

صلى الله عليه وسلم



واحد زنگان

موضوع پایان نامه :

# **بررسی عددی تاثیر فاصله ی دو سپر (Sheet Pile) بدون مهار و مهار دار نصب شده در خاک های ماسه ای بر اندر کنش آنها**

استاد راهنما : جناب آقای دکتر کلانتری

استاد مشاور : جناب آقای دکتر قاسم زاده

نگارنده : حامد پنجی

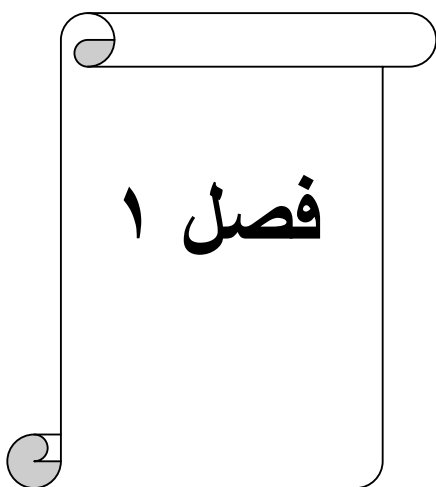
|    |                                              |
|----|----------------------------------------------|
| ۱  | فصل اول - کلیات                              |
| ۲  | ۱-۱- مقدمه                                   |
| ۴  | فصل دوم - خلاصه رفتار تحلیل سپری ها          |
| ۵  | ۱-۲- مقدمه                                   |
| ۵  | ۲-۲- فشار جانبی خاک                          |
| ۶  | ۱-۲-۲- فشار حالت سکون                        |
| ۶  | ۲-۲-۲- فشار حالت محرک                        |
| ۷  | ۳-۲-۲- فشار حالت مقاوم                       |
| ۷  | ۴-۲-۲- حرکت های دیوار                        |
| ۸  | ۵-۲-۲- اصطکاک و چسبندگی دیوار                |
| ۹  | ۳-۲- محاسبات فشار جانبی خاک                  |
| ۹  | ۱-۳-۲- نظریه کلمب                            |
| ۱۰ | ۲-۳-۲- نظریه رانکین                          |
| ۱۱ | ۳-۳-۲- روش ضریب برای محاسبه ی فشار جانبی خاک |
| ۱۱ | ۴-۳-۲- روش های گوه ای برای یافتن فشار خاک    |
| ۱۱ | ۴-۲- بارهای سربار                            |
| ۱۲ | ۱-۴-۲- سربار یکنواخت                         |
| ۱۲ | ۲-۴-۲- بار نواری                             |
| ۱۲ | ۳-۴-۲- بارهای خطی                            |
| ۱۳ | ۴-۴-۲- بار شیب دار                           |
| ۱۳ | ۵-۴-۲- بار مثلثی                             |
| ۱۴ | ۶-۴-۲- بارهای سطحی                           |
| ۱۴ | ۷-۴-۲- بارهای نقطه ای                        |
| ۱۵ | ۵-۲- بار آب                                  |
| ۱۵ | ۱-۵-۲- فشار هیدرواستاتیک                     |
| ۱۶ | ۲-۵-۲- تاثیرات تراوش                         |
| ۱۶ | ۳-۵-۲- عملکرد امواج                          |
| ۱۶ | ۶-۲- تحلیل و طراحی سپرها                     |
| ۱۷ | ۷-۲- ملاحظات عمومی                           |
| ۱۷ | ۱-۷-۲- هماهنگی Coordination                  |
| ۱۷ | ۲-۷-۲- ملاحظات ژئوتکنیکی                     |
| ۱۷ | ۳-۷-۲- ملاحظات سازه ای                       |

|    |                                                                   |
|----|-------------------------------------------------------------------|
| ۲۱ | ۸-۲- تحلیل پایداری چرخشی                                          |
| ۲۱ | ۸-۲-۱- فرضیات                                                     |
| ۲۱ | ۸-۲-۲- اطلاعات مقدماتی                                            |
| ۲۱ | ۸-۲-۳- حالات بار                                                  |
| ۲۲ | ۸-۲-۴- ضریب اطمینان پایداری                                       |
| ۲۳ | ۸-۲-۵- توزیع فشار خالص                                            |
| ۲۴ | ۸-۲-۶- تحلیل پایداری دیوارهای طره ای                              |
| ۲۵ | ۸-۲-۷- تحلیل پایداری دیوارهای مهاربندی شده                        |
| ۲۶ | ۸-۲-۸- موقعیت مهاربند                                             |
| ۲۷ | ۹-۲- تحلیل سپری طبق نظریه رانکین                                  |
| ۲۷ | ۹-۲-۱- سپری های بدون مهار در خاک های ماسه ای                      |
| ۲۸ | ۹-۲-۲- سپری های بدون مهار در خاک های چسبنده                       |
| ۲۹ | ۹-۲-۳- سپری های مهاردار در خاک های ماسه ای و چسبنده               |
| ۳۱ | ۱۰-۲- بررسی تحلیل های مختلف                                       |
| ۳۲ | ۱۰-۲-۱- روش تحلیل سپری با انتهای آزاد                             |
| ۳۲ | ۱۰-۲-۲- روش تحلیل سپری با انتهای گیردار                           |
| ۳۲ | ۱۰-۲-۳- روش انتهای گیردار تعدیل شده                               |
| ۳۳ | ۱۰-۲-۴- روش انتهای گیردار اصلاح شده                               |
| ۳۳ | ۱۰-۲-۵- تعیین تغییر مکان به وسیله ی روش اجزای محدود ارتجاعی خمیری |
| ۳۳ | ۱۰-۲-۶- مقایسه روش های انتهای آزاد ، گیردار ، تعدیل شده و اصلاحی  |
| ۳۴ | ۱۱-۲- شکل های شکست                                                |
| ۳۴ | ۱۱-۲-۱- گسیختگی عمقی                                              |
| ۳۵ | ۱۱-۲-۲- شکست چرخشی طی نفوذ ناکافی شمع                             |
| ۳۵ | ۱۱-۲-۳- اشکال دیگر شکست                                           |
| ۳۹ | ۱۲-۲- تحلیل سپری مهار شده به وسیله ی روش اجزای محدود              |
| ۳۹ | ۱۲-۲-۱- مزایا و محدودیت ها                                        |
| ۳۹ | ۱۲-۲-۲- روند تحلیل اجزای محدود                                    |
| ۴۱ | ۱۲-۲-۳- روابط تنش کرنش                                            |
| ۴۱ | ۱۲-۲-۱- مدل موهر کلمب                                             |
| ۴۳ | ۱۲-۲-۴- فشار خاک مقاوم و فعال در طی تحلیل اجزای محدود             |
| ۴۴ | ۱۲-۲-۵- خیز خاک در جلوی دیوار                                     |
| ۴۴ | ۱۳-۲- بررسی تفاوت بین رفتار نگاری سازه و روش تحلیل اجزای محدود    |

|    |                                                                               |
|----|-------------------------------------------------------------------------------|
| ۴۶ | ۱۴-۲- بررسی نتایج یک مورد مطالعاتی                                            |
| ۴۶ | ۱۴-۲-۱- پارامترهای سختی ماسه                                                  |
| ۴۸ | ۱۴-۲-۲- تأثیرات انیزوتروپی (ناهمسانی) خاک                                     |
| ۴۸ | ۱۴-۲-۳- تأثیرات نصب دیوار                                                     |
| ۴۹ | ۱۴-۲-۴- تأثیرات مدل ترکیبی خاک                                                |
| ۵۰ | ۱۴-۲-۵- تأثیرات سه بعدی                                                       |
| ۵۰ | ۱۵-۲- بررسی مجدد اجرای زمینی گودبرداری های عمیق                               |
| ۵۱ | ۱۵-۲-۱- تأثیرات شرایط خاک و ساختگاه                                           |
| ۵۱ | ۱۵-۲-۲- تأثیرات درجه حرارت در اجرای مهاربند                                   |
| ۵۲ | ۱۵-۲-۳- تأثیرات بررسی سه بعدی در گودبرداری های عمیق                           |
| ۵۵ | ۱۶-۲- تحلیل ها ، نتایج و تشریح ها                                             |
| ۵۵ | ۱۶-۲-۱- مقدمه                                                                 |
| ۵۵ | ۱۶-۲-۲- تأثیرات سختی خاک $E_{50}^{ref}$ و $E_{oed}^{ref}$                     |
| ۵۹ | ۱۷-۲- تأثیر سختی بارگذاری باربرداری $E_{ur}^{ref}$                            |
| ۶۲ | ۱۸-۲- مقایسه مدل موهر کلمب و مدل سخت شوندگی خاک                               |
| ۶۲ | ۱۸-۲-۱- خیز جانبی دیوار                                                       |
| ۶۴ | ۱۸-۲-۲- تغییر شکل های زمین                                                    |
| ۶۷ | ۱۸-۲-۳- نیروی مهاربند                                                         |
| ۶۹ | ۱۹-۲- نتیجه گیری                                                              |
| ۶۹ | ۱۹-۲-۱- مقدمه                                                                 |
| ۶۹ | ۱۹-۲-۲- نتیجه گیری                                                            |
| ۷۰ | ۲۰-۲- جمع بندی                                                                |
| ۷۲ | فصل سوم - مدل سازی عددی                                                       |
| ۷۳ | ۳-۱- مقدمه                                                                    |
| ۷۴ | ۳-۲- آشنایی با نرم افزار Plaxis                                               |
| ۷۴ | ۳-۳- مراحل کلی مدل سازی در نرم افزار های عددی                                 |
| ۷۶ | ۳-۴- مسیر ها و مستقل های تنش و کرنش                                           |
| ۷۷ | ۳-۵- مسیر های تنش                                                             |
| ۷۸ | ۳-۶- مسیر های تنش با محور های $\sigma_1' : \sigma_3'$ و $\sigma_1 : \sigma_3$ |
| ۷۹ | ۳-۷- مسیر های تنش با محور های $t' : s'$ و $t : s$                             |
| ۸۱ | ۳-۸- مستقل های تنش                                                            |
| ۸۵ | ۳-۹- مسیر تنش یا محور $q' : p'$ و محور $q : p$                                |

|     |                                                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|
| ۸۶  | ۱۰-۳- مدل خزش خاک نرم (SCC)                                             |
| ۸۶  | ۱۱-۳- مدل رفتاری سخت شونده کلاهدک دار                                   |
| ۸۹  | ۱۲-۳- معادلات رفتاری در حالت بارگذاری سه محوری                          |
| ۹۰  | ۱۳-۳- سطح تسلیم و قانون سخت شوندگی                                      |
| ۹۱  | ۱۴-۳- کرنش های حجمی پلاستیک ، رفتار اتساعی                              |
| ۹۲  | ۱۵-۳- خصوصیات کلاهدک                                                    |
| ۹۴  | ۱۶-۳- پارامترهای مدل رفتاری                                             |
| ۹۶  | ۱۷-۳- مقاومت فصل مشترک ( $R_{inter}$ )                                  |
| ۹۷  | ۱۸-۳- ضخامت واقعی فصل مشترک ( $\delta_{inter}$ )                        |
| ۹۷  | ۱۹-۳- روش تحلیل کرنش صفحه ای                                            |
| ۹۸  | ۲۰-۳- تشریح روش کرنش صفحه ای                                            |
| ۱۰۰ | ۲۱-۳- طرح یک مدل و مشخصات آن                                            |
| ۱۰۲ | ۲۱-۳-۱- شبیه سازی عددی                                                  |
| ۱۰۲ | ۲۱-۳-۱-۱- مش بندی اجزای محدود و پارامترهای مواد                         |
| ۱۰۴ | ۲۱-۳-۲- شبیه سازی روند گودبرداری                                        |
| ۱۰۵ | ۲۱-۳-۳- نتایج شبیه سازی                                                 |
| ۱۰۶ | فصل چهارم - نتایج تحلیل ها و بحث و بررسی در مورد آنها                   |
| ۱۰۷ | ۱-۴- کلیات مدل سازی در Plaxis                                           |
| ۱۰۸ | ۲-۴- تشریح مدل                                                          |
| ۱۰۹ | ۳-۴- پارامترهای مورد استفاده برای مصالح در مدل                          |
| ۱۱۰ | ۴-۴- واسنجی مدل                                                         |
| ۱۱۵ | ۵-۴- تحلیل حساسیت برای فاصله مهار از سطح زمین a                         |
| ۱۱۶ | ۶-۴- تصحیح مرزبندی ها                                                   |
| ۱۱۶ | ۶-۴-۱- تأثیرات مرز بندی در سمت راست سپری                                |
| ۱۱۶ | ۶-۴-۲- تأثیرات مرز بندی در عمق سپری                                     |
| ۱۱۷ | ۶-۴-۳- تأثیرات مش بندی                                                  |
| ۱۱۸ | ۷-۴- بررسی گسیختگی خاک در مدل مورد مطالعه                               |
| ۱۱۸ | ۷-۴-۱- نقاط پلاستیک                                                     |
| ۱۱۸ | ۷-۴-۲- بررسی تنش ها در تشکیل گوه گسیختگی                                |
| ۱۲۳ | ۸-۴- بهینه سازی مش بندی                                                 |
| ۱۲۸ | ۹-۴- بررسی حساسیت مدل عددی نسبت به تغییرات مشخصات مقاومتی و مکانیکی خاک |
| ۱۲۸ | ۹-۴-۱- اثر تغییرات وزن مخصوص ( $\gamma$ ) بر روی نتایج تحلیل عددی سپر   |

|     |                                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۲۹ | ۲-۹-۴- اثر تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاک ( $\phi$ ) بر روی نتایج تحلیل عددی سپر                     |
| ۱۳۱ | ۳-۹-۴- اثر تغییرات میزان چسبندگی خاک (C) بر روی نتایج تحلیل عددی سپر                                 |
| ۱۳۲ | ۴-۹-۴- اثر تغییرات میزان سختی خاک (E) بر روی نتایج تحلیل عددی سپر                                    |
| ۱۳۴ | ۵-۹-۴- اثر تغییرات میزان سختی اصطکاک در فصل مشترک خاک - سازه ( $R_{inter}$ ) بر روی نتایج تحلیل عددی |
| ۱۳۵ | ۶-۹-۴- اثر تغییرات میزان ضریب سختی خاک $Power(m)$ بر روی نتایج تحلیل عددی سپر                        |
| ۱۳۷ | ۷-۹-۴- اثر تغییرات میزان سختی مهاربند ( $E_{anchor}$ ) بر روی نتایج تحلیل عددی سپر                   |
| ۱۳۸ | ۸-۹-۴- اثر تغییرات میزان فواصل مهاربند ( $L_{spacing}$ ) بر روی نتایج تحلیل عددی سپر                 |
| ۱۴۰ | ۹-۹-۴- اثر تغییرات مراحل گودبرداری بر روی نتایج تحلیل عددی سپر                                       |
| ۱۴۱ | ۱۰-۹-۴- اثر تغییرات سطح آب بر روی نتایج تحلیل عددی سپر                                               |
| ۱۴۳ | ۱۱-۹-۴- اثر تغییرات میزان بارگذاری بر روی نتایج تحلیل عددی سپر                                       |
| ۱۴۴ | ۱۲-۹-۴- اثر تغییرات میزان عمق نفوذ سپری بر روی نتایج تحلیل عددی سپر                                  |
| ۱۴۶ | ۱۳-۹-۴- بررسی اثرات زاویه تمایل مهاربندها، بر روی رفتار سپرها                                        |
| ۱۴۷ | ۱۰-۴- تأثیر فاصله دو سپر بدون مهار و مهاردار                                                         |
| ۱۴۷ | ۱-۱۰-۴- تغییرات فاصله جفت سپری مهاردار و بررسی تأثیرات آن                                            |
| ۱۴۹ | ۲-۱۰-۴- تغییرات فاصله جفت سپری بدون مهار و بررسی تأثیرات آن                                          |
| ۱۵۱ | فصل پنجم - جمع بندی و نتیجه گیری                                                                     |
| ۱۵۲ | ۱-۵- کلیات                                                                                           |
| ۱۵۲ | ۲-۵- نتایج بدست آمده                                                                                 |
| ۱۵۶ | ۳-۵- پیشنهاد برای تحقیقات آینده                                                                      |
| ۱۵۷ | مراجع                                                                                                |



کلیات

## ۱- مقدمه

دیوارهای حائل سازه هایی هستند که به عنوان نگهدارنده های خاک بطور وسیع برای ساختگاه های ساحلی مانند اسکله ها جهت کناره گیری یا تخلیه ی بار کشتی ها ، حفاظت از ساحل در مقابل فرسایش، تثبیت شیب های زمین به ویژه در جاده ها ، حایل ترانشه ها و دیگر گودها و نیز برای فراز بندها استفاده می شود . بنابراین شناخت رفتار دیوارها در مجاورت محیط های دیگر از جمله محیط های خاکی به لحاظ طراحی بهینه و اقتصادی دیوارها حائز اهمیت می باشد . شناسایی مقدار و نحوه توزیع فشارهای جانبی خاک وارده بر دیوار بلحاظ ژئوتکنیکی نیز باید صورت پذیرد . در دیوارهای صلب جهت یکنواختی تغییر شکل در طول دیوار، نحوه توزیع فشار جانبی خاک تا حدی شناخته شده است . صور اصلی تغییر مکان این دیوارها شامل دوران حول رأس ، دوران حول پنجه و جابجایی کلی می باشد . البته رفتار سازه در دوران حول پنجه و جابجایی کلی دیوار نسبت به دوران حول رأس شناخته شده تر است . با افزایش انعطاف پذیری دیوار، جهت تغییر شکل غیر یکنواخت و غیر خطی سازه و نیز تغییر شکل های متفاوت محیط خاکی اطراف و اندرکنش آن با دیوار سبب پیچیدگی الگوی توزیع فشار جانبی خاک می گردد که این مسئله پیش بینی نیروهای وارده به سازه و پایداری آن و در نتیجه تخمین ارتفاع ایمن دیوار ، لنگربیشینه و جابجایی دیوار را مشکل می سازد . بطور کلی هر میزان انعطاف پذیری سازه بیشتر گردد لنگر خمشی کمتر و در عوض تغییر مکان بزرگتری (بخصوص در دیوارهای بدون مهار طره ای) در دیوار حادث می گردد .

اکثر تحلیل های موجود جهت محاسبه فشارهای جانبی خاک در مجاورت دیوار نظیر نظریه گوه گسیختگی کلمب و یا تعادل خمیری رانکین بر مبنای رفتار دیوار صلب تشکیل یافته است . بررسی ها حاکی از آن است که شکل گیری حالت حدی که بسبب شکست پیش رونده دیوار صلب جهت تغییر مکان تدریجی بوجود می آید، تاثیر قابل ملاحظه ای بر روی توزیع فشار جانبی خاک دارد و می تواند به توزیع غیرخطی فشار جانبی نسبت به عمق منجر گردد . تحلیل و طراحی سازه های حائل انعطاف پذیر نظیر سپرها نیز اغلب با استفاده از تحلیل های ساده شده سنتی و یا روش های تجربی و با در نظر گرفتن فرضیات ساده کننده مسئله انجام می پذیرد ، زیرا طبیعت آنها بطور استاتیکی نامعین بوده و بدون در نظر گرفتن این فرضیات ساده کننده، روابط پیچیده شده و فرآیندی که در حین تحلیل اتفاق می افتد نیز کاملاً شناخته شده نمی باشد؛ از طرفی کاربرد این روش ها تخمین های متفاوتی از پارامترهای عمده طراحی را منتج می شود . بنابراین روش های تحلیلی سنتی برای دیوارهای انعطاف پذیر بطور مستقیم قابل کاربرد نبوده و لازمه تغییراتی می باشد . لذا بدلیل عدم دقت در روش طراحی ، میزان تغییر شکل ها و حدود گسیختگی مجبور به ضرایب اطمینان بالایی می گردیم .

علاوه بر انعطاف پذیری دیوار، ساختار خاک، تعداد ردیف های مهار و نوع سیستم نگه دارنده نیز بر پیچیدگی اندرکنش خاک - سازه می افزاید.

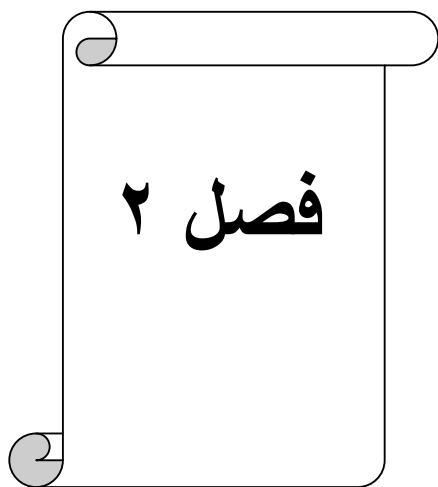
با توسعه بیشتر روش های عددی نظیر روشهای اجزای گسسته، تفاضلات محدود و یا اجزای محدود این روش ها جایگزین مناسبی برای روش های سنتی به شمار می آید. به دلیل قابلیت های روش های عددی جهت مدلسازی اجزاء و محیط های مختلف، امکان در نظر گرفتن اندرکنش محیط های مختلف بر هم و همچنین بر سازه وجود دارد و به همین جهت نتایج واقع بینانه تری نسبت به روشهای سنتی انتظار می رود. تحلیل و طراحی سازه های حائل به روش عددی توسط نرم افزارهای کامپیوتری پیشرفت خوبی داشته و تلاش در جهت مدلسازی بهتر رفتار دیوار و شناسایی فرآیندهای اندرکنشی بین اجزای مدل همچنان ادامه دارد.

در همین راستا در این پایان نامه تحلیل عددی به کمک نرم افزار Plaxis که توانایی مدلسازی محیط های خاکی، دیوار حایل و اندرکنش خاک و سازه را دارد، انجام شده و مسئله تاثیر فاصله دو سپر و اندرکنش آنها بر هم مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در ابتدا مدل عددی با استفاده از یک مدل واقعی ابزارگذاری شده که در دانشگاه علم و صنعت نروژ برای انجام امور تحقیقاتی ساخته شده است کالیبره گردیده و سپس با استفاده از مدل کالیبره شده آنالیز حساسیت و تحلیل سپر در شرایط متفاوت انجام می گیرد.

در این پایان نامه، ابتدا به بررسی نظریه های موجود در تعیین فشار جانبی خاک بر روی سپری ها پرداخته شده و پس از آشنایی با فرضیات آنها ضمن درک بهتر رفتار این سازه ها، به ارزیابی دقیق تری از نتایج نرم افزار پرداخته شده است.

بنابراین، فصل دوم این مجموعه عمدتاً به مرور مطالعات گذشته و توضیح روش های مختلف در تعیین فشار جانبی خاک و بررسی رفتار و ویژگی های دیوارهای منعطف می پردازد. در فصل سوم به بررسی مدل سازی عددی و خصوصیات نرم افزار Plaxis پرداخته می شود. فصل چهارم تحلیل اجزاء محدود و نتایج حاصله را در بر گرفته و نهایتاً جمع بندی و نتیجه گیری در فصل پنجم آورده شده است.



## خلاصه روش های تحلیل سپری ها

## ۱-۲- مقدمه

طراحی یک سپری تحت تاثیر بارهای مختلف ناشی از خاک ، آب و سربارهای سطحی و همچنین تاثیرات بارهای خارجی که بطور مستقیم بر سپر وارد می شود می باشد . همچنین همانطور که ذکر گردید تحلیل سپری های فلزی به علت انعطاف پذیری و وجود رفتار پیچیده ای که در طول های مختلف از خود نشان می دهند تاکنون توام با فرضیات ساده کننده ای بوده است . محققین روش های متعددی برای تحلیل دیوارهای حائل ارائه داده اند که در ادامه به تشریح و مقایسه آنها با هم می پردازیم .

## ۲-۲- فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک ، منعکس کننده ی حالت تنش در جرم خاک است و مفهوم ضریب فشار جانبی خاک ( $k$ )، اغلب به جهت تشریح این حالات تنش استفاده می شود . نسبت تنش های افقی به تنش های عمودی در هر عمق از خاک را ضریب فشار جانبی خاک تعریف می نمایند .

$$k = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad ۱-۲$$

$\sigma_h$  : تنش افقی

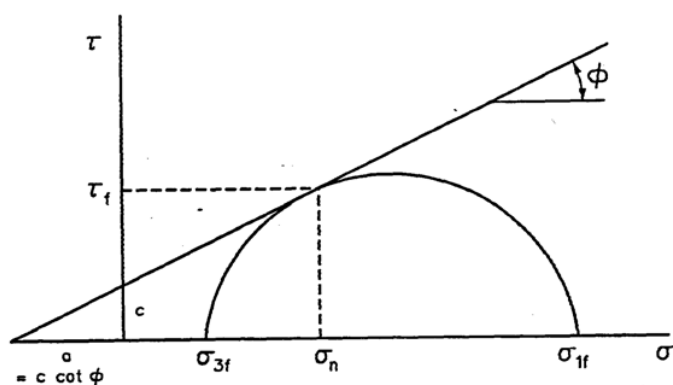
$\sigma_v$  : تنش قائم

فشار جانبی خاک برای هر سیستم مفروض سازه ممکن است از یک حالت اولیه تنش ایجاد شده در حالت سکون ( $K_0$ )، تا کمترین حالت حدی ایجاد شده در حالت محرک ( $K_A$ ) و یا بیشترین حالت حدی ایجاد شده در حالت مقاوم ( $K_p$ ) متغیر باشد .

شدت فشار جانبی ایجاد شده در دیوارها به موارد مختلفی از جمله ویژگی های فیزیکی و مشخصات مقاومتی خاک ، اندرکنش بین سازه و خاک ، شرایط آب زیرزمینی و تغییر شکل های سازه و خاک بستگی دارد . این حالات حدی به وسیله ی مقاومت برشی خاک محاسبه می گردد [۳] .

$$\tau_f = C + \sigma_n \tan \phi \quad ۲-۲$$

که  $\sigma_n$  و  $\tau_f$  به ترتیب تنش های برشی و عمودی در سطح شکست می باشد .  $C$  و  $\phi$  نیز پارامترهای مقاومت برشی خاک است ، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی .



شکل ۱-۲- پارامترهای مقاومت برشی

### ۱-۲-۲- فشار حالت سکون<sup>۱</sup>

فشار حالت سکون از یک حالت تنش که در آن هیچ حرکت جانبی یا کرنشی در جرم خاک بوجود نمی آید ، ایجاد می شود . در این حالت ، فشارهای جانبی خاک ، همان فشارهای موجود در زمین قبل از اجرای دیوار می باشد . این حالت در شکل ۲-۲ بصورت دایره موهر O مشخص می باشد .

### ۲-۲-۲- فشار حالت محرک<sup>۲</sup>

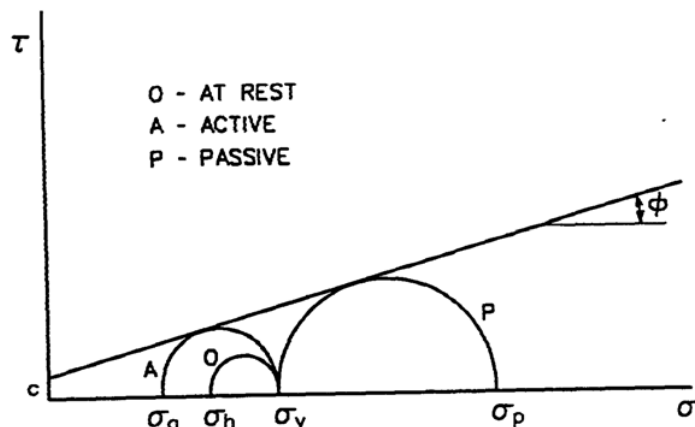
فشار محرک خاک ، کمترین مقدار ممکن از فشارهای افقی در خاک می باشد . هرگاه دیوار حرکت یا چرخشی به صورت افقی به سمت خارج خاکریز داشته باشد این فشار ایجاد می گردد . این حالت در شکل ۲-۲ بصورت دایره A مشخص شده است [۳] .

<sup>۱</sup>-At-rest pressures

<sup>۲</sup>-Active pressures

۲-۲-۲- فشار حالت مقاوم<sup>۲</sup>

فشار مقاوم خاک ، بیشترین مقدار ممکن از فشارهای افقی خاک می باشد که می تواند در هر عمقی به وسیله ی حرکت افقی و یا چرخش به سمت خاکریز ایجاد شود و تمایل به فشردگی افقی خاک دارد . این حالت در شکل ۲-۲ بصورت دایره P مشخص شده است [۳] .

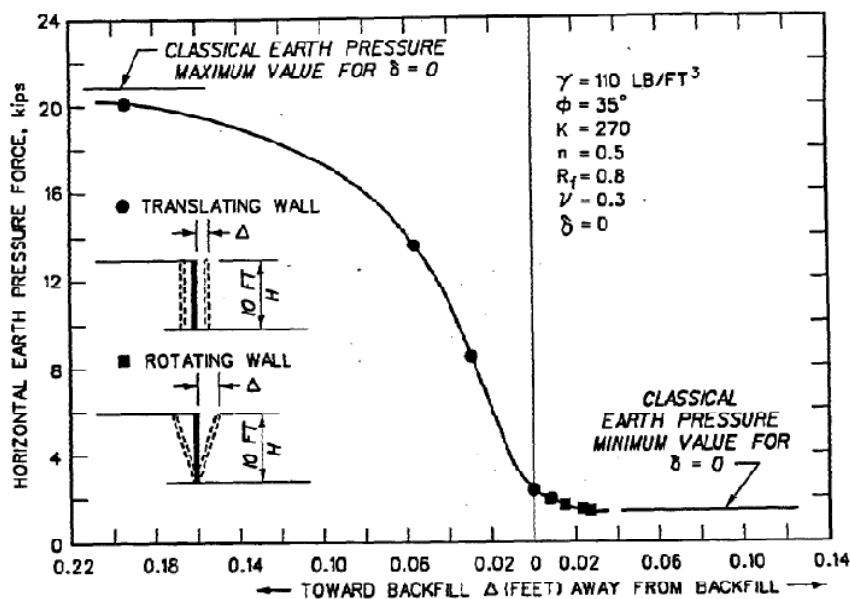


شکل ۲-۲- تعریف حالات فشار محرک و مقاوم

## ۲-۲-۴- حرکت های دیوار

میزان حرکت لازم جهت ایجاد کمترین فشار محرک یا بیشترین فشار مقاوم خاک بستگی به سختی خاک و ارتفاع دیوار دارد . این میزان برای خاک های سخت شبیه ماسه های متراکم یا رس های پیش تحکیم یافته حرکت نسبتاً "کوچکی" است . در شکل ۲-۳ دیده می شود که حرکت دیوار جهت ایجاد فشار کمینه (محرک) برابر ۰.۳ درصد از ارتفاع کلی دیوار و جهت ایجاد فشار بیشینه (مقاوم) برابر ۲ درصد کفایت می نماید . برای ماسه های با دانسیته ی متوسط ، می توان تخمین زد که حرکت لازم برای رسیدن به فشار محرک خاک بیشتر از ۰.۴ درصد ارتفاع دیوار (۱ اینچ برای دیوار ۲۰ فوتی) نمی باشد .

این میزان برای افزایش فشار جانبی خاک به مقدار بیشینه (فعال) تقریباً ده برابر حرکت مورد نیاز برای حالت محرک است، یعنی تقریباً ۴٪ ارتفاع دیوار (۱۰ اینچ حرکت برای دیوار ۲۰ فوتی). برای ماسه های سست، حرکت مورد نیاز برای رسیدن به حالت کمینه محرک یا بیشینه فعال مقداری از حالت قبل بیشتر است [۳].



شکل ۲-۳- تغییرات نیروی فشار جانبی خاک با حرکت دیوار - اندازه گیری شده به وسیله ی تحلیل اجزای محدود

## ۲-۲-۵- اصطکاک و چسبندگی دیوار

علاوه بر حرکات افقی، حرکات قائم که به موازات سطح خاک و دیوار ایجاد می شود نیز طی اصطکاک خاک/دیوار در خاک های دانه ای و نیز چسبندگی خاک/سازه در خاک های چسبنده، موجب تنش های برشی قائم می گردد. این مورد می تواند در شدت فشارهای جانبی ماکزیمم و مینیمم خاک تاثیرگذار باشد. برای حالت کمینه یا حالت حدی محرک، اصطکاک یا چسبندگی دیوار می تواند اندکی فشار جانبی خاک را کاهش می دهد. برای حالت بیشینه یا حالت حدی مقاوم، اصطکاک و یا چسبندگی دیوار بسته به شدت آن، ممکن است اندکی فشارهای جانبی خاک را افزایش دهد [۳].

## ۳-۲- محاسبات فشار جانبی خاک

برای محاسبه ی فشارهای جانبی کمینه و بیشینه خاک (محرک و فعال) ایجاد شده در یک جرم خاک اطراف دیوار، نظریه های متعدد فشار جانبی خاک قابل استفاده است. یکی از این نظریه ها کلمب است.

۳-۲-۱- نظریه کلمب<sup>۴</sup>

ارزیابی فشارهای جانبی خاک بر پایه ی فرض یک سطح شکست ایجاد شده در جرم خاک است، و همراه شکست، نیروهای برشی و عمودی وابسته به مقاومت برشی می باشد (رابطه ۲-۲).  
دیگرام های بدنه آزاد در یک گوه ی خاک همگن محدود شده به وسیله ی سطح خاک، دیوار سپری و سطح شکست به همراه نیروی محرک ( $P_a$ ) و نیروی فعال ( $P_p$ ) در شکل ۲-۴- نمایش داده شده است.

$\gamma$ : وزن واحد خاک همگن

$\phi$ : زاویه ی اصطکاک داخلی خاک

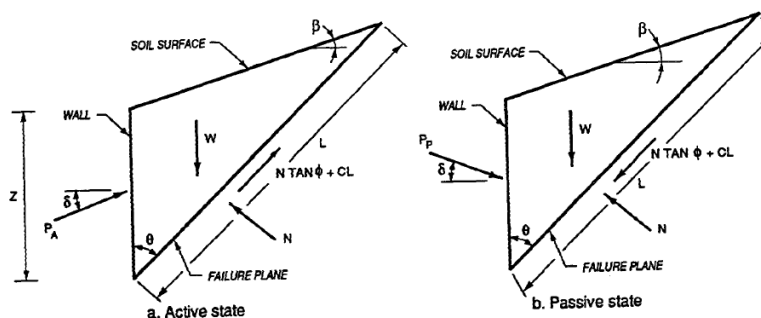
$C$ : مقاومت چسبندگی خاک

$\theta$ : زاویه بین دیوار و سطح شکست

$\delta$ : زاویه بین دیوار و سطح شکست

$\beta$ : شیب سطح خاک

$Z$ : عمق از سطح زمین



شکل ۲-۴- گوه ی خاک جهت نظریه فشار جانبی خاک کلمب

برای حالت حدی مقاوم یا محرک ( کمینه یا بیشینه )، زاویه  $i$  ( زاویه بحرانی در شکست ) از  $\frac{dP}{d\theta} = 0$  بدست می آید و در نهایت فشار در عمق  $Z$  نیز از رابطه  $P = \frac{dP}{dZ}$  بدست می آید . نتیجه آنکه مقدار فشار محرک برابر است با :

$$P_a = \gamma Z K_A - 2C\sqrt{K_A} \quad 3-2$$

و مقدار فشار مقاوم برابر است با :

$$P_p = \gamma Z K_p + 2C\sqrt{K_p} \quad 4-2$$

( $K_A$ ) و ( $K_p$ ) ضرایب فشارهای محرک و مقاوم از روابط زیر بدست می آیند [۳] :

$$K_A = \frac{\cos^2(\Phi-\theta)}{\{\cos^2\theta\}\{\cos(\delta+\theta)\}\left[1+\sqrt{\frac{\{\sin(\Phi+\delta)\}\{\sin(\Phi-\beta)\}}{\{\cos(\delta+\theta)\}\{\cos(\beta-\theta)\}}}\right]^2} \quad 5-2$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\Phi-\theta)}{\{\cos^2\theta\}\{\cos(\delta+\theta)\}\left[1-\sqrt{\frac{\{\sin(\Phi+\delta)\}\{\sin(\Phi+\beta)\}}{\{\cos(\delta+\theta)\}\{\cos(\beta-\theta)\}}}\right]^2} \quad 6-2$$

## ۲-۳-۲- نظریه رانکین °

در نظریه رانکین فرض بر آن است که اصطکاک دیوار وجود نداشته باشد ( $\delta=0$ ) . سطح خاک و سطوح شکست سطوحی صاف بوده و نیروی برآیند اعمالی موازی شیب خاکریز می باشد . ضرایب طبق نظریه رانکین به وسیله ی روابط زیر به دست می آید :

$$K_a = \cos\beta \left[ \frac{\cos\beta - [(\cos\beta)^2 - (\cos\Phi)^2]^{0.5}}{\cos\beta + [(\cos\beta)^2 - (\cos\Phi)^2]^{0.5}} \right] \quad 7-2$$

$$K_p = \cos\beta \left[ \frac{\cos\beta + [(\cos\beta)^2 - (\cos\Phi)^2]^{0.5}}{\cos\beta - [(\cos\beta)^2 - (\cos\Phi)^2]^{0.5}} \right] \quad 8-2$$

رابطه ی رانکین برای فشار مقاوم تنها موقعی می توان بطور صحیح استفاده نمود که شیب خاکریز  $\beta$  برابر صفر بوده و یا منفی باشد . اگر اصطکاک دیوار مقداری بزرگ شود ، نظریه رانکین نمی تواند مورد اطمینان واقع شود و نمی تواند منتخب تخمین فشار خاک مستقیم در برابر خاک استفاده شود ( زاویه اصطکاک نمی تواند در رابطه بالا ظاهر شود ) . این نظریه می تواند برای استفاده جهت تخمین فشار خاک در یک صفحه قائم بر طبق وزن خاک استفاده شود [5].

## ۲-۳-۳- روش ضریب برای محاسبه ی فشار جانبی خاک

در قسمت قبل نظریه کلمب بیان گردید . اگرچه این نظریه برای خاک های همگن بسط داده می شود ، در لایه بندی سیستم های خاک مرکب در افق و لایه های هموزن کاربرد دارد .  $\gamma Z$  در روابط ۲-۳ و ۲-۴ ، فشار استاتیکی خاک در عمق  $Z$  در سیستم همگن می باشد . در یک سیستم لایه بندی شده ، این قسمت به وسیله تاثیر فشار قائم خاک ( $P_A$ ) در عمق  $Z$  شامل تاثیرهای غوطه وری و تراوش در وزن واحد خاک جایگزین می شود . فشار محرک و مقاوم خاک در هر نقطه بدست می آید از [۳] :

$$P_a = P_v K_A - 2C\sqrt{K_A} \quad ۹-۲$$

$$P_p = P_v K_p + 2C\sqrt{K_p} \quad ۱۰-۲$$

( $K_A$ ) و ( $K_p$ ) ضرایب فشار محرک و مقاوم خاک که از روابط ۲-۵ و ۲-۶ بدست می آیند و  $\phi$  و  $C$  پارامترهای مقاومتی موثر ( به تشریح ضریب اطمینان خاک ) و  $\delta$  زاویه اصطکاک دیوار در نقطه ی مورد نظر می باشد . این روند می تواند در ناپیوستگی بزرگ در تشریح فشار در مرزهای لایه ی خاک محاسبه گردد .

## ۲-۳-۴- روش های گوه ای برای یافتن فشار خاک

روش ضرایب نمی تواند برای تاثیر های شیب بندی سطح زمین ، شیب بندی مرزهای لایه های خاک و یا در نظر گرفتن چسبندگی دیوار/خاک محاسبه گردد . وقتی هر کدام از این تاثیرات وجود داشته باشند ، فشارهای خاک به وسیله ی یک روش عددی ، یک روش گوه ای بر پایه ی مفروضات اولیه نظریه کلمب محاسبه می گردد . برآورد عملی فشارهای خاک به وسیله ی روش گوه ای نیازمند یک برنامه ی کامپیوتری است [۳] .

## ۲-۴- بارهای سربار

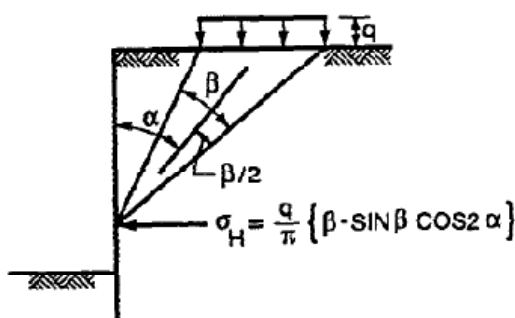
بارها به سبب مواد انباشته شده ، ماشین آلات ، بزرگراه ها و دیگر تاثیرات ساکن در سطح خاک در نزدیکی دیوار ، فشارهای جانبی در دیوار را افزایش می دهد . اگر سیستم عملکرد روش ضریب را جواب دهد ، تاثیرات سربارها بغیر از سربارهای یکنواخت ، از نظریه روابط ارتجاعی محاسبه می گردند [۳] .

## ۲-۴-۱- سربار یکنواخت

یک سربار یکنواخت فرض می شود در تمام نقاط سطح خاک بکار گرفته شده و تاثیر سربار یکسان در افزایش فشار عمودی خاک ( $P_v$ ) در روابط ۲-۹ و ۲-۱۰ به وسیله ی یک مقدار شدت سربار آورده می شود.

## ۲-۴-۲- بار نواری

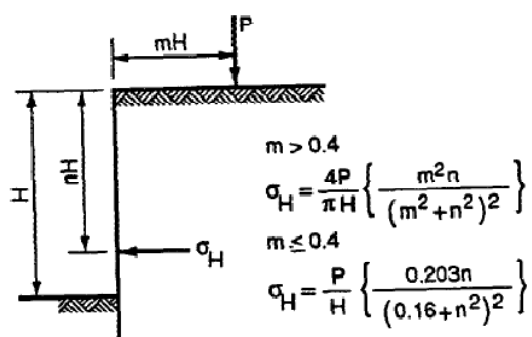
یک بار نواری بطور موازی در یک محور طولی در امتداد دیوار ادامه می یابد و در شکل ۵-۲ نشان داده شده است. فشار مضاعف وارده بر دیوار با استفاده از رابطه ی موجود در شکل ۵-۲ مشخص می گردد. هر فشار محاسبه شده ی منفی برای بارهای نواری صرفنظر می گردد.



شکل ۵-۲- بار نواری

## ۲-۴-۳- بارهای خطی

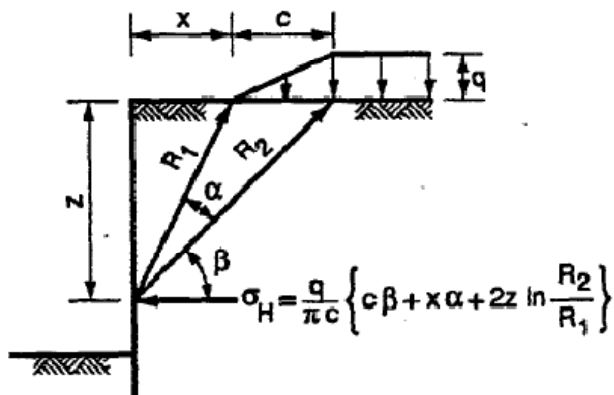
یک بار متداوم موازی دیوار است و ابعاد نازک عمودی دیوار ممکن است بصورت یک بار خطی باشد که در شکل ۶-۲ نشان داده شده است. فشار جانبی در دیوار به وسیله ی معادله ی موجود در شکل ۶-۲ محاسبه می گردد.



شکل ۶-۲- بار خطی

#### ۲-۴-۴- بار شیب دار

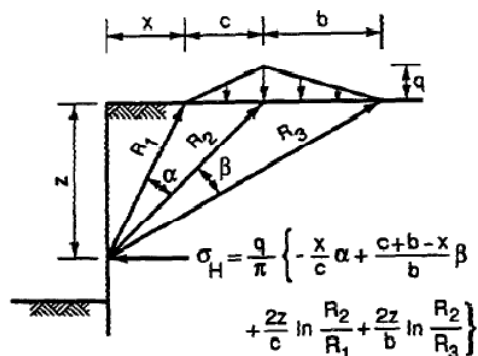
یک بار شیب دار ، همانند شکل ۷-۲ ، افزایش خطی از صفر تا مقدار ماکزیمم داشته و سپس بصورت ثابت ادامه می یابد . روابط نیز در شکل آمده است :



شکل ۷-۲- بار شیب دار

#### ۲-۴-۵- بار مثلثی

یک بار مثلثی بطور عمودی نسبت به دیوار متغیر بوده و همانند شکل ۸-۲ بطور موازی نسبت به دیوار ادامه می یابد . روابط در شکل آمده است :



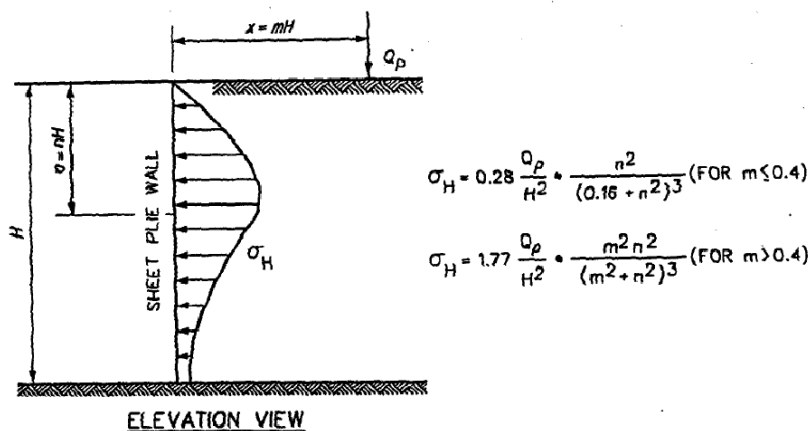
شکل ۲-۸- بار مثلثی

#### ۲-۴-۶- بارهای سطحی

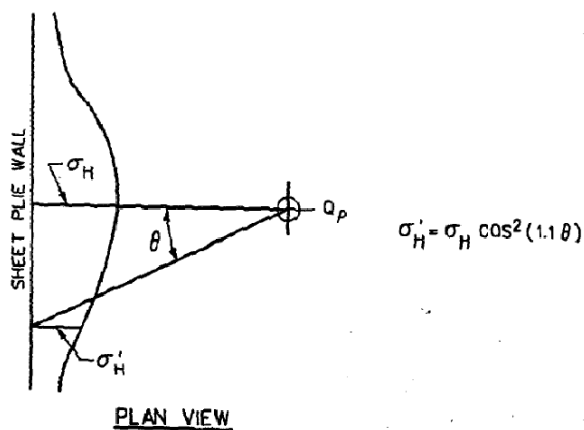
بار سطحی یک سربار توزیع شده در یک سطح محدود در نزدیکی دیوار می باشد. فشارهای جانبی ایجاد شده به وسیله ی بارهای سطحی ممکن است با استفاده از جدول نیومارک محاسبه گردند. فشارهای جانبی دیوار ناشی از بارهای سطحی، نسبت به عمق از سطح زمین و فاصله ی افقی بار با دیوار متغیر است.

#### ۲-۴-۷- بارهای نقطه ای

سربار سطحی با مساحت کوچک می تواند یک بار نقطه ای باشد. روابط در شکل ۲-۹ آورده شده است.



a. Vertical variation of pressures



b. Horizontal variation of pressures

شکل ۹-۲- بار نقطه ای

## ۵-۲- بار آب

### ۵-۲-۱- فشار هیدرواستاتیک

ترازهای مختلف آب در هر طرف دیوار یک فشار هیدرواستاتیک غیرمتعادل را به وجود می آورد. فشار آب به وسیله ی ضرب کردن عمق در وزن ویژه ی آب محاسبه می گردد. اگر یک شرایط هیدرواستاتیک غیرجریانی در نظر گرفته شود، یعنی تاثیر تراوش در نظر گرفته نشود، فشار هیدرواستاتیک وارده به دیوار طبق قانون عمومی مذکور محاسبه می گردد. مجموع این فشار و فشار موثر خاک را فشار کل می نامند [۳].

## ۲-۵-۲- تاثیرات تراوش

اگر تراوش وجود داشته باشد ، فشار آب تحت جریان عمودی در سپری بطور متفاوتی توزیع می گردد . این توزیع نامتعادل را می توان از یک تحلیل تراوش بدست آورد . در این تحلیل ها باید نفوذپذیری خاک اطراف و همچنین کارایی هر زهکش را در نظر گرفت . تکنیک های تحلیل تراوش عبارتند از جریان خالص ، خط روش خزش و روش قطعه . این روش ها مشخص نیست که نتایجی محافظه کارانه داشته باشند . از اینرو مسئولیت طراح در تصمیم گیری طرح نهایی باید بر پایه ی تحلیل های مختلف مانند روش اجزای محدود باشد . تراوش رو به بالای اطراف سپری تمایل به کاهش وزن موثر خاک دارد ، بدین معنی که نیروی وارده به حایل کاهش می یابد . در موارد مطالعه شده ، تراوش رو به بالا سبب پدیده ی رگاب<sup>۶</sup> در مصالح اطراف سپری شده و یا در محدوده ی طرح ، خاک می تواند دچار جوشش<sup>۷</sup> گردد . یک روش تطبیق با تراوش ، افزایش ارتفاع سپری است ، بدین شکل که مسیرتراوش را افزایش می دهد . همچنین روشی دیگر استفاده ی یک سیستم زهکشی مناسب در محدوده ی طرح می باشد [۳] .

## ۲-۵-۳- عملکرد امواج

نیروهای جانبی تولیدی توسط امواج ، بستگی به فاکتورهای متعددی از قبیل فاصله ، طول ، نقاط شکست ، فرکانس و عمق سازه دارند . این نیروها بطور مثال برای یک تراز آبی مشخص ، توسط تحقیقات مهندسین ارتش ایالات متحده مورد بررسی قرار گرفته است [۳] .

## ۲-۶- تحلیل و طراحی سپرها

در این قسمت روش های متداول تحلیل و طراحی سپرها ارائه می گردد . سپرها در واقع دیوارهای حائل هستند که ممکن است بصورت موقت و یا دائمی استفاده شوند . این نوع سازه ها ممکن است پایداری خود را صرفاً از عمق نفوذ تعیین نمایند ، که در اینصورت سپرهای طره ای نامیده می شوند . همچنین برخی پایداری خود را از طریق عمق نفوذ همراه با اتصال مهاربند حاصل می نمایند که در این حالت سپرهای مهاربند دار نامیده می شوند [۳] .

---

<sup>۶</sup> - Piping

<sup>۷</sup> - Liquifaction

در سپرها که در واقع نوعی دیوار حائل انعطاف پذیر می باشند بر خلاف دیوارهای حائل صلب با ایجاد تغییر شکل در سازه ، اندازه و توزیع فشار جانبی بر روی سپر دچار تغییر می گردد . لذا اندازه و محل اثر برآیند فشارهای محرک ( $P_a$ ) و مقاوم ( $P_p$ ) نسبت به آنچه که برای دیوارهای صلب در نظر گرفته می شود متفاوت خواهد بود [۳].

## ۷-۲- ملاحظات عمومی

### ۷-۲-۱- هماهنگی Coordination

هماهنگی های مورد نیاز برای طراحی و ساخت یک سپر به نوع و موقعیت پروژه بستگی دارد. هماهنگی و همکاری مهندسين هیدرولیک ، ژئوتکنیک و سازه می بایستی از ابتدای طراحی پروژه تا مرحله بهره برداری ادامه یابد . در ابتدا این ترکیب مهندسی می بایست گزینه های متفاوت را در خصوص نوع سپر و روش های مختلف شناسایی حالت های واقعی مورد نیاز بررسی نماید . همچنین باید اثرات پروژه بر روی محیط زیست و شرایط موجود مطالعه گردد [۳].

### ۷-۲-۲- ملاحظات ژئوتکنیکی

بدلیل اینکه خاک اطراف سپر تکیه گاه آن می باشد، مطالعه در خصوص خاک بستر در امتداد قرارگیری سپر الزامی است . این مطالعه باید شامل همکاری مهندسين ژئوتکنیک ، سازه و زمین شناس باشد . همه اطلاعات موجود باید مورد بررسی قرار گیرند . اهداف اولیه مطالعات ژئوتکنیک باید شامل شناسایی موقعیت های ضعیف و کم مقاومت که ممکن است نتواند سپر را به خوبی مهار نماید ، یا سبب تغییر مسیر قرارگیری سپرها می شوند ، همچنین شناسایی شرایط زیر سطحی که می توانند مانع از سپرکوبی گردند و در نهایت تعیین پارامترهای طراحی و مقاومتی خاک باشد [۳].

### ۷-۲-۳- ملاحظات سازه ای

الف ) نوع سپر . انتخاب نوع سپر بر حسب اینکه مهاردار یا کنسولی باشد بر اساس موقعیت سپر ، نوع عملکرد آن ، خصوصیات خاک اطراف و مجاورت سپر با سازه های مجاور خواهد بود .

- سپرهای طره ای . معمولاً به عنوان دیوارهای نگهبان با ارتفاع کم (حدود ۱۰ تا ۱۵ فوت) استفاده می شوند . به دلیل اینکه سپرهای کنسولی گیرداری خود را صرفاً از خاک اطراف تامین می کنند، لذا ممکن است نزدیک سازه های مجاور قرار بگیرند (این فاصله نباید از ۱/۵ برابر طول کل سپر کمتر باشد).

- سپرهای مهاردار . هنگامیکه ارتفاع سپر از حد مناسب برای حالت طره ای بیشتر شود و یا میزان تغییر شکل های جانبی محدود باشد از این نوع سپرها استفاده می گردد .
- ب ( مصالح . طراح باید مصالح قابل استفاده و اثرات محیط بر روی رفتار آنها را بررسی نماید . اکثر سازه های دائمی از فولاد و یا بتن ساخته می شوند . بتن توانایی سرویس دهی در یک مدت زمان طولانی تحت شرایط معمولی را داراست، اما در مقایسه با سپرکوبی فلزی گران قیمت تر می باشد و همچنین نسبت به سپرکوبی فلزی دارای مشکلات بیشتری است . مشاهدات حاکی از آنست که چنانچه سپرهای فلزی بطور مناسبی طراحی گردند ، سرویس دهی طولانی مدتی خواهند داشت . سپرهای فلزی به دلیل وجود چند مزیت نسبت به سایر مصالح ، بطور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند . مزایای اصلی این سپرها عبارتند از :
- ۱- دارای مقاومت نسبی در برابر تنش های حاصل از کوبش سپر در خاک های سخت و یا مصالح سنگی می باشند .
  - ۲- وزن آنها نسبتاً سبک می باشد .
  - ۳- چندین بار قابل استفاده می باشند .
  - ۴- این نوع سپرها با در نظر گرفتن تمهیدات محافظتی مناسب ، طول عمر طولانی در مجاورت با آب را دارا هستند .
  - ۵- افزایش طول این سپرها با استفاده از جوشکاری و یا بلت آسان است .
- انواع مصالح قابل استفاده برای ساخت سپر شامل فولاد سنگین ، فولاد سبک ، چوب ، بتن ، آلومینیم ، فایبرگلاس و غیره می باشند [۳].
- در ادامه اشکال مقاطع سپری و شیوه کاربرد آن در سازه های ژئوتکنیکی نمایش داده شده است .