب نیز به سبب اثرات موج اشباع در نظر گرفته شوند.

لازم است طراح اثرات احتمالی تورمی خاکریز را پس از اشباع شدن (در اثر نوسانات آب و موج) لحاظ نماید.

٦-٤-١-٣- ملاحظات آبشستگی خاک زیر پی

طبق این ضابطه لازم است پی‌ها در رقومی احداث شوند که بالاتر از رقوم سیلاب باشند به طوری که هرگز غرقاب نشوند. چنانچه در شرایط خاص نیاز به احداث پی در شرایط غرقاب باشد آنگاه لازم است عمق آبشستگی طبق ضوابط این بخش مورد توجه قرار گیرد.

- عمق استقرار پی در منطقه باید به اندازه‌ای باشد تا در هنگام وقوع سیلاب از رانش جانبی مصالح از زیر پی جلوگیری نماید. همچنین پی باید بر اساس ملاحظات مهندسی ژئوتکنیک تا عمقی گسترش یابد که باربری لازم را با در نظر گرفتن فرسایش و آب‌شستگی موضعی خاک بر اساس تحلیل فرسایش فراهم کند. ضمناً می‌توان برای جلوگیری از شسته شدن خاک اطراف پی، بر روی آن از سنگ چینی استفاده کرد.
- عمق آب‌شستگی باید به طور کلی بر اساس مشاهدات محلی و در ترکیب با روابط تجربی توسط مهندس مشاور (طراح) تخمین زده شود. ولی در ادامه روابطی به عنوان راهنما برای محاسبه عمق آبشستگی در خاک‌های چسبنده و غیر چسبنده ارائه شده است. توصیه می‌شود با ضریب اطمینان کافی از این روابط استفاده شود.

- محاسبه عمق آبشستگی پی واقع بر خاک غیر چسبنده (Kohli and Hager, 2001 نقل از Borga et al., 2017)

$$z(t) = \left(\frac{1}{10} \left(\frac{V}{\left(\left[\frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} g \right] D_{90} \right)^{0.5}} \right)^2 \log_{10} \left(\frac{1}{10} \left(\frac{\left(\left[\frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} g \right] D_{90} \right)^{0.5}}{h_o} \times t \right) \right) \right) \times (b \times h_o)^{0.5} \qquad (۶-۶)$$

در این رابطه پارامترهای مورد استفاده مطابق شکل ۳-۶ به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$z(t)$: عمق آبشستگی در زمان t (متر)؛

t: زمان سیلاب (ساعت)؛

V: سرعت جریان (m/s)؛

D_{90}: قطری (m) که ۹۰٪ مصالح از آن کوچکتر است؛

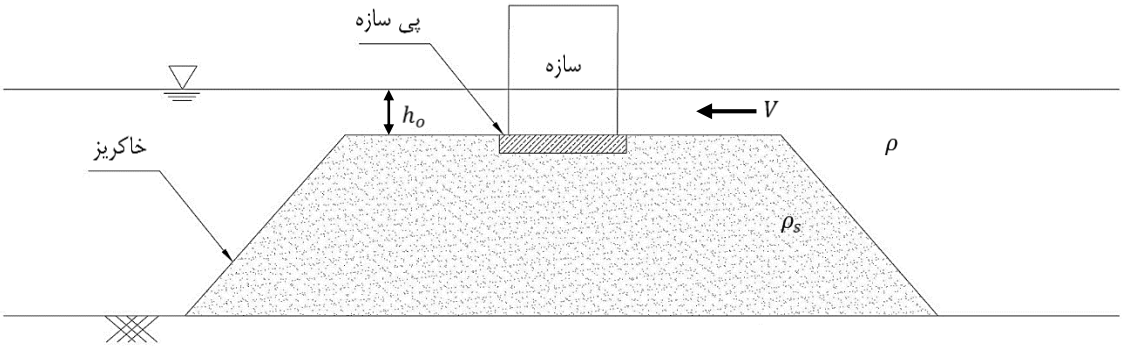
ρ: چگالی آب $(۱\ gr/cm^3)$؛

ρ_s: چگالی رسوب (gr/cm^3)؛

g: شتاب گرانشی $(۹/۸۱\ m/s^2)$؛

b: عرض سازه در راستای عمود بر جریان(m)؛ و

h_o: عمق جریان (m) است.



شکل ۳-٦ شماتیک پارامترهای مورد استفاده در رابطه تعیین آبشستگی در مقطع عرضی یک خاکریز

- محاسبه عمق آبشستگی پی واقع بر خاک چسبنده بر اساس FHWA-HIF-12-003 (Arneson et al., 2012)

$$z = 0.94 h_o \left(\frac{1.83V}{\sqrt{g h_o}} - \frac{K_u \sqrt{\frac{\tau_c}{\rho}}}{g n h_o^{1/3}} \right) \qquad (۷-۶)$$

در این رابطه پارامترهای مورد استفاده مطابق شکل ۳-۶ به صورت زیر تعریف می‌شوند:

z: عمق آبشستگی نهایی (m)؛

h_o: متوسط عمق جریان(m)؛

V: سرعت جریان(m/s)؛

g: شتاب گرانشی ($۹/۸۱\ m/s^2$)؛

n: ضریب زبری مانینگ (بدون بعد)؛

ρ: چگالی آب ($۱۰۰۰\ kg/m^3$)؛

K_u: ضریب تبدیل واحد (برای سیستم واحد استاندارد برابر با یک)؛

τ_c: تنش برشی بحرانی (N/m^2) (از رابطه $\tau_c = 0.05D_{50}^{-0.4}$ محاسبه می‌شود)؛ و

D_{50}: قطری (mm) که ۵۰٪ مصالح از آن کوچکتر است.

٦-٤-١-٤- سایر ملاحظات مهندسی ژئوتکنیک مواجهه با سیلاب در پی سطحی

سازه‌ها باید پس از اجرای خاکریز مطابق روش‌های معرفی شده در بخش ۴-۴-۱ و ۴-۴-۲، بر روی آن‌ها احداث شوند. اگر تراز خاکریزی که پی بر روی آن قرار دارد بالاتر از تراز سیلاب طرح باشد، نیازی به اجرای ملاحظات آب‌شستگی و فرسایش ناشی از سیلاب در اجرای پی نیست. ولی در غیر این صورت باید نکته زیر در طراحی و احداث پی سطحی در منطقه هورالعظیم در نظر گرفته و رعایت شود.

در شرایط خاص که پی در زیر تراز سیلاب ساخته می‌شود، باید با توجه به نیروی سیلاب و شناوری و تحت ترکیب بارهای مشخص شده برای سیلاب در استاندارد ASCE 7 (ASCE, 2022) و ضابطه شماره ۶۸۱ سازمان مدیریت و برنامه ریزی "راهنمای پادسیل سازی" (سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۹۴) طراحی و ساخته شوند.

٦-٤-٢- شمع

چنانچه کنترل ظرفیت باربری، نشست مجاز و سایر ملاحظات مهندسی ژئوتکنیک حاکی از عدم کفایت پی سطحی باشد، آنگاه باید گزینه پی عمیق (شمع) مورد بررسی قرار گیرد.

- در صورتی که پی سطحی بر روی خاکریز احداث شده در آب بنا گردد بر اساس تجربیات منطقه، وجود موج و نوسانات سطح آب ممکن است سبب عملکرد نامناسب خاکریز در دراز مدت شود. بدین ترتیب ممکن است عملکرد پی سطحی نیز بر روی خاکریز دچار مشکل شود. بنابراین چنانچه علی رغم مناسب بودن پی سطحی بر اساس محاسبات باربری و نشست، طراح به این نتیجه مستند برسد که خاکریز بستر پی دچار مشکلات یاد شده خواهد شد استفاده از شمع توصیه می‌گردد.
- طراحی و اجرای شمع باید بر اساس استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه از جمله استانداردهای API 2GEO/ISO 19901-4 (API, 2011) و FHWA-NHI-16-009 (Hannigan et al., 2016) برای شمع‌های کوبشی و FHWA NHI-10-016 (Brown et al., 2010) برای شمع درجاریز انجام شود.
- از آنجا که شمع‌ها در مقایسه با پی‌های سطحی به دلیل عمق فرورفت زیاد، در مقابل آب‌شستگی مقاومت بیشتری دارند، در مناطقی که عمق آبشستگی زیاد است باید از شمع استفاده شود.

در احداث شمع ملاحظات ظرفیت باربری، نشست و سایر ملاحظات مقابله با سیلاب باید به تفکیک به شرح موارد زیر رعایت شود.

٦-٤-٢-١- ظرفیت باربری

- ظرفیت باربری شمع‌ها مطابق رابطه زیر از استاندارد API 2GEO/ISO 19901-4 محاسبه شود (API, 2011):

$$Q_c = Q_{f,c} + Q_p = f(z)A_s + qA_p \quad (۸-۶)$$

در این رابطه

$Q_{f,c}$: باربری اصطکاک جدار شمع در فشار (واحد نیرو)؛

Q_p: باربری انتهایی شمع (واحد نیرو)؛

$f(z)$: اصطکاک جدار واحد (واحد تنش)؛

A_s: سطح جانبی شمع

q: باربری واحد نوک شمع (واحد تنش)؛

A_p: مساحت ناخالص ناحیه انتهایی شمع؛ و

z: عمق است.

جزئیات محاسبه ظرفیت باربری شمع وابسته به نوع خاک و شمع و نحوه اجرای شمع است و باید به منابع مربوطه از جمله استانداردهای API 2GEO/ISO 19901-4 (API, 2011)، FHWA NHI-10-016 (Brown et al., 2010) و FHWA-NHI-16-009 (Hannigan et al., 2016) مراجعه شود. همچنین لازم است ضرایب اطمینان مجاز مطابق این آیین‌نامه‌های مربوطه در نظر گرفته شود.

ملاحظات مربوط به بالا آمدن تراز آب و نیز نوسانات آن در روابط ظرفیت باربری شمع باید مشابه ملاحظات ذکر شده در پی‌های سطحی لحاظ شود.

٦-٤-٢-٢- نشست

شمع با انتقال تنش سازه به زمین دچار نشست می‌شود. این نشست ناشی از تغییرشکل سازه‌ای شمع و نشست خاک است. نشست خاک می‌تواند الاستیک و یا تحکیمی باشد. وقوع سیلاب می‌تواند موجب تغییر در ویژگی‌های خاک شود ولی سازوکار نشست و روابط محاسبه آن تغییری نمی‌یابد. برای محاسبه نشست در شمع‌ها لازم است به مراجع مهندسی ژئوتکنیک FHWA NHI-10-016 (Brown et al., 2010) و FHWA-NHI-16-009 (Hannigan et al., 2016) مراجعه شود.

ملاحظات مربوط به بالا آمدن تراز آب و نیز نوسانات آن در روابط نشست شمع باید مشابه ملاحظات ذکر شده در پی‌های سطحی لحاظ شود.

٦-٤-٢-٣- ملاحظات آب شستگی خاک اطراف شمع‌ها در مواجهه با سیلاب

چنانچه در شرایط خاص نیاز به استفاده از شمع در داخل آب یا در رقوم زیر سیلاب باشد، باید ملاحظات زیر مطابق استاندارد ASCE/SEI 24-14 در نظر گرفته شود (ASCE, 2014):

- سرشمع باید طوری طراحی و ساخته شود که از نظر سازه‌ای بدون تکیه بر خاک اطراف یا زیر سرشمع پایدار باشد. اتصالات سرشمع به شمع و سرشمع به ستون باید طوری طراحی شوند که در برابر نیروهای هیدرودینامیکی مورد انتظار از جمله ضربه موج مقاومت کنند.
- شمع‌ها جهت مقابله با نیروی جانبی احتمالی ناشی از سیلاب، باید برای حداقل گشتاوری که با خروج از مرکزیت ۰/۱ قطر معادل شمع ایجاد می‌شود طراحی شوند مگر اینکه با تجزیه و تحلیل بارهای اعمال شده، گشتاورها از آن فراتر رود. مقاومت جانبی مورد نیاز یک شمع منفرد باید حداقل ۵ درصد بار محوری شمع باشد.
- در طراحی شمع باید عمق آب‌شستگی موضعی در شرایط سیلاب طراحی، لحاظ شود. این عمق باید حداقل ۲ برابر قطر شمع دایره‌ای یا ۲ برابر قطر شمع مستطیل شکل زیر تراز خاک فرسایش یافته بعد از سیلاب در نظر گرفته شود. وجود خاک تا این عمق نباید در طراحی شمع در نظر گرفته شود.
- در بررسی اثرات آب‌شستگی موضعی در شرایط سیلاب طراحی، باید اثرات متقابل شمع‌ها یا سایر عناصر پی در مجاورت یکدیگر نیز در نظر گرفته شود.
- فاصله شمع‌ها (مرکز به مرکز) برای عبور سیلاب نباید کمتر از ۲/۵ متر باشد، مگر اینکه توسط تحلیل ژئوتکنیکی و طراحی پی، توجیه دیگری وجود داشته باشد.

٦-٤-٢-٤- جایگزین شمع

افزون بر شمع لازم است طراح گزینه‌های مناسب بهسازی خاک را نیز در نظر بگیرد و آنها را از لحاظ اقتصادی و فنی با شمع مقایسه نماید. بعضی از روش‌های بهسازی خاک در فصل چهار شرح داده شده است.

٦-٤-٣- حفاظت در برابر خوردگی بتن

با مرور آزمایش‌های انجام شده بر روی آب و خاک در منطقه هور العظیم می‌توان نتیجه گرفت که در برخی مناطق درصد سولفات و کلر آب و خاک بالا می‌باشد. البته برای هر پروژه‌ای برای بررسی میزان سولفات و کلر نیاز به انجام آزمایش در محل پروژه است. در مواردی که میزان کلر یا سولفات آب و خاک بالا باشد نیاز است تا موارد مندرج در استانداردهای سازه‌ای مرتبط مانند استاندارد ACI 318-19 (ACI Committee 318, 2019)، برای بتن مسلح اعم از انواع پی و سایر سازه‌های بتنی در تماس با آب در نظر گرفته شود.

منابع و مراجع

فهرست منابع و مراجع

- AA. VV., 1994. Treatment of Soft Foundation for Highway Embankment. NCHRP Synthesis of Highway Practice 29, Transportation Research Board. Washington DC.
- ACI Committee 318, 2019. Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
- ASCE, 2014. Flood Resistant Design and Construction (ASCE/SEI 24-14). American Society of civil engineers.
- API, 2011. API Recommended Practice 2GEO/ISO 19901-4, Geotechnical and Foundation Design Considerations. American Petroleum Institute (API).
- API, 2020. Welded Tanks for Oil Storage. American Petroleum Institute. API 650. Washington D.C, 13th Edition.
- Ariema, F. and Butler, B., 1990. Chapter 6 in Guide to Earthwork Construction. State of the Art Report 8, Transportation Research Board National Research Council.
- Arneson, L.A., Zevenbergen, L.W., Lagasse, P.F., and Clopper, P.E., 2012. Evaluating Scour at Bridges, 5th Ed, Hydraulic Engineering Circular 18, Publication No. FHWA-HIF-12-003.
- ASCE, 2022. Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, ASCE/SEI 7-22. American Society of Civil Engineers.
- ASTM, 2007. Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (600 kNm/m3). ASTM D698. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM, 2015. Standard Practice for Specifying Rock to Fill Gabions, Revet Mattresses, and Gabion Mattresses. American Society for Testing and Materials. ASTM D6711. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM, 2015. Standard test method for particle size analysis of natural and man-made riprap materials. American Society for Testing and Materials. ASTM D5519. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM, 2018. Standard Practice for Installation of Double-Twisted Wire Mesh Gabions and Revet Mattresses. American Society for Testing and Materials. ASTM D7014-18. West Conshohocken, PA, USA.

- ASTM, 2019. Standard Specification for Zinc-Coated (Galvanized) Carbon Steel Wire. American Society for Testing and Materials. ASTM A641/A641M-19. West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM, 2021. Standard Specification for Double-Twisted Hexagonal Mesh Gabions and Revet Mattresses (Metallic-Coated Steel Wire or Metallic-Coated Steel Wire with Poly (Vinyl Chloride) (PVC) Coating). American Society for Testing and Materials. ASTM A975-21. West Conshohocken, PA, USA.
- Barksdale, R.D. and Bachus, R.C., 1983. Design and construction of stone columns, vol. I (No. FHWA/RD-83/026; SCEGIT-83-104). Turner-Fairbank Highway Research Center.
- Borga, M., Tanyu, B.F., Ferreira, C.M., Garzon, J.L. and Onufrychuk, M., 2017. A geospatial framework to estimate depth of scour under buildings due to storm surge in coastal areas. Natural Hazards, 87, pp.1285-1311.
- Briaud, J.L. and Maddah, L., 2016. Minimizing roadway embankment damage from flooding (No. Project 20-05 (Topic 46-16)).
- Brown, D.A., Turner, J.P. and Castelli, R.J., 2010. Drilled Shafts: Construction Procedures and LRFD Design Methods (NHI Course 132014, Geotechnical Engineering Circular no. 10, Federal Highway Administration Report no. FHWA NHI-10-016). Washington, DC.
- Bruce, M.E.C., Berg, R.R., Collin, J.G., Filz, G.M., Terashi, M. and Yang, D.S., 2013. Deep mixing for embankment and foundation support (FHWA-HRT-13-046). Federal Highway Administration Design Manual.
- BSI, 2004. Specification for the design and manufacture of site built, vertical, cylindrical, flat-bottomed, above ground, welded, steel tanks for the storage of liquids at ambient temperature and above. EN14015. British Standards Institute.
- BSI, 2009. Code of Practice for Protection of Below Ground Structures against Water from the Ground, BS 8102. British Standards Institute, London.
- Canadian Geotechnical Society, 2006. Canadian foundation engineering manual. Canadian Geotechnical Society. Foundations Committee. 4th Edition.
- Croce, P., Flora, A. and Modoni, G., 2014. Jet grouting: technology, design and control. CRC Press.
- Das, B.M. and Sivakugan, N., 2019. Principles of foundation engineering. Cengage learning.
- Government of Manitoba, 2007. Technical reference document for liquid manure storage structures. Compacted Clay Liners.
- Hannigan, P.J., Rausche, F., Likins, G.E., Robinson, B., Becker, M. and Berg, R.R., 2016. Design and Construction of Driven Pile Foundations–Volume I (No. FHWA-NHI-16-009). National Highway Institute (US).
- HNFMSC. 2006. Reducing Vulnerability of Buildings to Flood Damage: Guidance on Building in Flood Prone Areas. Parramatta, NSW, Australia: Hawkesbury-Nepean Floodplain Management Steering Committee.
- IPS, 2009. Engineering standard for process design of flare and blowdown. IPS-E-PR-460 (1): 2009. Iranian Petroleum Standards.
- IPS, 2021. Petroleum Industry Standard Design and Construction of the Burn Pits. Code of practice. IPS G-CP-210:2021. Iranian Petroleum Standards.
- Johnson, S.J., 1975. Treatment of soft foundations for highway embankments. Synthesis of Highway Practice, 29, p.25.

- Kohli, A. and Hager, W.H., 2001. June. Building scour in floodplains. In Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water and Maritime Engineering (Vol. 148, No. 2, pp. 61-80). Thomas Telford Ltd.
- Lucas, R.G., 1995. Geotechnical Engineering Circular No. 1: Dynamic Compaction, US Department of Transportation, Publication No. FHWA-SA-95-037.
- OCDI, 2002. Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan, the Overseas Coastal Area Development Institute of Japan.
- Patrick, J.H., Frank, R., Garland, E.L., Brent, R.R. and Matthew, L.B., 2016. Design and construction of driven pile foundations (Report no. FHWA-NHI-16-009). Geotechnical engineering circular, (12).
- Pilarczyk, K.W., 2004. Design of revetments. Port Engineering: Planning, Construction, Maintenance, and Security, p.245.
- Sabatini, P.J., Armour, T., Groneck, P., Keeley, J.W. and Tanyu, B., 2005. Micropile design and construction (No. FHWA-NHI-05-039). United States. Department of Transportation. Federal Highway Administration.
- Samtani, N.C. and Nowatzki, E.A., 2006. Soils and foundations: Reference manual (No. FHWA-NHI-06-088). United States. Federal Highway Administration.
- Schall, J.D., Thompson, P.L., Zerges, S.M., Kilgore, R.T. and Morris, J.L., 2012. Hydraulic Design of Highway Culverts, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-HIF-12-026.
- USACE, 1953. Filter experiments and design criteria. Vicksburg. US Army Corps of Engineers.
- USACE, 1994. Hydraulic design of flood control channels. Engineer manual 1110-2-1601. US Army Corps of Engineers.
- USACE, 1995. Design of Coastal Revetments, Seawalls, and Bulkheads. US Army Corps of Engineers.
- USACE, 2002. Coastal Engineering Manual (CEM). US Army Corps of Engineers. Washington, D.C. USA.

- دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ۱۴۰۰. پی و پی سازی. مبحث هفتم مقرات ملی ساختمان ایران. ویرایش چهارم. دفتر امور مقررات ملی ساختمان. وزارت راه و شهرسازی. تهران.
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۸۵. آیـین نامـه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران. نشریه شماره ۳۰۰ جلد سوم: مکانیک خاک و پی. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله. معاونت امور فنی. تهران.
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۸۵. آیـین نامـه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران. نشریه شماره ۳۰۰ جلد دوم: مصالح. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله. معاونت امور فنی. تهران.
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۹۴. راهنمای پادسیل سازی. ضابطه شماره ۶۸۱. امور نظام فنی و اجرایی کشور. معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی. تهران.
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۹۵. ضوابط و معیارهای طرح و محاسبه مخازن آب زمینی. ضابطه شماره ۱۲۳. تجدید نظر اول. امور نظام فنی و اجرایی کشور. معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی. تهران.
- شفیعی‌فر، م.، ۱۳۹۰. راهنمای کاربرد سنگ در موج شکن و سازه‌های حفاظتی. وزارت راه و شهرسازی، پژوهشکده حمل و نقل. تهران.

- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۰. آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران. نشریه شماره ۲۳۴. تجدید نظر اول. دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی. معاونت امور فنی. تهران.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۰. راهنمای کاربرد ژئوتکستایل در سازه‌های حفاظتی دریایی. نشریه شماره ۵۲۸. امور نظام فنی. تهران.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۹۲. مشخصات فنی عمومی راه. نشریه شماره ۱۰۱. تجدید نظر دوم. امور نظام فنی. تهران.
- معاونت مهندسی و ساخت وزارت نفت، ۱۳۸۴. راهنمای انجام مطالعات و طراحی ژئوتکنیکی صنعت نفت در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، نشریه شماره ۳۷. معاونت مهندسی و ساخت وزارت نفت. تهران.

shaghool.ir