

به نام خدا



دانشکده مهندسی عمران

گروه ژئوتکنیک

ژئوتکنیک زیست محیطی

ساخت و نصب GCL ها

استاد محترم:

جناب آقای پروفسور علی پاک

دانشجو:

علی صرافی (91207907)

پاییز 91

2	فهرست مطالب
3	فهرست شکل ها
5	چکیده
6	1- مقدمه
6	2- انواع GCL ها و ترکیبات آنها
10	3- روند تولید
10	3-1- اتصال رس به صفحات ژئوتکستایل یا ژئوممبرین
12	3-2- پوشش پلاستیکی رول GCL
13	4- مشخصات و خصوصیات
13	4-1- نفوذ پذیری هیدرولیکی
14	4-1-1- پارامترهای تأثیر گذار بر نفوذ پذیری هیدرولیکی
19	4-1-2- سایر مطالعات
20	4-1-3- مقایسه ای بین جریان شیرابه از داخل CCL و GCL
21	4-2- مقاومت برشی
23	5- نصب
23	5-1- وسایل لازم
25	5-2- آماده سازی سابگرید

26	3-5- پهن کردن
27	4-5- مهر و موم کردن اطراف نفوذی ها
28	5-5- تکیه گاه
29	6-5- درزبندی
30	1-6-5- استفاده از بنتونیت اضافه در درزبندی
30	2-6-5- اثر انقباض
31	7-5- تعمیر آسیب دیدگی ها
32	8-5- خاک پوشش
34	9-5- آب دهی
35	6- آیا GCL جواب گوی انتظارات بوده است؟
35	7- نتیجه گیری
37	8- مراجع

فهرست شکل ها

7	شکل 1: اتصال رس و صفحات ژئوتکستایل توسط چسب
7	شکل 2: رس کوک زده شده بین دو صفحه ژئوتکستایل
7	شکل 3: رس منگنه زده شده بین صفحات ژئو تکستایل
8	شکل 4: رس متصل شده به ژئوممبرین توسط چسب
10	شکل 5: اختلاط چسب و رس

- شکل 6: کوک زدن یا منگنه کردن..... 11
- شکل 7: ساختار ژل مانند رسی..... 16
- شکل 8: عدم تشکیل ساختار ژل مانند..... 17
- شکل 9: ایجاد مسیر ترجیحی در خاک رس..... 17
- شکل 10: نفوذ پذیری هیدرولیکی به صورت تابعی از تنش مؤثر..... 18
- شکل 11: رابطه تنش برشی و جا به جایی برای برش داخلی نمونه اشباع GCL..... 22
- شکل 12: استفاده از میله پخش کننده بار..... 24
- شکل 13: قرار دادن ژئوممبرین روی GCL توسط ATV..... 24
- شکل 14: پهن کردن..... 26
- شکل 15: نفوذی افقی..... 27
- شکل 16: نفوذی قائم..... 27
- شکل 17: مهر و موم اطراف دیوار نفوذ کرده در سابگرید..... 28
- شکل 18: استفاده از ترانشه..... 28
- شکل 19: خطوط درزبندی..... 29
- شکل 20: اثر انقباض..... 31
- شکل 21: تعمیر آسیب دیدگی..... 31
- شکل 22: قرار دادن خاک پوشش روی GCL..... 32
- شکل 23: جهت مناسب پهن کردن خاک پوشش توسط ماشین..... 33
- شکل 24: آب دهی به GCL و عملکرد خاک رس..... 34

با اینکه GCL ها تکنولوژی تقریباً جدیدی محسوب می شوند، به علت مزیت هایی که دارند و عملکرد قابل قبولی که در مجموع تا کنون از خود نشان داده اند، روز به روز بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند. هم اکنون نیز ده ها میلیون متر مربع از این محصول در حال استفاده است. با توجه به پیچیده تر شدن انواع این محصول و بیشتر شدن موردهای استفاده آن، موفقیت این محصول از این به بعد در گرو انتخاب انتخاب محصول مناسب برای هر استفاده است. این امر به شناخت کافی از انواع GCL، مشخصات آن ها و مسائلی که در اجرا با آن مواجه خواهیم شد نیاز دارد.

در بحث ساخت GCL ها ساختارهای مختلف GCL ها، مواد به کار رفته در ساخت آن ها و موارد مربوط به تضمین کیفیت ساخت (MQA) و کنترل کیفیت ساخت (MQC) بررسی می شود.

از مشخصات بسیار مهم GCL ها می توان به نفوذپذیری هیدرولیکی آن ها اشاره کرد. برای طراحی یک GCL به صورت مناسب شناخت کافی از نفوذپذیری هیدرولیکی، مقاومت برشی و سایر مشخصات ضروری است. در اینجا به بررسی عوامل تاثیرگذار روی نفوذپذیری و مقاومت برشی GCL ها پرداخته و با توجه به نتایج تحقیقات مختلف، توصیه هایی برای عملکرد هر چه بهتر GCL ها صورت می گیرد.

در صورتی می توان انتظار داشت GCL عملکرد مناسبی داشته باشد که علاوه بر انتخاب محصول مناسب که با شناخت از انواع GCL و مشخصات آن ها و شرایط محل حاصل می شود، موارد اجرایی هم متناسب با نوع محصول رعایت شوند. استفاده از وسایل مناسب برای اجرا، آماده کردن محل قبل از اجرا، پهن کردن به صورت مناسب، استفاده از دانه بندی و ارتفاع مناسب برای خاک پوشش و آب دهی مناسب مواردی است که هر کدام جداگانه بررسی می شوند و توصیه هایی برای تضمین کیفیت ساخت (CQA) صورت می گیرد.

1- مقدمه

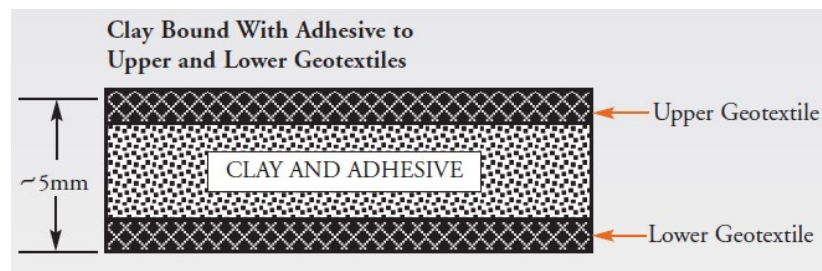
GCL تکنولوژی نسبتاً جدیدی است که اخیراً توانسته است اعتبار خود را به عنوان آب بند در کاربردهای مختلف به دست آورد. این تکنولوژی نسبت به پوشش های مرسوم برخی ویژگی های منحصر به فرد را عرضه می کند. به عنوان مثال GCL ها به راحتی و سریع نصب می شوند، نفوذ پذیری کمی دارند، به علت خواص تورم پذیری رس قابلیت خود ترمیمی دارند، در مناطقی که خاک رس در دسترس نباشد از لحاظ اقتصادی به صرفه هستند و یک GCL ضخامتی بسیار کمتر از CCL دارد که امکان استفاده حداکثری از فضا را در حالی که از آب زیر زمینی محافظت می کند به ما می دهد.

[1]

2- انواع GCL ها و ترکیبات آنها

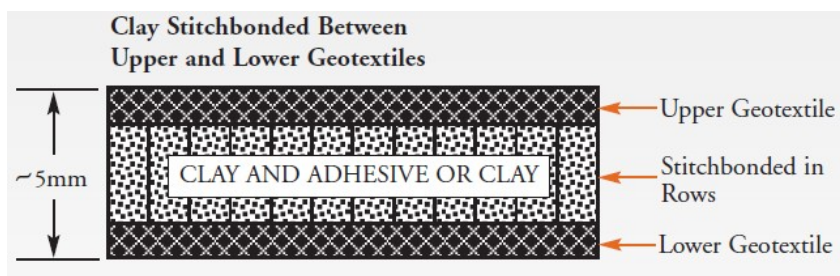
همانند بسیاری از محصولات تولید شده تحت یک عنوان که خصوصیات مختلفی دارند، GCL های مختلف نیز خصوصیات متفاوتی دارند. به همین دلیل روش درست این است که هر محصول تجاری تولید شده در حوزه مربوط به خودش بررسی شود. GCL ها به صورت زیر تعریف می شوند: آستر های رسی ژئوسنتتیک (GCLs) آب بند های هیدرولیکی ساخته شده توسط کارخانه ها می باشند که معمولاً شامل رس بنتونیت یا یک رس دیگر با نفوذ پذیری بسیار کم هستند و توسط ژئوتکستایل ها یا ژئوممبرین ها حمایت می شوند. این صفحات ژئوتکستایل یا ژئوممبرین و رس از طریق کوک زدن، منگنه زدن و یا چسب های شیمیایی به هم متصل می شوند. [9-11]

GCL ها آب بندهای هیدرولیکی در برابر آب، شیرابه و سایر مایع ها می باشند؛ از این رو می توان از آنها به جای CCL یا ژئوممبرین استفاده کرد یا این که از آنها به صورت ترکیبی همراه با CCL یا ژئوممبرین استفاده کرد. شکل سطح مقطع GCL های موجود به چهار صورت زیر می باشد: [9]



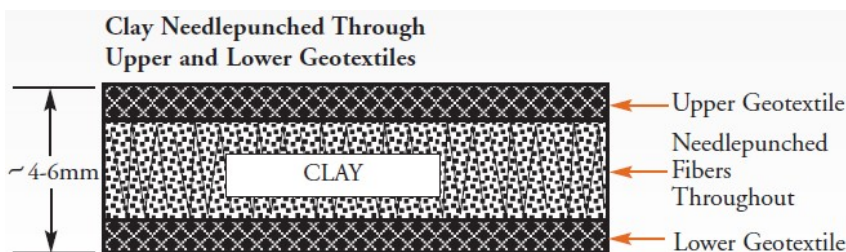
[شکل 1: اتصال رس و صفحات ژئوتکستایل توسط چسب]

شکل 1 رس بنتونیت را نمایش می دهد که با چسب محلول در آب مخلوط شده و توسط یک صفحه ژئوتکستایل در هر طرف محدود شده است. [1]



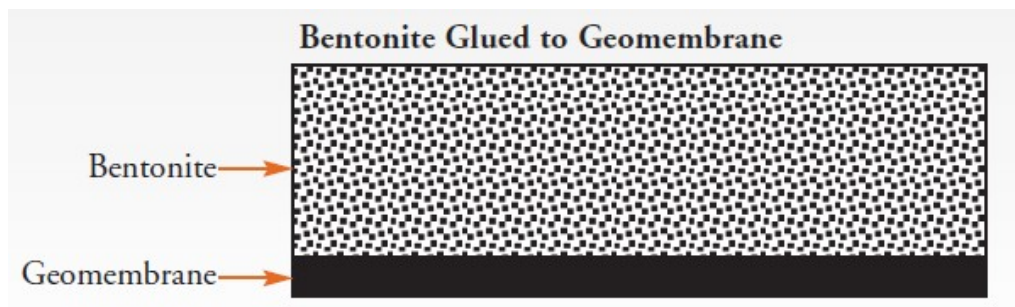
[شکل 2: رس کوک زده شده بین دو صفحه ژئوتکستایل]

شکل 2 حالتی را نمایش می دهد که صفحات ژئوتکستایل بالا و پایین از طریق کوک هایی که در ردیف های موازی هم قرار می گیرند به هم متصل می شوند. رس بین صفحات می تواند به همراه چسب و یا بدون چسب باشد. [1]



[شکل 3: رس منگنه زده شده بین صفحات ژئوتکستایل]

شکل 3 رس بنتونیت را نمایش می دهد که بدون چسب بین صفحات ژئوتکستایل منگنه زده شده است. [1]



[شکل 4: رس متصل شده به ژئوممبرین توسط چسب]

شکل 4 رس بنتونیت را نمایش می دهد که با چسب مخلوط شده و روی سطح ژئوممبرین چسبانده شده است. صفحه ژئوممبرین می تواند در پایین قرار گیرد یا این که بر حسب مورد بالا واقع شود. جنس ژئوممبرین از HDPE یا LLDPE می باشد. [1-11]

در ساخت GCL ها معمولاً از سدیم بنتونیت استفاده می شود. میزان سدیم بنتونیت در واحد سطح از 3.2 تا 6 کیلوگرم بر متر مربع متغیر است. سدیم بنتونیت خاصیت جذب آب و تورم پذیری بالایی دارد. این خاصیت باعث می شود که GCL دارای مزیت خود ترمیمی بوده و در درزبندی نیاز به روش خاصی برای اتصال صفحات نداشته باشیم. آزمایشات نشان می دهد که GCL ها تا سوراخ هایی به قطر 75 میلیمتر را می توانند ترمیم کنند. [1]

ضخامت رس استفاده شده بین 4 تا 6 میلیمتر می باشد. نفوذ پذیری هیدرولیکی معمولاً در محدوده $10^{-11} m/s$ (1 تا 5) می باشد که 20 تا 100 برابر کمتر از رس فشرده می باشد. محصول GCL تولید شده معمولاً با رطوبتی بین 10 تا 30 درصد به محل نصب برده می شود. این به علت خاصیت جذب آب بالای رس بنتونیت می باشد. انواع ژئوتکستایل به کار رفته تفاوت زیادی در ساخت با هم دارند. جرم در واحد سطح این صفحات بین 90 تا 600 گرم بر متر مربع متغیر است. ژئوممبرین به کار رفته در محصولات نیز می تواند در ضخامت و بافت سطح متفاوت باشد. [11]

GCL های ساخته شده دارای عرضی بین 4 تا 5.2 متر و طولی بین 30 تا 60 متر می باشند. در حین ساخت دور یک میله لوله می شوند و توسط یک پلاستیک پوشانده می شوند تا از جذب رطوبت اضافی یا خیس شدن حین نگهداری، انتقال و نصب تا قبل از ایجاد لایه خاک پوشش محافظت شوند. [11]

خاک رس بنتونیت استفاده شده در GCL سدیم مونت موری لونیت می باشد که به صورت معدنی تشکیل می شود. بعد از استخراج رس، آن را خشک و نرم کرده و به صورت الک شده تا زمان انتقال به کارخانه انبار می کنند. [9]

ماده دیگر مورد استفاده چسب است که هر کارخانه به صورت اختصاصی برای خود تولید می کند. از ژئوتکستایل ها و ژئوممبرین هم استفاده می شود. ژئوممبرین یک صفحه پلیمری است که تا زمانی که یکپارچگی اش را حفظ کند در برابر مایعات نفوذنا پذیر است. ژئوتکستایل نفوذپذیری بیشتری نسبت به ژئوممبرین دارد اما در برابر سوراخ شدگی مقاومت بیشتری دارد. [1-9]

در بحث تضمین کیفیت ساخت (MQA) برای مواد خام به کار رفته در GCL، موارد زیر باید مد نظر قرار گیرد:

1. رس استفاده شده باید مشخصات لازم در کنترل کیفیت را ارضا کند:
 - a. تعیین ترکیبات موجود در رس از طریق X-Ray defraction
 - b. اندازه ذرات توسط ASTM D-422 یا C-136
 - c. درصد رطوبت توسط ASTM D2216
 - d. چگالی بالک توسط ASTM B-417
 - e. شاخص تورم کانی رس توسط ASTM D-5890
2. تولید کننده باید یک برنامه کنترل کیفیت ساخت (MQC) تبیین کند که روند استحصال کیفیت لازم برای محصول نهایی را مشخص کند.
3. برای محصولاتی که از چسب استفاده می شود، ترکیب خاصی برای چسب تعیین نشده است. سازنده چسب باید تعیین کند که این چسب به چه میزان با موفقیت استفاده شده است.

4. برای انواع ژئوتکستایل یا ژئوممبرین و یا نخ به کار رفته برای کوک زدن یا منگنه زدن سازنده باید مشخص

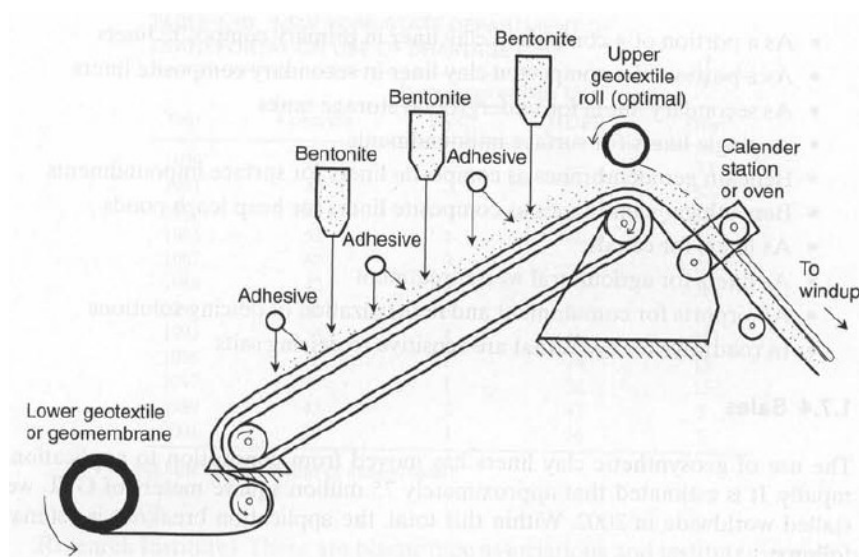
کند که این اقلام به چه میزان در گذشته با موفقیت استفاده شده است. [9]

3- روند تولید

3-1- اتصال رس به صفحات ژئوتکستایل یا ژئوممبرین

با توجه به اینکه از اختلاط رس و چسب استفاده شود یا اینکه از کوک یا منگنه زدن استفاده شود، مراحل ساخت

متفاوت است. [11]



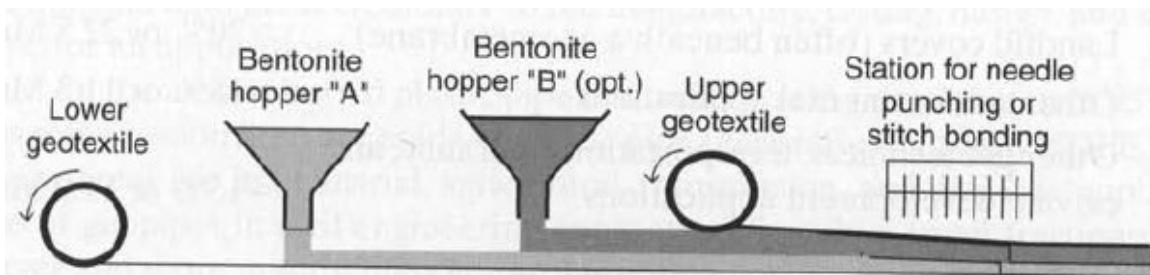
[شکل 5: اختلاط چسب و رس]

شکل 5 تولید GCL در حالتی که از چسب استفاده می شود را نشان می دهد. ابتدا ژئوتکستایل یا ژئوممبرین روی

نقاله قرار می گیرد. خاک رس به میزان 2.3 تا 6 کیلوگرم بر متر مربع روی صفحه زیرین ریخته می شود. میزان چسب

نیز با توجه به میزان رس استفاده شده با خاک رس مخلوط می شود. در بالای نقاله صفحه دوم ژئوتکستایل روی خاک

قرار می گیرد (در صورت استفاده از ژئوممبرین در زیر، از صفحه دوم ژئوتکستایل استفاده نمی شود.) و بعد از فشرده کردن یا حرارت دادن GCL برای بسته بندی خارج می شود. [11]



[شکل 6: کوک زدن یا منگنه کردن]

شکل 6 تولید GCL با استفاده از کوک زدن یا منگنه کردن را نشان می دهد. بعد از باز شدن صفحه ژئوتکستایل در زیر، خاک رس روی آن ریخته می شود. صفحه دوم ژئوتکستایل روی خاک قرار می گیرد و بعد از آن کوک زدن یا منگنه زدن صورت می گیرد. [11]

در بحث تضمین کیفیت ساخت (MQA) برای روند تولید، موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

1. ژئوتکستایل نبافته که برای اتصال آن از منگنه زدن استفاده شده است باید به طور پیوسته به وسیله دستگاه یابنده فلز بررسی شود تا منگنه های شکسته شده را پیدا کند. باید توسط آهن ربا این منگنه های شکسته برداشته شوند.
2. باید میزان خاک رس استفاده شده در سطح تأیید شود. بهترین حالت این است که این خاک به صورت یکنواخت پخش شود اما به عنوان حداقل تأییدیه می توان از وزن کل GCL وزن ژئوتکستایل یا ژئوممبرین را کم کرده و بر سطح تقسیم کنیم تا وزن خاک به کار رفته در سطح مشخص شود.
3. در برخی محصولات GCL ضخامت نهایی محصول اهمیت بیشتری داشته و اندازه گیری این ضخامت باید جزو کنترل کیفیت محصول انجام گیرد.
4. توصیه می شود که شرکت سازنده محل مربوط به حداقل طول همپوشانی را با خطوطی ضد آب مشخص کند.

5. رول GCL دور یک میله لوله می شود. این میله باید مقاومت کافی داشته باشد به نحوی که تغییر یکل در میانه این میله از 75 میلیمتر بیشتر نشود.

6. تولید کننده GCL باید یک برنامه کنترل کیفیت ساخت (MQC) داشته باشد تا محصول نهایی را از طریق نمونه گیری و آزمایش کنترل کند:

a. آزمایش تعیین ضخامت توسط ASTM D-1777

b. جرم کلی محصول بر واحد سطح توسط ASTM D-5261

c. جرم رس موجود در واحد سطح توسط ASTM D-5261

d. نفوذ پذیری هیدرولیکی توسط ASTM D-5084

e. مقاومت برشی در بالا، وسط و پایین صفحه GCL توسط ASTM D-5321

f. کنترل کیفیت GCL توسط ASTM D-5889

[2-9]

2-3- پوشش پلاستیکی رول GCL

قدم آخر در تولید GCL، پوشش رول توسط یک پوشش پلاستیکی ضد آب و مناسب از نظر اندازه می باشد. جنس

این پوشش معمولاً از پلی اتیلن بوده و ضخامت آن بین 0.05 تا 0.08 میلیمتر است. [9]

در بحث تضمین کیفیت ساخت (MQA) برای پوشش روی GCL موارد زیر باید در نظر گرفته شوند:

1. قرار دادن پوشش باید به نحوی تنظیم شود تا محصول را از تمام جهات و گوشه هایی که امکان در معرض قرار

گرفتن محصول وجود دارد محافظت کند.

2. قسمت میانی رول باید برای عبور لوله (Core Pipe) آزاد باشد. در قرار دادن پوشش باید به این نکته توجه شود.

3. برچسب گذاری صحیح باید بر طبق ASTM D-4873 صورت گیرد که شامل نام و آدرس تولید کننده، علامت

تجاری، تاریخ تولید، محل تولید، نوع، شماره رول، شماره سریال، ابعاد و وزن می باشد. [9]

4- مشخصات و خصوصیات

یک معیار مهم برای انتخاب یک سیستم آب بند مناسب، نفوذ پذیری هیدرولیکی است. مجری طرح باید قبل از انتخاب سیستم اطمینان حاصل کند که نفوذ پذیری هیدرولیکی و سایر مشخصات برای مورد استفاده مناسب می باشند.

[1]

4-1- نفوذ پذیری هیدرولیکی

تکنولوژی GCL می تواند سیستم مانعی با نفوذ پذیری هیدرولیکی کم ایجاد کند. نفوذ پذیری هیدرولیکی نرخ عبور مایع از داخل مصالح می باشد. نتایج آزمایشات نشان می دهد که نفوذ پذیری هیدرولیکی رس بنتونیت خشک در حالت محدود نشده $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ می باشد. در حالت اشباع نفوذ پذیری هیدرولیکی رس بنتونیت به مقدار $1 \times 10^{-9} \text{ cm/s}$ نزول می کند. [1]

کیفیت رس مورد استفاده بر روی مشخصات هیدرولیکی GCL تأثیر می گذارد. سدیم بنتونیت یک ترکیب رس سیلیکاتی است که از خاکستر آتش فشانی حاصل می شود. سدیم بنتونیت به رس بنتونیت خواص مورد نظر را می دهد. ممکن است برای بهبود خواص هیدرولیکی رس افزودنی هایی به آن افزوده شود. [1]

عملکرد هیدرولیکی همچنین به مقدار رس موجود در سطح و یکنواختی آن بستگی دارد. هر چه میزان رس در سطح بیشتر باشد نفوذ پذیری هیدرولیکی کمتر خواهد بود. اگر چه میزان رس در واحد سطح برای GCL های گوناگون متفاوت است، معمولاً تولید کنندگان از یک پوند بر فوت مربع استفاده می کنند. در نتیجه نفوذ پذیری هیدرولیکی اکثر GCL ها بین $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ تا کمتر از $1 \times 10^{-12} \text{ cm/s}$ متغیر است. این نفوذ پذیری مربوط به محصول GCL در مرحله آخر ساخت است که به نوع و مقدار رس بنتونیت، مقدار افزودنی ها، نوع مصالح ژئوسنتتیک و نحوه اتصال رس به ژئوسنتتیک می باشد. [1]

4-1-1- پارامترهای تأثیر گذار بر نفوذ پذیری هیدرولیکی

با بررسی های انجام شده روی تأثیر فعل و انفعالات شیمیایی بر نفوذ پذیری هیدرولیکی، مشخص شده است که چهار پارامتر مختلف شیمیایی می توانند روی نفوذ پذیری هیدرولیکی تأثیر گذار باشند: [6]

1. ثابت دی الکتریک مایع نفوذ کننده؛

2. غلظت نمک موجود در مایع نفوذ کننده؛

3. جا به جایی بین کاتیون های بنتونیت و مایع نفوذ کننده؛ و

4. PH مایع نفوذ کننده. [6]

از جمله سایر عوامل موثر بر نفوذ پذیری هیدرولیکی تنش موثر می باشد. [15]

4-1-1-1- ثابت دی الکتریک مایع نفوذ کننده

تمامی مایعات با پایه آب دارای ثابت دی الکتریک برابر با تقریباً 80 می باشند، اما مایعات ارگانیک مانند بنزین ثابت دی الکتریک بسیار پایین تری دارند (معمولاً بین 1 تا 5). هر چه ثابت دی الکتریک کمتر باشد، مکانیزم تورم پذیری بنتونیت کمتر فعال می شود. بنتونیت در تماس با آب متورم و نفوذ ناپذیر می شود اما در تماس با بنزین، گازوئیل و یا محلول هایی از جمله استون و تری کلرو اتیلن که ثابت دی الکتریک کمی دارند، بنتونیت به اندازه کافی متورم نمی شود. معمولاً تمامی مایعات ارگانیک ثابت دی الکتریک بسیار کمتری نسبت به آب دارند، بنابراین می توانند باعث افزایش زیاد در نفوذ پذیری هیدرولیکی بنتونیت شوند. مواد ارگانیک رقیق که به میزان فقط چندین ppm در آب حل شده اند، ثابت دی الکتریک آب را زیاد تغییر نمی دهند و خطری برای نفوذ پذیری هیدرولیکی ایجاد نمی کنند. [14]

4-1-1-2- غلظت نمک موجود در مایع نفوذ کننده

بنتونیت در تماس با آب شیر بیشترین تورم پذیری را از خود نشان داده و کمترین نفوذ پذیری را خواهد داشت. غلظت نمک به میزان ده ها یا حتی صد ها قسمت در میلیون (ppm) زیاد محسوب نمی شود و تأثیر زیادی در نفوذ

پذیری هیدرولیکی ندارد، اما غلظت نمک به میزان هزاران یا ده ها هزار قسمت در میلیون، به میزانی زیاد است که می تواند تأثیری منفی روی نفوذ پذیری هیدرولیکی داشته باشد. برای مثال، رس بنتونیت در تماس با آب دریا زیاد تورم پیدا نمی کند. اگر از GCL که دارای آب دریا است استفاده شود، به علت غلظت بالای آب دریا، نفوذ پذیری هیدرولیکی GCL نسبتاً بالا خواهد بود. غلظت نمک آب دریا تقریباً 30000 قسمت در میلیون است. معمولاً غلظت نمک به مقدار ده ها یا حتی شاید صدها قسمت در میلیون (به نوع نمک نیز بستگی دارد)، آن قدر زیاد نیست که برای استفاده از GCL مشکلی ایجاد کند. زمانی که غلظت نمک به بیشتر از هزاران قسمت در میلیون برسد می تواند موجب نگرانی باشد. می توان 500 قسمت در میلیون را حد بحرانی در نظر گرفت. [14]

4-1-1-4 PH مایع نفوذ کننده

در مواقعی که مایع نفوذ کننده بسیار اسیدی و یا بسیار بازی باشد (PH کمتر از 2 یا بیشتر از 13)، مایع می تواند به قدری مخرب باشد که مقداری از رس بنتونیت را در خود حل کند. اگر رس حل شود می تواند باعث خوردگی در میان رس شده و نفوذ پذیری هیدرولیکی را به شدت افزایش دهد. در عین حال مایعاتی با این توانایی به ندرت یافت می شوند. معمولاً محدوده PH خارج از محدوده خطرناک است. همچنین هر چقدر مقادیر مواد بیشتری از شیرابه در مایع نفوذ کننده حل شوند، تأثیر PH کمتر می شود؛ چرا که یون های حل شده بسیار مهم تر از خود PH هستند. [14]

4-1-1-4 کاتیون ها

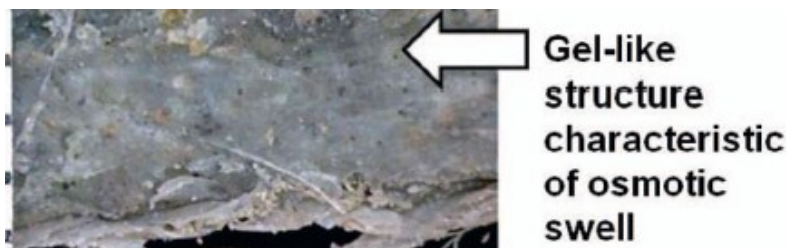
شاید مهم ترین عامل تأثیر گذار روی نفوذ پذیری هیدرولیکی GCL ها که در عمل هم زیاد مشاهده می شود، نوع کاتیون موجود در رس بنتونیت و ظرفیت کاتیون موجود در مایع نفوذ کننده می باشد. کاتیون ها یون هایی با ظرفیت مثبت می باشند و آن دسته از کاتیون هایی که به وفور و غلظت بالا در زمین پیدا می شوند به صورت نمک هستند مانند کلرید سدیم. کاتیون های اصلی که معمولاً در GCL ها یافت می شوند سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آلومینیوم هستند. هر چه ظرفیت کاتیون بنتونیت بیشتر باشد نفوذ پذیری آب در آن هم بیشتر است. بنابراین بهترین انواع کاتیون که می تواند در آب موجود باشد سدیم و پتاسیم با ظرفیت +1 هستند. کاتیون های چند ظرفیتی با ظرفیت +2 و بیشتر مناسب نیستند. کاتیون های چند ظرفیتی زیادی در خاک یافت می شوند که از میان آنها کلسیم بیشترین اثر تخریبی را

روی خاصیت تورم پذیری رس دارد. دلیل استفاده از سدیم بنتونیت در GCL ها هم این است که با وجود سدیم در رس بنتونیت، نفوذ پذیری هیدرولیکی بسیار کم خواهد بود. اگر سدیم با کلسیم جا به جا شود، نفوذ پذیری هیدرولیکی می تواند به میزان یک تا دو برابر افزایش یابد. از این رو اگر GCL در معرض مایعی با غلظت کلسیم بالا قرار گیرد، نفوذ پذیری هیدرولیکی اش به مقدار زیادی افزایش خواهد یافت. [12]

در اکثر شرایط آب و هوایی، کاتیون هایی با ظرفیت 2+ جایگزین سدیم با ظرفیت 1+ می شوند. در شرایطی که GCL روی سابگرید با درصد رطوبت بالا نصب می شود به نظر می رسد که این جا به جایی به طور کامل و سریع صورت می گیرد. مشاهده می شود که GCL هایی که تا درصد رطوبتی بالای 50 درصد آب دهی می شوند بدون توجه به جایگزینی سدیم با کلسیم، نفوذ پذیری کمی از خود نشان می دهند. GCL هایی که به رطوبت بالای 50 درصد رسیده اند معمولاً در تماس با خاک سابگریدی بوده اند که درصد رطوبتی بالای 10 درصد داشته اند. بنابراین توصیه می شود که خاک سابگرید با درصد رطوبتی بیشتر از درصد رطوبت آب بهینه (OWC) باشند تا موجب آبدهی سریع به GCL شده و از تورم پذیری رس بنتونیت بدون توجه به جا به جایی کاتیون ها اطمینان حاصل شود. GCL های نصب شده تحت این شرایط احتمالاً دارای نفوذ پذیری هیدرولیکی کمتر از $5 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ خواهند بود. [7]

مشکلات ناشی از جا به جایی سدیم با کلسیم شامل ترک خوردگی، عدم تورم پذیری مناسب یا حتی ایجاد مسیری

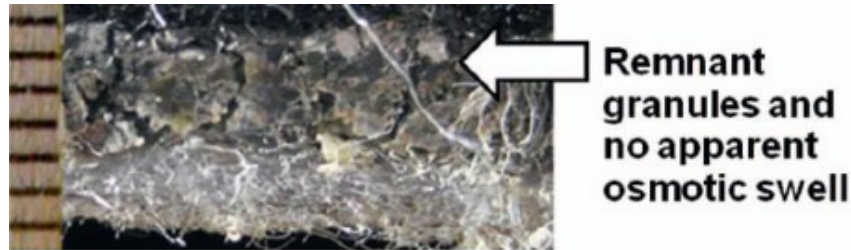
ترجیحی در میان رس بنتونیت GCL می باشد. [7]



[شکل 7: ساختار ژل مانند رسی]

شکل 7 تورم مناسب خاک رس را نشان می دهد که باعث ایجاد ساختار ژل مانند با نفوذ پذیری هیدرولیکی کم

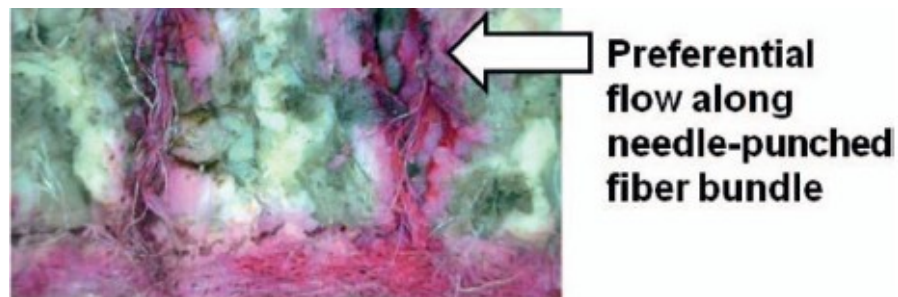
شده است. [7]



[شکل 8: عدم تشکیل ساختار ژل مانند]

شکل 8 ترک خوردگی و ایجاد نشدن ساختار ژل مانند در رس به علت جا به جایی کاتیون سدیم با کلسیم را نشان

می دهد. [7]



[شکل 9: ایجاد مسیر ترجیحی در خاک رس]

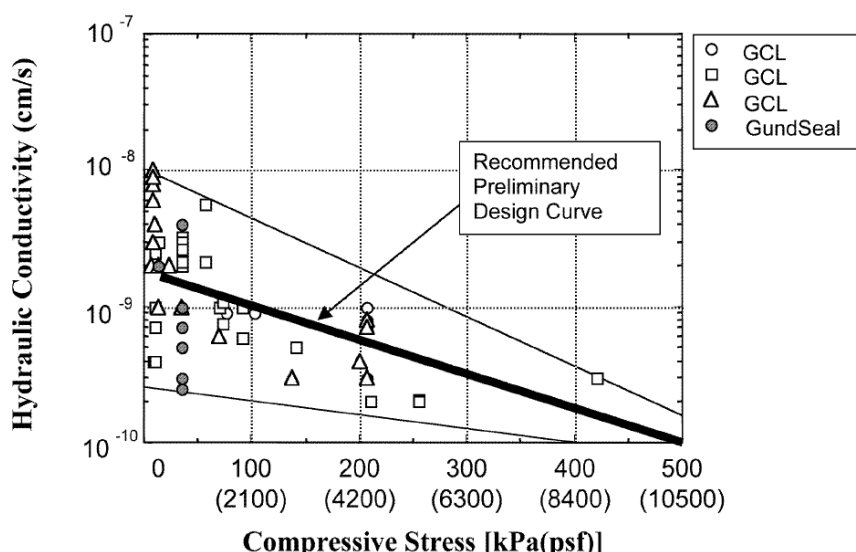
شکل 9 مسیر ترجیحی ایجاد شده در خاک رس را نشان می دهد. این حالت زمانی اتفاق می افتد که آب حاوی

کاتیون با ظرفیت بیش از 1+ از خاک سابگرید به داخل GCL نفوذ کرده و در حالی که آب از اطراف فیبرهای مدل منگنه

زده شده (Needle Punched) بالا می رود، جا به جایی کاتیون ها رخ می دهد. [7]

4-1-1-5- تأثیر تنش مؤثر

تنش مؤثر عامل مهمی است که رفتار خاک رس را کنترل می کند. تنش مؤثر نفوذ پذیری هیدرولیکی را کاهش داده و باعث کم شدن حساسیت بنتونیت به تغییرات شیمیایی می شود. افزایش تنش مؤثر در GCL باعث کاهش نسبت خلأ یا تخلخل در بین لایه های بنتونیت شده که باعث کم شدن نفوذ پذیری هیدرولیکی می شود. این کاهش نفوذ پذیری هیدرولیکی به علت افزایش تنش مؤثر، از مشخصات اولیه تمامی خاک و مصالح متخلخل است. [15]



شکل 10: نفوذ پذیری هیدرولیکی به صورت تابعی از تنش مؤثر

شکل 10 رابطه بین نفوذ پذیری هیدرولیکی و تنش مؤثر را برای تعدادی از انواع GCL نشان می دهد. اختلاف بین نفوذ پذیری هیدرولیکی GCL های مختلف ناچیز است مگر زمانی که تنش مؤثر بسیار کم باشد. در این حالت پاسخ به تنش مؤثر برای GCL هایی که به صورت داخلی مسلح شده اند (Stichbonded and Needle punched) و GCL هایی که در داخل مسلح نشده اند متفاوت است. GCL هایی که به صورت داخلی مسلح سازی شده اند، با حداقل محدود شدگی، نفوذ پذیری هیدرولیکی کمتری از خود نشان می دهند. این به خاطر این است که درحالی که رس بنتونیت متورم می شود، فیبرهای موجود صفحات ژئوتکستایل را به هم نگه می دارند و باعث ایجاد تنش مؤثر در بنتونیت می شوند. مشاهده می شود که در تنش های بالا، اختلاف بین نفوذ پذیری هیدرولیکی GCL های مختلف ناچیز است. [15]

آزمایش هایی بر روی شیرابه ناشی از زباله های جامد شهری (MSW)، شیرابه خاکستر زباله های جامد شهری

و شیرابه ناشی از خمیر و کاغذ در تنش های مؤثر گوناگون صورت گرفته که نتایج نشان می دهد: [6]

- نفوذ پذیری هیدرولیکی GCL تابعی از تنش مؤثر است. این رابطه به نوع مایع نفوذ کننده هم بستگی دارد.
- نفوذ پذیری هیدرولیکی ناشی از شیرابه خمیر و کاغذ در محدوده تنش مؤثر بین 165 KPa تا 475 KPa با نفوذ پذیری هیدرولیکی ناشی از آب شیر برابر است.
- شیرابه ناشی از زباله های جامد شهری (MSW) در تنش مؤثری برابر با 240 KPa نفوذ پذیری هیدرولیکی سه برابر بیشتر از آب شیر به دست می دهد اما در تنش های بیش از 475 KPa نفوذ پذیری هیدرولیکی ناشی از زباله های جامد شهری و آب شیر تقریباً با هم برابر است.
- شیرابه های به دست آمده از مدفن خاکستر که از سوزاندن زباله های جامد شهری به دست آمده بود، در تنش مؤثری برابر با 200 KPa باعث ایجاد نفوذ پذیری هیدرولیکی شد که 5000 برابر از نفوذ پذیری هیدرولیکی ناشی از آب شیر بیشتر می باشد، اما در تنش های مؤثر بیش از 500 KPa نفوذ پذیری هیدرولیکی ناشی از خاکستر زباله های جامد شهری و آب تقریباً برابر است.
- به نظر می رسد که نفوذ پذیری هیدرولیکی GCL هایی با سدیم ینتونیت در تنش های مؤثر بیش از 400KPa تا 500KPa مستقل از ساختار شیمیایی مایع نفوذ کننده می باشد. [6]

با توجه به تأثیر تنش مؤثر در نفوذ پذیری هیدرولیکی GCL ها، مقایسه محصولات مختلف باید در تنش مؤثری

یکسان صورت گیرد. [1]

4-1-2- سایر مطالعات

شیرابه ناشی از مدفن ها می تواند باعث تغییر در نفوذ پذیری هیدرولیکی GCL ها شود (Ruhl & Daniel, 1997).

آزمایشی روی پنج محصول مختلف GCL با مایعات نفوذ کننده مختلف، تحت سه حالت مختلف آب دهی به GCL ها و

تنش محدود کننده 35 KPa انجام دادند. با این که GCL ها در معرض شیرابه های شبیه سازی شده زباله های خطرناک،

شیرابه واقعی ناشی از زباله های جامد شهری و شیرابه ناشی از خاکستر قرار گرفتند، نفوذ پذیری هیدرولیکی پایین خود که عموماً کمتر از $2 \times 10^{-11} \text{ m/s}$ بود را حفظ کردند. نفوذ پذیری هیدرولیکی GCL ها زمانی که از شیرابه واقعی استفاده شد نسبت به زمانی که از آب شیر استفاده شد دچار تغییر زیادی نشد. [6]

رو (1998) اظهار کرد که شیرابه واقعی استفاده شده توسط رول و دنیل دارای غلظت کاتیون پایینی بوده است و نتایج آزمایش های خود توسط یک شیرابه ترکیبی که به نحوی مدل سازی شده بود تا ساختاری تقریباً مشابه با شیرابه ناشی از مدفن Keele Valley داشته باشد را ارائه کرد. نتایج این آزمایشات نشان می داد که تحت یک تنش نسبتاً پایین به میزان 36 KPa، نفوذ پذیری هیدرولیکی GCL ناشی از شیرابه ترکیبی، 6 برابر از نفوذ پذیری هیدرولیکی ناشی از آب بیشتر است. [13]

باید مد نظر داشت که اگر چه شیرابه واقعی ممکن است دارای کلسیم و سایر مواد شیمیایی باشد که می تواند موجب کاهش نفوذ پذیری هیدرولیکی شود، در عین حال دارای مواد جامد معلق (شامل مواد بیولوژیکی فعال) می باشد که می تواند خلل و فرج بنتونیت را مسدود کرده و نفوذ پذیری هیدرولیکی را کاهش دهد. خصوصیات و تأثیرات شیرابه های واقعی هر کدام با یکدیگر می تواند خیلی متفاوت باشد. [6]

3-1-4- مقایسه ای بین جریان شیرابه از داخل CCL و GCL

با استفاده از محاسبات عددی می توان نشان داد که در صورتی که ضخامت لایه CCL 0/6 متر بوده و نفوذ پذیری هیدرولیکی آن $1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ باشد، برای هد شیرابه 1 تا 7 متر، ژئوممبرین-GCL بهتر از ژئوممبرین-CCL می تواند جریان انتقالی شیرابه را کنترل کند. باید توجه کرد که این محاسبات بدون در نظر گرفتن مکانیزم پراکنش و تفرق مولکولی صورت گرفته است. [4]

یک نتیجه مهم که از محاسبات عددی حاصل می شود این است که از نظر کنترل جریان انتقالی شیرابه، قرار دادن GCL روی یک لایه مصالح با نفوذ پذیری هیدرولیکی بیشتر از GCL بی تأثیر است حتی اگر این لایه، یک خاک با نفوذ

پذیری کم باشد. اما برای مواردی از جمله مقاومت در برابر پانچ شدن و یا پخش مواد شیمیایی ممکن است به یک لایه خاک زیر GCL احتیاج داشته باشیم. [4]

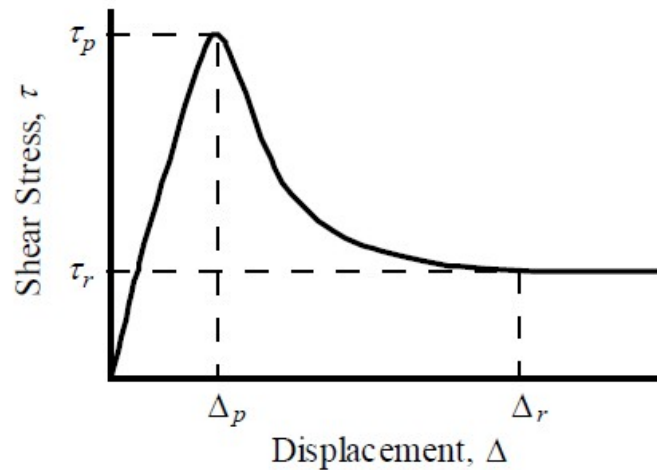
اگر چه قرار دادن GCL روی یک لایه خاک با نفوذ پذیری کم تأثیری روی کنترل جریان انتقالی در مقایسه با استفاده از GCL به صورت تنها ندارد، قرار دادن GCL زیر یک لایه خاک با نفوذ پذیری کم در مقایسه با لایه خاک با نفوذ پذیری کم به صورت تنها، در برابر جریان انتقالی بسیار بهتر عمل می کند. نتیجتاً استفاده از GCL در زیر CCL و بالای یک لایه ژئوممبرین می تواند یک پوشش ترکیبی مناسبی را در اختیار ما بگذارد. [4]

4-2- مقاومت برشی

GCL ها با توجه به ساختارشان می توانند مقاومت برشی قابل توجهی به دست دهند. مقاومت برشی بیشترین تنش است که یک ماده می تواند تحمل کند بدون این که یکپارچگی خود را از دست بدهد. مخصوصاً انواعی از GCL که در آنها از ژئوتکستایل استفاده شده و توسط کوک زدن خاک رس و صفحات ژئوتکستایل به هم متصل شده اند می توانند مقاومت برشی زیادی در لایه رس فراهم کنند. منگنه زدن می تواند حتی ساختاری مستحکم تر و صلب تر را ایجاد کند. علاوه بر این منگنه زدن به استفاده از یک صفحه ژئوتکستایل نبافته، در یک طرف احتیاج دارد. این ساختارهای GCL می توانند مقاومت اصطکاکی سطحی قابل توجهی نیز در محل تماس با لایه های اطراف خود فراهم کنند که در شیبها بسیار مهم است. [1]

هر دو روش کوک زدن و منگنه زدن باعث افزایش قیمت محصول GCL می شوند. در این میان برای ساخت مدل منگنه زده شده حتماً به یک صفحه ژئوتکستایل نبافته احتیاج است و چون قیمت ژئوتکستایل نبافته از نوع بافته بیشتر است، قیمت این نوع GCL نیز بیشتر خواهد بود. [1]

مقاومت برشی داخلی GCL ها تحت تأثیر نوع محصول، تنش نرمال و نرخ جا به جایی برشی قرار دارد. مقاومت برشی سطحی به تنش نرمال و نرخ جا به جایی برشی بستگی دارد. [16]



شکل 11: رابطه تنش برشی و جا به جایی برای برش داخلی نمونه اشباع GCL

شکل 11 رابطه بین تنش برشی و جا به جایی برشی را برای یک نمونه GCL اشباع نشان می دهد که تحت یک تنش نرمال مشخص قرار دارد. در ابتدای آزمایش، تنش برشی با شیب زیاد تا یک قله در مقاومت برشی پیش می رود. معمولاً در تنش برشی محل اوج، جا به جایی ایجاد شده کمتر از 50 میلیمتر می باشد. معمولاً مقادیر جا به جایی برای GCL های غیر مسلح کمترین مقدار، برای مدل های منگنه زده شده بیشتر و برای انواع GCL کوک زده شده بیشترین مقدار می باشد. با افزایش جا به جایی، همه GCL ها و اکثر سطوح آنها کاهش مقاومت برشی را تجربه می کنند. این کاهش ادامه می یابد تا این که در مقاومت برشی پسماند این مقاومت برشی با افزایش جا به جایی ثابت می ماند. با توجه به جنس مصالح و تنش نرمال موجود، جا به جایی رخ داده در تنش پسماند می تواند 0.1 تا 0.5 متر و یا حتی بیشتر باشد. [16]

کاهش مقاومت برشی بعد از رسیدن به یک اوج می تواند به خاطر عواملی از جمله تغییر در نحوه قرار گرفتن ذرات رس در سطح گسیختگی، افزایش حجم مصالح در محدوده برشی، از بین رفتن زبری در سطح مصالح ژئوسنتتیک و یا گسیختگی مسلح سازی ها (فیبرهای مدل های کوک و منگنه زده شده) یا ژئوتکستایل های حمایت کننده رخ دهد.

[17]

معمولاً گسیختگی برشی داخلی GCL های منگنه و کوک زده شده در اثر گسیختگی و یا بیرون کشیده شدن فیبرها و کوک‌های آنها از میان ژئوتکستایل های حمایت کننده رخ می دهد. [16]

ژئوسنتتیک ها از جمله ژئوممبرین ها و GCL ها، معمولاً یک سطح لغزش ترجیحی تشکیل می دهند که ممکن است گسیختگی شیب در آن رخ دهد. برای طراحی که از GCL استفاده می کنند، لایه بنتونیت و محل تماس GCL و لایه مجاور آن محل هایی هستند که به عنوان مکان های مستعد برای ایجاد سطح لغزش بحرانی حتماً باید بررسی شوند. [17]

در ارزیابی های مربوط به پایداری، استفاده از پارامترهای مقاومت برشی مناسب که از آزمایش به دست می آید در تقابل با مشخصات پروژه و معیارهای طراحی مناسب، برای عملکرد مناسب و طولانی مدت ضروری است. در این خصوص توصیه های زیر صورت می گیرد: [17]

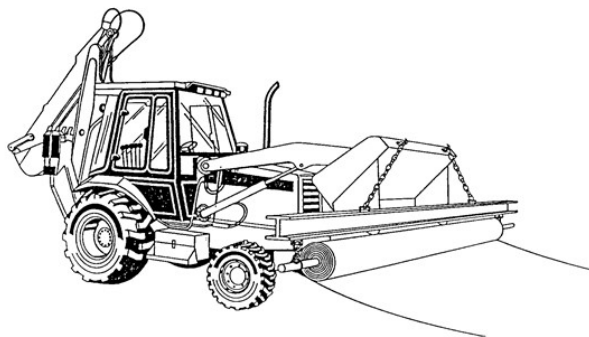
- طراحان و مؤسسات تضمین کیفیت ساخت (CQA) باید آزمایش های مناسب برای تعیین مقاومت برشی داخلی و سطحی GCL ها را تدوین و اجرا کنند تا از اجرا شدن معیارهای طراحی اطمینان حاصل شود.
- باید تلاش شود تا حد ممکن لایه ژئوممبرین یا GCL در بیشترین فاصله از سطح احتمالی گسیختگی قرار گیرد.
- توصیه می شود که طراحان از مقاومت برشی قسمتی استفاده کنند که کمترین مقاومت برشی اوج را دارد و ضریب اطمینان بالای 1.5 در نظر گرفته شود. [17]

5- نصب

5-1- وسایل لازم

وسایل مورد نیاز برای نصب شامل رول GCL به همراه لوله میانی (Core Pipe)، ماشین مناسب برای حمل، زنجیر یا میله پخش کننده، بار (Spreader Bar) که یک میله I شکل است برای بلند کردن رول و یک سری وسایل اضافی از

جمله خاک رس بنتونیت اضافه، تیغ مناسب برای بریدن GCL و پوشش ضد آب مناسب برای محافظت از GCL تا قبل از اتمام اجرا می باشد. [2]



شکل 12: استفاده از میله پخش کننده بار

ممکن است این سؤال پیش بیاید که آیا می توان روی GCL رانندگی کرد؟ پاسخ قطعی به این سؤال وجود ندارد. دستورالعمل ها توصیه می کنند که یکپارچگی ژئوسنتتیک ها باید حفظ شود. به عنوان مثال ژئوسنتتیک ها برای این که بتوان روی آنها رانندگی کرد طراحی نشده اند، اما در عین حال می توان در شرایط کنترل شده بدون وارد کردن آسیب روی آنها رانندگی کرد. تنها وسیله ای که اجازه حرکت روی ژئوسنتتیک ها توسط تولید کنندگان آنها داده شده است ATV ها هستند. وسایل بزرگ تر از جمله لودرها هم اجازه حرکت روی GCL ها را دارند اما فقط در صورتی که GCL از نوع فیبر دار باشد، GCL خشک باشد، سابگرید مناسب باشد و وسیله به آرامی حرکت کند و بچرخد. [3]



شکل 13: قرار دادن ژئوممبرین روی GCL توسط ATV

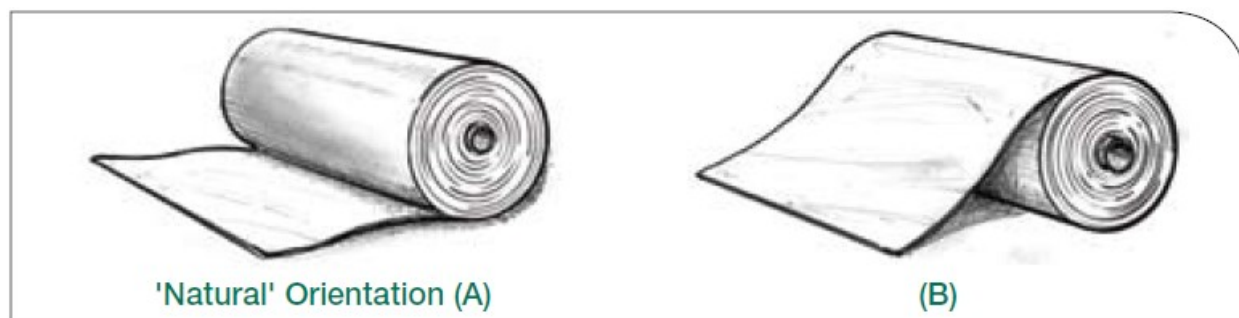
5-2- آماده سازی سابگرید

در مواردی که GCL تنها مانع است، استفاده از سابگرید با خاک دانه‌ای یا شنی به علت وجود تخلخل بالا و احتمال پانچ کردن GCL مناسب نیست. در این حالت هشتاد درصد خاک سابگرید باید ریزتر از الک 60 (0.25 میلیمتر) باشد. در سایر موارد که GCL تنها مانع نیست، استفاده از خاک سابگرید با دانه های کوچک تر از 25 میلیمتر مناسب است. [2]

خاک سابگرید باید نرم و عاری از پوشش گیاهی، سنگ های با گوشه های تیز، تکه چوب، نخاله های ساختمانی و سایر مصالحی که ممکن است به GCL آسیب برساند باشد. سابگرید باید متراکم شده باشد و بعد از پهن کردن GCL گسیختگی و تسلیم شدن در خاک اتفاق نیافتد. GCL را نباید روی زمین خیس که آب جمع شده باشد پهن کرد اما روی زمین زخ زده می توان پهن کرد. سطح سابگرید باید به گونه ای باشد که فرو رفتگی بیش از 25 میلیمتر و برآمدگی بیش از 12 میلیمتر نداشته باشد. [2]

روش مناسب برای آماده سازی سابگرید به این نحو است که تقریباً یک ساعت قبل از پهن کردن GCL به سابگرید آب داد و کمی قبل از پهن کردن GCL توسط یک غلطک نرم زمین را صاف کرد. روند مناسب تضمین کیفیت اجرا (CQA)، با توجه به ASTM D-6102 این است که یک بازرسی چشمی نهایی از محل برای کنترل موارد ذکر شده صورت بگیرد. [3]

با این که خاصیت خود ترمیمی مربوط به لایه رس بنتونیت موجود در GCL می تواند سوراخ شدگی هایی که کمتر از 25 میلیمتر باشند را عموماً ترمیم کند، اما باید توصیه های ASTM را مد نظر قرار داد چرا که عبور از روی GCL و احساس وجود سنگ در زیر پا حس عدم اطمینان به دست می دهد. [3]



[شکل 14: پهن کردن]

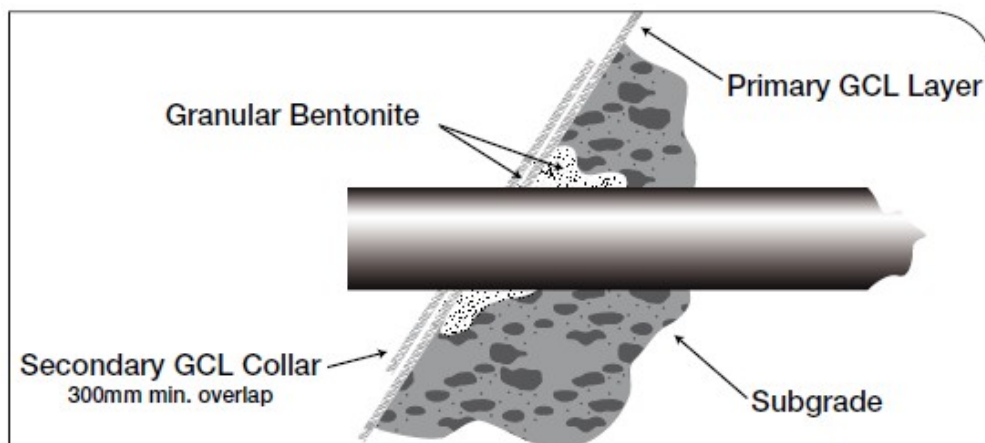
پهن کردن رول GCL معمولاً به صورت نشان داده شده در شکل 14 (A) صورت می گیرد اما گاهی اوقات با توجه به این که احتیاج داشته باشیم کددام سمت GCL به سمت بالا باشد، روش نشان داده شده در شکل 14 (B) نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرد. معمولاً علامتی بر روی رول GCL، جهت باز شدن به صورت مناسب را نشان می دهد. [2]

از آنجا که نمی توان اجازه داد وسایل نقلیه روی GCL آزادانه حرکت کنند، بنابراین روش درست پهن کردن این است که در حالی که ماشین به سمت عقب حرکت می کند، GCL را در جلوی خود پهن کند. در صورتی که ماشین در حین حرکت باعث ناهموار شدن سطح زمین می شود، قبل از ادامه کار آن محل نیز باید هموار شود. [18]

باید تا حد امکان مسافت کشیده شدن GCL تا محل نصب را کاهش داد چرا که سطح سابگیرد و یا حتی ژئوتکستایل های مربوط به رول هایی که قبلاً پهن شده است می تواند به GCL آسیب برساند. [18]

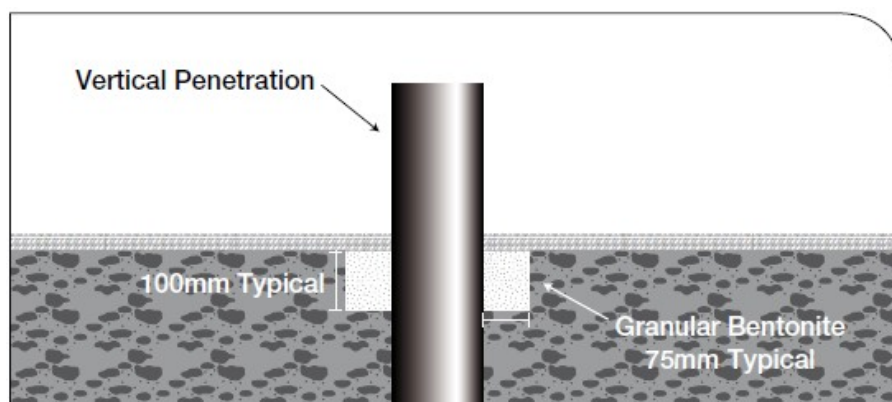
در شیب ها جهت پهن کردن باید از بالای شیب به سمت پایین باشد تا کشش اضافی در GCL تولید نشود و درزهای GCL باید در امتداد شیب قرار گیرند. در شیب هایی بیش از $4H:1V$ باید انتهای رول را تا حداقل یک متر از لبه پایین شیب ادامه داد و در شیب های کمتر از این مقدار تنها در صورتی می توان رول را در شیب قرار داد که GCL در کشش قرار نگیرد. [2]

5-4- مهر و موم کردن اطراف نفوذی ها



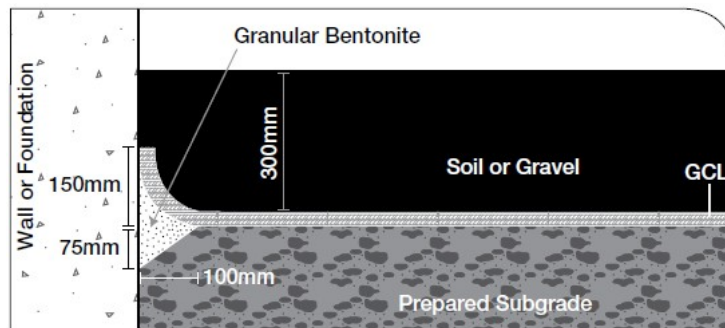
[شکل 15: نفوذی افقی]

زمانی که نفوذی افقی قرار است که از GCL عبور کند، ابتدا اطراف نفوذی در داخل سابگرید را سوراخ می کنیم، سپس این سوراخ را با خاک بنتونیت پر می کنیم. در استفاده از این خاک بنتونیت باید دست و دلبازی کرد تا مهر و موم شدن به خوبی صورت گیرد. در مرحله بعد یک لایه GCL دیگر را که در محل عبور نفوذی به صورت الگوی ستاره ای آن را بریده ایم روی صفحه اولیه GCL قرار می دهیم. بین این صفحه دوم GCL و صفحه اولیه را با خاک بنتونیت پر می کنیم. این صفحه دوم باید تا حداقل فاصله 300 میلیمتر از اطراف نفوذی را بپوشاند. [2]



[شکل 16: نفوذی قائم]

روند مهر و موم کردن نفوذی قائم همانند نفوذی افقی می باشد. اطراف نفوذی را با خاک بنتونیت اضافه پر می کنیم. لایه دوم GCL را با حداقل طول همپوشانی مناسب روی لایه اولیه قرار داده و بین این دو را با خاک اضافه بنتونیت پر می کنیم. [2]

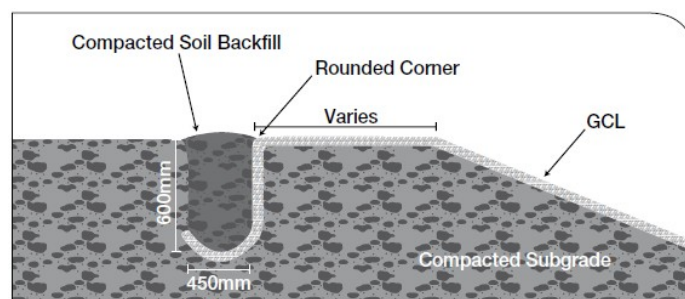


[شکل 17: مهر و موم اطراف دیوار نفوذ کرده در سابگرید]

در صورت برخورد GCL به یک سازه یا دیوار فرو رفته در سابگرید، در محل برخورد خاک سابگرید را سوراخ کرده و با خاک بنتونیت پر می کنیم. GCL باید تا ارتفاع مناسب به سازه یا دیوار تکیه داده شود. [2]

5-5- تکیه گاه

در صورتی که با توجه به طرح نیاز به تکیه گاه داشته باشیم، می توان از دو راه آن را تأمین کرد: یکی استفاده از ترانشه و دیگری ادامه دادن رول GCL تا طول مناسب. [18]



[شکل 18: استفاده از ترانشه]

در استفاده از ترانشه، باید به موارد زیر توجه کرد:

- لبه جلویی ترانشه باید حتماً گرد شود تا تنش اضافی در GCL تولید نکند.
- GCL باید تمام کف ترانشه را بپوشاند، اما نباید از دیواره عقبی آن بالا رود.
- ترانشه را باید از خاک پر کرده و آن را فشرده کرد تا در مقابل بیرون کشیده شدن GCL مقاومت کند.
- شکل و سایز مناسب برای ترانشه همانند روند مناسب برای پر کردن مجدد ترانشه، باید هر دو با توجه به مشخصات پروژه صورت گیرد. ابعاد معمول برای ترانشه در شکل 18 نشان داده شده است.

[18]

راه حل دیگر برای ایجاد تکیه گاه این است که رول GCL را از لبه شیب تا طول مناسبی که از محاسبات به دست خواهد آمد ادامه داده و روی آن را با خاک پوشش بپوشانیم. [18]

5-6- درزبندی

درزبندی GCL از طریق همپوشانی کناره های رول صورت می گیرد. طول مناسب برای همپوشانی بین 150 میلیمتر تا 300 میلیمتر می باشد. این طول برای انواع مختلف GCL و با توجه به شرایط محیط (مثلاً وجود هد آب) متفاوت است. شرکت های سازنده محل مناسب برای همپوشانی را برای راحتی کار با خطوطی مشخص می کنند. [9]



[شکل 19: خطوط درزبندی]

برای درزبندی مناسب مسائلی مطرح است از جمله این که آیا باید از خاک اضافه بنتونیت در محل همپوشانی استفاده کرد یا نه و این که چطور باید اثر انقباض GCL را در فاصله مناسب همپوشانی لحاظ کرد.

5-6-1- استفاده از بنتونیت اضافه در درزبندی

گرگ ریچاردسون (2002) اظهار می کند که این مسأله هنوز حل نشده است و نظر خود را به این صورت بیان می کند:

- GCL ساخته شده توسط ژئوممبرین: به خاک اضافه بنتونیت احتیاجی نیست چرا که در این محصول رس بنتونیت از یک طرف در معرض قرار دارد.
- GCL های حمایت شده توسط ژئوتکستایل:
 - صفحات ژئوتکستایل بافته و بافته: به بنتونیت اضافه نیاز نیست.
 - صفحات ژئوتکستایل بافته و نبافته: به تحقیقات بیشتری نیاز است. در صورت شک پیدا کردن از خاک اضافه استفاده شود چرا که هزینه و کار اضافه ناشی از آن بسیار کم است.
 - صفحات ژئوتکستایل نبافته و نبافته: به بنتونیت اضافه نیاز است.

[3]

5-6-2- اثر انقباض

ریچارد تیل (2006) اظهار می کند در جواب این سؤال که به چه مقدار هم پوشانی نیاز است، هنوز نمی توان جواب قطعی داد اما موارد زیر در جواب این سؤال تأثیر می گذارند:

- میزان انقباض به مدت زمانی بستگی دارد که GCL بدون وجود خاک پوشش در معرض قرار دارد. فرض بر این است که انقباض تنها زمانی اتفاق می افتد که خاک پوشش حداقل به میزان 300 میلیمتر اجرا نشده است.
- میزان انقباض به رطوبت خاک سابگرید و نور مستقیم خورشید بستگی دارد.

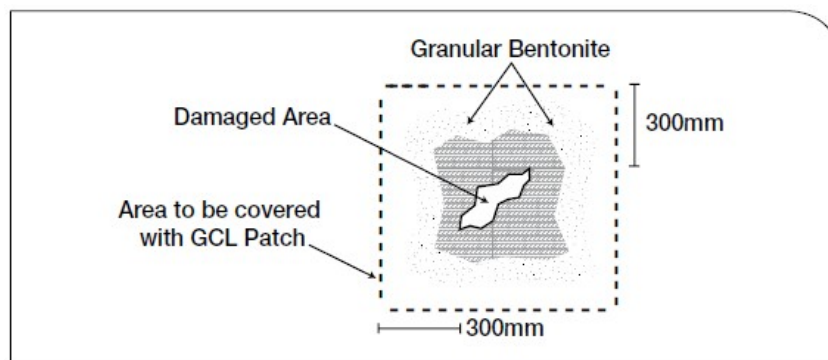
- میزان انقباض به درجه شیب بستگی دارد.
- انقباض رخ داده برای محصولات مختلف، متفاوت است. محصولات GCL که دارای دو صفحه ژئوتکستایل نبافته بوده و فاقد ژئوتکستایل بافته می باشند، نسبت به انقباض حساسیت بیشتری از خود نشان می دهند.

[8]



[شکل 20: اثر انقباض]

5-7- تعمیر آسیب دیدگی ها



[شکل 21: تعمیر آسیب دیدگی]

در صورتی که GCL در حین نصب دچار آسیب دیدگی همانند سوراخ شدن، پاره شدن و غیره شده باشد ممکن است بتوان با قرار دادن یک لایه دوم GCL آن را تعمیر کرد. ابعاد این پچ باید به گونه ای باشد که از اطراف محل آسیب

دیدگی با لایه اول GCL، دارای حداقل طول همپوشانی 300 میلیمتر باشد. قبل از قرار دادن پیچ، باید در محل اعمال آن خاک اضافه بنتونیت ریخته شود. برای جلوگیری از جا به جا شدن این پیچ در حین قرار دادن خاک پوشش، ممکن است لازم باشد که از چسب برای محکم کردن آن استفاده کنیم. [2]

5-8- خاک پوشش

تمامی GCL ها باید با خاک پوشانده شوند تا از تورم آزادانه رس جلوگیری شده و خاک رس بنتونیت خواص هیدرولیکی خود را حفظ کند. در صورتی که خاک پوشش از مصالح دانه ای تشکیل شده است، باید عاری از مواد نوک تیز که امکان آسیب زدن به GCL را دارند نداشته باشند. خاک پوشش باید دارای حداقل ضخامت 300 میلیمتر باشد و به صورت زمان بندی شده روی GCL پخش شود. [2]



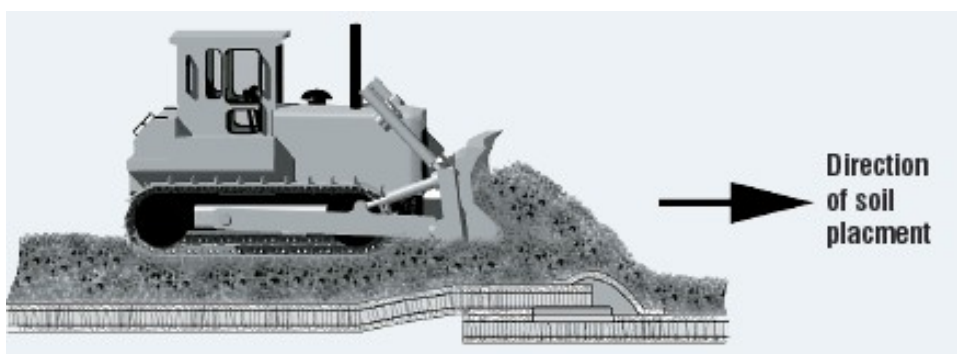
[شکل 22: قرار دادن خاک پوشش روی GCL]

از دلایل استفاده از خاک پوشش این است که علاوه بر حفاظت از GCL در مقابل عوامل فیزیکی، از هیدراته شدن بنتونیت بدون وجود تنش محدود کننده جلوگیری شود. سه عامل مهم در قرار دادن خاک پوشش باید مد نظر باشد:

- قرار دادن خاک پوشش در زمان بندی مشخص: دلیل آن جلوگیری از هیدراته شدن بنتونیت بدون وجود تنش محدود کننده می باشد. این زمان بندی باید با توجه به رطوبت سابگرید و نوع GCL (مسلح یا غیر مسلح)

صورت گیرد. مثلاً برای درصد رطوبتی از خاک سابگرید که رشد گیاهان در آن مشکل است و GCL غیر مسلح، خاک پوشش باید در حداکثر 5 روز روی GCL قرار گیرد و اگر خاک سابگرید اشباع باشد، تا صبح روز بعد خاک پوشش باید اجرا شود.

- مواظبت در نحوه قرار دادن خاک پوشش: در صورتی می توان انتظار داشت پوشش GCL عملکرد مناسبی داشته باشد که نقص های اجرایی بزرگی رخ ندهد. بنابراین باید از دستورالعمل های نصب از جمله ASTM D-6102 پیروی کرد. مثلاً در پخش کردن خاک پوشش باید به جهت مناسب حرکت ماشین ها به نحوی که به درز آسیب نرسانند توجه شود یا این که خاک پوشش از پایین شیب به سمت بالای شیب پهن شود، چرا که ریختن خاک از بالا به سمت پایین شیب در GCL کشش اضافی تولید می کند.



[شکل 23: جهت مناسب پهن کردن خاک پوشش توسط ماشین]

- ضخامت مناسب خاک پوشش: در صورت وجود ترافیک بالا در رفت و آمد، ضخامت مناسب چیزی بین 600 تا 900 میلیمتر خواهد بود که به تعداد دفعات رفت و آمد و وزن ماشین های عبوری بستگی دارد.

[3]

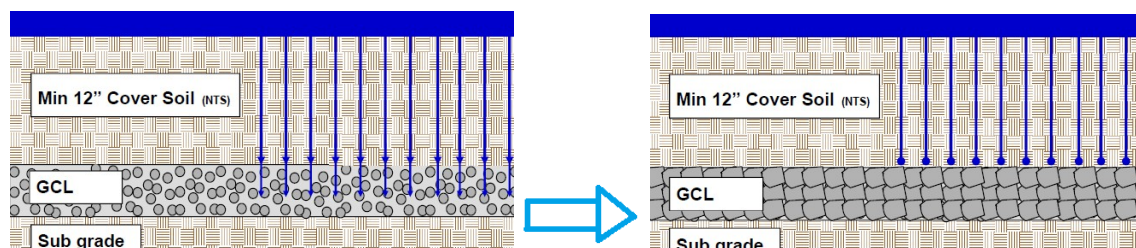
آزمایش هایی بر روی مدل های GCL همراه با چسب و مدل های منگنه زده شده صورت گرفته که نشان می دهد که آسیب های ناشی از نصب با افزایش اندازه ذرات خاک پوشش، کاهش ضخامت خاک پوشش، افزایش وزن بولدوزر، افزایش درصد رطوبت رس بنتونیت و افزایش میزان رفت و آمد بعد از آب دهی افزایش می یابد. نمونه های منگنه زده شده مقاومت بیشتری در برابر آسیب دیدگی از خود نشان دادند. [5]

اندازه گیری جا به جایی بنتونیت نشان داد که تحت شرایط آزمایشی ($H=350\text{ mm}$ ، بولدوزر متوسط و 10 بار رفت و آمد بعد از آب دهی)، به غیر از نمونه های همراه با چسب، در بقیه نمونه ها (Needle Punched) کاهش در بنتونیت موجود در واحد سطح ناچیز بوده است. دلیل آن هم مسلح بودن این نمونه ها است که درصد رطوبت را کاهش داده و باعث افزایش مقاومت در بنتونیت شده است. [5]

در هیچ کدام از نصب هایی که طبق ASTM D-6102 و دستورالعمل های تولید کنندگان صورت گرفت، گسیختگی مشاهده نشد. [5]

5-9- آب دهی

آب دهی به GCL معمولاً از طریق آب باران و یا رطوبت موجود در خاک پوشش تأمین می شود. در صورتی که ماده ای که می خواهیم از آن نگهداری کنیم، غیر محلول در آب باشد ممکن است نیاز به پیش آب دهی داشته باشیم که این پیش آب دهی می تواند به صورت غرقابی و یا توسط آب پاشی باشد که روی خاک پوشش اعمال شود. [2]



[شکل 24: آب دهی به GCL و عملکرد خاک رس]

آزمایشات نشان نشان می دهد که درصد رطوبت خاک سابگرد هم در افزایش درصد رطوبت اولیه خاک رس و تورم آن مؤثر است. مثلاً خاک سابگرد با درصد رطوبت 4 تا 5 درصد می تواند درصد رطوبت اولیه رس بنتونیت را در GCL به تقریباً 20 درصد برساند و درصد رطوبت خاک سابگرد به میزان 20 درصد می تواند درصد رطوبت اولیه خاک رس را به 80 تا 90 درصد برساند. [19]

6- آیا GCL جواب گوی انتظارات بوده است؟

در بحث عملکرد GCL ها یا حتی مصالح دیگر ژئوسنتتیکي در صورت عدم وقوع گسیختگی، توجه کمی به سیستم شده است. این همان جایی است که باید به آن توجه کرد یعنی ما چه کاری را توانسته ایم به درستی انجام دهیم. البته این کار سختی است که تعیین کنیم در چه کاری موفق بوده ایم، چرا که در بسیاری موارد نمی دانیم که یک سیستم در مرز گسیختگی قرار دارد یا این که با ضریب اطمینان بالایی در حال کار است. بسیاری کارهای موفق را مشاهده کرده ایم اما در تمامی موارد نمی دانیم که دلیل آن چیست. یک آنالیز ساده استاتیکی و منطقی نشان می دهد که میزان موفقیت GCL ها با توجه به ده ها میلیون متر مربعی که در جهان نصب شده اند، 99.9 درصد می باشد. [10]

مشاهدات نشان می دهد که در مناطق با آب و هوای قاره ای، تراوش از GCL ها کمتر از 4 میلیمتر در سال بوده و در مناطق با سطح آب زیر زمینی پایین (آب و هوای خشک) این مقدار صفر میلیمتر در سال بوده است. [7]

7- نتیجه گیری

1) یک خصوصیت بسیار مهم GCL ها نفوذپذیری هیدرولیکی می باشد. از عوامل تاثیر گذار روی نفوذپذیری GCL ها کیفیت رس مورد استفاده، یکنواختی پخش و مقدار رس مورد استفاده واحد سطح می باشد. برای اطمینان از عملکرد مناسب در برابر جریان باید تضمین و کنترل کیفیت ساخت صورت گیرد.

2) از مهمترین عوامل شیمیایی تاثیر گذار روی نفوذپذیری هیدرولیکی GCL ها غلظت کاتیون موجود در آب نفوذی می باشد. در اکثر مواقع جابجایی کاتیون ها اتفاق می افتد که باعث افزایش ظرفیت کاتیون خاک رس موجود در GCL ها شده و با کم شدن خاصیت ژل شدن همراه است. برای کاهش این اثر مخرب استفاده از خاک سابگرد با رطوبتی بیش از رطوبت بهینه (OWC) توصیه می شود.

3) با افزایش تنش موثر، نفوذپذیری هیدرولیکی GCL ها کاهش می یابد و در تنش های بالای 500KPa نفوذپذیری مدل های مختلف بدون توجه به ساختار شیمیایی ماده نفوذ کننده تقریباً با هم برابر است.

4) بدون در نظر گرفتن مکانیزم های تفرق مولکولی و پراکنش، برای هد شیرابه یک تا هفت متر، عملکرد GCL در برابر جریان انتقالی از لایه CCL با ضخامت 0.6m و نفوذپذیری $1 \times 10^{-9} m/s$ بهتر است.

5) در بین انواع GCL، مدل های منگنه زده شده به علت ساختار خود بیشترین مقاومت برشی را از خود نشان می دهند.

6) برای GCL هایی که دارای صفحات ژئوتکستایل بافته و نبافته می باشند توصیه می شود از بنتونیت اضافه در درزبندی استفاده شود و اگر دو صفحه نبافته می باشند حتما از بنتونیت اضافه در درزبندی استفاده شود. بنابراین برای مدل های منگنه زده (Needlepunched) شده که در ساخت آن ها حتما از حداقل یک صفحه نبافته استفاده می شود بهتر است در محل درز از خاک اضافه بنتونیت استفاده شود.

7) در مواردی که خاک پوشش با فاصله زمانی روی GCL ریخته می شود، باید اثر انقباض در طول درزبندی لحاظ شود.

8) برای کاهش احتمال آسیب دیدگی بعد از نصب، اجرا باید طبق ASTM D6102 صورت گیرد.

- [1] U.S. EPA. 2001 *Geosynthetic Clay Liners Used in Municipal Solid Waste Landfills*. EPA530-F-97-002 Office of Research and Development, Washington, D.C.
- [2] U.S. Cetco-Viking Containment. Gcl Installation Guideline. 2011
- [3] G. Richardson, R. Thiel, and R. Ericson. 2001 "GCL Design Series_part 3: GCL Design and Durability." *GFR Magazine*. volume20, number7
- [4] Giroud, J.P., Badu-Tweneboah, K. and Soderman, K.L., 1997, "Comparison of Leachate Flow Through Compacted Clay Liners and Geosynthetic Clay Liners in Landfill Liner Systems", *Geosynthetics International*, Vol. 4, Nos. 3-4, pp. 391-431.
- [5] Fox, P.J., Triplett, E.J., Kim, R.H. and Olsta, J.T., 1998, "Field Study of Installation Damage for Geosynthetic Clay Liners", *Geosynthetics International*, Vol. 5, No. 5, pp. 491-520.
- [6] Thiel, R.S., and Criley, K. [DATE], "Hydraulic Conuctivity of a GLC Under Various High Effective Confining Stresses for Three Different Leachates", *Geosynthetics International*, Vol. 4, No. 6, pp. 251-289.
- [7] Joseph Scalia IV and Craig H. Benson "Hydraulic Conductivity of Geosynthetic Clay Liners Exhumed from Landfill Final Covers with Composite Barriers", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Volume 137, Issue 1, pp 1-13, January 2011.
- [8] Thiel, R., Criley, K., and Bryk, J. (2005) "Practical Guidance on Specifying GCL Overlaps to Account for Shrinkage," *Geotechnical Fabrics Report (GFR)*, Vol. 23, No. 8, November 2005, pp. 20-25.
- [9] U.S. EPA. 1992 *QA-QC for Waste Containment Facilities*. EPA480-F-99-001
- [10] Thomas. G, " GEOSYNTHETIC CLAY LINER - FIELD PERFORMANCE " Stam Bentofix Technologies, Inc. Serrot International, Inc., Henderson, NV, USA
- [11] Robert M. Koerner - 2005, *Designing with Geosynthetics* , 5th ed
- [12] Jae-Myung Lee¹ and Charles D. Shackelford "Impact of Bentonite Quality on Hydraulic Conductivity of Geosynthetic Clay Liners", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Issue 6, pp 64-77, february 2005.
- [13] Rowe, R.K., 1998, "Geosynthetics and the Minimization of Contaminant Migration through Barrier Systems Beneath Solid Waste", *Proceedings of the Sixth International Conference on Geosynthetics*, IFAI, Atlanta, GA, March 25-29, pp. 27-102.
- [14] Kolstad, D.C, Bonston, C.H. and Edil, T.B "Hydraulic Conductivity And Swell Of Nonprehydrated GCLs Permeated With Multispecies Inorganic Solutions", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Volume 130, No. 12, December 2004, pp. 1236-1249.

- [15] Robert j.Petrov, R.Kerry Rowe,“Selected Factors Influencing GCL Hydraulic Conductivity”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, pp 683-695,Augoust 1997.
- [16]] P.J.Fox,“ Internal and Interface Shear Strengths of Geosynthetic Clay Liners”, *3rd International Symposium on Geosynthetic Clay Liners*,September 2010.
- [17] G. Richardson, R. Thiel, and R. Ericson. 2002 "GCL Design Series_part 3: GCL Design For Slope Stability." *GFR Magazine. volume20, number 6*
- [18] Elcoseal-Geofabrics. Gcl Installation Guideline. 2011
- [19] R. Anderson a, M.T. Rayhani a, R.K. Rowe b, (2012). Laboratory investigation of GCL hydration from clayey sand subsoil. *Geotextiles and Geomembranes* 31 (2012) 31e38
- [20] Sergio A. Reyes. "Aplications Of Geomembrains And GCLs" ppt file
- [21] ACF. Cetco Lining Technologies. "Geosynthetic Clay Liners." ppt file