

# ساختار کلی دیواره های آب بند بتونیتی

کاوه دهقانیان ، دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و بی، دانشگاه ارومیه  
شماره تماس: ۰۹۱۴۱۰۹۸۱۵۳، پست الکترونیک: kavah\_dehghanian@yahoo.com

## چکیده:

در سالهای اخیر تلاشهای زیادی بر روی موضوعاتی چون مسائل آلودگی و پساب ها و رعایت مسائل زیست محیطی خاک انجام گرفته است . نیاز به پاکسازی زمین ها و تخلیه و دفع زباله ها و نصب تجهیزات مطمئن تر باعث تطابق یافتن معیارهای مهندسی با مسائل زیست محیطی گردیده است که یک روش، استفاده از دیوارهای بتن پلاستیک با نفوذپذیری کم است . استفاده اولیه از دیوارهای بتن پلاستیک در جلوگیری از نشت آب زیرزمینی به داخل حفاری ها انجام شده است . دیوارهای بتونیت پایدار شده به مدت ۵۰ سال در ایالات متحده استفاده می شود و روش های ساخت و ارزیابی مرتبط با چنین پروژه هایی با پیشرفت تکنولوژی به روز می شود . دیوارهای بتن به طور کامل نفوذ ناپذیر نیستند و مقداری نشتی دارند که اجتناب ناپذیر است . در این مقاله انواع مختلف دیوار آب بند بتونیتی معرفی شده و خصوصیات این دیوارها و پارامترهای تاثیر گذار در این دیوارها بحث و بررسی شده اند.

**کلمات کلیدی:** مانع هیدرولیکی ، دیوار آب بند بتونیتی، کنترل آلودگی، کنترل نشت

## ۱- مقدمه:

یکی از مصالح طبیعی که از حدود یک قرن پیش در حرفه مهندسی عمران جای خود را باز کرده است بتونیت می باشد، بتونیت رسی با خواص خمیری و تورم بالا از گروه اسمکتایت ها با کانی اصلی مونت موریلونیت می باشد. بتونیت در اهداف مختلفی مورد استفاده قرار می گیرد بطوری که به آن ها رس هزار کاره لقب نهاده اند. خاصیت نفوذپذیری کم آن از مدتها پیش مد نظر بوده است و از آن بصورت منفرد و ترکیبی با سایر مصالح نظیر خاکستر ، سیمان ، ماسه ، خاک رس به عنوان مانع هیدرولیکی استفاده شده است . مطالعات زیادی در رابطه با خواص هیدرولیکی و ژئوتکنیکی آن صورت گرفته و اکنون به عنوان یک گزینه مطرح در طراحی های مانع هیدرولیکی بشمار می رود . اما از معایب اصلی آن می توان به مقاومت برشی بسیار کم آن اشاره کرد مقاومت برشی پایین آن باعث ناپایداری آن در شیبه ها شده و استفاده آن را محدود می کند . این مشکل باعث گردیده همراه با سایر مصالح بصورت ترکیبی استفاده گردد. در صورت استفاده همراه با سایر مصالح باید درصد مناسب اختلاط به کار برده شود و خواص ژئوتکنیکی آن استخراج گردد [۱]. خصوصاً وقتی در ایزوله کردن زائادات مدفون هسته ای بکار می رود در آوردن این خواص از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد . مقادیر نفوذپذیری کمتر از  $10^{-8}$  cm/s برای دیوار خاک-بتونیت (Soil-Bentonite) خوب طراحی شده تا  $10^{-3}$  cm/s برای دیوارهای بتونیت سیمانی (Cement-Bentonite) متفاوت است. به همین علت و به خاطر اینکه کم هزینه تر است دیوارهای SB بیشتر در زمینهای دفن زباله استفاده می شوند. اغلب دیوارهای بتنی که برای کنترل آلودگی استفاده شده اند ، زمان نصب آنها کوتاه بوده اند و در بیشتر موارد ، شرکتهایی که این دیوارها را نصب می کنند مایل نیستند داده های کنترل شده ای را که برای ارزیابی عملکرد دیوارها در کنترل آلودگی لازم است را تهیه و ارائه نمایند. بهترین نشانگر دیوارهای بتنی برای مقاومت در برابر

فرسایش شیمیایی در طول زمان از مطالعات آزمایشگاهی نتیجه گرفته شده است. این مطالعات برای تعریف بهتر محدوده مقاومت شیمیایی دیواره ها انجام شده ولی نمی تواند جایگزین نیاز به مطالعات محلی و صحرایی و کنترل دراز مدت شوند. مقاومت دیواره های بتن پلاستیک در مقابل نفوذ و تخریب آلاینده ها در حال حاضر مورد تحقیق و بررسی است. بنتونیت در مقابل فرسایش بعضی مواد مقاوم است اما سایر موارد، موجب آب زدایی و انقباض ذرات مونت موریلونیت می شوند. عملکرد دیواره SB می تواند به وسیله تماس مواد شیمیایی در آلاینده ها مختل شوند [۲].

## ۲- خصوصیات دیوارهای آب بند بنتونیتی:

دیوار آب بند بنتونیتی با طراحی و اجرای مناسب دارای خصوصیات زیر است:

۱- نفوذ پذیری کم

۲- مقاومت در مقابل فشار هیدرولیکی و عوامل شیمیایی

۳- مقاومت کم و پلاستیسیته بالا

نفوذپذیری این دیوارها در حدود  $5 \times 10^{-5}$  cm/s می باشد. نوعاً نفوذپذیری در دیوارهای با مصالح درشت دانه از  $10^{-5}$  cm/s و در دیوارها با مصالح ریزدانه تا  $10^{-8}$  cm/s کاهش مییابد (حاوی ۶۰٪ رس). به علت پایین بودن نفوذ پذیری دیوار توانایی جلوگیری از جریان رو به پایین را خواهد داشت. این پدیده باعث بروز گرادیان هیدرولیکی بالا بر دیواره های آب بند می شود. به همین دلیل استفاده از زهکش ها و چاهک های تخلیه معمول می باشد. با وجود این، دیوارهای آب بند باید برای تحمل گرادیان هیدرولیکی خاصی طراحی شوند. همچنین باید مقاومت دیوارهای آب بند در مقابل آلاینده های شیمیایی در دراز مدت مورد ارزیابی قرار گیرد و قبل از ساخت باید آزمایشات گسترده ای به منظور مطالعه اثر شیرابه بر روی مصالح مصرفی در آب بندها صورت گیرد [۳].

عموماً مصالح مصرفی با مقدار رس بالاتر برای استفاده در دیوارهای آب بند قابلیت کنترل آلودگی بیشتری دارند. مقاومت دیوارهای آب بند بنتونیتی اهمیت چندانی در طراحی ندارد. معیار طراحی مقاومت بطور کلی برای این دیوارها متناسب مقاومت این مصالح با مصالح اطراف بوده بطوری که اختلاف چندانی نداشته باشند. اگر مصالح با مقاومت بالاتر مورد نیاز باشد باید از مصالح درشت دانه ترا استفاده شود، که البته حاصل آن افزایش در نفوذپذیری خواهد بود. در هر حال، مقاومت دیوارهای آب بند به جز مواردی که مصالح باید بار ترافیکی را متحمل شوند مورد نظر نیست. رفتار دیوارهای آب بند و پاسخ آنها به فشار جانبی و حرکت نیرومند زمین معیارهای بسیار مهمی در طراحی این دیوارها هستند. اگر دیوار رفتار تردی از خود بروز دهد، ماشین آلات سنگین باعث ایجاد ترکهایی در دیوارها شده، تراوش به آبهای زیرزمینی افزایش می یابد. خوشبختانه، رفتار پلاستیک این دیوارها باعث عملکرد مناسبشان شده و این مصالح بیشتر کرنشهای پلاستیک را به راحتی متحمل میشوند، تا اینکه ترک در آنها ایجاد شود. در مقابل دیوارهای آب بند بنتونیتی سیمانی رفتاری ترد داشته و مقاومت بیشتری از خود بروز میدهند [۳]. عواملی که بر عملکرد دیوارهای آب بند بنتونیتی موثر است عبارتند از:

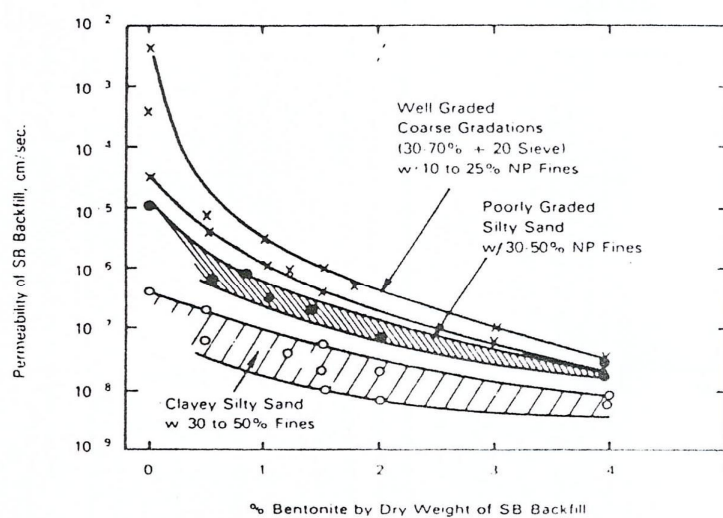
۱- معیارهای طراحی

۲- اختلاط مصالح و خصوصیات آنها

۳- شرایط بعد از ساخت در محل

معیارهای طراحی که بر عملکرد دیوارهای آب بند بنتونیتی موثر است، عرض و عمق دیوار می باشد. انتخاب شکل دیوار بر مبنای محاسبات اولیه و شکل توپوگرافی حائز اهمیت است. برای دستیابی به دیوار آب-

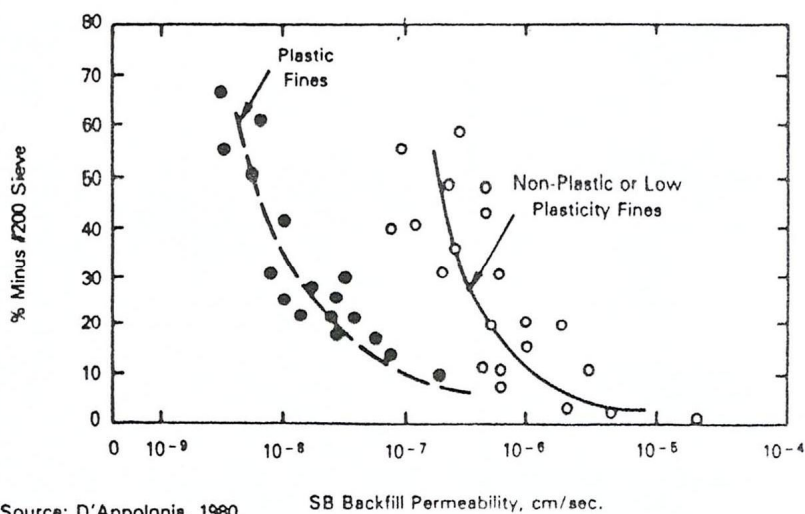
بند با نفوذ پذیری کم حتی الامکان باید مقدار قابل توجهی مصالح ریزدانه (رسها) و مینیمم مقدار مصالح درشت دانه و به مقدار مناسب بنتونیت و آب به کار برده شود. آلودگی در آب و خاک مورد استفاده در ساخت نیز می تواند بر عملکرد دیوار موثر باشد. نیاز اولیه برای مصالح خاکریز طرح اختلاط مناسب آنهاست. بطوریکه برای حصول نفوذپذیری کم بین ۲۰٪~۴۰٪ در مصالح ریزدانه، ترجیحاً با پلاستیسیته بالا (کوچکتر از ۰.۰۷۴mm یا گذرنده از الک شماره ۲۰۰) باید مورد استفاده قرار گیرد. تاثیر قابل ملاحظه این طرح اختلاط و تاثیر مقدار بنتونیت در نفوذپذیری در شکل (۱) مشهود است [۳]. با افزایش مقدار بنتونیت نفوذپذیری کاهش می یابد و مقدار بنتونیت مورد استفاده نباید کمتر از ۱٪ باشد و مصالح با قطر بیشتر از ۶ اینچ برای ساخت این دیوارها توصیه نشده اند.



Source: D'Appolonia, 1980

شکل (۱) : تاثیر بنتونیت بر نفوذپذیری SB [۳]

تحقیقات نشان داده که مصالح با پلاستیسیته بالا بیشتر از دیگر مصالح نفوذ پذیری و در نتیجه انتشار آلودگی را کاهش می دهند. به نظر می رسد علت آن کوچک بودن اندازه مصالح با پلاستیسیته بالا نسبت به سایر مصالح است [23]. (شکل ۲) تاثیر مصالح با پلاستیسیته بالا بر نفوذ پذیری را نشان میدهد.



Source: D'Appolonia, 1980

شکل (۲) : تاثیر پلاستیسیته ذرات بر نفوذپذیری SB [۳]

مصالح ریز دانه بویژه رس ها ، با نفوذ بین حفرات مصالح درشت دانه و با تورم ویسکوزیته بالا و قابلیت تبادل کاتیونی باعث کاهش نفوذ پذیری می شود. این خواص بیشتر توسط کانی منتموریلونیت بروز می کند. بنا بر این مقدار رس مبین بیشترین تاثیر در مقدار نفوذ پذیری است [ ۴ ] .

## ۱-۲- مقدار آب

درجه رطوبت در مصالح خاکریز نیز یکی از عوامل تاثیر گذار بر عملکرد دیوارهای آب بند بنتونیتی است. درصد رطوبت باید به دقت کنترل شود. زیرا با افزایش مقدار آب نفوذ پذیری منتموریلونیت سدیمی به شدت افزایش می یابد. یک حد موثر برای مقدار آب جهت کنترل نفوذ پذیری و در عین حال جهت کنترل اسلامپ باید در نظر گرفته شود به عبارت دیگر درصد رطوبت باید آنقدر کم در نظر گرفته شود که نفوذ پذیری کم بوده و باید مقداری در نظر گرفته شود تا روانی و قابلیت جابجایی در سایت به مخاطره نیفتد. مقدار ایده آل درصد رطوبت برای حصول درجه رطوبت ایده آل بین ۳۵ ~ ۲۵ درصد می باشد [ ۳ ] .

## ۲-۲- آلاینده ها در مصالح خاکریز :

برای ساخت دیوارهای آب بند باید مصالح مصرفی عاری از آلاینده های شیمیایی باشند. این مصالح باید عاری از فضولات حیوانی و ترکیبات آلی گیاهی ، درصد بالای کلسیم شامل ژئوپس ، سنگ گچ و غیره و درصد بالایی از نمک های محلول در آب مانند کلرید سدیم و انیدریت ها باشند [ ۳ ] .

## ۳- دیوارهای آب بند سیمانی بنتونیتی (Cement - Bentonite Slurries)

این گونه موانع هیدرولیکی شامل ۶٪ وزنی بنتونیت، ۱۸٪ سیمان پرتلند معمولی و ۷۵٪ آب می باشند. به علت وجود کلسیم در سیمان خصوصیات بنتونیت سدیمی در این مصالح تغییر می کند. به عنوان مثال ویسکوزیته در طی فرآیند فولوکوله شدن و غلظت جامدات در مقایسه با دوغاب بنتونیت از ۶٪ به ۱۵٪ الی ۳۰٪ در دیوارهای آب بند سیمانی بنتونیتی افزایش می یابد. مقاومت این دیوارها قدری از مقاومت مصالح اطراف بیشتر است و تقریباً با مقاومت رس سفت و متراکم برابری می کند [ ۳ ] . مقاومت ۲۸ روزه این دیوارها بین ۲۰ الی ۴۵ پوند بر اینچ مربع در نظر گرفته می شود. سایتهای با خطر آلاینده گی بالا در مجاورت بار ترافیکی یا تانکهای ذخیره آب ، اساس جاده ای ، مقاومت قابل قبول برای دیوارها پیش بینی می شود. این دیوارها قابلیت تحمل کرنش فشاری را بدون ترک دارند زیرا به اندازه دیوارهای بتنی ترد نیستند ، همچنین قادرند گرادیان هیدرولیکی بالایی را نیز تحمل کنند. بطوریکه یک دیوار با عرض ۳ فوت می تواند به اندازه ۱۰۰ فوت (۳۰ متر) بار هیدرواستاتیکی را به راحتی و بدون ترک تحمل می کند. نفوذ پذیری کم و مقاومت این دیوارها در مقابل حملات شیمیایی با مقدار بنتونیت مصرفی نسبت مستقیم دارد. کیفیت بنتونیت مصرفی مانند کمیت آن می تواند در نیل به هدف اصلی یعنی نفوذ پذیری کم و مقاومت آن ما را یاری می دهد. مقدار سدیم موجود در بنتونیت یکی از معیارهای کیفی این ماده است. کیفیت و مقدار نمکهای غیر محلول در آب مصرفی جهت اختلاط مصالح نیز باید کنترل شود. اگر آب عاری از مواد مضر نباشد ویسکوزیته دوغاب کاهش می یابد و اگر امکان تصفیه آب آلوده نباشد مقدار بنتونیت مصرفی برای حصول نتایج قابل قبول باید حدود ۱۲٪ افزایش پیدا کند. با افزایش سیمان در این دیوارها مقاومت بالا می رود ولی متأسفانه نفوذ پذیری نیز افزایش می یابد. نسبت آب به سیمان نیز بر عملکرد دیوارها موثر است. در نمونه های عملی نسبت آب به سیمان از ۱:۳ تا

۱۱:۱ متغیر است. این مقادیر از مقادیر متشابه در بتن معمولی به مراتب بیشترند و علت آن عدم جدایی مصالح از هم به علت حضور بنتونیت است. بنتونیت با قابلیت جذب آب بالا، آب آزاد موجود در مخلوط را به خوبی جذب می کند [۳].

#### ۴-تأثیر آب زیرزمینی آلوده بر بنتونیت

آب آلوده می تواند هنگام حفاری با گل بنتونیت برخورد کرده یا برای هیدراته کردن بنتونیت بکار برده شود. مشکلات اصلی با فلوکوله شدن بنتونیت و یا با کاهش ظرفیت تورم بنتونیت و ایجاد پتانسیل تخریب، افت کارایی بنتونیت به وجود می آید. این پدیده اغلب به علت غلظت بالای الکترولیتهایی مانند سدیم، کلسیم، و فلزات سنگین به وجود می آید، این یونها باعث تغییرات بسیاری در سیستم بنتونیت - آب شده و فلوکوله شدن و کاهش هیدراتاسیون را در پی دارد. یونهای تک ظرفیتی سدیم به راحتی با یونهای چند ظرفیتی مانند کلسیم یا دیگر فلزات حاوی شیرابه جایگزین می شوند.

جایگزینی یونهای چند ظرفیتی باعث کاهش شعاع هیدراتاسیون نسبت به سدیم شده، بنابراین همچنین بعدلایه دوگانه هم کاهش می یابد و در طی این فرایند قابلیت تورم بنتونیت به مقدار زیادی کاهش می یابد. بنتونیت به طور کامل هیدراته نشده و در محلول سوسپانسیون آب و بنتونیت ته نشین خواهد شد. یونها برای جذب آب با هم رقابت می کنند، جذب آب بالا باعث کاهش ضخامت غشای آب اطراف ذرات رس شده، از قابلیت تورم بنتونیت می کاهد. این مکانیزمها باعث فشرده شدن آب لایه مضاعف محاط بر ذرات رس شده و کاهش اندرکنش دفع کننده بین ذرات رس را در پی دارد و می تواند پتانسیل تجمع ذرات را افزایش داده و در نتیجه فلوکوله شدن ذرات بنتونیت را افزایش دهد [۵].

#### ۴-۱- تأثیر آب زیرزمینی آلوده بر نفوذ پذیری دیوارهای آب بند :

مطالعات اخیر تأثیر ترکیبات آلی و غیر آلی را بر دیوارهای آب بند نشان می دهد. ترکیبات ارگانیک و غیر ارگانیک با مکانیزم های گوناگون باعث انقباض و تورم ذرات بنتونیت می شوند. همه این مکانیزم ها بر مقدار آب لایه های رس تأثیر می گذارد. نمکهای غیر آلی باعث کاهش آب لایه مضاعف و کاهش حجم موثر دانه رسی، و افزایش نفوذپذیری می شود. برای مثال، کاهش بنتونیت هیدراته باعث افزایش فضای حفرات در مصالح شده و در بدترین حالت، کاهش زیاد حجم موثر دانه ها باعث فرسایش فیزیکی خاک در اثر فشار تراوش شده و جوشش (رگاب) باعث تخریب دیوار می شود. احتمال تخریب کلی دیوار بوسیله گنجاندن حداقل ۲۰ درصد ریزدانه های پلاستیک کاهش می یابد. اسیدها و بازهای آلی و غیر آلی می تواند اجزاء خاک و بنتونیت را حل و یا تغییر دهد و این تغییرات باعث افزایش نفوذپذیری شود. آلومینیم و سیلیکاتهای دو ماده اصلی بنتونیت است که به راحتی بوسیله اسیدها و بازهای قوی حل می شوند. معمولاً بازهای قوی افزایش بیشتری در نفوذپذیری را با انحلال سیلیکاتها در پی دارند [۱].

تعیین خصوصیات سایت یکی دیگر از مراحل مطالعات صحرایی است. طراحی خاکریزی مهمترین فاکتور طراحی دیوار آب بند است. طرح اختلاط مصالح خاکریز یک دیوار بخصوص در طی مراحل طراحی دیوار بدست می آید. به همین دلیل لازم است درصد ریزدانه هنگام حفاری تعیین گردد. اگر به مقدار کافی ریزدانه در محل موجود نباشد، باید منابع قرضه جهت تامین آن تعیین شده و تمهیدات لازم جهت حمل و نقل ریزدانه مورد نیاز در نظر گرفته شود. پارامترهای دیگری از خاک که برای طراحی خاکریز دیوار آب بند مورد نیاز است عبارتست از :

- درجه رطوبت خاک
- نفوذ پذیری
- گستره افقی و عمودی سایت
- خواص شیمیایی ( مقدار مواد ارگانیک )
- دانه بندی ( در بالا بحث شد ) [ ۳ ] .

### نتیجه گیری:

دیوارهای آببند ماسه بنتونیتی بصورت گسترده در موانع هیدرولیکی به کار برده می شوند. این ترکیبات با مقاومت نسبتاً بالا و فشردگی پایین دارای نفوذپذیری بسیار کم می باشند. این ترکیبات دارای مقدار کافی ماسه برای برآورده کردن پایداری و مقداری بنتونیت برای بستن ذرات ماسه می باشد. بنتونیت رسی از گروه اسمکتایتها با کانی غالب مونت موریلونیت است که خود در دو نوع سدیمی و کلسیمی یافت می شود. نوع سدیمی آن دارای نفوذپذیری پایین تر و تورم بالاتر می باشد. خواص ماسه و بنتونیت باید قبل از ترکیب کنترل گردد. بنتونیت باید برای تورم، حد روانی، ظرفیت تبادل یونی کنترل گردد. غالباً مقدار بنتونیت ۵ الی ۱۵ درصد مناسب به نظر می رسد. نتایج تحقیقات حاکی از آن است که مقادیر بالاتر از ۱۵ درصد تاثیر زیادی بر روی کاهش نفوذ پذیری ندارد ولی با افزایش بنتونیت مقاومت برشی بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. سدیم موجود در بنتونیت ممکن است در اثر تبادل یونی جای خود را به یونهای دیگر داده و ظرفیت تورم و حد روانی آن کاهش یابد. البته تحقیقات نشان می دهد در صورتی که هیدراتاسیون با محلولهای شیمیایی کمتر خواهد بود. بطور کلی نفوذپذیری SBL را می توان به این عوامل وابسته دانست: نفوذپذیری خمیر بنتونیت موجود در میان حفرات، سطح مقطع عرضی موجود برای جریان که تابعی از یوکی ذرت ماسه خواهد بود، و به هم بستگی ذرات که باعث افزایش طول مسیر جریان می گردد و باعث می شود مسیر پر پیچ و خم تری را در بین ذرات طی کند [ ۴ ] .

### منابع و مراجع:

- [۱] Kaufhold, S., Dohrmann, R., Ufer, K., and Meyer, F.M. (2002), "Comparison of methods for the quantification of montmorillonite in bentonites," *Journal of Applied Clay Science*, Vol.22, P.P.145-151.
- [۲] Britton, J.P. (2001). "Soil- bentonite cutoff walls: hydraulic conductivity and contaminant transport". thesis presented to the University of Virginia, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.
- [۳] Spooner, Ph., Wetzal, R., Spooner, C., Furman, C., Tokarski, E., Hunt, G., Hodge, V., Robinson, T., (1985) "Slurry Trench Construction for Pollution Migration Control", JRB Associates McLean, Virginia.
- [۴] Gleason, H.M, Daniel, E.D. (1997), "Calcium and sodium bentonite for hydraulic containment applications," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.123, No.5, P.P.438-445
- [۵] Meunier, A. (2003), "Clay," Springer, Berlin Heidelberg, New York, P.P. 312-315.