



## اقتصادی نمودن پروژه های عمرانی و زیست محیطی با کاربرد

### مصالح ژئوسنتتیک

مهناز غفاری<sup>1</sup>، فضل اله سلطانی<sup>2</sup>

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان ghafarimahnaz2021@gmail.com

<sup>2</sup> دانشیار دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان soltani.fazlollah@yahoo.com

#### چکیده

در چند دهه اخیر استفاده از مواد و مصالح مصنوعی در پروژه های مهندسی عمران پیشرفت وسیعی داشته است. با تحقیقات و پیشرفت های به دست آمده در زمینه مصالح مصنوعی خاکی در رشته های مختلف مهندسی منجر به افزایش محبوبیت این مصالح مصنوعی، به عنوان مصالحی با ارزش شده است؛ به گونه ای که دیگر استفاده از مصالح طبیعی به تنهایی جوابگو نمی باشد. با ابداع مواد مصنوعی بادوام و قابل اطمینان، مصالحی با عنوان ژئوسنتتیک به دنیا معرفی شد. این مصالح به صورت مصنوعی از مواد لاستیکی و پلاستیکی ساخته می شود و بسته به نوع کاربرد و عملکرد مورد انتظار با اشکال و خواص مختلف تولید می شوند. به علت کاربرد وسیع، سرعت اجرا و قیمت مناسب، تولید و مصرف این مصالح به شدت در حال رشد است. در سالهای اخیر استفاده از ژئوسنتتیک ها بعنوان سیستم پوششی لندفیل رشد چشمگیری داشته و همچنین بعنوان یکی از مصالح پلیمری جدید در دفن علمی پسماند به منظور جلوگیری از ورود آلاینده ها به درون خاک و آب های زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته است. ژئوسنتتیک ها در پروژه های صنعتی، سدسازی، راه سازی، سازه هایی از قبیل دیوار حایل، بهسازی خاک و سایر پروژه ها که با خاک مرتبط هستند کاربرد گسترده ای دارند. در این مقاله ژئوسنتتیکها و کاربردهای آنها معرفی شده اند و نحوه اجرای ژئوسنتتیکهای مرتبط (ژئوتکستایل، ژئوممبرین، GCL) در لندفیل ها توضیح داده شده است.

#### واژه های کلیدی

ژئوسنتتیک، دفن علمی پسماند، ژئوتکستایل، ژئوممبرین، GCL



## 1. مقدمه

در طی نیم قرن اخیر همراه با پیشرفت صنعت نفت و پتروشیمی، حضور مصالح عمرانی حاصل از تولیدات پتروشیمی در پروژه های عمرانی بسیار چشمگیر بوده است. ژئوسنتتیکها از جمله این مصالح می باشند. کلمه ژئوسنتتیک از دو بخش «ژئو» و «سنتتیک» ساخته شده است. از کلمه «ژئو» در مواردی استفاده می شود که مربوط به زمین باشد و قسمت دوم، «سنتتیک» در مورد موادی استفاده می شود که ساخته دست بشر باشند یا به عبارت دیگر موادی که مصنوعی اند و به صورت آزاد در طبیعت یافت نمی شوند. همگام با پیشرفت صنعت پتروشیمی ژئوسنتتیک ها منسوجات و یا پوشش های ساخته شده از الیاف نفتی و پلیمری هستند که برای دسته ای از محصولات به کار می روند که عموماً جهت برطرف سازی مشکلات ژئوتکنیک به کار می روند [1]. ژئوسنتتیک ها به چند گروه اصلی ژئوتکستایل ها، ژئوممبرین ها، ژئوگریدها، ژئوفوم ها، ژئونت ها، ژئوسل ها، ژئوکامپوزیت ها و لاینر مرکب رسی ژئوسنتتیکی (GCL) تقسیم می شوند. خواص فیزیکی و مکانیکی هر کدام از این ژئوسنتتیکها هم چون استحکام، نفوذناپذیری، مقاومت در برابر فرسایش و از همه مهم تر مقاومت کششی فوق العاده بالای آن ها نسبت به وزنشان باعث به وجود آمدن گستره وسیعی از کاربرد این مواد در طرح های عمرانی شده است [2].

## 2. تعریف ژئوسنتتیک

ASTM-D4439 ژئوسنتتیک ها را اینگونه تعریف می کند: "ژئوسنتتیک ها محصولات مسطحی هستند که از مواد پلیمری ساخته شده و بعنوان بخش جدایی ناپذیر در پروژه های مهندسی عمران به همراه خاک، سنگ، زمین یا سایر مصالح مرتبط با مهندسی ژئوتکنیک بکار برده می شوند [1] و [8].

### 1.1. کاربرد ژئوسنتتیک ها

مهم ترین کاربردهای ژئوسنتتیک ها جداسازی، فیلتریزاسیون، زهکشی، تسلیح، فرسایش است. در بعضی از موارد یک محصول دو کاربرد را به صورت هم زمان برآورده می کند [2]. در حال حاضر در بسیاری از کاربردهای عمرانی، ژئوتکنیک، حمل و نقل، محیطی، هیدرولیک و کاربردهای توسعه ای خصوصی مانند جاده ها، فرودگاه ها، خطوط راه آهن، سد های خاکی، دیوار حائل، استخرهای ذخیره آب، سدها، کانال ها، کنترل فرسایش، کنترل رسوب، بستر لندفیل ها، پوشش لندفیل ها، معادن، پرورش آبزیان و کشاورزی استفاده می شوند. مزایای این مصالح به صرفه، کارآمد و سبک بودن آن هاست. به علت کاربرد وسیع، سرعت اجرا و قیمت مناسب، تولید و مصرف این مصالح به شدت در حال رشد است [1].

### 2.2. مزایای ژئوسنتتیک ها

از مزایای ژئوسنتتیک ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نیاز به فضای کم : ساختار ورق مانند ژئوسنتتیک ها جای کمتری را نسبت به لایه های خاک و سنگدانه در خاکریزها اشغال می کنند.
- صرفه جویی در هزینه ها : مصالح ژئوسنتتیکی هزینه خرید، حمل و نصب پایین تری نسبت به دیگر مصالح دارند.
- برتری تکنیکی : هر یک از اعضای خانواده ژئوسنتتیک ها برای عملکردی بهینه در زمینه کاربردی خود طراحی و ساخته می شوند.
- صرفه جویی در زمان : ژئوسنتتیک ها بسیار سبک بوده و به آسانی و با سرعت بالا قابل نصب در محل مورد نظر می باشند.
- حفظ محیط زیست : استفاده از ژئوسنتتیک ها باعث کاهش مصرف منابع طبیعی شده و آسیب های وارده به محیط زیست را کاهش می دهد.



- گستره وسیع کاربرد : خواص فیزیکی و مکانیکی ژئوسنتتیک ها از جمله دوام، نفوذ ناپذیری، مقاومت در برابر فرسایش و مقاومت کششی بالا نسبت به وزنشان باعث به وجود آمدن گستره وسیعی از کاربرد این مواد در پروژه های عمرانی شده است.

در یک دید بنیادی تر دلایل رشد کاربرد ژئوسنتتیک ها در سال های اخیر چنین بیان شده است :

- مصالح دانه ای در اثر فرسایش یا نشست از هم می پاشند، اما ژئو سنتتیک ها با عملکرد کشش، پیوستگی سیستم را حفظ می نمایند.
- سازه های خاکی معمولاً لایه لایه ساخته می شوند که در این صورت ژئو سنتتیک ها می توانند به سادگی نقش حد فاصل لایه ها، جداکننده یا محافظ سطحی را بازی نمایند.
- سازه های خاکی انعطاف پذیرند و در معرض جابجائی های ناهمگون قرار دارند که مصالح غشائی انعطاف پذیر با چنین شرایطی سازگار می باشند.
- دلیل دیگر اقبال ژئوسنتتیک ها را می توان به امکان مسلح نمودن خاک با جایگذاری بهینه عناصر کششی عنوان کرد [1].

### 3.2. ژئوتکستایل

ژئوتکستایل ها بزرگترین عضو خانواده ژئوسنتتیک ها می باشند. آنها از صفحات نفوذپذیری هستند که از الیاف پلی پروپیلین و یا پلی استر و به دو شکل بافته شده (تک رشته ای و چند رشته ای) و بافته نشده ساخته می شوند. این مواد به علت نفوذ ناپذیری مناسب معمولاً به عنوان فیلتر مورد استفاده قرار می گیرند [1].

ژئوتکستایل از فیبرهای پلی استر با مقاومت بالا ساخته می شود. پلی استرها دارای وزن مخصوص بزرگتر از واحد و دارای مقاومت بسیار عالی هستند و با اغلب خاک های موجود در محیط سازگاری باشند [2].

ژئوتکستایل از منظر بافت به دسته های زیر تقسیم بندی می شود:

ژئوتکستایل بافته نشده: این محصول ژئوتکستایلی، تک لایه است و به وسیله اتصال الیاف نامنظم پشم گون ساخته می شود. اتصال این الیاف می تواند به صورت مکانیکی (پانچ یا سوراخ کردن) به وسیله چسباندن و یا حرارتی (ذوب کردن) باشد.

ژئوتکستایل بافته شده: این محصول تک لایه، متشکل از رشته های نخ به صورت عمودی به هم بافته شده است. نخ های قرار گرفته در راستای طولی تار و نخ های قرار گرفته در راستای عرضی پود نامیده می شوند.

از کاربردهای ژئوتکستایل در مهندسی هیدرولیک می توان به موارد زیر اشاره کرد:

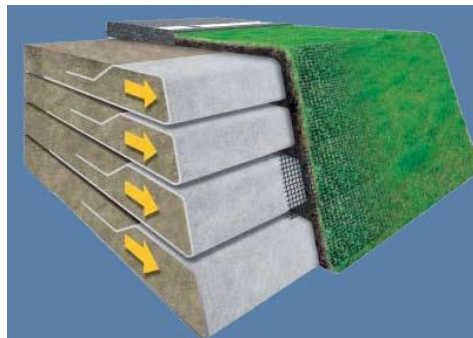
- زهکشی: آب زیرزمینی در روی ژئوتکستایل به خوبی جریان پیدا کرده و می تواند به سمت نقاط خروجی هدایت شود.
- فیلتراسیون: در صورتی که لایه ژئوتکستایل نفوذپذیر، بین دولایه خاک دانه ای درشت و ریز فرا گیرد، زهکشی به راحتی از لایه ریز به لایه درشت انجام شده و از نفوذ دانه های ریز به لایه درشت جلوگیری می شود. بدون یک فیلتر، ژئوتکستایل عمل موج و حرکات آب، خاک های سابگرد را در زیر مجموعه سنگریزه ای یا لایه آرمه فرسایش می دهد؛ تخریب لایه سابگرد، مزیت آرمه یا مجموعه قلوه سنگ ها را تنزل می بخشد و موجب لزوم تعمیرات اساسی می گردد.
- جداسازی: با استفاده از ژئوتکستایل می توان لایه های مختلف خاک را از هم جدا کرد. [1]. بطوریکه برای ممانعت از نفوذ مصالح راه به لایه مصالح نرمتر خاک زیر بستر و در نتیجه تثبیت ضخامت لایه های مختلف طراحی شده نیز استفاده می شود [2].
- محافظت: ژئوتکستایل ها برای محافظت ژئوسنتتیک ها ی دیگر مانند ژئوممبرین مورد استفاده قرار می گیرد. برای نمونه از ژئوتکستایل ها برای محافظت از سوراخ شدگی ژئوممبرین ها در سیستم دفع فاضلاب و سیستم نگهداری استفاده می شود.
- تسلیح: استفاده در بسترهایی که دارای ظرفیت باربری پایین هستند مانند بسترهایی با خاک لجنی، ماسه بادی وغیره.



- جمع آوری مایعات و گاز: ژئوتکستایل های نبافته و بافته شده برای مایعات محلول و سیستم های جمع آوری گاز استفاده می شوند. این محصولات کارایی سیستم را برای دفن زباله ها و هم برای طرح پاکیزه سازی آب زیرزمینی افزایش می دهند. انتخاب ژئوتکستایل برای پاکیزه سازی محیط و کنترل ضایعات، همانند انتخاب برای سیستم های زهکشی زیرزمینی است. لایه های نبافته سنگین وزن عموماً جهت این امر مناسب می باشند.
- یکی دیگر از موارد استفاده از ژئوتکستایل، مسلح کردن خاکریزها است. با به کار بردن لایه های ژئوتکستایل در خاکریز می توان حجم مصرفی مصالح خاکی را کاهش داد و خاکریز را در مقابل تمامی بارهای اعمالی مسلح کرد.  
مزایا و معایب ژئوتکستایل ها را به طور خلاصه می توان اینگونه بیان کرد:
- مقاومت کششی بالا و کاربرد سریع و آسان آن
- قابلیت اتساعی پایین تر برای کاهش خزش روی ژئوممبرین ناشی از بار خاکریز بالایی و کاهش نیروهای وارده به ژئوممبرین
- دارای مقاومت پاره شدگی بالا و کاهش صدمات ناشی هنگام اجرا و ریختن سنگریزه
- ویژگی عمل فیلتراسیون مناسب، برای اندازه های شنی شکسته و مواد باطله
- دوام زیاد در مقابل عوامل طبیعی و سازگاری با شرایط انواع خاک و زمین
- توانایی در نگهداری ذرات خاک در محل خود و مقاومت الکتریکی بالا
- با استناد به بررسی های به عمل آمده تنها عیب ژئوتکستایل ها ایجاد تغییر شکل در آنها در دراز مدت می باشد [1].



شکل 2. استفاده از ژئوتکستایل برای جداسازی خاک [2].



شکل 1. استفاده از ژئوتکستایل در دیوار حایل [2].

#### 4.2. ژئوممبرین

پس از ژئوتکستایل ها، ژئوممبرین ها دومین عضو بزرگ خانواده ژئوسنتتیک ها می باشند. در گذشته برای ساخت ژئوممبرین ها از رزین ها استفاده می شد ولی امروزه بیشتر از پلیمر های مصنوعی، پی وی سی و پلی اتیلن برای ساخت آن ها استفاده می شود. این محصولات به دلیل قابلیت نفوذ پذیری پایین به عنوان عایق رطوبتی به کار می روند [1] و [3]. پوشش ژئوممبرین جهت ایجاد سطوح آب بند و ایزوله از قبیل تصفیه خانه فاضلاب، کانال های آب رسانی، مخازن ذخیره آب آشامیدنی، مواد نفتی و شیمیایی، ساخت سایت های دفن بهداشتی پسماند، دریاچه های مصنوعی، استخرهای آبزیان، ایزولاسیون و عایق بندی سازه های زیرزمینی استفاده می گردد. مقاوم در برابر تغییرات درجه حرارت و بسیار با دوام و مقاوم در برابر رویش گیاهان، علف های هرز و حمله جوندگان است. از این رو امروزه از این ورق ها برای احداث استخرهای کشاورزی در محل گودبرداری به جای جدار بتنی استفاده می شود [4]. ضرورت نفوذپذیری کم، سرعت نصب بالا، کارایی قابل توجه مقاومت در برابر مواد شیمیایی و مقاومت در برابر پاره شدگی، بالاخص در پروژه های سد سازی و حتی حفظ محیط زیست، همچون جلوگیری از حرکت سیال به منطقه ای که دارای آب شرب است، حبس مواد زائد، جلوگیری از حرکت فاضلاب و مواد مضر شامل مواد رادیو اکتیو به محیط زیست و محبوس کردن مواد شیمیایی و زباله های شهری، کنترل تراوش در سازه های





هیدرولیکی، استفاده در فراز بند سازه هیدرولیکی و کنترل خاک های تورم زا، نفوذ ناپذیر کردن مخزن های آب زیرزمینی و جلوگیری از حرکت آب زیرزمینی به بالای فونداسیون و حتی در نفوذ ناپذیر کردن جداره ی تونل، اهمیت کاربری این مواد را متذکر می شود [1].  
از الیاف ژئوتکستایل بافته نشده می توان جهت تقویت بعضی از ژئوممبرین های لایه ای مسطح و پرس شده استفاده نمود که به آن لایه آستری scrim گفته می شود. مزایای این ترکیب منجر به نتایج ذیل می گردد:

- از سوراخ شدن ژئوممبرین در هنگام قرار گرفتن بر روی خاکریز جلوگیری می شود.
- از آنجا که ژئوتکستایل مانند یک لایه زهکشی، عمل کرده از افزایش فشار آب حفره ای در زیر ژئوممبرین جلوگیری می کند.
- امکان پخش تنش در قسمت تحتانی ژئوممبرین فراهم می شود [1].



شکل 4. استفاده از ژئوممبرین در استخرها [2].



شکل 3. استفاده از ژئوممبرین برای اب بندی کف کانال [2].

## 5.2. ژئوگرید

ژئوگریدها گروهی دیگر از خانواده ژئوسنتتیک ها از جنس پلی استر و پلی اتیلن یا ترکیبی از این مواد و سایر مواد مشابه هستند. این محصولات در ضخامت، اندازه و ابعاد مختلف به صورت شبکه های سه بعدی تولید می شوند. ژئوگرید ها به عنوان تقویت کننده های مناسب مورد استفاده قرار می گیرند، زیرا دارای مقاومت کششی بالا و قابلیت قفل شدگی قابل توجهی با محیط اطراف هستند [2].  
ژئوگریدها شامل میله های کششی که اجازه قفل و بست با خاک های مجاور را می دهند. مکانیسم قفل و بست ژئوگرید\_خاک به ژئوگرید اجازه می دهد که بعنوان یک المان مسلح با افزایش مقاومت برشی خاک مسلح عمل کند. بنابراین ژئوگریدها در اجرای ساختمان های مدرن بطور گسترده مورد استفاده هستند. خاک در شیب های تند از قابلیت فرسایش بالایی برخوردار است و از این لحاظ باید مورد توجه قرار گیرد تا بتوان با روش های مناسب و کم هزینه از فرسایش آن جلوگیری کرد، که برای این مقصود استفاده از ژئوگرید مقرون به صرفه به نظر می رسد [1]. مهم ترین کاربردهای ژئوگریدها ایجاد سیستم خاک مسلح، احداث دیوارهای حایل، اصلاح لایه اساس و تقویت بستر در راهسازی و موارد مشابه است. شایان ذکر است که دیوارهای ساخته شده با ژئوگرید، مشکل تغییر شکل های زیاد دیوارهای ساخته شده با ژئوتکستایل ها را ندارد [2].



شکل 5. استفاده از ژئوگرید برای خاک مسلح [2].



## 6.2. ژئوفوم

ژئوفوم ها جدید ترین عضو خانواده ژئوسنتتیک ها می باشند. این محصولات از پلی استر ساخته شده و به صورت قطعات بلوکی سبک و بزرگی ساخته می شوند و در سازه های خاکی یا سنگفرش ها به عنوان عایق حرارت و گرما به کار می روند [1] و [3]. کاربرد ژئوفوم ها اغلب در زیر سنگچین های بنا شده بر روی خاکهای نرم و سست، سطوح زیرین جاده، سنگ فرش باند فرودگاه، سیستم های راه آهن که دائماً در معرض انبساط و انقباض قرار می گیرند و هم چنین در زیر تانک های ذخیره مایعات نوشیدنی خنک و سطوح شیب دار استفاده می شوند. [2].



شکل 6. استفاده از ژئوفوم در راهسازی [2].

## 7.2. ژئونت

ژئونت ها گروه دیگری از خانواده ژئوسنتتیک هستند که از پلی اتیلن با دانسیته بالا ساخته شده اند. این محصول در کارهای عمرانی برای تثبیت خاک های سست، تقویت و مقاوم سازی دیواره های خاکی، پشت دیوارهای حائل، بدنه سدهای خاکی، محافظت از دیواره شیب ها و محافظت پوشش لوله های زیرزمینی (جلوگیری از خراش توسط سنگها)، محل دفن پسماند بعنوان سیستم های اولیه جمع آوری پساب و افزایش زهکشی در خاک استفاده می شوند [1] و [2].

## 8.2. ژئوکامپوزیت

ژئوکامپوزیت ها ترکیبی از ورقه های مختلف ژئوسنتتیک ها همانند، ژئوتکستایل ها، ژئوگرید ها، ژئونت ها و یا ژئوممبرین ها می باشند. هدف از ساختن ژئوکامپوزیت ها تولید محصولاتی است که عملکرد بهتری در زمینه های مسلح کنندگی، زهکشی، فیلتراسیون و غیره داشته باشند [1] در ساخت ژئوکامپوزیت ها ممکن است محصولات غیرپلیمری نظیر پشم شیشه و رشته های فولادی برای افزایش مقاومت کششی، ماسه جهت ایجاد مقاومت فشاری و به عنوان پر کننده، رس برای منبسط شدن در مواقعی که از ژئوکامپوزیت به عنوان پوشش استفاده می شود و قیر به عنوان ماده ضد آب استفاده شود [2].

جدول 1. انواع متداول ژئوکامپوزیت ها بر حسب اجزای تشکیل دهنده و کاربردهایشان [1]

کاربرد	نوع ژئوکامپوزیت
زهکشی های نواری	ترکیب ژئوتکستایل و هسته پلیمری
زهکشی ترکیب	ژئوتکستایل و ژئونت
مقاومت در برابر سوراخ شدگی	ترکیب ژئوتکستایل و ژئوممبرین
جداکنندگی و فیلتراسیون	ترکیب ژئوتکستایل و ژئوگرید



## 9.2. ژئوسل

امروزه ژئوسل به عنوان روشی سریع و موثر در مسلح کردن خاک ها در پروژه های عمرانی کاربرد وسیعی دارد. مهمترین هدف استفاده از ژئوسل تقویت خاک برای تحمل بارهای استاتیکی و سیکی می باشد. ژئوسل نیز مانند دیگر محصولات ژئوسنتتیک از مواد پلیمری ساخته شده است که به هنگام استفاده از ژئوسل به منظور جداسازی ژئوسل و خاک زیر آن از یک لایه ژئوتکستایل بافته نشده استفاده می شود و سپس مصالح پرکننده به داخل خانه های کندو شکل ژئوسل ریخته می شوند. بر خلاف کاربرد موفقیت آمیز ژئوسل در پروژه های مهندسی به خوبی درک نشده است، به خصوص در کاربردهای افزایش باربری خاک. هم اکنون روش طراحی مورد قبولی برای کاربردهای متفاوت ژئوسل در دسترس نمی باشد. در نتیجه چنین فاصله ای بین تئوری و کاربرد ژئوسل باعث ایجاد محدودیت در استفاده از آن می باشد. به همین دلیل جهت گسترش استفاده از ژئوسل نیاز به بررسی رفتار خاک های مسلح شده به وسیله ژئوسل می باشد تا با درک بهتر رفتار آن بتوان روش طراحی مناسبی را برای آن ارائه داد [1].

## 10.2. لاینر مرکب رسی ژئوسنتتیک (GCL)

آستر رسی ژئوسنتتیک، حائلی هیدرولیکی است که به عنوان مصالح جایگزین لایه های خاکی تراکم یافته به کار گرفته می شوند. این (GCL)ها به دلیل نفوذ پذیری کم آنها در پروژه های زیست محیطی و هیدرولیکی مختلف از جمله خاکریزها و پروژه های اصطلاح و ترمیم به وفور یافت می شوند. این نوع ژئوسنتتیک، از دسته ژئوکامپوزیت ها است که به دلیل کاربرد فراوان به صورت جدا گانه بر رسی می شود. این محصول متشکل از ورقه های ژئوسنتتیک با میان لایه های رسی (بنتونیتی) است و برای جلوگیری از نشت آب و آب بندی مورد استفاده قرار میگیرد. نوع متداول آن متشکل از یک لایه نازک سدیم یا بنتونیت کلسیم در میان دو ورقه ژئوتکستایل یا یک لایه ژئوتکستایل و ژئوممبرین است. این نوع ژئوسنتتیک جایگزین پوشش رسی متراکم شده می شود. در این حالت بنتونیت در لایه وسطی متورم شده و به نفوذپذیری بسیار ناچیزی می رسد [4].

جدول 2. مزایا و معایب لاینرهای مرکب رسی - ژئوسنتتیک [5].

معایب	مزایا
مقاومت برشی پایین بنتونیت هیدراته (برای GCL های غیر مسطح)	نصب سریع، عدم نیاز به کارگر متخصص، هزینه پایین
GCL ها ممکن است در حین نصب یا بعد از آن سوراخ گردند.	نفوذپذیری پایین در برابر آب وقتی به صورت صحیح نصب شود
امکان از دست رفتن بنتونیت در حین نصب	توانایی تحمل تنشهای نسبی بزرگ
بنتونیت در رطوبت کم در برابر گاز نفوذپذیر است	خواص خود ترمیمی بسیار خوب
مشکل خواص مقاومتی در سطح تماس با مصالح دیگر	به وجود یا عدم وجود خاکهای محلی وابسته نمی باشد و راحت بودن ترمیم
دارای ظرفیت رقیق سازی شیاره کمتر	مقاومت در برابر چرخه یخ و ذوب
امکان از دست دادن مقاومت برشی پس - بیشینه	به علت ضخامت کم فضای کمتری اشغال می کند
ممکن است در دراز مدت مقدار جرم انتقالی به علت ضخامت کم بالاتر باشد	آزمایش نفوذپذیری درجا نیاز نیست



### 3. دفن علمی پسماند

یکی از معضلاتی که همراه بارش سریع جمعیت و صنعتی شدن در کشورهای جهان سوم و به خصوص ایران شکل گرفته است دفن نامناسب پسماند و ایجاد آلودگی ناشی از آن می باشد. انباشت پسماند موجب از دست رفتن اراضی بصورت مستقیم و از بین بردن قسمت های دیگری از آن به طور غیر مستقیم و از طریق ایجاد آلودگی ناشی از آن می باشد. در کنار این مبحث آلودگی سفره آب زیرزمینی، مناظر نامناسب ایجاد شده و آلودگی هوای ناشی از بیوگاز می طلبد که راهکاری کلی برای مقابله با این معضل شکل بگیرد [6]. امروزه در بیشتر کشورهای جهان به دلیل وضع قوانین زیست محیطی شدید، از روش سنتی سوزاندن پسماند استفاده نمی شود. زیرا به دلیل وجود این قوانین، صنایع موظف به نصب فیلترها و سایر تجهیزات کنترل کننده آلاینده های زیست محیطی هستند و از این رو به دلیل تحمیل هزینه های گزاف، این روش جای خود را به دفن پسماند در دفنگاه ها داده است. با این وجود بی توجهی به دفنگاه ها و رهاکردن پسماند در محل دفن بدون تدابیر زیست محیطی نیز امکان پذیر نیست. در گذشته مقررات خاصی برای مکان های دفن پسماند وجود نداشت و لندفیل ها مکان های بدبو و بدون پوشش بودند که معضلات زیست محیطی فراوانی ایجاد می کردند. با افزایش جمعیت و افزایش تولید پسماند شهری مقررات خاصی توسط آژانس حفاظت محیط آمریکا در مورد تشکیل لندفیل ها وضع شد و به تدریج سایر کشورها نیز به توسعه و اجرای این قوانین پرداختند. با رشد آگاهی نسبت به تاثیر آلاینده های لندفیل های غیرمهندسی بر محیط زیست ضوابطی برای طراحی لندفیل ها شکل گرفت [7].

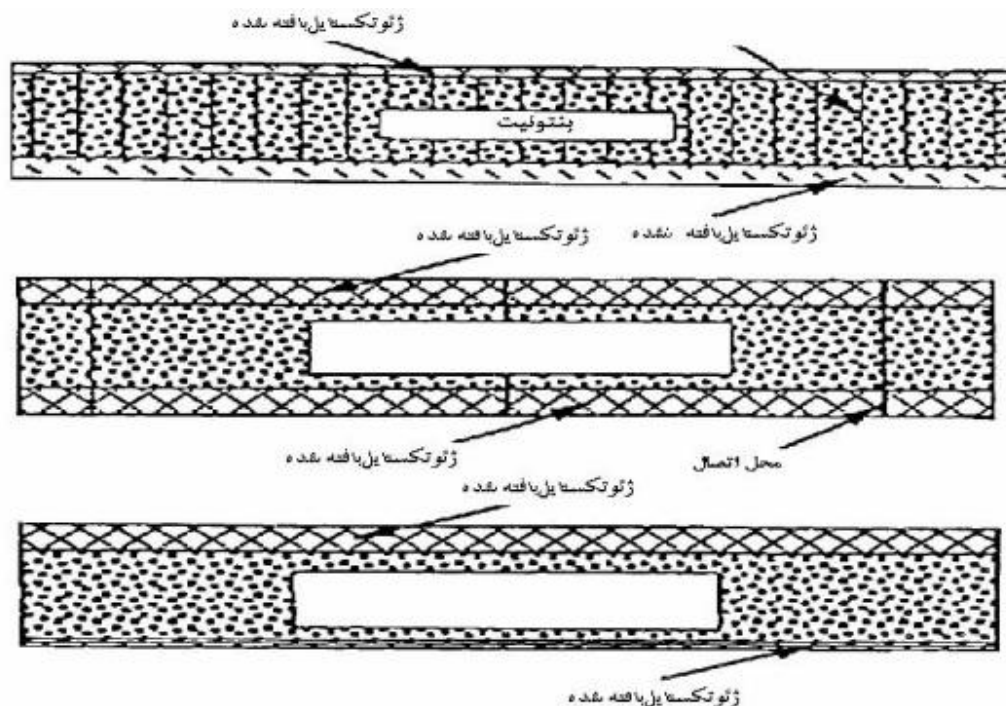
در ایران به علت ظرفیت پایین استفاده از روش های بازیافت شاید بتوان گفت تنها روش دفع مواد زائد، دفن این مواد در داخل خاک می باشد. اما مسئله ای که حائز اهمیت است، تبدیل مدفن های سنتی و غیر بهداشتی به مدفن های بهداشتی - مهندسی لندفیل می باشد. امروزه در ایران دفن پسماند به روش سنتی انجام می گیرد. دفن سنتی شامل حفر گودال در زمین و پر کردن آن با پسماند است. در دفن سنتی، شیرابه تولید شده که حاوی اجزای شیمیایی گوناگون و خطرناک می باشد به درون خاک و آب های زیرزمینی نفوذ کرده و باعث انتشار آلودگی از محل دفن می شود. اما دفن بهداشتی - مهندسی با ایجاد لایه های مناسب نفوذناپذیر مانع ورود شیرابه به محیط زیست شده و نقش تعیین کننده ای در کنترل آلودگی دارد [5]. جهت عایق نمودن محل های دفن به صورت علمی و مهندسی لزوم استفاده از تکنولوژی های مدرن احساس می شود که در این میان ژئوسنتتیک ها نقش موثری در حوزه آب بند کردن و جلوگیری از نشت شیرابه ها ایفا می کنند. اجزا پلیمری سازنده ژئوسنتتیک ها دارای مقاومت مناسب و دوام خوبی در برابر عوامل خارجی هستند همچنین اجرای ژئوسنتتیک ها نسبت به موارد مشابه به منظور آب بندی ارزانتر است. مهم ترین ژئوسنتتیک های مورد استفاده در محل دفن پسماند شامل: ژئوممبرین ها، ژئوتکستایل ها و GCL است [4] که در ادامه نحوه استفاده از آنها در لندفیل ها توضیح داده می شود.

#### 1.3. اجرای ژئوسنتتیک در محل دفن پسماند

الف) اجرای (GCL) با ژئوتکستایل:

این روش شامل یک لایه نازک بنتونیت است که بین دو لایه ژئوتکستایل قرار می گیرد. این دو لایه به عنوان تامین کننده مقاومت و پوشش استفاده می شوند. بنتونیت می تواند به شکل دانه یا پودر باشد. به طور متداول ضخامت (GCL) بین 5 تا 10 میلیمتر است. ژئوتکستایل به عنوان پوشش تامین کننده مقاومت می تواند بافته شده، بافته نشده یا ترکیبی از هر دوی آنها باشد. اتصال آنها به هم می تواند به صورت چسباندن، دوختن یا ترکیبی باشد. (شکل 7) [4].





شکل 7. انواع ژئوتکستایل همراه بنتونیت [4].

جهت اجرای این روش در محل دفن پسماند دو لایه ژئوتکستایل در حد فاصل لایه های رس و لایه زهکش کار گذاشته می شود که وظیفه جدا کننده را به عهده داشته و مانع از نفوذ خاک رسی به داخل منافذ لایه زهکش می شود. پس از متراکم کردن لایه رسی اولیه و قبل از پخش و اجرای لایه زهکش روی این لایه، لایه های ژئوتکستایل در سطح زمین پهن و دوخته شده و کار گذاشته می شود. پس از پهن کردن لایه ژئوتکستایل زهکش روی این لایه اجرا می شود. (شکل 8) [4].



شکل 8. اجرای GCL با ژئوتکستایل در محل دفن پسماند [4].



ب) اجرای (GCL) با ژئوممبرین :

در حال حاضر سیستم های پوشش دهنده ژئوممبرین برای استفاده در ساختمان محل دفن پسماند به خوبی در جهان شناخته شده هستند و هر چند که زمان زیادی از ورود GCL ها به بازار نگذشته است ولی پیوسته در حال پیشرفته تر شدن می باشند. ساختار اصلی ژئوسنتتیک رسی شامل ترکیبی است که تشکیل شده از بنتونیتی می باشد که در میان دو لایه ژئوممبرین به صورت ساندویچی قرار گرفته است که این بنتونیت یک رس ویژه (مانند بنتونیت سدیم) می باشد که دارای مقدار زیادی مونتموریلونیت است عملکرد ژئوممبرین های موجود در لاینر مرکب رسی ژئوسنتتیکی علاوه بر محدود کردن فضایی که بنتونیت در میان آن است تسهیل کننده حمل و نقل و نصب آنها نیز می باشد، وجود یک ضخامت یکنواخت در آنها ناشی از وجود یک لایه از ماده نفوذ ناپذیر بنتونیت است. دو ژئوممبرینی که در طرفین هستند می توانند با سوزن به یکدیگر دوخته شوند یا فقط به وسیله چسبندگی مخلوط بنتونیت به یکدیگر متصل گردند [4].



شکل 9. اجرای GCL با ژئوممبرین برای محل دفن پسماند [4].

ج) اجرای (GCL) به صورت ترکیب ژئوتکستایل و ژئوممبرین:

ژئوتکستایل ها به صورت ورقه ای در یک یا هر دو سمت ژئوممبرین با چندین هدف قرار می گیرند. در حوضه مسلح کنندگی محل دفن پسماند، ژئوتکستایل ها باعث افزایش مقاومت در برابر سوراخ شدگی، گسترش پارگی و اصطکاک می شود، به علاوه مقاومت کششی نیز افزایش می یابد. اغلب چنین ترکیباتی با استفاده از ژئوتکستایل های بدون بافت سوزنی ساخته می شوند که نسبتا سنگین وزن بوده و به عنوان زهکش عمل می کنند. به خاطر اینکه خاصیت جریان پذیری در صفحه باعث هدایت آب شده و از تماس مستقیم آن با ژئوممبرین جلوگیری می کند. ژئوممبرینی که به شکل صفحات پلاستیکی نیمه صلب ساخته شده است را می توان طوری تغییر شکل داد که قادر باشد آب را با دبی زیاد از خود عبور دهد. این صفحات سپس به وسیله ژئوتکستایل (به عنوان فیلتر) که در هر دو قسمت قرار می گیرند محافظت می شوند. اغلب ژئوممبرین ها در محل دفن پسماند برای هدایت بهتر آب به صورت شیردار شکل داده می شوند. این ترکیبات ابزار سریعی برای تحکیم خاک های ریز دانه اشباع می باشند. استفاده ترکیبی از ژئوتکستایل و ژئوممبرین در محل دفن پسماند می تواند کارایی این دو را بالا ببرد (شکل 10) [4].

ژئوممبرین ها به دلیل کنگره دار بودن و ژئوتکستایل ها به دلیل عدم توانایی در آب بندی دارای نقاط وضعی هستند. استفاده از یک ژئوتکستایل بافته نشده در کنار یک لایه ژئوممبرین سبب می شود که در عمل اثر تورم ایجاد شده در بنتونیت به طور خودکار محل های اتصال لایه های مجاور را به هم پیوند دهد که این عمل موجب می شود دو لایه که روی هم افتاده اند به یکدیگر بچسبند. ظرفیت خاصیت خود آب بندی که در این حالت ایجاد می شود علاوه بر پاره گی ها و سوراخ های کوچک، پاره گی های ناشی از برش و گسیختگی را نیز پوشش می دهد [4].



شکل 10. اجرای GCL با ژئوممبرین و ژئوتکستایل برای محل دفن پسماند [4].

#### 4. نتیجه گیری

در حال حاضر استفاده از ترکیبات ژئوسنتتیک ها در حال گسترش و افزایش است. آنچه که در این مقاله به آن اشاره شده است معرفی انواع ژئوسنتتیک ها و مزایا و خواص و کاربردهای آنها با تاکید بر استفاده از ژئوتکستایل و ژئوممبرین و لاینر مرکب رسی ژئوسنتتیکی در محل های دفن پسماند که با در نظر داشتن مزایای ژئوسنتتیک های اجرا شده در محل دفن پسماند به صورت علمی و مهندسی نتایج بسیار خوبی نسبت به روش های سنتی دفن پسماند در زمینه های زیر ایجاد شده است:

کاهش آلودگی سفره های آب زیرزمینی، کاهش هزینه دفن پسماند، کاهش حجم عملیات خاکی، کاهش آلودگی هوای ناشی از بیوگاز، جلوگیری از ایجاد مناظر نامناسب ناشی از دفن سنتی پسماند

#### منابع

- [1] احمد باقرزاده خلخالی، ملیکا ابراهیم نجاری و مینو جعفری، 1397. معرفی ژئوسنتتیک ها، انواع، خواص و کاربردهای آن ها، سومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین عمران، معماری و صنعت ساختمان ایران، انجمن مهندسی راه و ساختمان، ایران، دانشگاه تهران.
- [2] محمد بلوچی، زینب قناد 1389. خصوصیات و کاربردهای مصالح ژئوسنتتیک، تکنولوژی های نوین صنعت ساختمان، مدیریت دانش، شرکت کیسون.
- [3] غفارپور جهرمی، س و شیبانی اقدام، ش. 1394. انواع ژئوسنتتیک ها و کاربرد آنها با تاکید بر عملکرد ژئوسل در مهندسی عمران، کنفرانس بین المللی انسان، معماری، عمران و شهر، مرکز مطالعات معماری و شهرسازی، ایران، تبریز.
- [4] علیرضا غفاری و غلامرضا غفاری، 1397. کاربرد ژئوسنتتیک ها در محل دفن زباله، اولین کنفرانس ملی ژئوتکنیک زیست محیطی، گروه مهندسی عمران، ایران، دانشگاه فسا.
- [5] امین خلیلی، کاظم بدو، 1392. کاربرد لاینرهای رسی متراک و رسی ژئوسنتتیک در کف محل های دفن بهداشتی مهندسی زباله (لندفیل)، سومین کنفرانس بین المللی برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست. ایران، دانشگاه تهران.
- [6] فضل الله سلطانی، سعید فرخنده، ابراهیم نعیمی فر، اعظم طالقانی، 1385. روش های دفن علمی پسماند، چهاردهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک، ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- [7] نیلوفر رزمجویی، 1397، ژئوسنتتیک ها و کاربرد مهم آنها در طراحی لندفیل و استحصال بیوگاز، اولین کنفرانس ملی ژئوتکنیک زیست محیطی، گروه مهندسی عمران، ایران، دانشگاه فسا.
- [8] Holtz R.D. (2001), "Geosynthetics for soil reinforcement", 9th Spencer J. Buchanan Lecture, Department of Civil & Environmental Engineering, University of Washington.