

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی

ارزیابی مقایسه‌ای رویکرد طراحی آیین‌نامه‌های دریایی برای سپری

با سکوی کاهنده به روش اجزا محدود

نگارنده:

مهناز عسکری

اساتید راهنما:

دکتر مهدی عجمی

دکتر محسن کرامتی

بهمن ۹۷

ب

تشر و قدردانی

از پدر و مادر و خانواده عزیزم که صادقانه در تمام دوران تحصیل ارزشمندترین پشتوانه من بوده‌اند،
متشکرم.

هم‌چنین از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر عجمی که من را در انجام این پژوهش همراهی نمودند،
کمال تشکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب مهندس عسکری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - سواحل، بنادر و سازه های دریایی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی مقایسه ای رویکرد طراحی آیین نامه های دریایی برای سپری باسکوی کاهنده به روش اجزا محدود تحت راهنمایی دکتر مهدی عجمی و دکتر محسن کرامتی متعهد می شوم :

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در ایران به عنوان یکی از کشورهای در حال توسعه با مرزهای آبی طولانی، ساخت اسکله‌ها با توجه به نقش به‌سزایی که در توسعه کشور دارند حائز اهمیت می‌باشد. اسکله‌ها و از جمله آن اسکله نوع سپری با سکوی کاهنده در جایی که خاک ضعیف است، بار زیادی روی اسکله وارد می‌شود و یا ارتفاع بیشتری از دیوار مورد نیاز است قابل کاربرد است. سکوی کاهنده، فشار جانبی ناشی از سربار را حذف می‌کند. در این مطالعه یک نوع اسکله سپری با سکوی کاهنده با روش اجزای محدود و طبق آیین‌نامه‌های گوناگون مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفته است. نرم‌افزار مورد استفاده جهت مدل‌سازی PLAXIS 2D بوده و جهت صحت‌سنجی نرم‌افزار از یک مدل آزمایشگاهی استفاده شده است. اساس انتخاب آیین‌نامه‌ها جهت تحلیل مقایسه‌ای، فلسفه طراحی نیمه‌احتمالاتی پیرامون این نوع سازه بوده است. از این رو چهار آیین‌نامه CUR166, CUR211, EAU, EUROCODE7 جهت بررسی بیشتر برگزیده شده‌اند. در پایان این تحقیق، مقایسه آیین‌نامه‌ها صورت گرفته و خروجی‌های نرم‌افزار آورده شده که در آن دیوار سپری از لحاظ لنگر خمشی، نیروی محوری و جابه‌جایی افقی مقایسه شده است. مقادیر لنگر خمشی و نیروی محوری و جابه‌جایی افقی به‌دست آمده از EUROCODE کم‌ترین مقدار بین آیین‌نامه‌های مورد بررسی بوده و پروفیل X52 برای آن پیشنهاد شده است. برای اسکله طراحی شده با آیین‌نامه‌های CUR211, EAU نیز پروفیل X56 پیشنهاد شده است.

کلیدواژه: اسکله سپری با سکوی کاهنده، روش اجزای محدود، آیین‌نامه‌های طراحی اسکله، نرم‌افزار PLAXIS، لنگر خمشی، جابه‌جایی افقی

فهرست مطالب:

۱	فصل اول : کلیات تحقیق
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۱-۲- اهمیت و ضرورت تحقیق
۳	۱-۳- هدف ها و کاربردهای مورد انتظار از انجام تحقیق
۳	۱-۴- فرضیه های تحقیق
۴	۱-۵- سوالات تحقیق
۴	۱-۶- نوآوری تحقیق
۴	۱-۷- روش تجزیه و تحلیل داده ها
۵	۱-۸- معرفی فصل های تحقیق
۷	فصل دوم : معرفی سازه و منطقه
۸	۲-۱- تشریح اسکله مدل شده
۹	۲-۱-۱- مشخصات اسکله و شناور و سکوی کاهنده
۱۰	۲-۱-۲- پارامترهای هندسی
۱۲	۲-۱-۳- سطوح آب
۱۲	۲-۱-۴- مشخصات خاک
۱۴	۲-۱-۵- مشخصات مصالح
۱۷	۲-۱-۶- پارامتر مهاری
۱۸	۲-۲- بارهای وارد شده بر اسکله
۱۹	۲-۲-۱- بارهای زمینی
۲۰	۲-۲-۲- بار ترافیک

۲۰	۳-۲-۲- بار جرثقیل
۲۱	۴-۲-۲- بارهای مهاري روی بولارد
۲۲	۵-۲-۲- بارفندر
۲۵	فصل سوم : مروري بر کارهای پیشین
۲۶	۱-۳- مقدمه
۲۶	۲-۳- آنالیز مقایسه ای آیین نامه های طراحی اسکله ها
۲۷	۱-۲-۳- شرح پژوهش
۲۸	۲-۲-۳- نتایج
۲۹	۳-۳- آنالیز پارامتری اسکله با سکوی کاهنده توسط دو روش BEF, PLAXIS
۲۹	۱-۳-۳- شرح پژوهش
۳۱	۲-۳-۳- نتایج
۳۳	۴-۳- طراحی اسکله ها با استفاده از اجزای محدود
۳۳	۱-۴-۳- شرح پژوهش
۳۵	۲-۴-۳- نتایج
۳۸	۵-۳- جمع بندی
۴۱	فصل چهارم : مواد و روش ها
۴۲	۱-۴- مقدمه
۴۲	۲-۴- انواع اسکله
۴۳	۳-۴- اسکله سپری و انواع آن
۴۵	۱-۳-۴- سپری مهار شده
۴۵	۲-۳-۴- سپری تک طره ای
۴۶	۳-۳-۴- اسکله سپری با سکوی کاهنده

۴۷	۴-۴- آیین‌نامه‌های موجود
۴۸	۴-۵- فلسفه طراحی نیمه‌احتمالاتی
۵۴	۴-۶- مدل‌های محاسباتی
۵۵	۴-۶-۱- روش BLUM
۵۶	۴-۶-۲- روش BEF (Beam on elastic foundation)
۵۸	۴-۶-۳- روش اجزای محدود
۵۹	۴-۷- معرفی plaxis
۶۱	۴-۷-۱- برنامه ورودی‌ها
۶۲	۴-۷-۲- برنامه محاسبات
۶۳	۴-۷-۳- برنامه خروجی‌ها
۶۳	۴-۸- محاسبات بر اساس CUR 211
۶۴	۴-۸-۱- سطوح آب
۶۵	۴-۸-۲- مشخصات خاک
۶۶	۴-۸-۳- ضرایب اطمینان
۶۷	۴-۸-۴- ترکیبات بار
۷۰	۴-۹- محاسبات بر اساس CUR166
۷۰	۴-۹-۱- مشخصات خاک
۷۱	۴-۹-۲- سطوح آب
۷۲	۴-۹-۳- ضرایب اطمینان
۷۳	۴-۱۰- محاسبات بر اساس EAU
۷۴	۴-۱۰-۱- سطوح آب
۷۵	۴-۱۰-۲- مشخصات خاک

۷۶	۳-۱۰-۴- ضرایب اطمینان
۷۷	۴-۱۰-۴- حالات بارگذاری
۷۸	۵-۱۰-۴- مقادیر مشخصه و طراحی
۷۹	۶-۱۰-۴- ترکیبات بار
۷۹	۱۱-۴- محاسبات بر اساس EUROCODE
۷۹	۱-۱۱-۴- ضرایب اطمینان
۸۳	فصل پنجم: مدل سازی و بیان تفصیلی نتایج
۸۴	۱-۵- مقدمه
۸۴	۲-۵- صحت‌سنجی نرم افزار
۸۶	۳-۵- مدل سازی
۸۷	۴-۵- نتایج CUR 211
۹۱	۵-۵- نتایج CUR 166
۹۲	۶-۵- نتایج EAU
۹۵	۷-۵- نتایج EUROCODE
۱۰۱	فصل ششم: جمع بندی رویکرد مقایسه ای و بیان خلاصه نتایج
۱۰۲	۱-۶- مقدمه
۱۰۲	۲-۶- گزینش صحیح آیین نامه های موجود برای طراحی اسکله
۱۰۲	۳-۶- تعیین مقادیر مشخصه صحیح
۱۰۳	۴-۶- انتخاب فلسفه طراحی به‌روز
۱۰۴	۵-۶- تفسیر منطقی نتایج طراحی بعد از اعمال فلسفه طراحی
۱۰۷	۶-۶- پیشنهادات
۱۰۹	مراجع و منابع

فهرست جداول

- ۱۰ جدول (۱-۲) مشخصات سکوی کاهنده
- ۱۱ جدول (۲-۲) تعیین ارتفاع گیرداری
- ۱۲ جدول (۳-۲) تغییرات سطوح آب بندر رتردام
- ۱۵ جدول (۴-۲) تنش تسلیم انواع فولاد مورد استفاده در لوله ها
- ۱۵ جدول (۵-۲) مشخصات شمع باربر
- ۱۶ جدول (۵-۲) مشخصات سکوی کاهنده
- ۱۶ جدول (۶-۲) مشخصات دیوار مرکب
- ۱۷ جدول (۷-۲) مشخصات شمع m-v
- ۱۹ جدول (۸-۲) بارهای زمینی بر طبق آیین نامه‌ها
- ۲۱ جدول (۹-۲) نیروی کششی برای جابجایی آب بر طبق CUR166 ,EAU ,CUR211
- ۲۷ جدول (۱-۳) محل اعمال ضرایب اطمینان در آیین نامه های مختلف
- ۳۲ جدول (۲-۳) ممان خمشی به دست آمده از روش ها و خاک های متفاوت
- ۳۲ جدول (۳-۳) ممان خمشی به دست آمده بر اساس فاصله مرکز به مرکز مختلف
- ۵۴ جدول (۱-۴) شاخص قابلیت اعتماد برای مکانیسم شکست اصلی بر طبق CUR166,CUR211
- ۶۱ جدول (۲-۴) پارامترهای مورد استفاده در مدل مورکلمب
- ۶۳ جدول (۳-۴) دسته بندی انواع سازه در CUR211
- ۶۴ جدول (۴-۴) مقادیر طراحی برای ترازهای آب
- ۶۵ جدول (۵-۴) مشخصات خاک بر طبق CUR166
- ۶۶ جدول (۶-۴) ضرایب اطمینان برای پارامترهای هندسی
- ۶۶ جدول (۷-۴) ضرایب اطمینان برای نیروهای داخلی از محاسبات سپری
- ۶۷ جدول (۸-۴) ضرایب جزئی بار برای حالت حدی نهایی

۶۷	جدول (۹-۴) مقادیر طراحی بارها در ترکیبات بار در حالت حدی نهایی
۶۸	جدول (۱۰-۴) انواع بارهای وارد بر اسکله
۶۸	جدول (۱۱-۴) ضرایب کاهش بار در ترکیب بار
۶۹	جدول (۱۲-۴) ترکیب بار LCA
۶۹	جدول (۱۳-۴) ترکیب بار LCB
۷۰	جدول (۱۴-۴) مشخصات خاک بر طبق CUR166
۷۲	جدول (۱۵-۴) تعیین مقادیر طراحی
۷۵	جدول (۱۶-۴) مشخصات خاک بر طبق EAU
۷۶	جدول (۱۷-۴) ضرایب اطمینان جزئی برای بارها و اثرات بارها برای LS1B
۷۶	جدول (۱۸-۴) ضرایب اطمینان جزئی برای مقاومت
۷۸	جدول (۱۹-۴) حالت های بارگذاری محاسبات سپری
۸۰	جدول (۲۰-۴) ضرایب اطمینان برای پارامترهای خاک بر طبق EUROCODE
۸۰	جدول (۲۱-۴) ضرایب کاهش توصیه شده برای ترکیب بار
۸۱	جدول (۲۲-۴) ترکیب بارها در حالت حدی نهایی
۸۱	جدول (۲۳-۴) ترکیبات بار در حالت حدی نهایی
۸۶	جدول (۱-۵) مقایسه ممان خمشی به دست آمده
۹۰	جدول (۲-۵) مقادیر به دست آمده برای دیوار سپری طبق CUR 211
۹۴	جدول (۳-۵) مقادیر به دست آمده برای دیوار سپری طبق EAU
۹۸	جدول (۴-۵) مقادیر به دست آمده برای دیوار سپری طبق EUROCODE
۱۰۴	جدول (۱-۶) محل اعمال ضرایب اطمینان در آیین نامه های مختلف
۱۰۵	جدول (۲-۶) مقایسه نتایج مدل سازی
۱۰۵	جدول (۳-۶) تنش تسلیم محاسبه شده

فهرست اشکال

- ۸ شکل (۱-۲) موقعیت اسکله Euromax
- ۹ شکل (۲-۲) مقطع عرضی اسکله سپری
- ۱۰ شکل (۳-۲) ابعاد سکوی کاهنده
- ۱۱ شکل (۴-۲) ارتفاع گیرداری
- ۱۳ شکل (۵-۲) آزمایش نفوذ مخروط AZZ93
- ۱۴ شکل (۶-۲) مقطع دیوار سپری مرکب
- ۱۵ شکل (۶-۲) نحوه قرارگیری پروفیل لوله ای و پروفیل U شکل سه تایی
- ۱۸ شکل (۷-۲) سطح مقطع شمع m-v
- ۱۸ شکل (۸-۲) عملیات کوبش شمع m-v
- ۲۱ شکل (۹-۲) جرثقیل کانتینری
- ۲۲ شکل (۱۰-۲) باز توزیع بارها در طول اسکله به علت بارهای بولارد
- ۲۳ شکل (۱۱-۲) فندر
- ۲۴ شکل (۱۲-۲) مقادیر بارهای وارده بر سپری
- ۲۶ شکل (۱-۳) نمایی از اسکله‌های بررسی شده
- ۲۹ شکل (۲-۳) شبیه سازی سکوی کاهنده به یک سیستم استاتیکی
- ۲۹ شکل (۳-۳) دیاگرام کلی پژوهش انجام شده
- ۳۰ شکل (۴-۳) نمودار ابعاد سکوه‌های بررسی شده
- ۳۰ شکل (۵-۳) شبیه سازی اسکله با سکوی کاهنده
- ۳۳ شکل (۶-۳) شبیه‌سازی متفاوت از شمع برابر
- ۳۴ شکل (۷-۳) اسکله های بررسی شده در پژوهش

- شکل (۳-۸) دیاگرام پژوهش انجام شده ۳۴
- شکل (۳-۹) اثر طول سکو و نوع نرم افزار در ممان خمشی ۳۵
- شکل (۳-۱۰) اثر عمق مهار در ممان خمشی ۳۶
- شکل (۳-۱۱) اثر عمق مهار در نیروی مهاری ۳۶
- شکل (۳-۱۲) اثر طول سکو و نوع نرم افزار در نیروی مهاری ۳۷
- شکل (۴-۱) اسکله سپری ۴۲
- شکل (۴-۲) انواع اسکله ۴۳
- شکل (۴-۳) توسعه اسکله کالا و اسکله یدک کش‌ها در جزیره خارک ۴۴
- شکل (۴-۴) اسکله سپری مهارشده ۴۵
- شکل (۴-۵) اسکله سپری طره ای ۴۵
- شکل (۴-۶) عملکرد سکوی کاهنده ۴۶
- شکل (۴-۷) اسکله سپری با عرشه قوطی شکل و عرشه L شکل ۴۷
- شکل (۴-۸) مقادیر مشخصه ۰.۵٪ بار و مقاومت با اعمال ضرایب اطمینان ۵۱
- شکل (۴-۹) شبیه‌سازی دیوار سپری و خاک ۵۶
- شکل (۴-۱۰) ضرایب فشار زمین در روش BLUM و BEF ۵۷
- شکل (۴-۱۱) مراحل ساخت اسکله سپری با سکوی کاهنده ۶۲
- شکل (۴-۱۲) فشار هیدرواستاتیک بر طبق CUR166 بدون سیستم زهکشی و با سیستم زهکشی ۷۱
- شکل (۴-۱۳) کمانش به علت تفاوت در سختی پروفیل اصلی و فرعی ۷۳
- شکل (۵-۱) مش‌بندی مدل ایجاد شده جهت صحت‌سنجی ۸۵
- شکل (۵-۲) نتایج صحت‌سنجی ۸۵
- شکل (۵-۳) نمونه مش‌بندی در PLAXIS ۸۶
- شکل (۵-۴) نتایج مدل‌سازی ترکیب بار LCA1 ۸۸

- ۸۹ شکل (۵-۵) نتایج مدل سازی ترکیب بار LCA2
- ۸۹ شکل (۶-۵) نتایج مدل سازی ترکیب بار LCA3
- ۹۰ شکل (۷-۵) نتایج مدل سازی ترکیب بار LCB
- ۹۲ شکل (۸-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LCA1 بر طبق EAU
- ۹۳ شکل (۹-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LCA2 بر طبق EAU
- ۹۳ شکل (۱۰-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LCA3 بر طبق EAU
- ۹۴ شکل (۱۱-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LCB بر طبق EAU
- ۹۶ شکل (۱۲-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار ALC بر طبق EURO CODE
- ۹۶ شکل (۱۳-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LC3 بر طبق EUROCODE
- ۹۷ شکل (۱۴-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LC2.2 بر طبق EUROCODE
- ۹۷ شکل (۱۵-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LC2.1 بر طبق EUROCODE
- ۹۸ شکل (۱۶-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LC1 بر طبق EUROCODE
- ۱۰۶ شکل (۱-۶) مقایسه لنگر خمشی به دست آمده در درجات مش متفاوت
- ۱۰۷ شکل (۲-۶) مقایسه لنگر خمشی در تراز پنجه های متفاوت و با نرم افزارهای متفاوت

فصل اول : کلیات تحقیق

۱-۱- مقدمه

حمل و نقل دریایی از دیرباز یکی از ارزان‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین راه‌های حمل کالا بوده و از این رو اکثر کشورهای دنیا تمایل زیادی به گسترش دسترسی خود به آب‌های آزاد دارند تا بتوانند از این موقعیت حداکثر بهره را ببرند. از این نگاه، بنادر و امکانات آن‌ها سهم به‌سزایی در افزایش دادن این بهره‌وری دارند. یکی از مهم‌ترین بخش‌های بنادر که نقش کلیدی را در میزان عملکرد بنادر بازی می‌کنند اسکله‌ها هستند. اسکله‌ها می‌بایست از همان ابتدا به درستی طراحی شوند و نگاه آینده‌نگری نسبت به عملکرد آن‌ها شود (ندافی، ۱۳۹۵).

با توجه به قرارگیری ایران در منطقه مهم خاورمیانه و ارتباط با آب‌های بین‌المللی و نیز وجود منابع نفت و گاز، ایران مسیر مناسبی برای حمل و نقل کالا و سوخت است. از آن‌جا که هزینه کارهای دریایی بسیار قابل توجه بوده، لذا لازم است توسعه زیرساخت‌های بندر و اسکله در اقتصادی‌ترین صورت ممکن انجام گیرد. یکی از رایج‌ترین انواع اسکله‌ها در کشور، با توجه به شرایط ژئوتکنیکی سواحل، سپرها می‌باشند که در چند سال اخیر طراحی و ساخت آن در ایران بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

۱-۲- اهمیت و ضرورت تحقیق

اسکله سپری با سکوی کاهنده^۱ نوع خاصی از اسکله سپری است که در ایران تاکنون ساخته نشده و در آیین‌نامه ایران نیز فقط به معرفی اجمالی آن پرداخته شده است. لذا مطالعه بیشتر بر روی این نوع اسکله مورد نیاز می‌باشد و با توجه به توجیه اقتصادی این سازه، باید مورد توجه بیشتری قرار بگیرد.

^۱ Sheet pile quaywall with relieving platform

۱-۳- هدف‌ها و کاربردهای مورد انتظار از انجام تحقیق

هدف این پژوهش، معرفی اسکله سپری با سکوی کاهنده، بیان کاربردها و قابلیت‌های آن و معرفی و مقایسه آیین‌نامه‌هایی است که به طراحی آن پرداخته است. در واقع هدف اصلی از این پژوهش، بیان تفاوت‌های آیین‌نامه‌های طراحی با توجه ویژه به رویکرد ایمنی نیمه احتمالاتی^۱ می‌باشد.

۱-۴- فرضیه‌های تحقیق

پارامترهای مورد استفاده در رویکردهای مقایسه‌ای، بسیار تئوریک و با ساده‌سازی‌های بسیار همراه می‌باشد (میجر، ۲۰۰۶). در رویکرد مقایسه‌ای پیش‌رو، متغیرهای زیادی مانند مشخصات هندسی سازه ثابت در نظر گرفته شده‌اند تا تحلیل انجام شود. بنابراین تحلیل مقایسه‌ای، محدود شده و فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

- محاسبات بر اساس حالت حدی نهایی است.
- محاسبات هزینه انجام نشده است.
- شرایط خاک بر اساس دیاگرام نفوذ مخروط^۲ است.
- سیستم زهکشی اعمال نشده است.
- همه محاسبات برای یک متر طول اسکله می‌باشد.
- دیوار به صورت عمود فرض شده است.
- تراز پنجه 35m- فرض شده است.

^۱ Semi-probabilistic safety approach

^۲ Cone penetration diagram: آزمایش نفوذ استوانه با نوک مخروط به داخل زمین با سرعت ۲۰ میلی‌متر در ثانیه

۱-۵- سوالات تحقیق

مهم‌ترین سوال در این پژوهش این است که چه تعداد آیین‌نامه دریایی با رویکرد نیمه‌احتمالاتی جهت طراحی اسکله سپری با سکوی کاهنده موجود است؟ تفاوت‌های این آیین‌نامه‌های دریایی در چیست؟ و تفسیر نتایج به‌دست آمده توسط هرکدام از آنها به چه صورت است؟

۱-۶- نوآوری تحقیق

نوآوری موجود در پژوهش، استفاده از مدل عددی اجزای محدود و نرم افزار PLAXIS 2D در فرآیند طراحی و شبیه سازی فشار خاک می‌باشد. شایان ذکر است که این مقایسه آیین‌نامه‌ها قبلاً توسط مدل تحلیلی تیر روی بستر ارتجاعی^۱ انجام گرفته است. مشکل این روش آن است که توانایی مدل‌سازی سکوی کاهنده در نرم افزار مربوطه (D-SHEET) را ندارد و محاسبات سکوی کاهنده باید به صورت دستی انجام بگیرد. با توجه به اینکه روش اجزای محدود دقیق تر و به روزتر است از این روش استفاده شده است. نرم‌افزار PLAXIS نیز یک نرم‌افزار کاملاً ژئوتکنیکی است و توانایی مدل‌سازی سکوی کاهنده و اسکله را به‌طور کامل داراست. همچنین مقایسه این چهار آیین‌نامه در هیچ پژوهشی تاکنون انجام نگرفته است، زیرا نوشتن آیین‌نامه EUROCODE به تازگی و در سال‌های اخیر به اتمام رسیده است.

۱-۷- روش تجزیه و تحلیل داده ها

در این مطالعه سعی بر این است که از میان آیین‌نامه‌ها، دستورالعمل‌ها و هندبوک‌های مختلفی که به طراحی اسکله سپری پرداخته اند، مراجعی که بر اساس طراحی نیمه‌احتمالاتی هستند و رویکرد ایمنی مشخصی دارند انتخاب شوند. با توجه به نبود اسکله سپری با سکوی کاهنده در ایران، مشخصات یک اسکله سپری با سکوی کاهنده ساخته شده در بندر رتردام هلند جهت پژوهش به کار گرفته شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود PLAXIS 2D مدل‌ها طبق آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های

^۱ Beam on elastic foundation

مختلف شبیه‌سازی و آنالیز شده‌اند. پس از انجام آنالیز، مقادیر ممان خمشی و نیروی محوری و جابجایی افقی مقایسه شده و بر اساس این مقادیر که رابطه مستقیمی با پروفیل دیوار سپری دارند، مناسب‌ترین پروفیل جهت طراحی طبق هر کدام از آیین‌نامه‌ها پیشنهاد شده است. جهت صحت سنجی، از مقایسه مقادیر یک مدل آزمایشگاهی با نتایج نرم‌افزار استفاده شده است.

۱-۸- معرفی فصل‌های تحقیق

در این تحقیق که با ساختاری پنج فصلی تنظیم شده است، پس از این فصل در فصل دوم معرفی سازه و منطقه صورت گرفته که شامل بارهای وارده بر اسکله نیز می‌باشد. در فصل سوم مرور کارهای پیشین شرح داده شده است. فصل چهارم مواد و روش‌هاست که در آن معرفی انواع اسکله‌ها، آیین‌نامه‌ها و فلسفه طراحی، معرفی مدل‌های محاسباتی و نرم‌افزار PLAXIS و اصول طراحی هر آیین‌نامه بیان شده است. فصل پنجم نیز نتایج به دست آمده از نرم‌افزار را به صورت کامل ارائه کرده است. این فصل با صحت سنجی نرم‌افزار آغاز و با بحث و جمع‌بندی بر تحلیل‌های انجام شده پایان یافته است. در انتها نیز پیشنهادهایی برای ادامه تحقیق آمده است.

فصل دوم : معرفی سازه و منطقه

۱-۲- تشریح اسکله مدل شده

طبق مطالعات و بررسی‌های انجام شده، علی‌رغم عملکرد مناسب این اسکله در سواحل نرم جهت کاهش ارتفاع گیرداری اسکله، تاکنون در ایران در هیچ بندری ساخته نشده است. بنابراین اسکله یورومکس^۱ واقع در بندر رتردام هلند به عنوان مرجع جهت انجام آنالیز مقایسه‌ای انتخاب شده است. این اسکله یک اسکله سپری با سکوی کاهنده است که از مشخصات منطقه ساخت اسکله، بارهای وارده و مشخصات هندسی اسکله جهت محاسبات استفاده گردیده است.

در این پژوهش طراحی جزئیات سازه‌ای اسکله انجام نشده است و پارامترهای هندسی و ابعاد اجزای اسکله (ابعاد سکوی کاهنده، ابعاد دیوار سپری، طول و مشخصات شمعی‌های استفاده شده) ثابت نگه‌داشته شده‌اند. این اسکله توسط آیین‌نامه‌های مختلف طراحی و مقایسه شده است. شکل زیر موقعیت این اسکله را نشان می‌دهد.

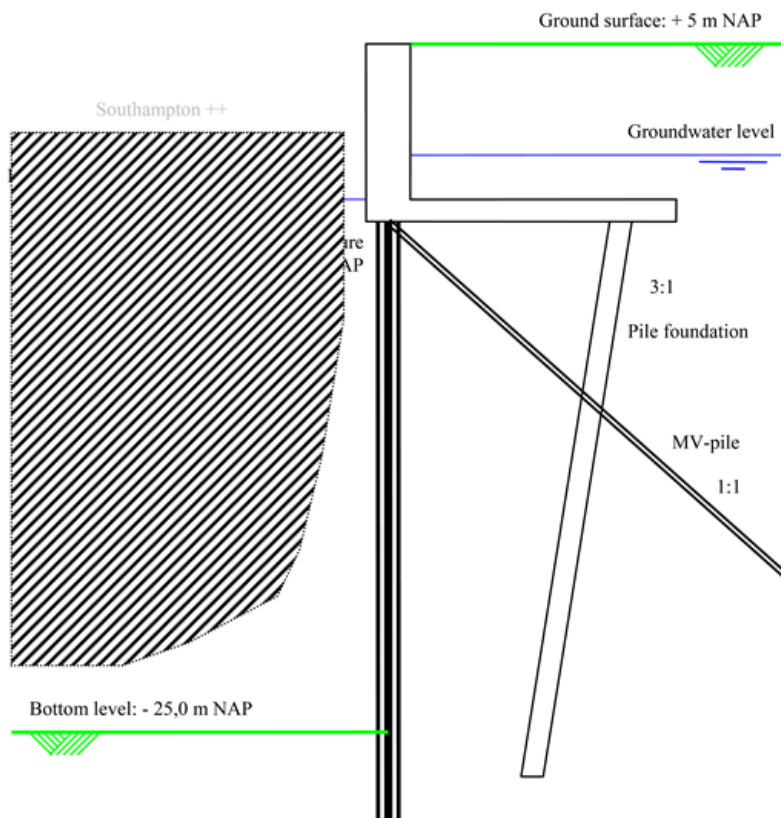


شکل (۱-۲) موقعیت اسکله Euromax (میجر، ۲۰۰۶)

^۱ EUROMAX

۱-۱-۲- مشخصات اسکله و شناور و سکوی کاهنده

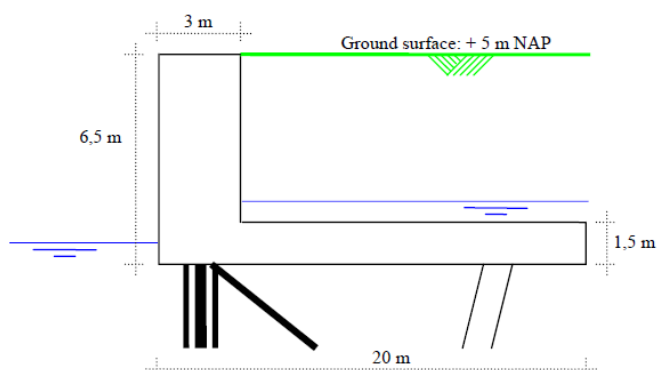
در طراحی اسکله از شناورهای کانتینری نسل هفتم که شناورهای به‌روزی هستند، استفاده شده است. این نوع شناورها توانایی انتقال^۱ 12500 TEU را دارند و به نام سوسمپتون^۲ شناخته می‌شوند. اسکله مورد نظر شامل دیوارسپری مرکب، سکوی کاهنده، شمع باربر و شمع‌های m-v می‌باشد. ابعاد سکوی کاهنده در شکل (۳-۲) مشخص است.



شکل (۲-۲) مقطع عرضی اسکله سپری

^۱ معیار احتساب کانتینر، اعم از ۲۰ یا ۴۰ فوت. در این شیوه، محاسبه بر اساس و معیار کانتینر ۲۰ فوت، انجام می‌شود. به عنوان مثال، یک کانتینر ۴۰ فوت، برابر 2 TEU محاسبه می‌شود.

^۲ Southampton++



شکل (۳-۲) ابعاد سکوی کاهنده

جدول (۱-۲) مشخصات سکوی کاهنده (میجر، ۲۰۰۶)

مشخصات	مقادیر
ارتفاع دیوار	6.5 m
عمق کف سازه	-1.5 m NAP ^۱
عرض کف	20 m
ضخامت دیوار	3 m
ضخامت کف سکوی کاهنده	1.5 m

سکوی کاهنده بارهای جرثقیل، بولارد، فندر^۲ و سایر بارهای زمینی^۳ را به المانهای فونداسیون شامل دیوار مرکب^۴، شمع m-v و شمع باربر^۵ منتقل می کند.

۲-۱-۲ پارامترهای هندسی

الف - ارتفاع گیرداری: از فرمول (۱-۲) و جدول (۳-۲) به دست آمده است.

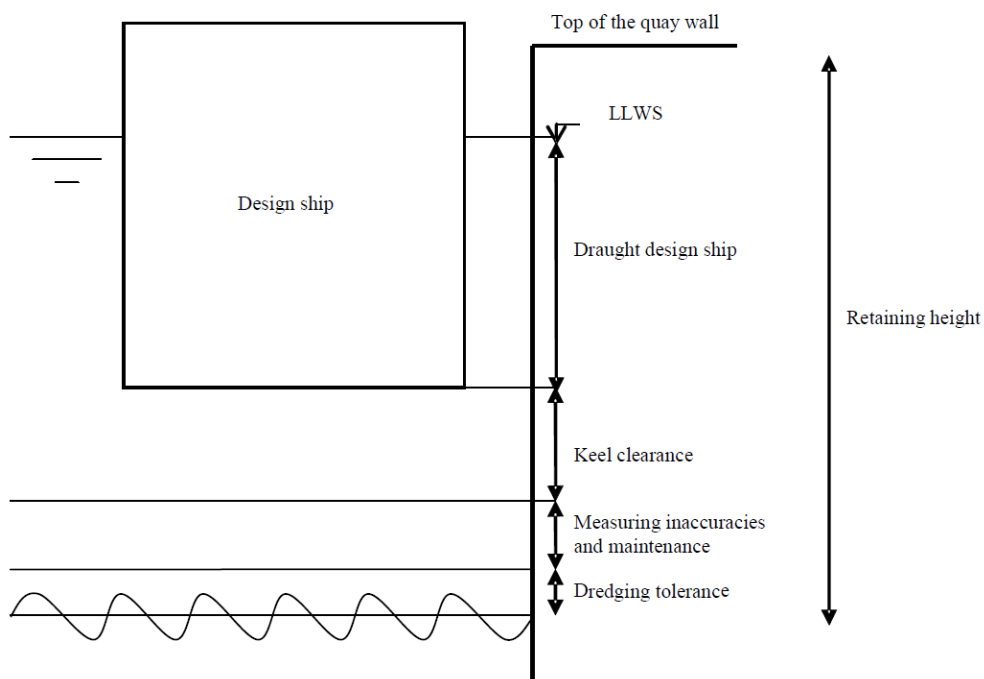
^۱ Normal Amsterdam peil : سطح آب نرمال هلند که کمی از سطح معمول آب های آزاد پایینتر است

^۲ Fender

^۳ Terrain load

^۴ Combined sheetpile wall

^۵ Bearing pile



شکل (۲-۴) ارتفاع گیرداری (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

جدول (۲-۲) تعیین ارتفاع گیرداری (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

A	1.1 Draught ¹	18.7	[m]
B	Keel clearance ² (10 - 15% of draught)	2.55	[m]
C	Measuring inaccuracies and maintenance ³	1	[m]
D	Dredging tolerances ⁴	0.8	[m]
E	Ground level ⁵	+5.0	[m NAP]
F	LLWS ⁶	-1.77	[m NAP]
	Retaining height	29.8~30	[m]

$$\text{Retaining height} = -(-F + A + B + C + D + E) \quad (1-2)$$

^۱ آبخور کشتی

^۲ فاصله کف کشتی تا کف دریا

^۳ خطای اندازه گیری

^۴ نوسانات لایروبی

^۵ سطح زمین

^۶ کمترین سطح آب

ب- سطح تراز بالای اسکله : سطح تراز بالای اسکله +5 m NAP در نظر گرفته شده است که با توجه به شرایط بندر و توصیه‌ها عددی کاملاً محافظه‌کارانه است.

۲-۱-۳- سطوح آب

تغییرات سطوح آب اندازه‌گیری شده در بندر رتردام آورده شده است. مقادیر هر آیین‌نامه در بخش طراحی مربوطه آورده شده است.

جدول (۲-۳) تغییرات سطوح آب بندر رتردام (میجر، ۲۰۰۶)

میانگین سطوح آب از اندازه‌گیری‌ها	[m NAP]
Mean High Water ^۱	+1.26
Mean Water Level ^۲	+0.06
Mean Low Water ^۳	-0.69
Mean Low Water Spring ^۴	-0.80
Lowest Low Water Spring (~olw) ^۵	-0.90
Lowest Low Water ^۶	-1.61

۲-۱-۴- مشخصات خاک

در این پژوهش، از مشخصات خاک یکسان برای همه آیین‌نامه‌ها استفاده شده است. برای اسکله Euromax تست‌های نفوذ مخروط و گمانه‌های زیادی برای بررسی خاک انجام شده است. در این آنالیز مقایسه‌ای از نتایج یک آزمایش نفوذ مخروط برای یک لایه رسی استفاده شده است. دلیل انتخاب این لایه رسی به عنوان نمونه جهت انجام محاسبات، وجود آن به عنوان طولی‌ترین لایه در منطقه مورد نظر

^۱ میانگین بالاترین ارتفاع‌های مشاهده شده در طول بازه جزر و مدی

^۲ میانگین ارتفاع آب در بازه‌های زمانی یک ساعته

^۳ میانگین کمترین ارتفاع‌های مشاهده شده در طول بازه جزرومدی

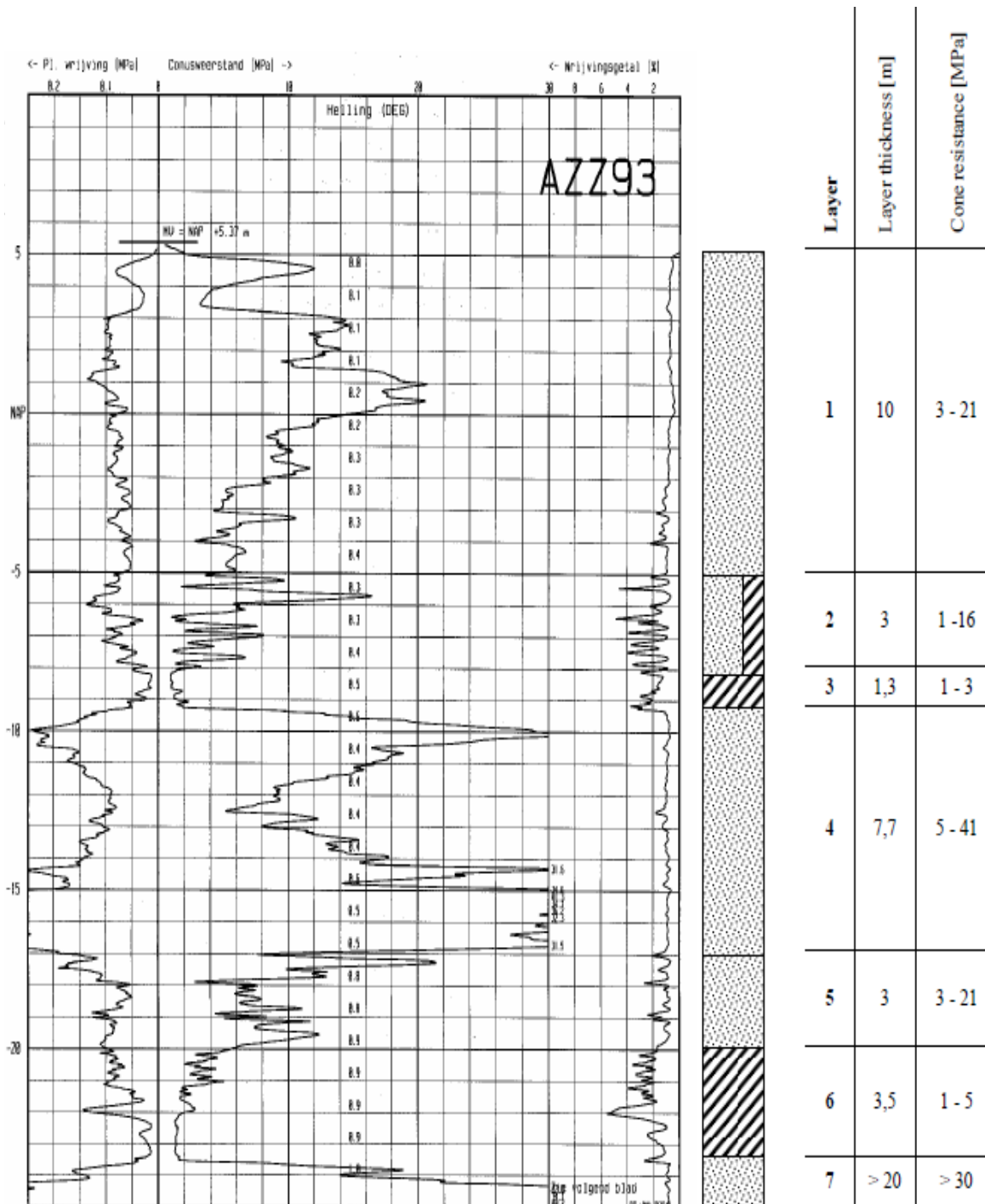
^۴ میانگین کمترین ارتفاعی که جزر و مد کامل در یک دوره زمانی به دست می‌آورد (دوره ۱۹ ساله)

^۵ میانگین کمترین ترازهای پایین آب برای دوره پنج ساله

^۶ کمترین تراز پایین آب اندازه‌گیری شده

می باشد. با این تست نفوذ و جداول موجود در آیین نامه ها مشخصات خاک به دست آمده است.

مشخصات خاک بر طبق هر آیین نامه در قسمت مربوطه آمده است.



شکل (۲-۵) آزمایش نفوذ مخروط AZZ93

۲-۱-۵- مشخصات مصالح

برای دیوار سپری دو نوع پروفیل وجود دارد: پروفیل U شکل و Z شکل. مزیت پروفیل U شکل این است که قفل و بست‌ها زمانی که به‌طور صحیح قرار بگیرند به یکدیگر فشار وارد می‌کنند، در صورتی که پروفیل Z شکل تنش‌های خمشی بزرگی دارد که در محل قفل و بست‌ها باعث باز شدن آن‌ها می‌شود. در این پژوهش از پروفیل U شکل استفاده شده است.

یک دیوار مرکب از دو پروفیل تشکیل شده است. برای مثال پروفیل لوله‌ای (اصلی)^۱ و پروفیل پر شونده (فرعی)^۲. پروفیل لوله‌ای برای ظرفیت باربری افقی و قائم است و پروفیل دیگر برای مقاومت در برابر شکست هیدرولیکی و تحمل فشار خاک است. فشار خاک روی شمع‌های پر شونده به علت کمزش کاهش یافته و به پروفیل لوله‌ای منتقل خواهد شد. تنها بارهایی که در این مورد روی پروفیل فرعی اعمال می‌شود فشار آب است. شکل زیر نمونه‌ای از یک دیوار سپری مرکب را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۶) مقطع دیوار سپری مرکب

فولاد مورد استفاده در بندر EUROMAX از نوع x70 است که دارای تنش مجاز 483 N/mm^2 می‌باشد. این نوع فولاد به طور گسترده در خطوط انتقال گاز ایران به شکل لوله‌های قطور فولادی، مورد

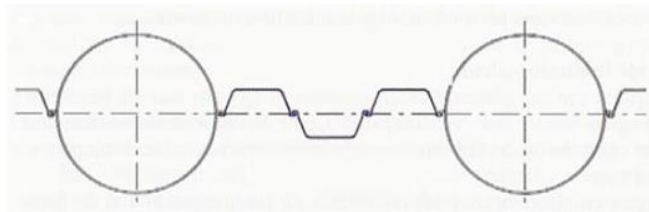
^۱ Tubular (primary) profile

^۲ Infill (secondary) profile

استفاده قرار گرفته است. استحکام بالا، چقرمگی بالا^۱ و قابلیت جوش پذیری مناسب، ویژگی‌های اصلی این فولاد است. دو کاراکتر بعد از حرف X نشان دهنده‌ی کم‌ترین میزان تنش تسلیم (در واحد ksi) می‌باشد. در جدول زیر تنش تسلیم انواع فولاد جهت ساخت لوله آورده شده است.

جدول (۲-۴) تنش تسلیم انواع فولاد مورد استفاده در لوله‌ها

نوع فولاد	تنش تسلیم (N/mm ²)
X52	358
X56	386
X60	413
X65	443
X70	483



شکل (۲-۶) نحوه قرارگیری پروفیل لوله ای و پروفیل U شکل سه تایی

مشخصات مصالح استفاده شده در قسمت سکوی کاهنده در جداول زیر آورده شده است:

جدول (۲-۵) مشخصات شمع باربر (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

شمع باربر (B55)	
قطر	0.67 m
مدول الاستیسیته	36 Gpa
شیب	3:1
طول	25 m
فاصله مرکز به مرکز	2.5 m

^۱ ترکیب مناسبی از استحکام و چکش خواری

جدول (۵-۲) مشخصات سکوی کاهنده (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

سکوی کاهنده بتنی (B35)	
قسمت افقی	
سطح مقطع	15000 cm ²
ممان اینرسی	28.125 × 10 ¹⁰ mm ⁴
مدول الاستیسیته	15 Gpa
قسمت قائم	
سطح مقطع	30000 cm ²
ممان اینرسی	225 × 10 ¹⁰ mm ⁴
مدول الاستیسیته	15 Gpa

جدول (۶-۲) مشخصات دیوار مرکب (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

دیوار مرکب	
سطح مقطع	49381 cm ²
ممان اینرسی	0.034 m ⁴ /m
تنش مجاز	483 N/mm ²
مدول الاستیسیته	210 × 10 ³ N/mm ²
پروفیل اصلی (لوله ای) X70	
سطح مقطع	49087.3 cm ²
ممان اینرسی	0.1472 m ⁴
قطر	2500 mm
ضخامت	24 mm
پروفیل فرعی (پرشونده) PU18 سه تایی	
سطح مقطع	294 cm ²
ممان اینرسی	64240 cm ²

ممان اینرسی دیوار مرکب از فرمول (۲-۲) به دست آمده است (میجر، ۲۰۰۶) :

$$I_{combi} = \frac{I_{tube} + I_{npile}}{L} \quad (۲-۲)$$

$$I_{tube} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_{outside}^4 - D_{inside}^4) \quad (۳-۲)$$

نحوه محاسبات در کادر زیر شرح داده شده است:

$$I_{combi} = \frac{I_{tube} + I_{npile}}{L} = \frac{0.1472 + 0.0006}{4.3} = 0.034 \frac{m^4}{m} \quad (2-2)$$

$$I_{tube} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_{outside}^4 - D_{inside}^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (2.52^4 - 2.47^4) = 0.1472 m^4 \quad (3-2)$$

در محاسبات بالا L طول سطح مقطع دیوار مرکب و D قطر پروفیل لوله‌ای است.

۲-۱-۶- پارامتر مهاری

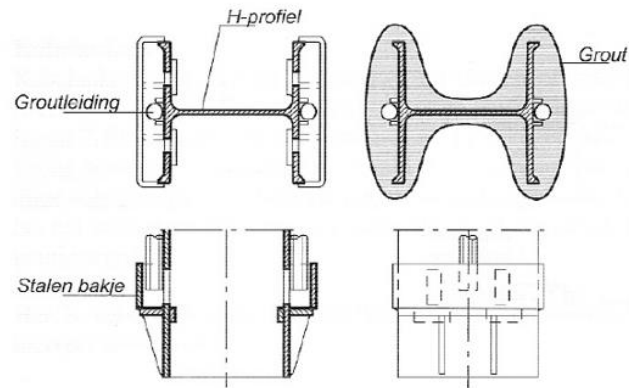
معمولاً شمع‌هایی که به عنوان مهار در رابطه با دیوارهای سپری فولادی مورد استفاده قرار می‌گیرند، مقاطع H شکل می‌باشند، زیرا این مقاطع علاوه بر آن که می‌توانند مقاومت اصطکاکی قابل توجهی را تأمین نمایند، قابلیت کوبش تا اعماق لازم را داشته و معمولاً می‌توانند در مقابل نیرو و تنش‌های وارده هنگام کوبیدن بر سر مایل شمع مقابله نمایند. کوبیدن شمع‌ها می‌تواند بعد و یا قبل از نصب سپرها انجام پذیرد (کد ۳-۳۰۰، ۱۳۸۵).

جدول (۷-۲) مشخصات شمع m-v (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

شمع M-V	
پروفیل	HP 360 × 152
سطح مقطع	193.8 cm ²
ممان اینرسی	4395.10 ⁵ mm ⁴
مدول الاستیسیته	205 GPa
زاویه	45 درجه
طول	35 m
فاصله مرکز به مرکز	2.5 m

یک نوع المان مهاری معروف، شمع m-v است که در آلمان ساخته می‌شود. این شمع، یک پروفیل فولادی H شکل است که گروت به آن تزریق می‌شود و اطراف آن را می‌پوشاند. این نوع شمع کشش زیادی را متحمل می‌شود و در یک اسکله با سکوی کاهنده، شمع، دیوارسپری و سکوی کاهنده در یک

نقطه به هم متصل می شوند. در این تحقیق یک سیستم مهاری سخت انتخاب شده است تا بتواند همه شرایط و آیین‌نامه‌ها را راضی کند. شکل زیر جزئیات آن را نشان می‌دهد.



شکل (۷-۲) سطح مقطع شمع m-v



شکل (۸-۲) عملیات کوبش شمع m-v

۲-۲- بارهای وارد شده بر اسکله

بارهای اعمال شده روی سازه یا از عوامل همیشگی و دائم می‌آیند مانند فشارخاک و آب و یا می‌توانند ناشی از بارهای متغیر خارجی باشند که به صورت افقی و قائم روی اسکله وارد می‌شوند. در آیین‌نامه‌ها اطلاعات کلی درباره بارهای متغیر داده شده است. برای آنالیز مقایسه‌ای، مقادیر بارها در همه موارد یکسان در نظر گرفته می‌شوند.

۲-۲-۱- بارهای زمینی^۱

این بارها روی سکوی اسکله به علت انبار وارد می شوند. در شکل زیر مقادیر کلی برای محاسبه ی بار در آیین نامه ها و دستورالعمل های مختلف داده شده است.

جدول (۲-۸) بارهای زمینی بر طبق آیین نامه ها

Handbook Quay Walls		EAU 2004	
(Representative weight: 17 % of the containers is not loaded)		(Representative weight)	
Maximum weight of a container	300 kN	Weight, 20 ft container	200 kN
1 layer container	15 kN/m ²	Weight, 40 ft container	300 kN
2 layers containers	25 kN/m ²	Light traffic (cars)	5 kN/m ²
3 layers containers	30 kN/m ²	General traffic (HGV's)	10 kN/m ²
4 layers containers	40 kN/m ²	General Cargo	20 kN/m ²
5 layers containers	50 kN/m ²	Container empty, stacked 4 high	15 kN/m ²
		Container full, stacked 2 high	35 kN/m ²
		Container full, stacked 4 high	55 kN/m ²

به دلایل ایمنی بیشتر از مقادیر EAU استفاده شده است. زیرا CUR211، ۱۷ درصد کانتینرها را خالی در نظر می گیرد. بین ریل های جرثقیل در سمت خشکی و سمت دریا، اسکله توسط انتقال کانتینرها یا انبار آنها بارگذاری می شود. فرض شده که دو لایه کانتینر روی هم انباشته شده اند و مقدار 40 kN/m^2 در نظر گرفته شده است. منطقه سمت خشکی ریل جرثقیل نیز می تواند برای انبار استفاده شود. کانتینرهای بیشتری در این منطقه می توانند ذخیره شوند. برای اسکله Euromax مقدار 60 kN/m^2 به خاطر احتمال توسعه اسکله در آینده توصیه شده است که فرضی قابل اعتماد می باشد.

^۱ Terrain load

۲-۲-۲- بار ترافیک^۱

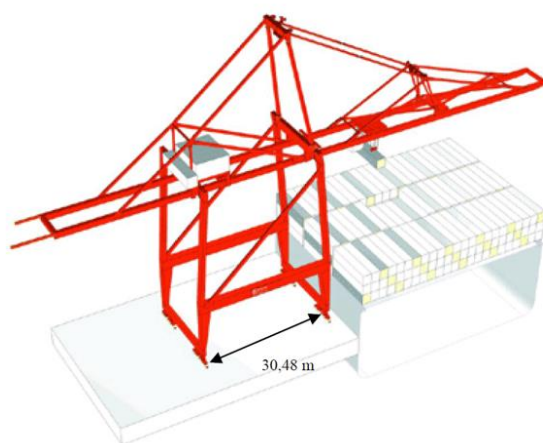
این بار به علت وسایل نقلیه و سایر سیستم‌های انتقالی است. این وسایل در مکان‌هایی که جرثقیل یا کانتینری وجود ندارد رانده می‌شوند. به علت در نظر گرفتن مقدار زیادی برای بار زمینی جهت انبار کانتینرها، بار ترافیک در بار زمینی محاسبه شده است.

۲-۲-۳- بار جرثقیل^۲

جرثقیل‌ها برای انتقال کانتینرها از کشتی به ساحل کاربرد دارند. بارهای وارده از سوی جرثقیل‌ها می‌توانند خیلی زیاد باشند. بنابراین دانستن نوع فونداسیون مساله مهمی است. در این پروژه، یک جرثقیل کانتینری بزرگ برای بارگزاری و باربرداری بزرگ‌ترین شناورهای کانتینری انتخاب شده است. در هیچ آیین‌نامه‌ای برای شناورهای کانتینری نسل جدید مقادیری داده نشده است. برای اسکله Euromax یک بار جرثقیل در نظر گرفته شده است. این مقدار برای محاسبات این پژوهش نیز فرض شده است: بار قائم 1600 kn/m ، بار افقی $\pm 60 \text{ kn/m}$ ، عرض ریل 30.48 m . این به این معنی است که برای طرف خشکی کنار جرثقیل که بار به صورت 45 درجه در دو طرف باز توزیع می‌شود، منجر به عرض 75 m می‌شود. معمولاً 1600 kn/m در طول 10 m اعمال می‌شود. بار خطی در ارتباط با 75 m ، 213 kn/m است. همچنین برای بار افقی جرثقیل طرف خشکی هم مقدار 8 kN/m به دست می‌آید. همه این مقادیر زمانی صحیح هستند که یک جرثقیل در حال کار است و سایر جرثقیل‌ها اثری روی این بارها ندارند. شکل زیر یک جرثقیل کانتینری را نشان می‌دهد.

^۱ Traffic load

^۲ Crane load



شکل (۹-۲) جرثقیل کانتینری

۴-۲-۲- بارهای مهاري روی بولارد^۱

نیروی روی بولاردها بستگی به جابه‌جایی آب به علت پهلوگیری دارد. آیین‌نامه‌ها یک جدول برای تخمین نیروی کششی طناب ناشی از جابه‌جایی آب دارند. در EAU, CUR166 این جابه‌جایی فقط جابه‌جایی آب ناشی از کشتی است و در CUR211 به علت جابه‌جایی‌های DWT^۲ است. بیش‌ترین بار زمانی رخ می‌دهد که طناب عمود بر اسکله باشد. جدولی بر اساس نیروهای کشش طناب در EAU داده شده است. CUR211, CUR166 نیز به این جدول ارجاع داده اند.

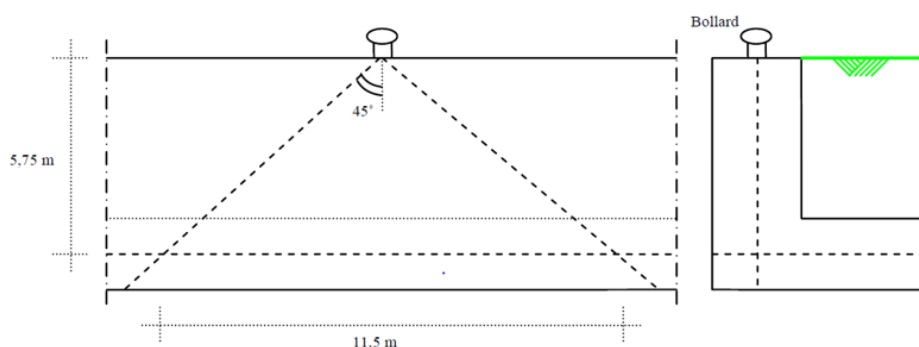
یک شناور کانتینری بیش از 200000 TON آب جابه‌جا می‌کند. نیروی کششی در ارتباط با این ظرفیت 2000 kN است. معمولاً این بار در امتداد زاویه 45 درجه از طریق بتن سکوی کاهنده به یک بار خطی توزیع خواهد شد. بولارد در مرکز عرض سکوی کاهنده قرار دارد که منجر به بار خطی افقی تقریباً 175 kN می‌شود که در طول 11.5 m بازتوزیع شده است.

جدول (۹-۲) نیروی کششی برای جابه‌جایی آب بر طبق EAU, CUR166, CUR211

^۱ Bollard load

^۲ Deadweight Tonnage مقدار جرم قابل حمل توسط یک کشتی که حمل آن برای ایمنی کشتی خطرناک نباشد.

نیروی کششی طناب (kN)	جابجایی آب (TON)
100	<2000
300	<10000
600	<20000
800	<50000
1000	<100000
1500	<200000
2000	>200000

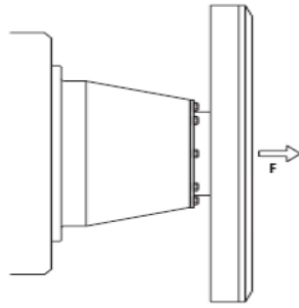


شکل (۲-۱۰) باز توزیع بارها در طول اسکله به علت بارهای بولارد (میجر، ۲۰۰۶)

۲-۲-۵- بارفندر^۱

در دستورالعمل‌ها بار فندر به‌طور کلی توصیف شده است، اما در EAU رابطه‌ای برای محاسبه آن بیان شده است. سیستم فندر بستگی به مقدار انرژی که توسط فندر گرفته شده دارد. این انرژی توسط یک کشتی پهلوگیری ایجاد شده است و شامل ضرب جابه‌جایی آب، سرعت پهلوگیری و بعضی فاکتورهای تصحیح کننده است که انرژی را افزایش یا کاهش می‌دهند. به این ترتیب یک نیروی عکس العمل برای یک سیستم فندر به‌دست می‌آید.

^۱ Fender load



شکل (۱۱-۲) فندر

$$E_d = \frac{1}{2} \times G \times V_s^2 \times C_E \times C_M \times C_S \times C_C \quad (۴-۲)$$

G = جرم کشتی^۱ (ton)

V_s = سرعت کشتی در جهت عمود بر اسکله^۲ (m/s)

C_m = ضریب هیدرودینامیکی جرم^۳

C_e = ضریب خروج از مرکزیت^۴

C_s = ضریب نرمی^۵

C_c = ضریب شکل پهلوگیری^۶

E_d = انرژی جذب شده (kN-m)

برای اسکله Euromax سیستمی به نام super cone fender از کاتالوگ fentek، که بر اساس انرژی

جذب شده فندر مورد نظر پیشنهاد می شود، انتخاب شده است. نتایج، نیروی عکس العمل 2539 kN

را ارائه می دهد. مرکز فندر در NAP +1.5 m است. با یک بازتوزیع 45 درجه در طول تقریبی 10 m

^۱ Mass of the ship

^۲ Berthing velocity

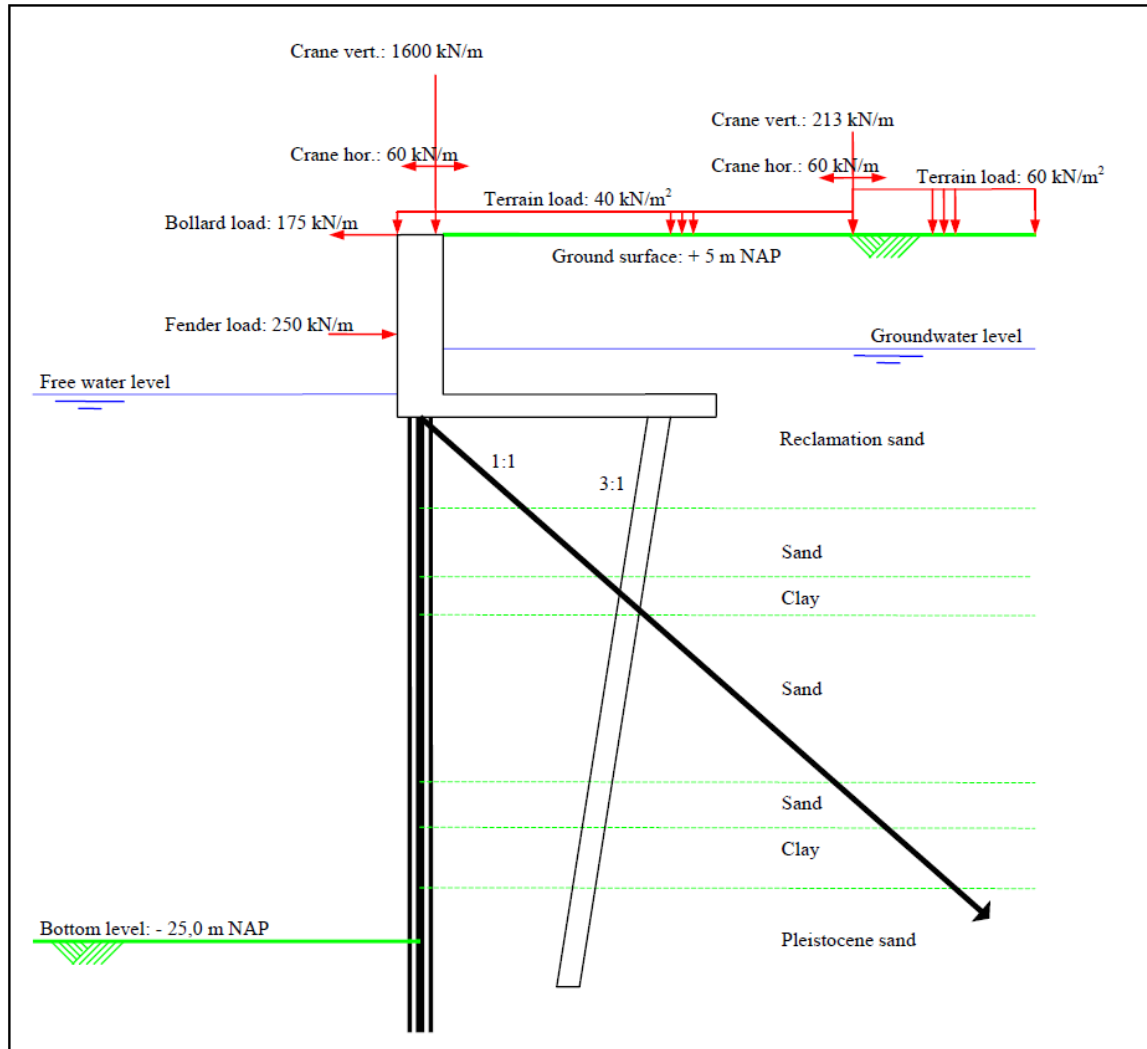
^۳ Virtual mass coefficient

^۴ Eccentricity coefficient

^۵ Softness coefficient

^۶ Configuration coefficient

منجر به یک بار خطی افقی روی دیوار سپری به اندازه تقریبی 250 kN/m می شود. مقادیر کلیه بارهای وارده در شکل زیر شبیه سازی شده اند:



شکل (۲-۱۲) مقادیر بارهای وارده بر سپری (میجر، ۲۰۰۶)

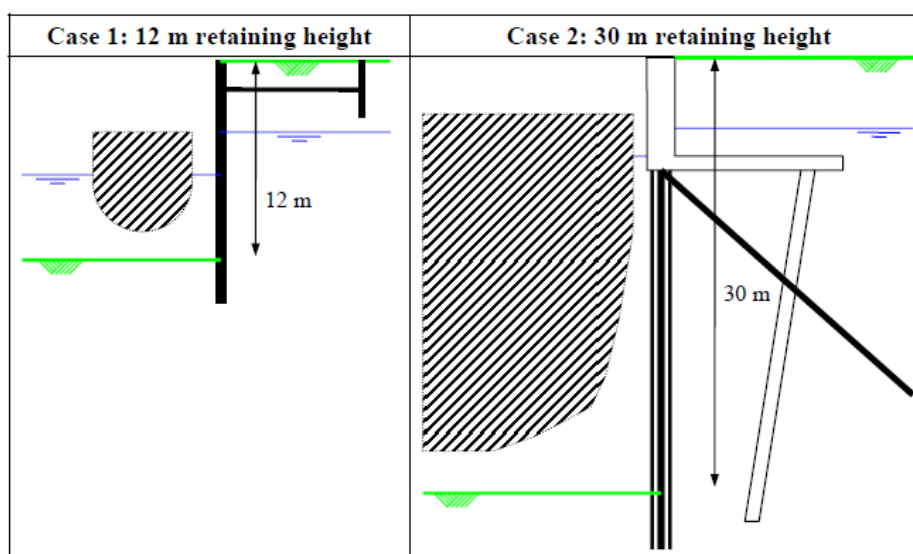
فصل سوم : مروری بر کارهای پیشین

۳-۱- مقدمه

در این بخش به مرور کارهای انجام گرفته در گذشته پیرامون اسکله سپری با سکوی کاهنده و روش اجزای محدود پرداخته شده است. با توجه به این که این نوع اسکله در ایران تاکنون ساخته نشده است، لذا پژوهشی در این باره موجود نیست و اکثر بررسی‌ها مربوط به هلند است، زیرا این نوع سازه از متداول‌ترین انواع اسکله در آن جا می باشد.

۳-۲- آنالیز مقایسه‌ای آیین‌نامه‌های طراحی اسکله‌ها

مقایسه‌ی آیین‌نامه‌های مختلف توسط امیل میجر^۱ (۲۰۰۶)، برای دو نوع سپری انجام شده است. یکی از این دو مورد، اسکله سپری مهارشده با ارتفاع ۱۲ متر شامل دیوار سپری، مهار و دیوار مهاری است. نوع دیگر، اسکله سپری با سکوی کاهنده با ارتفاع ۳۰ متر شامل دیوار سپری مرکب، شمع مهاری و سکوی کاهنده می باشد (میجر، ۲۰۰۶).



شکل (۳-۱) نمایی از اسکله‌های بررسی شده (میجر، ۲۰۰۶)

^۱ Emiel Meijer

۳-۲-۱- شرح پژوهش

مدل محاسباتی استفاده شده، BEF^۱ می باشد. آنالیز مقایسه‌ای استفاده شده در پژوهش مطابق با آخرین فلسفه طراحی (نیمه‌احتمالاتی) است. در ادامه، پس از جمع‌آوری مجموعه‌ای از آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های بین‌المللی، سه آیین‌نامه و دستورالعمل (EAU, CUR166, CUR211) انتخاب شده است.

برای همه دستورالعمل‌ها پارامترهای مشخصه شامل سطوح آب، مشخصات ژئوتکنیکی و بارهای خارجی تعیین شده است. همچنین جنبه‌های هندسی سازه و پارامترهای مصالح برای آنالیز، یکسان نگه داشته شده است.

اکثراً اعمال ضرایب اطمینان روی پارامترهای مختلف منجر به جواب‌های متفاوتی می‌شود. مطابق جدول (۳-۱)، CUR166 ضرایب اطمینان را روی بارها و پارامترهای مقاومتی خاک وارد می‌کند، در حالی که در CUR211 و EAU ضرایب اطمینان علاوه بر پارامترهای مقاومتی خاک، روی نیروهای داخلی نیز اعمال می‌شوند.

جدول (۳-۱) محل اعمال ضرایب اطمینان در آیین‌نامه‌های مختلف

ضرایب اطمینان روی:	بارها	نیروهای داخلی	پارامترهای مقاومتی
CUR 211	*	*	*
CUR 166	*		*
EAU	*	*	*

^۱ Beam on elastic foundation

۳-۲-۲- نتایج

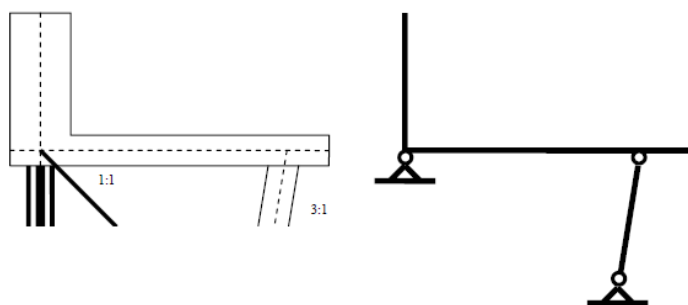
نتایج نشان داده است که EAU در همه محاسبات، کوچک‌ترین ممان‌های خمشی و نیروهای مهار را ارائه می‌دهد که عمدتاً به دلیل مقاومت بالاتر مشخصات خاک در EAU و عدم رضایت شبیه‌سازی BLUM در برنامه BEF است.

برای محاسبات مورد ۱ (ارتفاع گیرداری ۱۲ متر) CUR211 ممان‌های خمشی بزرگتری از CUR166 می‌دهد که عمدتاً به دلیل وجود ترکیب بار خاص با scour شدید و تفاوت سطح آب بیشتر نسبت به CUR166 است.

برای محاسبات مورد ۲ (ارتفاع گیرداری ۳۰ متر) CUR166 ممان‌های خمشی بزرگتری از CUR211 می‌دهد که عمدتاً به علت وجود سکوی کاهنده و اعمال ضرایب اطمینان بر روی پارامترهای مقاومتی خاک است که منجر به ممان‌های خمشی بزرگ‌تری نسبت به ضرایب اطمینان روی اثرات بار می‌شود.

آیین‌نامه CUR211 به‌طور خاص برای اسکله‌ها نوشته شده است، کاربرد و اعمال آن در مدل BEF آسان و راحت است، توصیفاتی برای محاسبات یک سکوی کاهنده ارائه داده است، ضرایب اطمینان را روی اثرات بارها اعمال کرده، توضیح خوبی از فلسفه طراحی ارائه داده و ترکیبات بار مشخصی را شامل شده است. همه این عوامل منجر به برتری CUR211 نسبت به CUR166 جهت طراحی اسکله‌ها شده است.

در CUR211 بیان شده است که سکوی کاهنده به‌صورت یک سازه استاتیکی شبیه‌سازی شود. شکل (۲-۳). مدل BEF فقط جابه‌جایی‌های افقی خاک را در نظر می‌گیرد. این روش استفاده شده فقط برای دیوارهای سپری طره و بدون سکو مناسب است زیرا دیوار را مانند یک تیر طره فرض می‌کند.



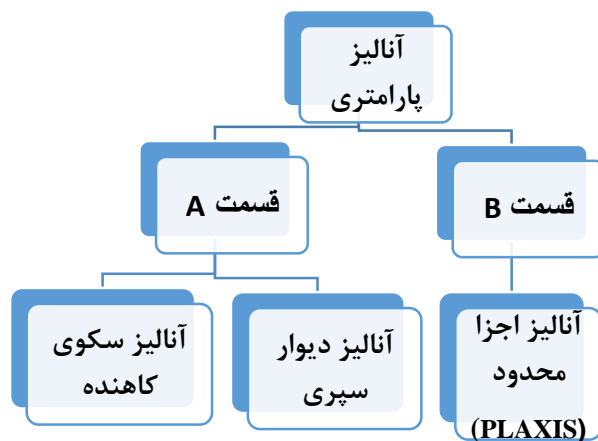
شکل (۳-۳) شبیه سازی سکوی کاهنده به یک سیستم استاتیکی (CUR211,2005)

۳-۳- آنالیز پارامتری اسکله با سکوی کاهنده توسط دو روش BEF, PLAXIS

آناستازیا کرمپریدو^۱ (۲۰۰۸)، آنالیز پارامتری اسکله سپری با سکوی کاهنده را توسط دو روش اجزای محدود و BEF انجام داده است (کرمپریدو، ۲۰۰۸).

۳-۳-۱- شرح پژوهش

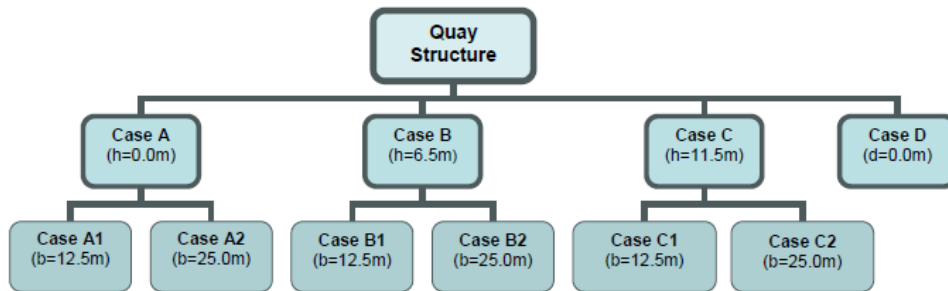
پژوهش وی به دو قسمت اصلی تقسیم شده است. قسمت اول عمدتاً شامل محاسبات دستی برای تعیین بارها و برای آنالیز دیوار سپری است، در حالی که در قسمت دوم برنامه‌های کامپیوتری پیشرفته استفاده شده‌اند. شکل زیر دیاگرام پژوهش وی را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۳) دیاگرام کلی پژوهش انجام شده (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

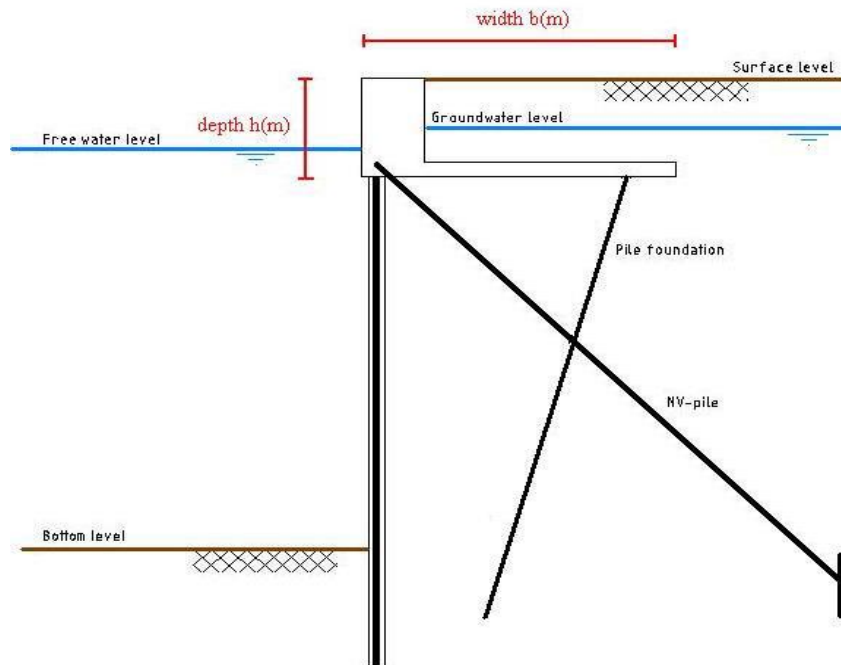
^۱ Anastasia Karamperidou

در قسمت A سازه تقسیم شده است و سکو به طور جداگانه ای آنالیز شده است. یک آنالیز پارامتری شامل هفت اسکله مختلف برای ترکیبات بارگذاری مختلف بارهای داده شده انجام شده است. به طور جزئی، سه عمق مختلف و دو عرض متفاوت از سکوی کاهنده بررسی شده است. علاوه بر آن یک اسکله سپری بدون سکوی کاهنده هم آنالیز شده است. شکل (۳-۴) حالت‌های مختلف بررسی شده را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۴) نمودار ابعاد سکوهایی بررسی شده (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

در شکل (۳-۵) ابعاد b, h مشخص شده اند.



شکل (۳-۵) شبیه سازی اسکله با سکوی کاهنده (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

در قسمت A دیوار سپری توسط سه تئوری با رویکرد متفاوت از BLUM آنالیز شده است. گیرداری نقطه انتهای سپری یک بار به طور کاملاً آزاد و در دو مورد دیگر کاملاً گیردار در نظر گرفته شده است. در آنالیز BEF زمین بر مبنای یک مدل پیشرفته تر شبیه‌سازی شده است. در این مرحله، نیروهای محوری تخمین زده شده از آنالیز استاتیکی سکوی کاهنده، بر بالای دیوار سپری به عنوان بار خارجی وارد شده است.

در قسمت B همان فرآیند با روش اجزای محدود تکرار شده است. PLAXIS هم برای همین هدف استفاده گردیده است. این نوع آنالیز بر اساس مدلی است که در آن رفتار سازه و خاک به هم پیوسته اند. در واقع، هدف پژوهش وی بررسی اثر ابعاد سکوی کاهنده در طراحی دیوار سپری و در دو نوع خاک یک (ماسه) و دو (ماسه و رس) و چگونگی اثر آن روی هزینه نهایی سازه است. آنالیز بر اساس CUR211 انجام شده است.

۳-۳-۲- نتایج

جدول (۳-۲) نتایج ممان خمشی را با توجه به روش‌های محاسباتی مختلف، خاک‌های مختلف و ابعاد مختلف سکوی کاهنده نشان می‌دهد.

- اثر نوع خاک:

نتایج نشان داد که در خاک ماسه بیشترین ممان خمشی بدست آمده از روش اجزای محدود بزرگتر از روش BEF است که احتمالاً به علت این است که روش BEF کمانش قائم را در نظر نمی‌گیرد. اما در خاک ماسه و رس نتایج دو روش به هم نزدیک هستند. این می‌تواند به این دلیل باشد که اثر کمانش در خاک‌های چسبنده مانند رس نسبت به خاک‌های غیر چسبنده مانند ماسه کمتر است. در نتیجه باعث می‌شود نتایج مشابه هم باشند.

جدول (۲-۳) ممان خمشی به دست آمده از روش ها و خاک های متفاوت (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

	نوع خاک	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D
M-sheet	ماسه	۱۱۵۸۴,۸	۹۱۱۵,۶	۸۶۲۴,۸	۵۵۸۵	۴۸۱۲,۶	۱۷۶۹,۸	۱۳۲۱۴,۱
(Knm/m)	ماسه ورس	۱۱۶۶۹,۳	۸۶۱۸,۷	۸۹۸۸,۸	۶۱۱۳,۶	۵۴۷۸,۶	۳۴۵۱,۳	۱۲۴۸۹,۵
Plaxis	ماسه	۸۴۰۰	۷۹۲۰	۷۵۶۰	۵۸۲۰	۴۸۶۰	۳۹۸۰	۱۱۳۰۰
(Knm/m)	ماسه ورس	۹۶۷۰	۹۳۶۰	۸۶۱۰	۶۸۰۰	۴۷۲۰	۴۰۹۰	۱۴۹۴۰

- اثر ابعاد مختلف سکوی:

هم چنین مشخص است که با افزایش عمق و عرض سکوی کاهنده، ممان های خمشی به تدریج کاهش می یابند و در مقایسه با مورد D (بدون سکوی کاهنده) ممان خمشی بسیار کمتری دارند. این مشاهدات در واقع اصل سکوی کاهنده را نشان می دهد که باعث کاهش ابعاد المان های دیوار سپری می گردد.

- اثر فاصله مرکز به مرکز شمع ها:

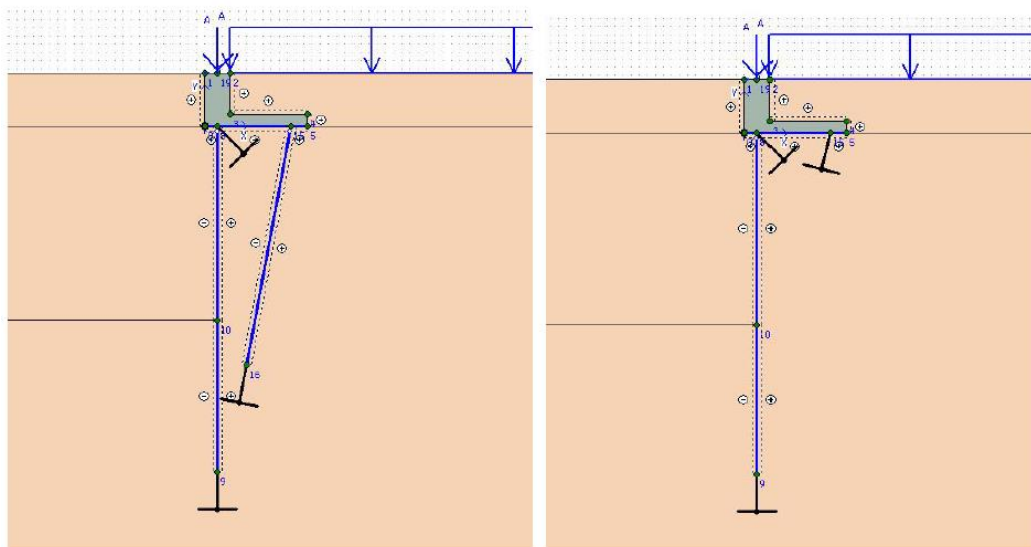
در ادامه پژوهش به بررسی تاثیر فاصله بین شمع ها در ممان خمشی پرداخته شده است. همان طور که در جدول زیر مشخص است افزایش فاصله بین مهارها منجر به افزایش ممان خمشی دیوار می شود.

جدول (۳-۳) ممان خمشی به دست آمده بر اساس فاصله مرکز به مرکز مختلف (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

فاصله مرکز به مرکز مهار (m)	ممان خمشی ماکزیمم (kNm/m)
1.25	7450
2.5	7560
5	7600

– اثر مدل سازی شمع با المان های مختلف:

در قسمت مدل سازی توسط پلکسیس، دو نمونه مقایسه مدل سازی شمع برابر توسط المان مهار^۱ و یا المان صفحه^۲ انجام گرفته است و نتایج نشان داده است که ممان خمشی در حالتی که شمع توسط المان مهار مدل سازی می شود حدود ۱۰٪ بیشتر است. شکل (۶-۳) مدل سازی را نشان می دهد.



شکل (۶-۳) شبیه سازی متفاوت از شمع برابر (کرمپریدو، ۲۰۰۸)

۳-۴- طراحی اسکله ها با استفاده از اجزای محدود

جان پابلو لوپز^۳ (۲۰۱۳)، مطالعاتی پیرامون طراحی اسکله سپری با سکوی کاهنده توسط اجزای محدود انجام انجام داد (گوموسیو، ۲۰۱۳).

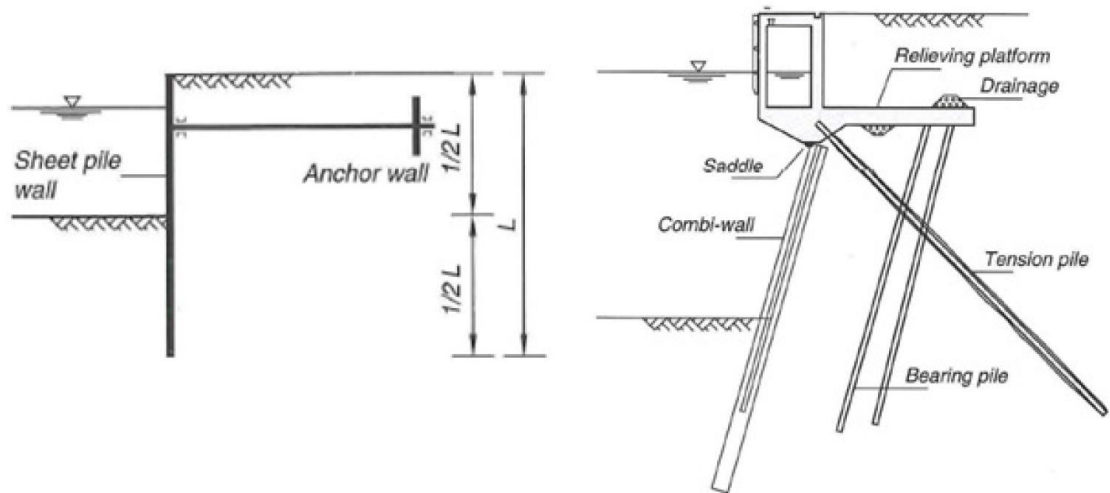
۳-۴-۱- شرح پژوهش

هدف اصلی وی در واقع به دست آوردن ارزش سکوی کاهنده از جنبه مهندسی و اقتصادی بوده است. جنبه های مهندسی که مقایسه شده اند عبارتند از: جابه جایی دیوار، ممان دیوار و نیروی مهار. جنبه اقتصادی شامل هزینه های مستقیم می شود مانند اعضا و هزینه نصب.

^۱ Fixed-end ancor

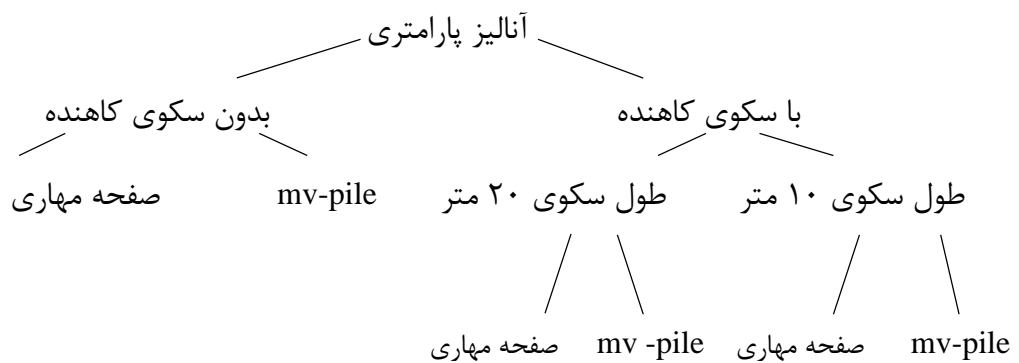
^۲ Plate

^۳ Juan Pablo Lopez Gumucio



شکل (۷-۳) اسکله های بررسی شده در پژوهش (گوموسیو، ۲۰۱۳).

در این تحقیق دو نوع اسکله سپری (با سکوی کاهنده و بدون آن) در حالت حدی سرویس مورد بررسی قرار گرفته‌اند. هر کدام از دو حالت، شامل دو نوع مختلف مهار (m-v pile و صفحه مهاری) و اعماق مختلف سکوی کاهنده (-6, -1.8, +0.2, +2.2) و طول های مختلف سکو (10 m, 20 m) می باشد. برای گسترش پژوهش، دو روش محاسباتی مقایسه شده است. روش BEF و روش اجزای محدود. خلاصه ای از پژوهش وی به صورت زیر می باشد (شکل ۸-۳):

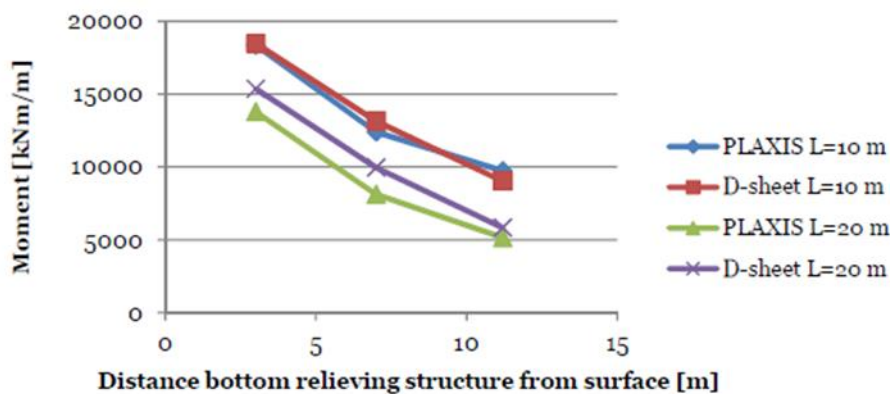


شکل (۸-۳) دیاگرام پژوهش انجام شده

۳-۴-۲- نتایج

• اثر طول سکوی کاهنده:

شکل (۹-۳) نشان می دهد که هر چه طول سکوی بیش تر باشد ممان خمشی کوچک تری بدست می آید. هم چنین می توان فهمید که در طول های کم سکوی کاهنده (۱۰ متر) مقادیر plaxis , D-sheet تفاوت چندانی ندارند ولی با افزایش طول سکوی (۲۰ متر) مقادیر کم تری را برای ممان خمشی ارائه می دهد شکل (۹-۳). البته طبق مشاهدات افزایش طول سکوی باعث کاهش نیروی مهار می گردد. شکل (۱۲-۳).



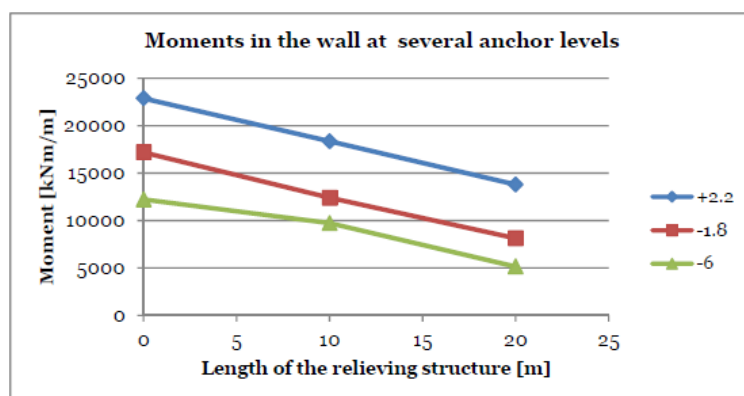
شکل (۹-۳) اثر طول سکوی و نوع نرم افزار در ممان خمشی (m-v pile) (گوموسیو، ۲۰۱۳).

• اثر نوع مهار و سطح مهار:

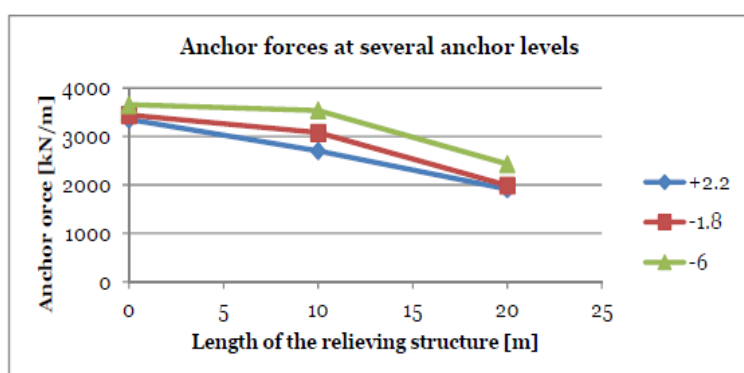
- مقایسه بین دو نوع مهار شمع m-v و صفحه مهاری افقی نشان داده است که شمع m-v مهار مناسب تری است، زیرا برای نصب این مهار هیچ خاک برداری ای نیاز نیست و باعث جابه جایی های کم تری در دیوار می شود، زیرا سختی بالاتری دارد. اما به علت طول زیاد باعث هزینه زیادی در پروژه می شود.

- هم چنین نتایج بیان می کنند که هر چه سطح مهار پایین تر باشد باعث ممان خمشی کم تر و نیروی مهارى بیش تر می گردد. شکل (۱۰-۳)

- ممان خمشی در هر دو نوع مهار تقریباً یکسان است.



شکل (۳-۱۰) اثر عمق مهار در ممان خمشی (m-v pile) (گوموسیو، ۲۰۱۳).



شکل (۳-۱۱) اثر عمق مهار در نیروی مهاری (m-v pile) (گوموسیو، ۲۰۱۳).

• اثر وجود سکوی کاهنده:

محاسبات از دو منظر مهندسی و اقتصادی بررسی شده است و نتایج زیر گرفته شد:

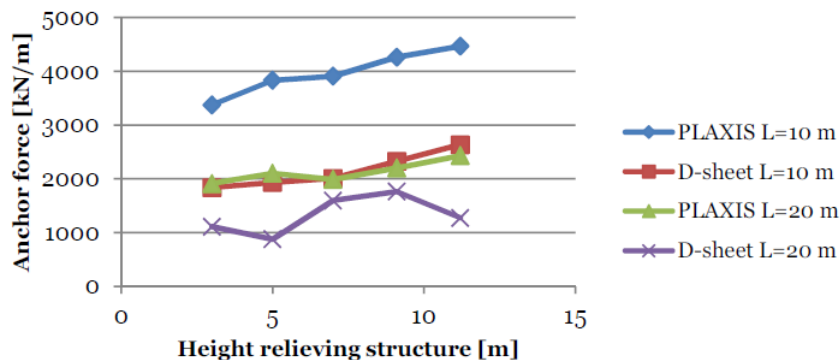
الف) دیدگاه مهندسی: از دیدگاه مهندسی وجود سکوی کاهنده مطلوب است، زیرا جابه‌جایی‌های دیوار نگه دارنده زمانی که یک سکوی کاهنده وجود دارد کوچک‌تر از محاسبات زمانی است که سکوی کاهنده وجود ندارد.

ب) دیدگاه اقتصادی: تخمین انجام گرفته در مورد قیمت در پژوهش وی نشان داد که از دیدگاه اقتصادی، اسکله با سکوی کاهنده هزینه بیش‌تری می‌طلبد. البته این پژوهش تمام جنبه‌ها را پوشش نداده است و ممکن است با در نظر گرفتن مسائل دیگر به این نتیجه رسید که سکوی کاهنده از نظر

اقتصادی مطلوب‌تر است. به عنوان مثال در صورت نبود سکوی کاهنده ابعاد المان‌های اصلی افزایش می‌یابد و شرکت‌هایی که چنین اعضایی را تولید و نصب می‌کنند خیلی محدودند و حتی تجهیزات فراساحلی مورد نیاز است که همه این‌ها هزینه را بالا می‌برد.

• مقایسه BEF, FEM :

- ممان خمشی محاسبه شده با plaxis , D-sheet در دو حالت با و بدون سکوی کاهنده در طول‌های کم تقریباً یکسان است و تفاوت چندانی نمی‌کند.
- در مورد اسکله سپری بدون سکوی کاهنده، تفاوت در نیروی مهار محاسبه شده کم است. D-sheet در کل، نیروی مهار کم‌تری را به دست می‌دهد.
- در مورد اسکله سپری با سکوی کاهنده تفاوت‌ها بیشتر است. زمانی که سکوی کاهنده طول ۱۰ متر را دارد، plaxis نیروی مهار به اندازه ۱/۴ تا ۱/۵۵ برابر D-sheet را ارائه می‌دهد، در حالی که در طول ۲۰ متر، plaxis ضریبی به اندازه ۱/۲۵ تا ۲/۵۵ برابر از D-sheet مقادیر بیش‌تری بیان می‌کند. شکل (۱۲-۳)



شکل (۱۲-۳) اثر طول سکو و نوع نرم افزار در نیروی مهار (گوموسیو، ۲۰۱۳).

۳-۵- جمع بندی

در تحلیل مقایسه‌ای توسط (میجر، ۲۰۰۶) بین آیین‌نامه‌های دریایی برای دو نوع اسکله سپری (مهارشده و باسکوی کاهنده) که توسط مدل BEF انجام گرفت نتایج، برتری CUR211 را به EAU, CUR166 برای اسکله سپری با اسکوی کاهنده و برتری CUR166 را برای اسکله سپری مهارشده نشان داده است. مقایسه آیین‌نامه‌ها فقط پیرامون نیروهای داخلی نبوده و در زمینه پارامترهایی مانند انواع بارهای وارده، سطوح آب، مشخصات خاک و اسکوی کاهنده مناسب‌ترین آیین‌نامه معرفی شده است. البته این مقایسه دچار کاستی‌هایی نیز می‌باشد. یکی از آن‌ها مربوط به مدل محاسباتی استفاده‌شده جهت تعیین فشار خاک وارد بر دیوار سپری است. مدل BEF نمی‌تواند اسکوی کاهنده را مدل کند و فقط دیوار سپری را به صورت یک تیر طره فرض می‌کند که تحت فشار خاک محرک و مقاوم است. هم‌چنین سختی خاک را به صورت فنرهایی مدل می‌کند که فقط توانایی محاسبه جابه‌جایی‌های افقی خاک را دارد. لذا باید اسکوی کاهنده به طور جداگانه توسط آنالیز استاتیکی شبیه‌سازی شود و فقط یک نیروی قائم که نماینده اسکوی کاهنده است بر بالای دیوار اعمال گردد. هم‌چنین آیین‌نامه EUROCODE نیز که در زمان پژوهش میجر به اتمام نرسیده بود، دارای فلسفه طراحی نیمه احتمالاتی است و می‌تواند جهت مقایسه استفاده گردد. در تحقیق پیش رو محاسبات توسط نرم افزار PLAXIS انجام شده است. در این روش کل اسکله می‌تواند مدل شود و نیازی به محاسبات دستی نمی‌باشد و بر خلاف BEF از اجزای محدود دوبعدی استفاده گردیده است. هم‌چنین از آیین‌نامه EUROCODE نیز در تحلیل مقایسه‌ای استفاده شده است.

در تحلیل پارامتری اسکله سپری با اسکوی کاهنده (گوموسیو، ۲۰۱۳)، اثر تغییر ابعاد اسکوی کاهنده بر لنگر خمشی به صورت سه عمق و دو عرض متفاوت برای اسکوی کاهنده بررسی شده است. هم‌چنین سپری بدون اسکوی کاهنده نیز مطالعه شده است. در این تحلیل، اثر خاک نیز مورد توجه قرار گرفته

است. دو نوع خاک یک (ماسه) و دو (ماسه و رس) بررسی شده است. تمامی این محاسبات با دو روش اجزای محدود و BEF انجام شده است. نتایج بیانگر آن است که با افزایش عمق و عرض سکو، کاهش فاصله بین مهارها، وجود خاک چسبنده (حاوی رس) و ساخت سکوی کاهنده، لنگر خمشی و نهایتاً ابعاد مقطع دیوار سپری کاهش یافته است. البته در این تحلیل پارامتری، محاسبات بر طبق ضوابط آیین‌نامه CUR211 انجام شده است که می‌تواند در آیین‌نامه‌های دیگر و با مشخصات متفاوت، نتایج دیگری به دست آید. همچنین در پژوهش پیش رو نیز مقایسه بین نتایج دو روش اجزای محدود و BEF انجام شده است و برتری اجزای محدود حاصل گردیده است. در قسمت مدل‌سازی شمع باربری، مقایسه بین دو نوع مدل‌سازی (Fixed-end ancor, plate) انجام گرفته شده است، در صورتی که المان node to node ancor نیز می‌تواند برای مدل‌سازی شمع استفاده شود. در تحقیق پیش رو، محاسبات بر اساس آیین‌نامه‌های مختلف و با ابعاد یکسان اسکله انجام شده است. مقایسه نتایج در دو حالت BEF و اجزای محدود بیانگر آن است که لنگر خمشی اجزای محدود بیشتر از مدل BEF به دست آمده است. احتمال می‌رود علت این افزایش لنگر خمشی در روش اجزای محدود این باشد که روش BEF از اصل بوزینسک^۱ برای تعیین فشار افقی ناشی از بارهای نواری استفاده می‌کند. در صورتی که نتایج نشان داده است که مقادیر فشار افقی به دست آمده توسط بوزینسک کمتر از آزمایشات درجا توسط باولز^۲ می‌باشد.

در تحلیل پارامتری دیگری (گوموسیو، ۲۰۱۳)، مقایسه نتایج بین دو حالت اسکله سپری با سکوی کاهنده و بدون آن انجام گرفته است. در این تحلیل، دو نوع طول سکو، دو نوع مهار و سه تراز مهار بررسی شده و نشان داده است که هر چه طول سکو بیش‌تر باشد و تراز مهار در تراز پایین‌تری قرار بگیرد، لنگر خمشی کم‌تری به دست می‌آید ولی با تغییر نوع مهار، لنگر خمشی تغییر نمی‌کند. در این مقایسه، ترکیبات بار بر اساس آیین‌نامه EUROCODE بوده و سطوح آب و پارامترهای خاک بر اساس آیین‌نامه

^۱Boussinesq

^۲ Bowles

CUR211 می باشد که با تغییر آیین نامه و ضرایب اطمینان مختلف ممکن است نتایج متفاوتی به دست آید. همچنین محاسبات برای حالت حدی سرویس انجام شده است. در تحقیق پیش رو، مقایسه‌ای پیرامون اثر ضرایب اطمینان پیشنهاد شده توسط آیین نامه‌های مختلف بر نتایج لنگر خمشی و جابه‌جایی در حالت حدی نهایی انجام شده است که نتیجه آن در تحلیل پارامتری و انواع تحلیل‌های دیگر کمک می‌کند تا از انتخاب آیین نامه مناسب جهت محاسبات مطمئن‌تر باشند و دچار سردرگمی نشوند.

فصل چهارم : مواد و روش ها

۴-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا توضیح مختصری پیرامون انواع اسکله، آیین‌نامه‌های موجود، فلسفه طراحی نیمه‌احتمالاتی و مدل‌های محاسباتی مختلف ارائه می‌گردد. در ادامه پس از معرفی PLAXIS، اصول طراحی بر اساس آیین‌نامه‌های مورد نظر بیان می‌شود.

۴-۲- انواع اسکله

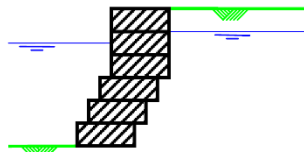
سازه‌های پهلوگیری یا اسکله‌ها سازه‌هایی هستند که به منظور پهلوگیری و انجام عملیات باراندازی و بارگیری و یا سوار و پیاده کردن مسافران بنا می‌شوند. به‌طور کلی اسکله‌ها را می‌توان از نظر سازه‌ای به سه دسته عمده اسکله‌های سپری، وزنی و اسکله‌های شمع و عرشه تقسیم نمود که در قسمت بعد انواع جزئی‌تر اسکله سپری تشریح شده است. تصاویر زیر نمونه‌ای از انواع اسکله را نشان می‌دهد.



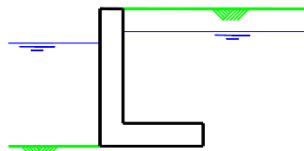
شکل (۴-۱) اسکله سپری

1. Gravity Walls

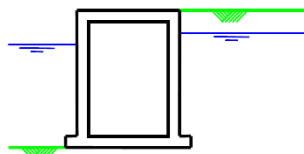
1.1 Block walls



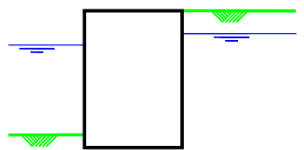
1.2 L-wall



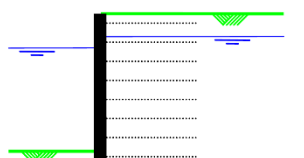
1.3 Caisson wall



1.4 Cellular wall

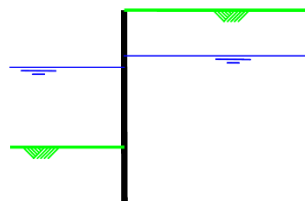


1.5 Reinforced earth structure

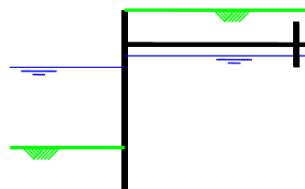


2a. Embedded Walls

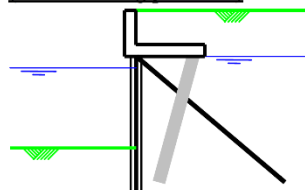
2a.1 Cantilever wall



2a.2 Anchored wall

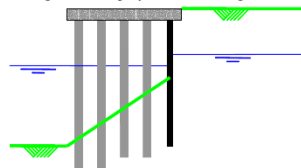


2b. Embedded Walls (with relieving platform)

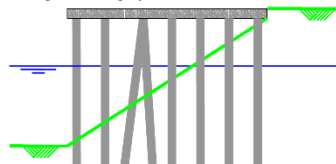


3. Open berth quay

3.1 Open berth quay with retaining wall



3.2 Open berth quay with embankment



شکل (۲-۴) انواع اسکله (میجر، ۲۰۰۶)

۳-۴- اسکله سپری و انواع آن

یکی از رایج‌ترین انواع اسکله‌ها، با توجه به شرایط ژئوتکنیکی سواحل، سپرها می باشند که در چند سال اخیر طراحی و ساخت آن در ایران بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

در مناطقی که امواج نسبتاً آرام بوده و نیروهای ناشی از برخورد امواج با سازه چندان سهمگین نباشد، می‌توان از دیوارهای ساحلی ساخته شده از سپرهای فولادی استفاده نمود. دیوارهای ساحلی سپر

فولادی نسبت به دیوارهای ساحلی سنگی و بتنی عملکرد ضعیف‌تری در جذب انرژی امواج دارند و همین‌طور به دلیل داشتن نمای قائم و غیر قابل نفوذ، سبب انعکاس شدید امواج و تشدید فرسایش موضعی در نزدیکی دیوار ساحلی می‌گردند. با این وجود در مناطقی که امکان استفاده از اراضی، محدود می‌باشد می‌توان از مزیت کم‌عرض‌تر بودن مقاطع دیوارهای ساحلی با استفاده از سپرهای فولادی سود جست (کد ۳۰۰-۵، ۱۳۸۵).

مزیت سپرها عدم نیاز به تمهیدات خاص در محل اجراست. اجرای آن‌ها معمولاً سریع و ارزان تمام می‌شود و امکان استفاده مجدد از آن‌ها وجود دارد. از دیوارهای سپری در مناطق مختلف دنیا از جمله بسیاری از بنادر شمالی و جنوبی ایران استفاده شده است که از جمله می‌توان به سپری با سپر فولادی در اسکله یدک‌کش‌ها در جزیره خارک، سپر بتنی کوبشی در بندر کیشهر، دیواره لوله‌ای فولادی در اسکله‌های بندر انزلی و بندر خدماتی عسلویه و دیواره با مقطع T شکل بتنی در اسکله بندر شهید رجایی اشاره نمود. شکل (۳-۴)

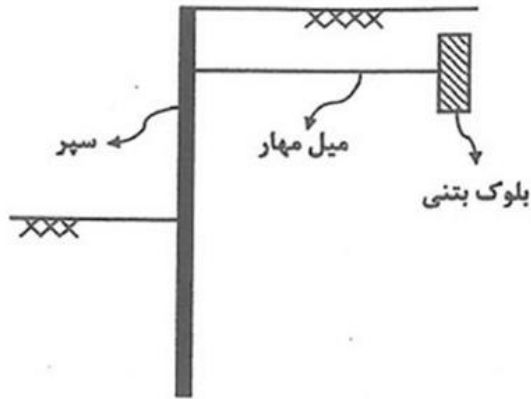


شکل (۳-۴) توسعه اسکله کالا و اسکله یدک‌کش‌ها در جزیره خارک

اسکله سپری به انواع زیر تقسیم بندی می شود:

۴-۳-۱- سپری مهار شده

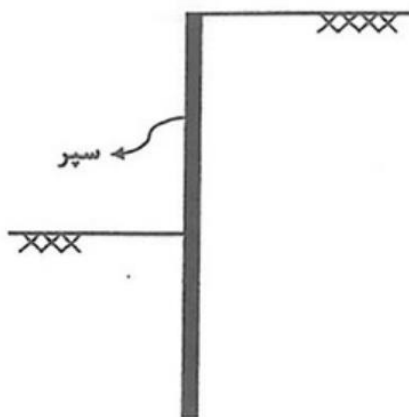
شامل مهار، میل مهار و سپر می باشد. میل مهار می تواند به صورت قائم و یا افقی باشد.



شکل (۴-۴) اسکله سپری مهار شده

۴-۳-۲- سپری تک طرفه ای

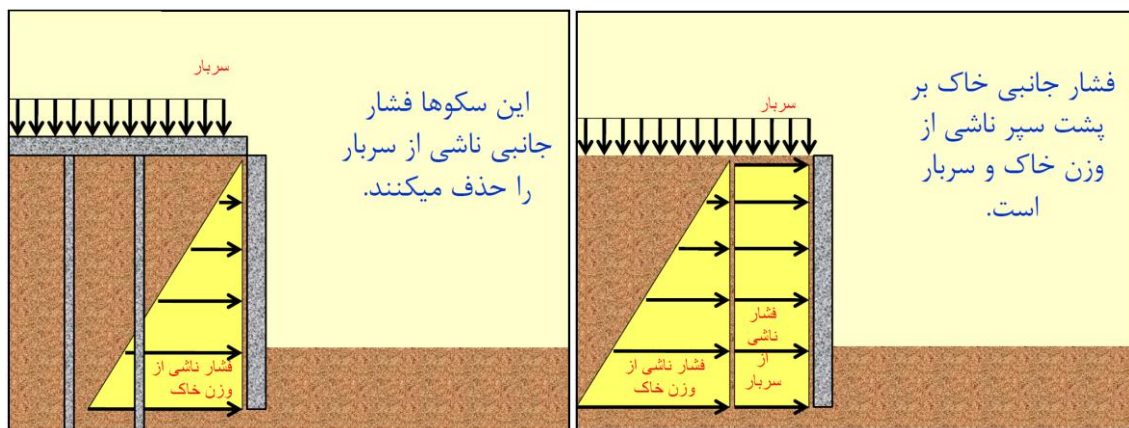
احداث این نوع سازه محدود به دیوارهای حائل کوتاه (عموماً با ارتفاع خاک نگه داشته شده کمتر از ۵ متر) می باشد، چرا که مقاومت در برابر فشار محرک خاک فقط توسط نیروی مقاوم بخش مدفون شده شمعها صورت می گیرد. خاک در بسیج کردن این مقاومت تسلیم می شود و در نتیجه سرشمعها تغییر مکان زیادی پیدا می کنند (کد ۶-۳۰۰، ۱۳۸۵). شکل زیر یک سپری طرفه ای را نشان می دهد.



شکل (۴-۵) اسکله سپری طرفه ای

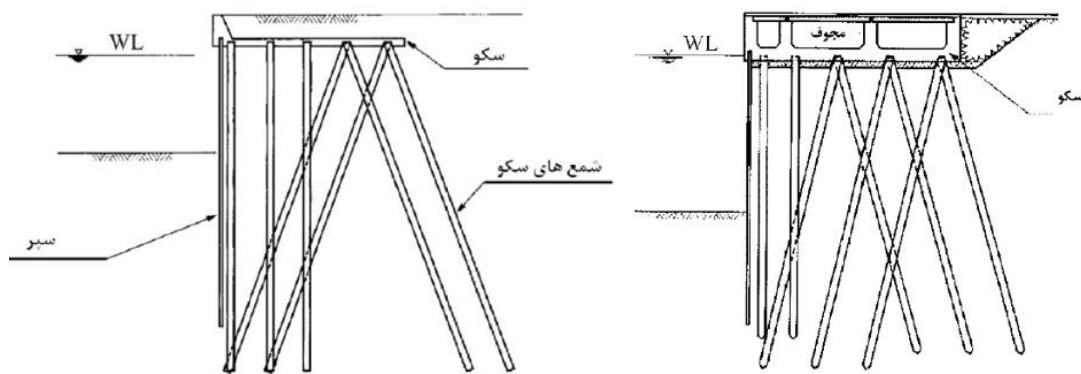
۴-۳-۳- اسکله سپری با سکوی کاهنده

اگر ارتفاع آزاد اسکله زیاد باشد، مهار سپر حین اجرای خاکریزی پشت آن دشوار خواهد بود. در چنین شرایطی گزینه جایگزین مناسب برای سپر، استفاده از اسکله‌های سپری با سکوی کاهنده می‌باشد (سیدی، ا، ۱۳۸۳) اسکله سپری با سکوی کاهنده برای تحمل بارهای قائم عرشه، کاهش فشار جانبی وارد بر سپر و کمک به پایداری افقی سپر مورد استفاده قرار می‌گیرد و جایگزین مهار و میل مهار هم می‌شود. سکوی کاهنده در خاک نرم گزینه‌ای قابل تامل است، زیرا فشار مقاوم خاک نرم در جلوی سپر ناچیز است. سپری همراه با سکوی کاهنده در جایی که خاک ضعیف است، بار زیادی روی اسکله وارد می‌شود و یا ارتفاع بیشتری از دیوار مورد نیاز است قابل کاربرد است. شکل (۴-۶) عملکرد سکوی کاهنده را نشان می‌دهد. همین‌طور که مشاهده می‌شود این سکوها، فشار جانبی ناشی از سربار را حذف می‌کنند.



شکل (۴-۶) عملکرد سکوی کاهنده (فاخر، ۱۳۹۴)

اسکله سپری با سکوی کاهنده معمولاً شامل عرشه، دیوار سپری در جلوی سکو برای نگه داشتن زمین و شمع‌های سکو می‌باشد. عرشه سکو اغلب به صورت I شکل و از بتن مسلح درجا ایجاد شده و در زیر مصالح خاکی مدفون می‌شود. اما گاهی اوقات نیز به شکل یک قوطی است که برای کاهش وزن عرشه و نیروهای لرزه‌ای وارد بر آن به این صورت ساخته می‌شود. شکل (۴-۷)



شکل (۷-۴) اسکله سپری با عرشه قوطی شکل و عرشه L شکل

۴-۴- آیین نامه های موجود

از گذشته تاکنون چندین راهنمای طراحی برای سازه های نگهدارنده نوشته شده است که هرکدام از آن ها دارای نقاط ضعف و قوتی هستند. از بین دستورالعمل ها، هندبوک ها و آیین نامه های شامل طراحی اسکله سپری با سکوی کاهنده، موارد زیر جهت پژوهش انتخاب شده اند. این دستورالعمل ها از رویکرد نیمه احتمالاتی (بر اساس ضرایب اطمینان جزئی) استفاده می کنند.

EAU: این آیین نامه مربوط به کشور آلمان است و در ابتدا تنها یک راهنما بر اساس تجربیات به دست آمده بوده، اما با گذشت زمان توسعه یافته است.

CUR166: این آیین نامه از هلند به طور خاص برای سازه های سپری نوشته شده است و بیشترین دستورالعمل استفاده شده در طراحی های گوناگون می باشد.

CUR 211: CUR211 هندبوک مخصوص طراحی اسکله است. در این دستورالعمل نه تنها رویکرد طراحی عنوان شده، بلکه مرور کاملی از تاریخچه، طراحی و روش های اجرا را شامل می شود. فصل های آخر آن، تجربیات گذشته را بیان کرده که به طراحان کمک می کند تا از محدودیت ها و پیچیدگی های طراحی اسکله آگاه باشند. آخرین نسخه آن در سال ۲۰۱۳ منتشر شده است.

EUROCODE7: آیین نامه ای که به طور خاص توسط اتحادیه اروپا برای کشورهای اروپایی نوشته شده است و شامل کدهای مختلف در زمینه های مختلف می باشد. با نوشتن این آیین نامه در کل اروپا

مهندسين قادرند سازه را بر طبق يك استاندارد طراحي كنند. در اين جا از كد ۷ كه طراحي ژئوتكنيكي سازه مي باشد، استفاده شده است.

۴-۵- فلسفه طراحي نيمه احتمالاتي

اسكله ها سازه هايي هستند كه آب را از خاك جدا مي كنند. مهم ترين مساله در چنين سازه هايي بحث ايمني است. جنبه مهم در طراحي اسكله ها نگه داشتن خاك و آب است، به طوري كه ديوار واژگون نشود. به خصوص خاك، طراحي را مشكل مي كند زيرا خاك هم به عنوان محرک و هم به عنوان مقاوم فعاليت مي كند و مشخصات خاك در طول بازه وسيعي گسترش مي يابد. دستورالعمل ها رويكردهاي متفاوتي را براي اعمال ايمني روي خاك استفاده مي كنند. يك اسكله يك سازه بزرگ است كه هزينه زيادي را مي طلبد، بنابراين به دلايل اقتصادي بهبود طراحي مهم است.

از مجموعه روش هايي كه امروزه براي طراحي اقتصادي تر و كارا تر سازه ها مورد نظر قرار مي گيرد، طراحي احتمالاتي سازه و تعيين ريسك خرابي آن است. طراحي احتمالاتي يك سازه روشي است كه برخلاف روش هاي معمول طراحي يا روش هاي معين، كه در آن ها طراحي بر استفاده از ضرايب اطمينان بعضاً تجربي استوار است، از توابع احتمال انواع خرابي ها در سازه براي طرح نهايي سازه استفاده مي شود. در روش احتمالاتي، با بررسي مكانيزم هاي خرابي سازه و سپس در نظر گرفتن سطوح اطمينان، سازه براي مقاومت در برابر يك حد نهايي عوامل مخرب، طرح مي گردد (كد ۶-۳۰۰، ۱۳۸۵).

در طراحي بر اساس روش هاي معين تمام متغيرهاي موثر در مساله از جمله خواص مكانيكي و بارگذاري قطعي فرض شده و با اعمال ضرايب اطمينان عدم قطعيت ها را پوشش مي دهند. اين ضرايب اطمينان عدم گسيختگي سازه به روش آيين نامه ها را تضمين مي كند، اما در عمل بسياري از پارامترها داراي قطعيت زيادي در ذات خود نمي باشند كه قطعي فرض كردن آن ها و يا اعمال ضرايب اطمينان بزرگ براي پوشش دادن عدم قطعيت ها باعث غيراقتصادي شدن طرح است. محاسبات احتمالاتي باعث مي شود

که ضرایب اطمینان جزئی روی پارامترهای درست قرار بگیرد و یک طراحی بهینه‌تری را ارائه دهد. با رویکرد احتمالاتی سازه برای ایمنی کافی بهبود می‌یابد اما نه با مواد بیش‌تر از حد لازم (میجر، ۲۰۰۶). امروزه به‌منظور حفظ سادگی روش طراحی و اجتناب از محاسبات احتمالاتی خاص پیچیده و هم‌زمان، برخی استانداردها بر اساس روش‌های نیمه‌احتمالاتی می‌باشند (کرمپریدو، ۲۰۰۸). حالتی که سازه هنوز نابود نشده‌است را حالت حدی می‌گویند. در حالت کلی دو حالت حدی می‌تواند اندازه‌گیری شود:

ULS: حالت حدی نهایی SLS: حالت حدی سرویس

زمانی که ULS تجاوز می‌کند سازه واژگون خواهد شد. در اسکله‌ها مکانیسم‌های شکست زیادی وجود دارد که می‌تواند منجر به واژگونی شود. مکانیسم شکست، توصیف روشی است که سازه شکست می‌خورد و نمی‌تواند وظیفه‌اش را به‌درستی انجام دهد. هم‌چنین تغییر شکل‌ها هم می‌تواند باعث واژگونی گردد. مکانیسم‌ها به نوع سازه و چیزی که درباره ایمنی این سازه شناخته شده است، بستگی دارد.

در واقع شکست یک سازه، نتیجه رخداد مجموعه‌ای از آسیب‌های متوالی یا موازی است که در اثر عوامل طبیعی یا انسانی اتفاق می‌افتد. برای آن که یک قسمت از سازه آسیب ببیند، باید نیروی وارد بر آن از مقاومت آن بیشتر گردد. نیروهای وارد بر قسمت‌های مختلف یک سازه ساحلی که اغلب یا ناشی از پدیده‌های طبیعی هستند، یا توسط انسان بر سازه وارد می‌شوند، ماهیتی تصادفی دارند و می‌توان آن‌ها را بر اساس توابع احتمالاتی تجمعی توصیف کرد. مقاومت قسمت‌های مختلف سازه نیز یا به‌طور مستقل از بار وارده یا در ارتباط با آن وضعیتی مشابه دارند و قابل بررسی به‌صورت توابع احتمالاتی هستند (کد-۳۰۰، ۱۳۸۵).

اگر SLS تجاوز کند تغییر شکل‌ها بسیار بزرگ می‌شود. سازه عموماً واژگون نخواهد شد اما نمی‌تواند در طول خدمت وظایفش را انجام دهد.

ملاحظات ایمنی برای ممانعت از حالت حدی سرویس معمولاً به بزرگی حالت حدی نهایی نیستند. در همه حالات حدی اگر بار بیش‌تر از مقاومت باشد شکست رخ می‌دهد. بنابراین مقاومت باید بزرگ‌تر از بار باشد.

$$R(\text{resistance}) > S(\text{solicitation}) \quad (1-4)$$

این قضیه می‌تواند به صورت تابعی ریاضی به نام تابع قابلیت اعتماد^۱ عنوان شود. هر مکانیسم شکست می‌تواند در چنین تابع قابلیت اعتمادی بیان شود.

قابلیت اعتماد احتمال این است که شکست رخ ندهد. به منظور توصیف آن، یک حالت حدی معرفی شده است که حد بین شکست و غیرشکست را به صورت یک تابع قابلیت اعتماد بیان می‌کند.

$$Z = R(\text{resistance}) - S(\text{solicitation}) \leq 0 \quad (2-4)$$

در مساله قابلیت اعتماد یک المان، مساله اصلی تعیین احتمال شکست است. احتمال شکست به علت یک مکانیسم به صورت احتمال اینکه تقاضا از مقاومت بیش‌تر است توصیف می‌شود.

$$P_f = P(Z \leq 0) = P(S \geq R) \quad (3-4)$$

قابلیت اعتماد به صورت احتمالی که شکست رخ نخواهد داد توصیف می‌شود.

$$P(Z > 0) = 1 - P_f \quad (4-4)$$

مشکل این‌جاست که S ، R پارامترهای ثابتی نیستند. آن‌ها در طول یک بازه مشخص توزیع شده‌اند. برای مثال نیروی باد روی یک سازه همیشه یکسان نیست. این مشکل هم‌چنین برای پارامترهای خاک نیز وجود دارد که می‌تواند برای هر محلی متفاوت باشد (میجر، ۲۰۰۶).

در کل یک اصل وجود دارد که S ممکن است ۵٪ تجاوز کند و این که R ممکن است ۵٪ کم‌تر باشد.

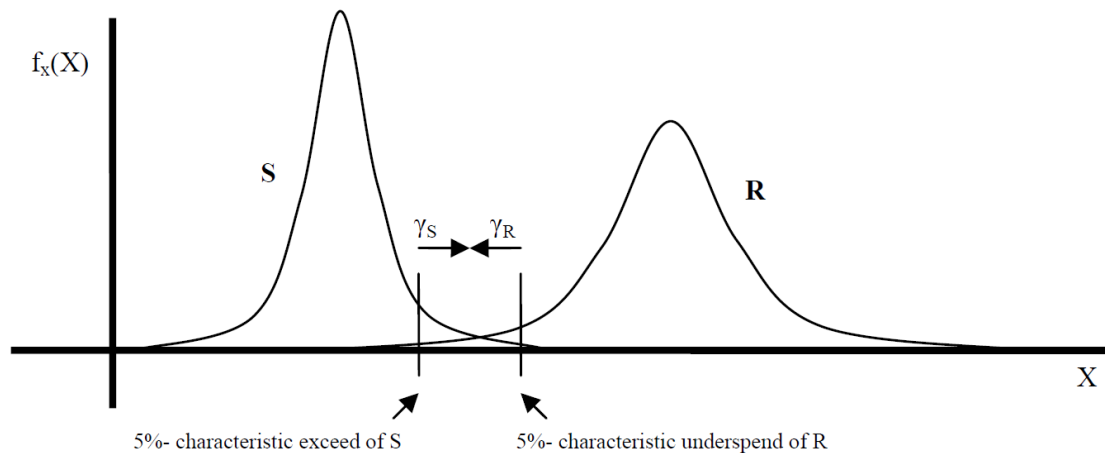
این مقدار مشخصه^۲ ۵٪، مقدار معرف^۳ نامیده می‌شود. شکل (۸-۴)

^۱ Reliability function

^۲ Characteristic value

^۳ Representative value

در واقع یک احتمال ۰.۵٪ وجود دارد که مقدار واقعی کوچکتر یا بزرگتر از آن مقدار در نظر گرفته شده باشد. برای کاهش احتمال شکست، یک ضریب اطمینان روی این مقدار معرف می‌تواند اعمال شود که باعث کاهش R و افزایش S خواهد شد. این مقدار را مقدار طراحی^۱ می‌نامند.



شکل (۸-۴) مقادیر مشخصه ۰.۵٪ بار و مقاومت با اعمال ضرایب اطمینان (میجر، ۲۰۰۶)

مولفه‌های مقاومت و بار باید به‌عنوان متغیرهای تصادفی توصیف شوند، زیرا آن‌ها به‌ندرت به‌طور دقیق شناخته شده‌اند.

در زمینه سازه‌ای استفاده از یک دسته بندی سطح روش‌های محاسبه به‌صورت زیر رایج است :

Level 3: این روش از شبیه‌سازی استفاده می‌کند و احتمال شکست را با در نظر گرفتن تابع چگالی

احتمال^۲ همه متغیرهای بار و مقاومت محاسبه می‌کند. (کاملاً احتمالاتی)

معمولاً مقاومت و بارها توابعی از یک متغیر تصادفی یا بیش‌تر هستند. به‌طوری که تابع قابلیت اعتماد می‌تواند به‌صورت زیر نوشته شود:

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (۵-۴)$$

قابلیت اعتماد رابطه مستقیمی با احتمال شکست دارد. یکی از روش‌های آن روش مونت کارلو است.

^۱ Design value

^۲ تابع چگالی احتمال یا شدت احتمال یک متغیر (F(x)) احتمال آن است که آن متغیر برابر با X باشد.

Level2: همانند سطح ۳ است اما با یک خطی‌سازی تابع قابلیت اعتماد برای نقطه طراحی. این روش‌ها توابع قابلیت اعتماد را برای یک توزیع نرمال برای همه پارامترهای تقاضا و مقاومت کاهش می‌دهد. در واقع توزیع احتمالاتی هر متغیر را با یک توزیع نرمال استاندارد تخمین می‌زند. بنابراین تابع قابلیت اعتماد یک توزیع نرمال خواهد بود و شاخص قابلیت اعتماد (β) یافت می‌شود. این سطح از روش‌های تقریبی برای محاسبه احتمال شکست بر اساس یک حالت حدی تابع استفاده می‌کند.

(احتمالاتی کامل با تقریب)

از جمله روش‌های آن می‌توان به روش ممان دوم درجه اول (FOSM) و روش قابلیت اعتماد درجه اول (FORM)، روش قابلیت اعتماد درجه دوم (SORM) یا روش تخمین نقطه (PEM) اشاره کرد.

Level1: در این سطح هیچ احتمال شکستی محاسبه نشده است. این یک روش طراحی است که یک المان را به اندازه کافی قابل اعتماد می‌داند اگر یک مرز مشخصی بین مقادیر مشخصه مقاومت و بارها وجود داشته باشد. این تفاوت (مرز) به دلیل در نظر گرفتن ضرایب اطمینان جزئی در طراحی ایجاد شده است. (نیمه احتمالاتی)

در این سطح یک مقدار مشخصه مقاومت بر یک ضریب تقسیم و مقدار مشخصه بار در یک ضریب ضرب می‌شود. حد زیر باید رعایت شود (ولترز، ۲۰۱۲):

$$\frac{R_k}{\gamma_R} > \gamma_S \cdot S_k \quad (6-4)$$

$$\gamma_R = \frac{R_k}{R^*} = \frac{1+k_R \cdot V_R}{1+\alpha_R \cdot \beta \cdot V_R} \quad (7-4)$$

$$\gamma_S = \frac{S^*}{S_k} = \frac{1+\alpha_S \cdot \beta \cdot V_S}{1+k_S \cdot V_S} \quad (8-4)$$

در روابط بالا، برای قابلیت اعتماد ۰.۵٪، $k=1.64$ می‌باشد و γ ضریب تغییرات است که از فرمول (۹-۴) به دست می‌آید (ولترز، ۲۰۱۲):

$$V = \frac{\sigma}{\mu} \quad (9-4)$$

ماهیت این روش، اعمال ضرایب اطمینان جزئی است.

یک فاکتور مهم در تعیین ضرایب اطمینان، سطح ایمنی است. سازه‌ها طول عمر نامحدودی ندارند. اکثر آن‌ها برای طول عمر ۵۰ سال ساخته شده‌اند. بعد از آن ممکن است عملکرد خود را از دست بدهند. یک سطح ایمنی مشخصی باید تضمین بشود که در مقدار β خلاصه می‌شود. برای مقدار β بالاتر، احتمال شکست مجاز کم‌تر است. طول عمر بیش‌تر منجر به β بیش‌تر می‌شود بنابراین احتمال شکست مجاز کم‌تری را می‌دهد. همان‌طور که گفته شد اگر مقدار β معلوم باشد، ضرایب اطمینان جزئی به دست می‌آیند (میجر، ۲۰۰۶). با این روش‌های احتمالاتی، احتمال شکست می‌تواند برای مکانیسم‌های شکست مختلف تعیین بشود. یک سازه می‌تواند بیشتر از یک مکانیسم داشته باشد که می‌توانند در یک درخت خطا^۱ جمع‌آوری و خلاصه شوند.

برای هر مکانیسم، آنالیز ضرایب اطمینان جزئی می‌تواند انجام بشود که کار زیادی می‌برد و طراحی سختی را ارائه می‌دهد. معمولاً مهم‌ترین مکانیسم شکست سازه موردنظر برای طراحی در نظر گرفته می‌شوند و ضرایب اطمینان اعمالی بر سازه از شاخص قابلیت اعتماد همین مکانیسم به دست می‌آید. در دو دستورالعمل هلند، CUR166, CUR211 یک درخت خطا برای مکانیسم‌های شکست در حالات حدی ارائه شده است ولی در آیین‌نامه EUROCODE, EAU اطلاعاتی داده نشده است. اگر یک درخت برای بیش از یک نوع خاصی از سازه باشد، مکانیسم‌های شکست، کلی‌تر خواهد بود. در کل یک درخت خطا برای سازه‌های اسکله‌ای شامل ۴ مکانیسم شکست اصلی می‌باشد :

- شکست سپری به علت پروفیل سپری یا فشار مقاوم ناکافی خاک

- شکست زمین به علت جریان آب زیرزمینی

- شکست زمین به علت پایداری کلی ناکافی سازه در زمین

^۱ Fault tree

- شکست المان مهاری یا کششی

در شکل زیر نمونه‌ای از میزان شاخص قابلیت اعتماد مربوط به مهم‌ترین مکانیسم شکست در هر کدام از دو آیین‌نامه CUR166, CUR211 آورده شده است.

جدول (۴-۱) شاخص قابلیت اعتماد برای مکانیسم شکست اصلی بر طبق CUR166, CUR211

مکانیسم شکست	شاخص قابلیت اعتماد (β)	
	CUR211	CUR166
شکست پروفیل سپری	3.4	
فشار مقاوم ناکافی خاک		4.2

۴-۶- مدل‌های محاسباتی

این بخش روش‌های مختلف آنالیز یک اسکله را بیان می‌کند. قبل از امکان پیوستگی عددی توسط کامپیوترها، سپری‌ها توسط محاسبه دستی بر طبق روش کلاسیک (Blum) محاسبه می‌شدند. امروزه برنامه‌های کامپیوتری برای محاسبات پیچیده‌تر کاربرد دارند (گوموسیو، ۲۰۱۳). تاکنون برای طراحی دیوارسپری در اسکله، دو روش محاسبه به دلیل سازگاری و سادگی بیشتر استفاده شده‌اند. این دو روش عبارتند از:

- Blum method
- Beam on elastic foundation method

تحقیقات اخیر در مدل‌سازی عددی یک روش سومی را هم اضافه کرده است که بر اساس حالت المان محدود^۱ است. در این روش مشخصات هر دوی خاک و سازه معرفی شده‌اند.

^۱ Finite element method

۴-۶-۱- روش BLUM

بر طبق تئوری Blum سپری به عنوان یک تیر که توسط فشارهای خاک و آب بارگذاری شده، در نظر گرفته شده است. اساس Blum بر فرض محدود کردن فشارهای خاک اعمال شده بر دیوار سپری است، یعنی از کمترین فشار محرک و بیشترین فشار مقاوم خاک در محاسباتش استفاده می‌کند. Blum تخمینی غیر دقیق از کمترین عمق نفوذ دیوار مرکب، ممان‌های خمشی و نیروهای مهاری را ارائه می‌کند (کرمپیدو، ۲۰۰۸).

مزایا:

برای محاسبات اولیه، زمانی که طراحان می‌خواهند یک حدس اولیه از عمق گیرداری داشته باشند، و تعیین ابعاد دیوار سپری مفید است. با دانش استاتیک ساده این روش می‌تواند به صورت آنالیزی حل شود (کرمپیدو، ۲۰۰۸).

معایب:

در این روش بازتوزیع فشار زمین ناشی از کمانش دیوار مرکب به حساب نمی‌آید، در نتیجه فشار واقعی زمین در محل با چیزی که در نظر گرفته می‌شود متفاوت است. علاوه بر آن، مراحل ساخت سازه در این روش نادیده گرفته می‌شود. همچنین تنش‌های افقی خاک روی دیوار مرکب را شامل نمی‌شود. روش Blum تنها از یک مدل ساده شده و داده‌های خاک استفاده می‌کند و اثرات سکوی کاهنده روی ممان خمشی را هم نادیده می‌گیرد. توزیع فشار زمین در روش Blum بر اساس تئوری فشار زمین رانکین^۱ است و محاسبات می‌تواند به صورت محاسبات یک تیر مهارشده انجام بگیرد. با یک عمق نفوذ حداقل، لایه خاک متحمل مقاومت، تنها قادر به ایجاد پایداری سازه سپری است درحالی که عمق گیرداری باید به اندازه‌ای باشد که تغییر شکل جانبی و چرخش (دوران) نیز اتفاق نیفتد.

^۱ Rankine theory

در این روش از نقطه نظر آنالیز ساختاری دو مفهوم اساسی تشخیص داده شده است:

- سازه سپری با تکیه گاه آزاد

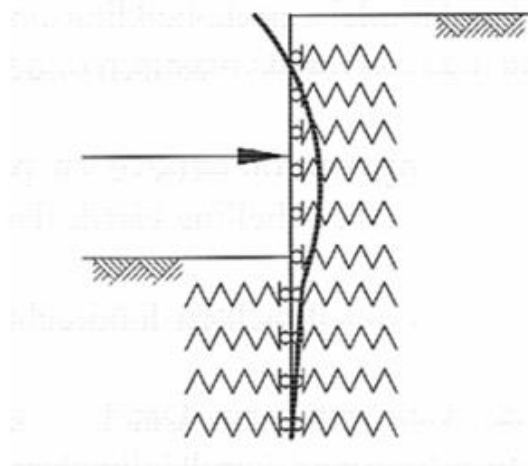
- سازه سپری با تکیه گاه گیردار

رفتار تغییر شکل هر دو مفهوم بالا اساسا متفاوت است.

۴-۶-۲- روش (BEF (Beam on elastic foundation

این روش محاسبه پیچیده‌تر از روش قبلی است. در این مدل، زمین به عنوان مجموعه‌ای از فنرهای الاستوپلاستیک شبیه‌سازی شده است. از آنجایی که فشارهای زمین بستگی به تغییر شکل دیوار سپری دارد، محاسبات یک فرآیند تکراری است. بعد از هر گام محاسبه، بررسی این که آیا فشارهای محاسبه شده زمین با جابه‌جایی‌ها مطابقت دارد یا خیر انجام می‌شود. فرآیند تکرار زمانی متوقف می‌شود که نتایج همگرا شوند.

نرم افزار D-sheet piling توسط ^۱ Deltares ایجاد شد که عمدتا در هلند برای محاسبه یک اسکله استفاده می‌شود و بر اساس تئوری تیر مهار شده به صورت الاستیک است.



شکل (۴-۹) شبیه‌سازی دیوار سپری و خاک

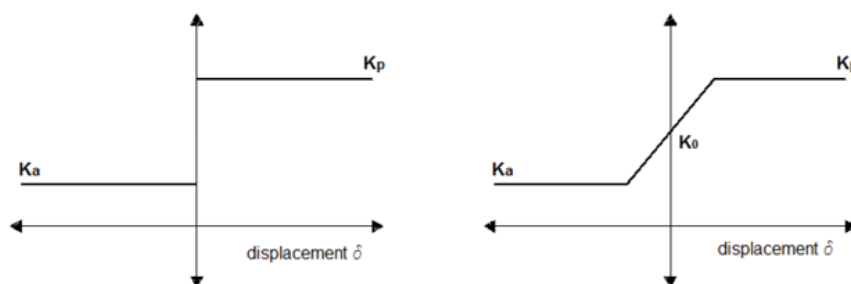
^۱ یک موسسه مستقل برای تحقیقات در زمینه آب، زیردریا و فرا سازه

معایب:

ایراد این روش این است که سکوی کاهنده را به طور واضح شامل نمی‌شود. یعنی سکوی کاهنده باید به صورت جداگانه به عنوان یک قاب محاسبه و مدل‌سازی شود. در این مدل اثرات انحراف دیوار سپری که مطلوب است نادیده گرفته می‌شود و سپری به طور قائم فرض می‌گردد، در صورتی که خروج از مرکزیت بار محوری ناشی از انحراف سپری ممان خمشی ماکزیمم را کاهش می‌دهد. ضمناً اثرات کمانش خاک روی قسمت محرک، که منجر به کاهش ممان خمشی و نیروی مهارتی بیشتر می‌شود محاسبه نشده است. فنرها در این برنامه سختی خاک را شبیه‌سازی می‌کنند، در صورتی که سختی خاک در واقعیت مانند یک فنر با یک پارامتر سختی رفتار نمی‌کند و به مقدار جابه‌جایی‌ها و تنش‌های وارد بر خاک بستگی دارد. در این مدل فقط جابه‌جایی‌های افقی به حساب می‌آیند، بنابراین این روش تنها یک تخمینی از واقعیت است. شکل زیر شبیه‌سازی سختی خاک در این مدل را نشان می‌دهد.

مزایا:

مزیت این روش این است که مراحل ساخت می‌توانند آنالیز بشوند. این امکان به تنش‌ها اجازه انتقال از هر مرحله به مرحله بعدی را می‌دهد. این مورد مهم‌ترین تفاوت بین این روش و روش BLUM است. یک جنبه مهم در این مدل، تنوع ضرایب فشار زمین به علت جابه‌جایی دیوار است. در شکل‌های زیر ضرایب فشار زمین ثابت (مدل BLUM) و ضرایب فشار زمین تابع جابه‌جایی مشاهده می‌شود.



شکل (۴-۱۰) ضرایب فشار زمین در روش BLUM و BEF (گوموسیو، ۲۰۱۳)

نرم افزار D-sheet معادله را به صورت عددی با اعمال روش اجزای محدود یک بعدی حل می کند. دیوار سپری به یک تعدادی از المان هایی که در گره هایی به هم متصل هستند تقسیم می شود. در این گره ها جابه جایی ها و دوران های المان های مجاور مساوی اند، بنابراین یک تیر پیوسته ایجاد می شود. موقعیت گره ها به طور اتوماتیک توسط Dsheet تعیین می گردد. گره ها همیشه در مرزهای لایه های خاک، مرزهای فشار آب، مرزهای سگمنت های دیوار با مشخصات مختلف و نقاطی با عدم پیوستگی ایجاد می شوند.

۴-۶-۳- روش اجزای محدود

پیچیدگی هندسی، رفتار پیچیده ماده، شرایط مرزی و نیز بارگذاری های متنوع موجود در مسائل، واقعیت رسیدن به حل دقیق را با دشواری های فراوان روبرو ساخته است. استفاده از حل های تقریبی با دقت قابل قبول که در زمان محدود به دست می آید، گشایشی عظیم در حل این مسائل به شمار می رود. روش اجزای محدود یکی از بهترین انتخاب ها در این زمینه است. این روش اولین بار به وسیله ترنر و همکاران (۱۹۵۶) برای استفاده در تحلیل ساختمان ارائه شد. در این روش هندسه مسئله به یک سری المان تقسیم می شود که در نقاط گرهی با یکدیگر ارتباط دارند و روابط تنش- کرنش به وسیله معادلات مناسب، مشخص می شوند. تنش، کرنش و تغییر شکل را می توان با تغییر در شرایط مسئله تحلیل نمود. هدف اصلی در این روش، یافتن حل یک مسأله پیچیده از طریق جایگزینی آن با یک مدل ساده تر است. این روش به انتخاب صحیح مدول الاستیسیته خیلی حساس است و می تواند برای بررسی پایداری کلی و تغییر شکل های سازه استفاده بشود.

انعطاف پذیری زیاد روش اجزای محدود در مدل سازی ها، اعمال شرایط مرزی متنوع و هم چنین توسعه کدهای تجاری توانمند، باعث شده است که این روش، یکی از پرکاربردترین روش های عددی باشد.

۴-۷- معرفی plaxis

با توجه به آن چه در قسمت قبل گفته شد نرم افزار جهت انجام آنالیز مقایسه‌ای این تحقیق PLAXIS می‌باشد. برخی امتیازهای این نرم افزار که موجب انتخاب آن شده است در عبارات زیر آمده است:

- یک نرم افزار کاملا ژئوتکنیکی

- سرعت و دقت بالای نرم افزار در تحلیل مسائل

- راحتی کار با آن

- قابلیت بالا در مدل سازی اندرکنش خاک و سازه

- داشتن مدل های رفتاری متداول در آنالیزهای خاکی

- در دسترس بودن خود نرم افزار

PLAXIS نرم افزاری اجزای محدود و پیشرفته برای تحلیل تغییر شکل ها و پایداری است و در پروژه های مهندسی ژئوتکنیک کاربرد بسیاری دارد. در این نرم افزار، تنش ها و تغییر شکل ها در المان های سازه ای و خاک به المان های کوچک تقسیم می شود. هر گره از یک المان به گره المان مجاور متصل است. همه این المان ها با همدیگر، مش نامیده می شوند. اولین ویرایش این نرم افزار به منظور آنالیز سدهای خاکی احداث شده بر روی خاک های نرم در قسمت های کم ارتفاع و پست کشور هلند و به سفارش مدیریت منابع آب آن کشور در دانشگاه صنعتی Delft در سال ۱۹۸۷ تهیه و سپس در سال ۱۹۹۳ قابلیت های آن گسترش داده شد. نرم افزار PLAXIS برای محاسبات 2D , 3D در دسترس می باشد، اما به علت پیچیدگی و زمان گیر بودن، محاسبات مدول 2D معروف تر است.

در این نرم افزار، مدل های مختلفی مانند مور کلمب، مدل سخت شوندگی هذلولی، مدل نرم شوندگی و مدل نرم شوندگی خزشی قابل به کارگیری است.

در تحلیل‌های دو بعدی امکان انتخاب دو نوع المان ۶ گرهی و ۱۵ گرهی مثلثی در تحلیل‌ها وجود دارد که المان پیش‌فرض در این نرم‌افزار المان ۶ گرهی می‌باشد. در پیش‌فرض نرم‌افزار، تابع تقریب جابه‌جایی المان‌ها از مرتبه دوم در نظر گرفته شده است. ماتریس سختی این نوع المان‌ها با استفاده از سه نقطه تنش حاصل می‌شود. برای دستیابی به دقت بیشتر در محاسبات تنش‌ها و بار و گسیختگی، از المان‌های ۱۵ گرهی استفاده می‌شود. در المان‌های ۱۵ گرهی مثلثی، تابع تقریب جابه‌جایی از مرتبه چهارم و نقاط تنش آن به منظور تعیین ماتریس سختی ۱۲ نقطه در نظر گرفته شده است. این نوع المان در آنالیزهای دقیق مهندسی به کار می‌رود و برای انجام تحلیل‌ها توسط آن نیاز به حافظه بیشتری از کامپیوتر بوده و وقت بیشتری برای تحلیل نیاز دارد. در شکل (۴-۱۱) موقعیت نقاط جابه‌جایی و تنش در این دو نوع المان نشان داده شده است.

در تحلیل عددی برای هر مساله ژئوتکنیکی مراحل مشخصی وجود دارد که رعایت آنها در تحلیل ضروری است. این مراحل در تمامی نرم‌افزارهایی که با روش‌های عددی در حل مسائل ژئوتکنیکی به کار گرفته می‌شوند، دارای اصول مشابهی هستند و عبارتند از:

- تعریف هندسه مساله
- اعمال شرایط مرزی
- مش بندی
- اعمال شرایط اولیه
- ایجاد مراحل ساخت سازه
- حل مساله

نرم افزار PLAXIS نیز از این قاعده مستثنی نبوده و مدل سازی انجام شده شامل مراحل زیر است:

۴-۷-۱- برنامه ورودی ها

در برنامه ورودی ابتدا یک مدل هندسی دوبعدی متشکل از نقطه‌ها، خطوط و سایر مولفه‌ها در صفحه X و Y و همچنین بارهای وارده ایجاد شده است. همه مشخصات مصالح المان‌های مختلف و مشخصات لایه‌های خاک توصیف شده‌اند. به‌طور کلی مصالح در دسترس برای نرم‌افزار PLAXIS به چهار دسته خاک، صفحات، انکرها و ژئوگریدها تقسیم می‌شوند. وارد نمودن داده‌های مربوط به مصالح معمولاً پس از وارد کردن هندسه و شرایط مرزی و قبل از ایجاد مش صورت می‌گیرد. باید توجه داشت که قبل از ایجاد مش، باید مشخصات مصالح به نرم افزار معرفی گردد (ولترز، ۲۰۱۳).

در این نرم افزار، مدل‌های رفتاری مختلف جهت شبیه‌سازی رفتار خاک و پارامترهای آن‌ها می‌توانند توسط کاربر انتخاب شوند. در ادبیات فنی، استفاده از مدل‌های ساده مانند مورکلمب بسیار رایج است. مدل مورکلمب شناخته شده‌ترین این مدل‌ها و دارای ساده‌ترین پارامترهاست. در این تحقیق از مدل مورکلمب استفاده شده است. پارامترهای مورد نیاز در مدل مورکلمب در جدول (۴-۲) آورده شده است.

جدول (۴-۲) پارامترهای مورد استفاده در مدل مورکلمب

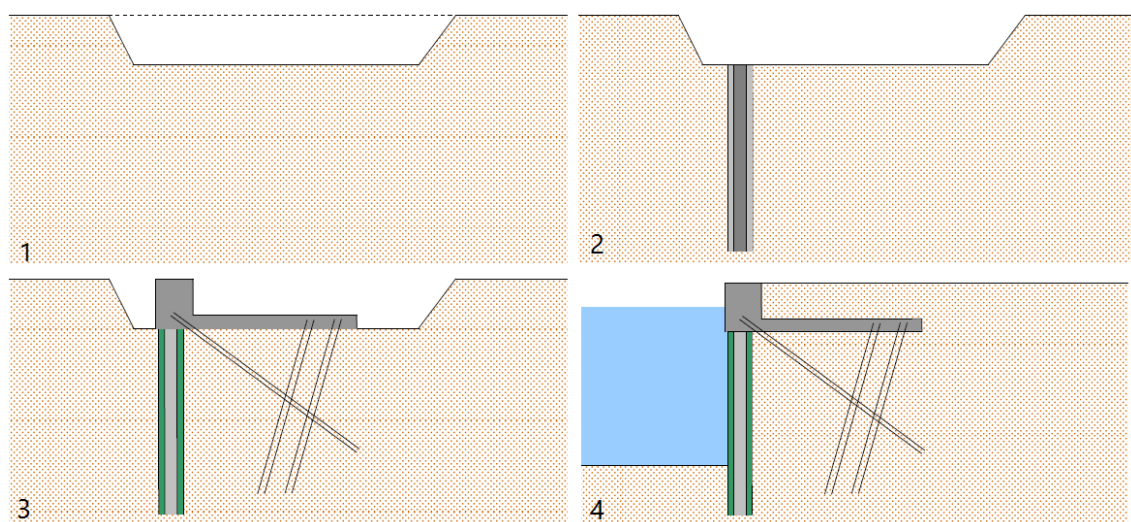
پارامتر	واحد	توصیف
مدول یانگ (E)	kPa	مدول الاستیسیته
نسبت پواسون (ν)	-	تغییر کرنش عمود بر جهت بار
زاویه اصطکاک (φ)	°	زاویه اصطکاک داخلی خاک
چسبندگی (c)	kPa	جاذبه بین مولکولی در خاک های ریزدانه
زاویه اتساع (ψ)	°	تغییر حجم خاک در طول برش

برای مدل سازی اجزای مختلف اسکله، المان‌های گوناگونی وجود دارند که می‌توانند استفاده شوند. برای دیوار سپری از المان plate با مشخصات معادل مقطع دیوار مرکب استفاده شده است. همچنین برای شبیه‌سازی mv pile المان node-to-node anchor به کار برده شده است. برای این شمع طول ۳۵ متر

فرض شده است. جهت مدل سازی bearing pile هم از المان fixed-end ancor استفاده شده است که مشخصاتی مانند خود شمع دارد و طول معادل ۳۰ متر فرض شده است. سکوی کاهنده هم مانند plate مدل شده و مشخصات بتن استفاده شده در آن اعمال شده است. پس از تکمیل ساخت هندسه و اختصاص ویژگی مصالح، باید مدل اجزا محدود مش بندی شود. PLAXIS با در اختیار قرار دادن امکان مش اتوماتیک، قدم بزرگی در سهولت مدل سازی عددی به روش اجزا محدود فراهم کرده است.

۴-۷-۲- برنامه محاسبات

بعد از مش بندی، شرایط اولیه شامل اعمال تنش های ناشی از وزن آب و تنش های ناشی از وزن مصالح فعال می شوند. پس از آن فاز محاسبات شده و مراحل ساخت اعمال می شوند. مراحل ساخت اسکله سپری با سکوی کاهنده در شکل (۴-۱۲) آورده شده است. ترتیب اجرا یک عامل اساسی در طراحی دیوارهای سپری می باشد، چرا که توزیع تنش روی دیوار تحت تأثیر هر مرحله از لایروبی یا خاک برداری، خاکریزی، متراکم کردن خاک و مهار کردن می باشد.



شکل (۴-۱۱) مراحل ساخت اسکله سپری با سکوی کاهنده (بونتته، ۲۰۰۷)

۴-۷-۳- برنامه خروجی‌ها

برنامه خروجی شامل همه امکانات برای مشاهده و لیست نتایج اطلاعات ورودی تولیدشده و محاسبات اجزای محدود می‌باشد. کاربر باید مدل را انتخاب کند و یک شماره گام یا مرحله محاسباتی بدهد برای این که مشخص شود کدام نتایج مشاهده شوند. در این قسمت، تغییر شکل‌ها، ممان‌های خمشی، نیروهای برشی، تنش‌ها، کرنش‌ها و... برای هر المان، هر لایه خاک و یا کل سازه قابل مشاهده است. خروجی‌های به‌دست آمده برای دیوار سپری بر طبق هر آیین‌نامه در فصل پنج آورده شده است. همچنین ابزاری برای ایجاد منحنی‌های بار-جابجایی و تنش وجود دارد. این منحنی‌ها می‌توانند در نقاط انتخاب شده در برنامه محاسباتی ایجاد شوند (ولترز، ۲۰۱۲).

۴-۸- محاسبات بر اساس CUR 211

طراحی در هندبوک به سه نوع سازه مختلف تقسیم‌بندی می‌شود: دیوارهای سپری کوچک (کلاس ۱)، دیوارهای سنگی (کلاس ۲) و اسکله‌ها (کلاس ۳). این دسته‌بندی برای طول عمر پنجاه سال در نظر گرفته شده است (CUR211, 2005).

جدول (۴-۳) دسته‌بندی انواع سازه در CUR211

دسته‌بندی سازه	دیوارهای سپری کوتاه (کلاس ۱)	دیوارهای سنگی (کلاس ۲)	اسکله‌ها (کلاس ۳)
شاخص قابلیت اعتماد (β)	۲/۴	۳/۴	۴/۲

روش طراحی اسکله سپری در CUR211 بر اساس کلاس ایمنی ۲ است. بر طبق این کلاس، شکست یک سازه اسکله‌ای بزرگ عموماً منجر به خسارت‌های اقتصادی عظیم می‌شود اما خطر انسانی ندارد. بررسی‌های زیادی انجام گرفت و به این نتیجه رسیدند که برای اسکله سپری با سکوی کاهنده این کلاس ایمنی مناسب است. زیرا طراحی این نوع اسکله به صورتی نیست که ناگهانی تخریب شود و خطر انسانی آن کم است (CUR211, 2005).

۴-۸-۱- سطوح آب

در این آیین‌نامه یک تراز آب احتمالاتی خاص توصیف شده است. این آنالیز بر اساس تابع توزیع احتمالاتی آب‌های با سطوح بالا و پایین است. از این آنالیز، مقادیر میانگین و انحراف استاندارد^۱ به دست می‌آید. در جدول (۴-۴) سطوح آب بر طبق CUR211 به صورت خلاصه آورده شده است:

جدول (۴-۴) مقادیر طراحی برای ترازهای آب (CUR211, 2005)

پارامترها	مقدار میانگین	انحراف استاندارد	مقدار طراحی
High Water Level	+1.26	0.33	+1.46
Low Water Level	-1.22	0.27	-1.38
Low low Water Spring	-1.61	0.27	-1.77
Ground Water Level	+0.8	0.25	+1.30

ترازهای آب آزاد طراحی و زیرزمینی از فرمول‌های (۱-۴) تا (۴-۴) به دست می‌آیند (CUR211, 2005):

$$h_{LW} = \mu_{50,LW} - \gamma_{SF} \cdot \sigma_{LW} \quad (۱-۴)$$

$$h_{LLW} = \mu_{LLW} - \gamma_{SF} \cdot \sigma_{LLW} \quad (۲-۴)$$

$$h_{HW} = \mu_{HW} + \gamma_{SF} \cdot \sigma_{HW} \quad (۳-۴)$$

$$h_{g,HW} = \mu_{50,gHW} + \gamma_{SF} \cdot \sigma_{g,HW} \quad (۴-۴)$$

نحوه محاسبه در کادر زیر آورده شده است:

$h_{LW} = \mu_{50,LW} - \gamma_{SF} \cdot \sigma_{LW} = -1.22 - 0.6 \times 0.27 = -1.38 \text{ m NAP}$	(۱-۴)
$h_{LLW} = \mu_{LLW} - \gamma_{SF} \cdot \sigma_{LLW} = -1.61 - 0.6 \times 0.27 = -1.77 \text{ m NAP}$	(۲-۴)
$h_{HW} = \mu_{HW} + \gamma_{SF} \cdot \sigma_{HW} = +1.26 + 0.6 \times 0.33 = +1.46 \text{ m NAP}$	(۳-۴)
$h_{g,HW} = \mu_{50,gHW} + \gamma_{SF} \cdot \sigma_{g,HW} = +0.8 + 2 \times 0.25 = +1.30 \text{ m NAP}$	(۴-۴)

^۱ Standard deviation

در این پژوهش، سیستم زهکشی در نظر گرفته نشده است و هم‌چنین تراز آب زیرزمینی پایین^۱ مساوی با تراز آب آزاد پایین^۲ فرض شده است.

۴-۸-۲- مشخصات خاک

CUR211 برای مشخصات خاک به جدولی در آیین‌نامه CUR166 رجوع می‌کند. خلاصه‌ای از مشخصات لایه‌های خاک محل در جدول زیر آمده است:

جدول (۴-۵) مشخصات خاک بر طبق CUR166

ارتفاع لایه (m NAP)		نوع خاک بر طبق CUR166	تراکم	مخلوط	q_c^v (Mpa)	γ Kn/m ³	γ_{sat}^o (Kn/m ³)	E^f (MPa)	ϕ (KPa)	C^r (kPa)
بالا	پایین									
۵	-۵	ماسه	متوسط	خالص	۱۲	۱۸	۲۰	۴۵	۳۲/۵	۰
-۵	-۸	ماسه	متوسط	سیلت رسی سخت	۴	۱۸	۲۰	۱۵	۲۵	۰
-۸	-۹/۳	رس	متوسط	خالص	۱	۱۷	۱۷	۲	۱۷/۵	۵
-۹/۳	-۱۷	ماسه	متوسط	خالص	۱۳	۱۸	۲۰	۴۵	۳۲/۵	۰
-۱۷	-۲۰	ماسه	کم	خالص	۵	۱۷	۱۹	۱۵	۳۰	۰
-۲۰	-۲۳/۵	رس	متوسط	خالص	۱	۱۷	۱۷	۲	۱۷/۵	۵
-۲۳/۵	-۵۰	ماسه	زیاد	خالص	۲۰	۱۹	۲۱	۷۵	۳۵	۰

^۱ Low groundwater level

^۲ Low water level

^۳ چسبندگی خاک

^۴ مدول الاستیسیته

^۵ وزن مخصوص اشباع

^۶ وزن مخصوص خاک

^۷ مقاومت نوک مخروط

۴-۸-۳- ضرایب اطمینان

بر طبق CUR211 برای طراحی دیوارسپری، یک مجموعه‌ای از ضرایب جزئی که به‌طور خاص برای محاسبه سپری‌ها می باشد، استفاده شده است.

در این آیین‌نامه برای همه مشخصات خاک ضریب اطمینان ۱ در نظر گرفته شده است. ضرایب اطمینانی که باید روی مقادیر معرف اعمال بشوند در جداول زیر آمده است:

جدول (۴-۶) ضرایب اطمینان برای پارامترهای هندسی (CUR211, 2005)

پارامترها	ضریب اطمینان جزئی
تراز کف	۱/۲
تراز آب زیرزمینی	۲
تراز آب آزاد	۰/۶

جدول (۴-۷) ضرایب اطمینان برای نیروهای داخلی از محاسبات سپری (CUR211, 2005)

پارامترها	ضریب اطمینان جزئی
لنگر خمشی	۱/۳
نیروی محوری	۱/۳
نیروی برشی	۱/۳

این ضرایب اطمینان با همه حالات حدی و سرویس سازگار هستند. در شرایط حالت حدی سرویس همه ضرایب باید با ۱ جایگزین شوند. این مورد شامل ضرایب اطمینان جزئی پارامترهای خاک که در هر شرایطی یکسان می باشند نمی‌شود.

مقادیر طراحی بارهای روی سکوی کاهنده و پی در حالت حدی نهایی با استفاده از ضرایب جزئی نشان داده شده در جدول (۴-۸) تعیین شده است.

جدول (۴-۸) ضرایب جزئی بار برای حالت حدی نهایی (CUR211, 2005)

سطح ایمنی	ترکیب بار	بارهای دائمی		بارهای متغیر	بارهای خاص
		$\gamma_{f;g}$			
		نامطلوب	مطلوب	$\gamma_{f;q}$	$\gamma_{f;a}$
		$\gamma_{f;gmax}$	$\gamma_{f;gmin}$		
1	اصلی ۱	1.2	0.9	1.2	-
2	اصلی ۱	1.2	0.9	1.3	-
3	اصلی ۱	1.2	0.9	1.5	-
1,2,3	اصلی ۲	1.3	0.9	-	-

۴-۸-۴- ترکیبات بار

در حالات حدی تعدادی از ترکیبات نامطلوب بارها که از بارهای دائمی و چندین بار متغیر تشکیل شده اند، در نظر گرفته شده است. ترکیبات بارهای اصلی بررسی شده‌اند. در ترکیبات بارها، باید احتمال هم زمانی ترکیب بارها کوچکتر از احتمال رخ دادن یکی از بارها باشد. علاوه بر بارهای دائمی، امکان این که یک بار متغیر با سایر بارهای متغیر دیگر ترکیب بشود نیز وجود دارد. وابسته به طبیعت بارها، بارهای متغیر در یک ترکیب بار توسط ضرایب کاهش سای کم می‌شوند. در جداول زیر مقادیر طراحی بارها در ترکیب بارهای اصلی آورده شده است.

جدول (۴-۹) مقادیر طراحی بارها در ترکیبات بار در حالت حدی نهایی (CUR211, 2005)

ترکیب بار	باردائمی G_d		بارمتغیر Q_d		بارخاص $F_{a,d}$
	نامطلوب	مطلوب	متغیر اصلی	متغیر فرعی	
اصلی	$\gamma_{f;g} \max$ \times $G_{rep} \max$	$\gamma_{f;g} \min$ \times $G_{rep} \min$	$\gamma_{f;q}$ \times $Q_{1:rep}$	$\gamma_{f;q}$ \times $Q_{j:rep} \psi_{0,j}$	-

جدول (۴-۱۰) انواع بارهای وارد بر اسکله (میجر، ۲۰۰۶)

بارهای دائمی	بارهای متغیر	بارهای خاص
<ul style="list-style-type: none"> • وزن مرده سازه • فشارخاک و آب تحت شرایط معمول • نیروی برشی بین خاک و سوپرسازه 	<ul style="list-style-type: none"> • فشارخاک به علت بارهای قائم اضافی • فشار آب • فشار آب به علت جریان آب زیرزمینی • عملیات کشتی • نیروی پهلوگیری • نیروی مهاری • بارگذاری و باربرداری • بارناشی از انبار • بارجرثقیل • بارترافیک • بارمحیطی • بارموج • باربخ • بارناشی از تغییرات دما 	<ul style="list-style-type: none"> • سطوح آب خیلی زیاد • بارناشی از انبار در یک موقعیت خاص • بارسقوط • واژگونی • زلزله • خاکبرداری خیلی زیاد

ضرایب کاهش برای بارهای مختلف مورد استفاده به صورت زیر می باشد:

جدول (۴-۱۱) ضرایب کاهش بار در ترکیب بار (CUR211, 2005)

نوع بار	ψ ₀
فشارخاک	۱
فشار آب	۱
بارهای متغیر	۰,۷
بارهای محیطی	۰,۷

ترکیبات بار اصلی بر اساس سطوح آب مختلف در جداول زیر آورده شده است.

جدول (۴-۱۲) ترکیب بار LCA (CUR211, 2005)

بیشترین سطح آب زیرزمینی (+1.30m) + کمترین سطح آب آزاد (-1.38)			
ترکیب بار A	LCA1	LCA2	LCA3
فشارخاک	۱	۱	۱
فشار آب	۱	۱	۱
بار زمینی	۰,۷	۰,۷	۰,۷
بار جرثقیل	۰,۷		
بار بولارد	-	۰,۷	
بار فندر	-		۰,۷

جدول (۴-۱۳) ترکیب بار LCB (CUR211, 2005)

کمترین سطح آب زیرزمینی (-1.38m) + کمترین سطح آب آزاد (-1.38)	
ترکیب بار B	LCB
فشارخاک	۱
فشار آب	۱
بار زمینی	۰,۷
بار جرثقیل	۰,۷
بار بولارد	-
بار فندر	-

در این پژوهش، محاسبات روی دیوار سپری تمرکز می‌کند. برای آنالیز مقایسه‌ای، نیروهای داخلی و مهاری برای یک دیوار با تراز پنجه ۳۵ متر محاسبه شده است. این عمق به‌عنوان عمقی که ظرفیت باربری قائم کافی را ارائه می‌دهد فرض شده است. تفاوت در سختی بین شمع‌های پرشونده و پروفیل‌های لوله‌ای به‌قدری زیاد است که امکان رخ دادن کمانش وجود دارد. در نتیجه پروفیل‌های لوله‌ای تقریباً

همه فشار خاک را تحمل می‌کنند و شمع‌های فرعی عمدتاً توسط فشار هیدرو استاتیکی بارگذاری می‌شوند.

۹-۴- محاسبات بر اساس CUR166

فلسفه طراحی بر اساس طول عمر پنجاه سال و کلاس ایمنی ۳ با شاخص قابلیت اعتماد ۴/۲ می‌باشد. موارد زیر در این آیین‌نامه عنوان شده است (CUR166, 2008):

۹-۴-۱- مشخصات خاک

مشخصات خاک بر طبق آزمایش نفوذ دیاگرام مخروط مطابق جدول زیر به دست آمده است:

جدول (۹-۴) مشخصات خاک بر طبق CUR166

ارتفاع لایه (m NAP)		نوع خاک بر طبق CUR166	غلظت	مخلوط	q_c^5 (Mpa)	γ^4 (Kn/m ³)	γ_{sat}^2 (Kn/m ³)	E^2 (MPa)	ϕ (KPa)	C^1 (kPa)
بالا	پایین									
۵	-۵	ماسه	متوسط	خالص	۱۲	۱۸	۲۰	۴۵	۳۲/۵	۰
-۵	-۸	ماسه	متوسط	سیلت رسی سخت	۴	۱۸	۲۰	۱۵	۲۵	۰
-۸	-۹/۳	رس	متوسط	خالص	۱	۱۷	۱۷	۲	۱۷/۵	۵
-۹/۳	-۱۷	ماسه	متوسط	خالص	۱۳	۱۸	۲۰	۴۵	۳۲/۵	۰
-۱۷	-۲۰	ماسه	کم	خالص	۵	۱۷	۱۹	۱۵	۳۰	۰
-۲۰	-۲۳/۵	رس	متوسط	خالص	۱	۱۷	۱۷	۲	۱۷/۵	۵
-۲۳/۵	-۵۰	ماسه	زیاد	خالص	۲۰	۱۹	۲۱	۷۵	۳۵	۰

^۱ چسبندگی خاک

^۲ مدول الاستیسیته

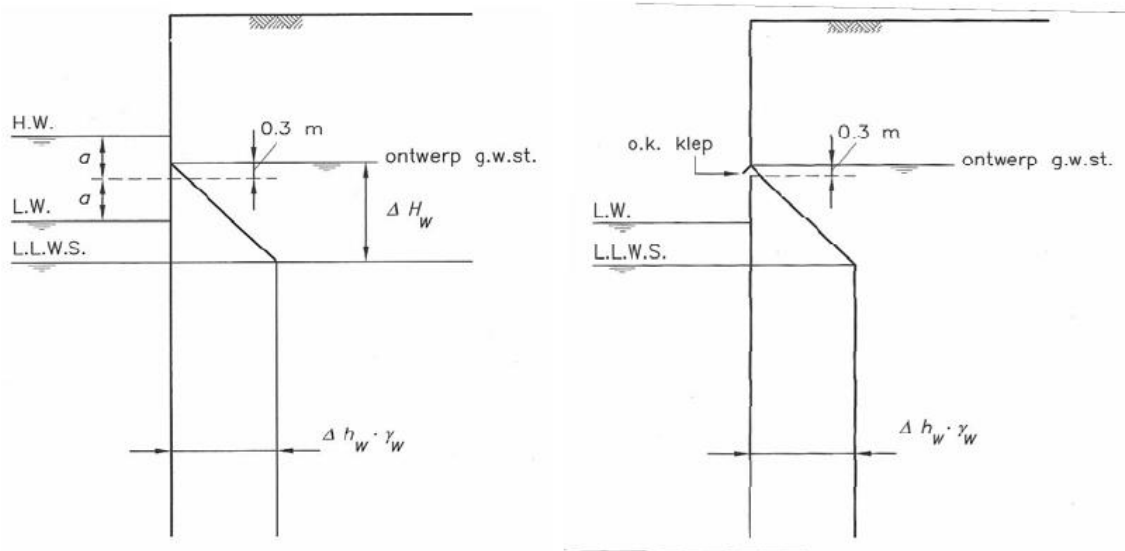
^۳ وزن مخصوص اشباع

^۴ وزن مخصوص خاک

^۵ مقاومت نوک مخروط

۲-۹-۴- سطوح آب

تعیین سطوح آب طراحی، بر اساس دو موقعیت با سیستم زهکشی و بدون آن بیان شده است.



شکل (۴-۱۲) فشار هیدرواستاتیک بر طبق CUR166 بدون سیستم زهکشی (سمت چپ) و با سیستم زهکشی (سمت راست)

- بدون سیستم زهکشی:

$$\Delta h = \frac{MHW - MLW}{2} + 0.3 + (MLW - LLWS) \quad (۵-۴)$$

- با سیستم زهکشی:

$$\Delta h = 0.3 - LLWS \quad (۶-۴)$$

در این جا با توجه به این که فرض شده است که دیوار سپری سیستم زهکشی ندارد از حالت اول استفاده می شود. لذا تراز آب زیرزمینی معرف برابر است با:

$$ground\ water\ level_{rep} = LLWS + \Delta h \quad (۷-۴)$$

نحوه محاسبات در کادر زیر آورده شده است:

$$\Delta h = \frac{MHW - MLW}{2} + 0.3 + (MLW - LLWS) = \frac{1.26 + 0.69}{2} + 0.3 + (0.9 - 0.69) = 1.49 \quad (۵-۴)$$

$$\Delta h = 0.3 - LLWS = 0.3 + 0.9 = 1.20\ m \quad (۶-۴)$$

$$ground\ water\ level_{rep} = LLWS + \Delta h = -0.9 + 1.49 = 0.59\ m\ NAP \quad (۷-۴)$$

۴-۹-۳- ضرایب اطمینان

ضرایب اطمینان برای محاسبات سپری در جدول زیر داده شده است.

جدول (۴-۱۵) تعیین مقادیر طراحی (CUR166,2008)

پارامترها	کلاس ۱		کلاس ۲		کلاس ۳		مقادیر طراحی
	γ	Δ	γ	Δ	γ	Δ	
چسبندگی	1	-	1	-	1.10	-	c/γ
زاویه اصطکاک داخلی	1.05	-	1.15	-	1.20	-	$\tan\phi/\gamma$
ارتفاع گیرداری	1.6	0.2	2.20	0.3	2.60	0.35	$\max(\mu + \gamma\Delta; \mu + \Delta)$
تراز آب زیرزمینی (بالا)	1.3	0.15	1.70	0.2	2.10	0.25	$\max(\mu + \gamma\Delta; \mu + \Delta)$
تراز آب زیرزمینی (پایین)	0.66	0.05	0.87	0.05	1.50	0.05	$\max(\mu + \gamma\Delta; \mu + \Delta)$
بار دائمی	1	1			1		
بار متغیر	1	1			1.25		

ضرایب اطمینان باید روی مقادیر در محاسبات اعمال شوند. با توجه به جدول داده شده، پارامترهای مقاومتی خاک برای هر لایه با اعمال ضرایب اطمینان مربوطه به دست می آید. ارتفاع گیرداری و سطوح آب زیرزمینی طراحی نیز مطابق جدول به صورت زیر محاسبه شده است:

$$Retaining\ height_{design} = \max(\mu + \gamma\Delta; \mu + \Delta) \quad (۸-۴)$$

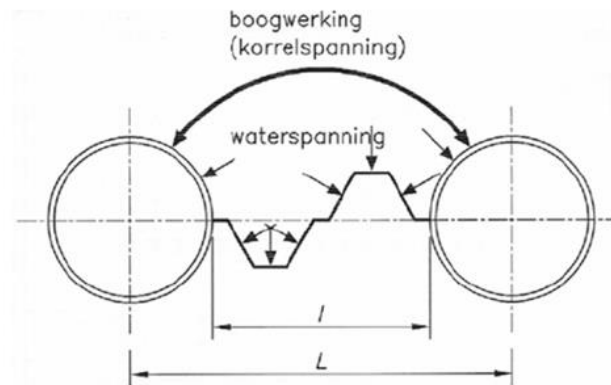
$$high\ groundwater\ level_{design} = \max(\mu + \gamma\Delta; \mu + \Delta) \quad (۹-۴)$$

$$low\ groundwater\ level_{design} = \max(\mu + \gamma\Delta; \mu + \Delta) \quad (۱۰-۴)$$

نحوه محاسبات در کادر زیر آورده شده است:

$Retaining\ height_{design} = \max(\mu + \gamma\Delta; \mu + \Delta) = \max(30.91; 30.35) = 30.91m$	(۸-۴)
$high\ groundwater\ level_{design} = \max(\mu + \gamma\Delta; \mu + \Delta) = \max(1.115, 0.84) = 1.115mNAP$	(۹-۴)
$low\ groundwater\ level_{design} = \max(\mu + \gamma\Delta; \mu + \Delta) = \max(0.665, 0.64) = 0.66mNAP$	(۱۰-۴)

در این آیین نامه هیچ ترکیب باری برای کاربرد بارهای خارجی داده نشده است و برای ترکیب بار به هندبوک رجوع می‌کند. ضرایب اطمینان بر روی پارامترهای مقاومتی خاک و سطوح آب زیرزمینی و بارها و ارتفاع گیرداری اعمال می‌شود. بعد از مدل‌سازی ممان‌های خمشی باید چک شوند. دیوار مرکب از المان‌های اصلی و فرعی تشکیل شده است. این دو المان در طول کل ارتفاع دیوار حضور ندارند. برای قسمت بالای دیوار، سختی توسط هر دو المان تعیین می‌شود در حالی که سختی قسمت پایین‌تر تنها بر عهده المان اصلی است. برای یک محاسبه با اطمینان بیشتر برای دیوار سپری می‌توان المان‌های فرعی را نادیده گرفت. ممان خمشی تنها توسط پروفیل‌های لوله‌ای تحمل می‌شود. وظیفه اصلی المان‌های فرعی غیر قابل نفوذ بودن دیوار است و فقط فشار هیدرواستاتیکی را تحمل می‌کند. این المان‌ها سختی نسبی کمی دارند که باعث کمانش می‌شود. شکل زیر کمانش به علت تفاوت در سختی بین المان‌های اصلی و فرعی را نشان می‌دهد (میجر، ۲۰۰۶).



شکل (۴-۱۳) کمانش به علت تفاوت در سختی پروفیل اصلی و فرعی (میجر، ۲۰۰۶)

۴-۱۰- محاسبات بر اساس EAU

این آیین‌نامه بر اساس تجربیات کسب شده در طی سالیان دراز و بر طبق رویکرد نیمه‌احتمالاتی نوشته شده است.

۴-۱۰-۱- سطوح آب

در EAU، ترازهای سطوح آب تحت شرایط جزرومدی توصیف شده است. موقعیت بندر Europa مانند موقعیت ۳ در EAU است. این موقعیت شرایط جزرومدی را توصیف می‌کند و به چهار زیر مجموعه مطابق زیر تقسیم شده است (EAU,2004):

موقعیت 3a) نوسانات تراز آب اصلی بدون زهکشی - حالت نرمال

$$LC1; \Delta h = \frac{MHW+MLW}{2} + 0.3 - LLWS \quad (11-4)$$

موقعیت 3b) نوسانات تراز آب اصلی بدون زهکشی - حالت حدی تراز آب خیلی کم^۱

$$LC3; \Delta h = \frac{MHW+MLW}{2} - LLWS \quad (12-4)$$

موقعیت 3c) نوسانات تراز آب اصلی بدون زهکشی - حالت حدی میزان آب کاهشی^۲

$$LC3; \Delta h = MHW + 0.3 - LLWS \quad (13-4)$$

موقعیت 3d) نوسانات تراز آب اصلی با زهکشی (یک آنالیز جریان آب زیرزمینی برای پیدا کردن گرفتگی برگشت^۳ مورد نیاز است؛ برای این مطالعه مقدار ۰/۳ مورد نیاز است).

$$LC1; \Delta h = 1 + reflux\ congestion = 1.3 \quad (14-4)$$

$$LC2; \Delta h = \frac{LLW+MLWS}{2} - MLW + 0.3 + reflux\ congestion \quad (15-4)$$

نحوه محاسبات در کادر زیر آورده شده است:

$\Delta h = \frac{1.26+0.69}{2} + 0.3 + (0.8 - 0.69) = 1.39m$	(11-4)
$\Delta h = \frac{1.26+0.69}{2} + (1.61 - 0.69) = 1.90m$	(12-4)
$\Delta h = 0.69 + 1.26 + 0.3 = 2.25m$	(13-4)
$\Delta h = \frac{1.61+0.8}{2} - 0.69 + 0.3 + reflux\ congestion = 1.12m$	(15-4)

^۱ Limit case extreme low water level

^۲ Limit case falling high water

^۳ Reflux congestion

بیشترین تفاوت تراز آب برای LC3 در زیرمجموعه c رخ می‌دهد. هم چنین برای LC1 در زیر مجموعه a رخ می‌دهد و برای LC2 تنها یک تفاوت تراز آب در زیر مجموعه d توصیف شده است.

۴-۱۰-۲- مشخصات خاک

مقادیر مشخصه پارامترهای خاک بر طبق دیاگرام نفوذ مخروط و آیین‌نامه به صورت زیر می‌باشد :

جدول (۴-۱۶) مشخصات خاک بر طبق EAU (EAU,2004)

ارتفاع لایه (m NAP)		نوع خاک بر طبق EAU	گروه خاک	q_c^5 (Mpa)	γ^4 (Kn/m ³)	γ_{sat}^3 (Kn/m ³)	E^2 (KN/m ²)	ϕ (KPa)	C^1 (kPa)
بالا	پایین								
۵	-۵	ماسه	ماسه ریز، یکنواخت	۱۰	۱۷	۹/۵	۱۹/۴۶۲	۳۲/۵	۰
-۵	-۸	ماسه	ماسه رس دار	۵	۱۶	۸/۵	۲۰/۱۹۲	۳۰	۰
-۸	-۹/۳	رس	آلی	۱/۵	۱۸/۵	۸/۵	۱/۶۵۰	۲۲/۵	۵
-۹/۳	-۱۷	ماسه	ماسه ریز، یکنواخت	۲۲	۱۸	۱۰/۵	۴۶/۶۸۸	۳۵	۰
-۱۷	-۲۰	ماسه	ماسه ریز، یکنواخت	۱۰	۱۷	۹/۵	۴۶/۷۶۶	۳۲/۵	۰
-۲۰	-۲۲/۵	رس	آلی	۲	۱۸/۵	۸/۵	۲/۸۴۰	۲۲/۵	۵

^۱ چسبندگی خاک

^۲ مدول الاستیسیته

^۳ وزن مخصوص اشباع

^۴ وزن مخصوص خاک

^۵ مقاومت نوک مخروط

۰	۳۵	۱۴۷/۳۴۶	۱۰/۵	۱۸	۵۰	ماسه درشت، یکنواخت	ماسه	-۵۰	-۲۳/۵
---	----	---------	------	----	----	--------------------------	------	-----	-------

۴-۱۰-۳- ضرایب اطمینان

مکانیسم‌های شکست زیر در EAU برای سپری‌ها بحث شده اند (EAU,2004) :

- حالت حدی 1A : حالت حدی ازدست‌دادن ایمنی تکیه گاه
- حالت حدی 1B : حالت حدی شکست سازه‌ها و مولفه‌ها
- حالت حدی 1C : حالت حدی از دست دادن پایداری کلی
- حالت حدی 2 : حالت حدی سرویس

برای محاسبات سپری حالت حدی 1B مهم‌ترین است.

جدول (۴-۱۷) ضرایب اطمینان جزئی برای بارها و اثرات بارها برای LS1B (EAU,2004)

بار یا اثرات بار		LC3	LC2	LC1
بارهای دائمی کلی	γ_G	1	1.20	1.35
فشار هیدرو استاتیک در شرایط مرزی مشخص	$\gamma_{G,red}$	1	1.10	1.20
بارهای دائمی ناشی از فشار حالت پایدار خاک	γ_{E0g}	1	1.10	1.20
بارهای متغیر	γ_Q	1	1.30	1.50

واضح است که ضرایب اطمینان برای اثرات بارهای دائم و برای اثرات بارهای متغیر (به طور مثال بارهای زمینی) باید روی نیروهای داخلی مشخصه اعمال شوند.

جدول (۴-۱۸) ضرایب اطمینان جزئی برای مقاومت (EAU,2004)

مقاومت خاک		LC1	LC2	LC3
مقاومت خاک	γ_{Ep}	1.4	1.30	1.20
مقاومت خاک برای تعیین لنگر خمشی	$\gamma_{Ep,red}$	1.20	1.15	1.10

مقاومت شکست زمین	γ_{Gr}	1.40	1.30	1.20
مقاومت لغزش	γ_{Gl}	1.10	1.10	1.10

۴-۱۰-۴- حالات بارگذاری

سه مورد بارگذاری وابسته به کلاس ایمنی و ترکیب بارها تعیین شده است:

ترکیب بارها:

CA1، ترکیب استاندارد: بارهای دائمی و بارهای متغیر منظم در طول عمر مفید

CA2، ترکیبات نادر: بارهای نادر جدا از بارهای ترکیبات استاندارد

CA3، ترکیبات خاص: یک بار خاص که ممکن است در یک زمان و اضافه بر بارهای ترکیب استاندارد

رخ بدهد.

کلاس های ایمنی :

SC1، کلاس ایمنی ۱: شرایط مربوط به عمر مفید

SC2، کلاس ایمنی ۲: شرایط موقت در طول ساخت و یا تعمیر سازه و شرایط موقت در طول ساخت و

سازه های مجاور به سازه

SC3، کلاس ایمنی ۳: شرایطی که یک بار رخ بدهد یا احتمالاً در طول عمر مفید سازه هرگز رخ ندهد.

موارد بارگذاری برای حالت حدی ۱:

LC1•، حالت بارگذاری ۱ ($=CA1+SC1$): موقعیت طراحی دائمی

- ترکیب استاندارد با شرایطی که به عمر مفید مربوط است.

LC2•، حالت بارگذاری ۲ ($=CA1+SC2$ or $CA2+SC1$): موقعیت طراحی موقت

- ترکیب نادر یا شرایط مربوط به عمر مفید

- ترکیب استاندارد با شرایط موقت در طول ساخت یا تعمیر

LC3•، حالت بارگذاری ۳ ($=CA3+SC2$ or $CA2+SC3$): موقعیت طراحی خاص

- ترکیب خاص با شرایط موقت در طول ساخت یا تعمیر

- ترکیب نادر با شرایط رخداد یک بار یا احتمالاً هرگز در طول عمر مفید سازه

هنگام مقایسه این موارد بارگذاری با ترکیبات بار در LC1، CUR211 می تواند با ترکیب بار اصلی مقایسه شود. LC3 ترکیباتی که در موقعیت‌های خاص رخ می‌دهند را نشان می‌دهد و می تواند با ترکیبات بار خاص مقایسه شود.

جدول (۴-۱۹) حالت های بارگذاری محاسبات سپری

موقعیت سطح آب	مورد بارگذاری	شرایط بار
3a	LC1	موقعیت طراحی اصلی
3b	LC3	موقعیت طراحی ویژه
3c	LC3	موقعیت طراحی ویژه
3d	LC1	موقعیت طراحی اصلی
	LC2	موقعیت طراحی موقت

۴-۱۰-۵- مقادیر مشخصه و طراحی

فلسفه طراحی بر اساس چندین مورد بار با موقعیت‌های سطوح آب مرتبط با هم است. برای محاسبات سپری، ضرایب اطمینان در LC1 باید روی نیروهای داخلی دائمی و متغیر و مقاومت اعمال شود. برای LC3 تنها یک ضریب اطمینان روی فشارمقاوم زمین اعمال می‌شود. مقادیر مشخصه مشخصات خاک برای موارد بارگذاری در حالت حدی 1B استفاده خواهد شد. زاویه انحراف با $0,67\phi$ تعیین خواهد شد. سطوح آب از سطح آب استاندارد موقعیت (3a(LC1), 3b(LC3), 3c(LC3) تعیین شده است. موقعیت 3d نادیده گرفته می‌شود زیرا هیچ مقادیری درباره زیاد بودن جزر در دسترس نیست. بارهای روی زمین (terrain) به عنوان مقادیر مشخصه استفاده خواهند شد. ضرایب اطمینان روی نیروهای داخلی اعمال خواهند شد.

۴-۱۰-۶- ترکیبات بار

هیچ بار محوری بر طبق EAU محاسبه نخواهد شد. برای محاسبات، بار محوری هندبوک اعمال خواهد شد، زیرا در آن دستورالعمل، توصیف این که چطور این بار باید محاسبه شود داده شده است. موقعیت اصلی باید برای موقعیت ۳ سطح آب تعیین بشود. موارد بارگذاری LC1 (3a), LC3 (3b,3c) برای محاسبات سپری به حساب می‌آیند. از بین دو حالت LC1, LC3 موقعیت اصلی برای LC1 در 3a رخ می‌دهد، زیرا ضرایب اطمینان وارده بر نیروهای داخلی اعداد بزرگ‌تری هستند و منجر به لنگر خمشی بزرگ‌تری نسبت به LC3 می‌شوند. بنابراین محاسبات فقط برای حالت LC1 3a انجام می‌شود.

۴-۱۱- محاسبات بر اساس EUROCODE

کلاس‌های ایمنی در EURO CODE به صورت زیر می‌باشد (EUROCODE7,2004):
کلاس ایمنی ۱ (RC1): وقتی در زمان بروز حادثه، خطر انسانی ناچیز و خسارت اقتصادی کم است. (دوره ۱۵ ساله)
کلاس ایمنی ۲ (RC2): وقتی در زمان بروز حادثه، خطر انسانی ناچیز و خسارت اقتصادی زیاد است. (دوره ۵۰ ساله)
کلاس ایمنی ۳ (RC3): وقتی در زمان بروز حادثه، خطر انسانی و خسارت اقتصادی زیاد است. معمولاً در بندر رتردام از کلاس ایمنی RC2 استفاده شده است. دلیل آن هم این است که معمولاً طول عمر ۵۰ ساله از اسکله انتظار می‌رود و به خاطر عملکرد بندر، در صورت بروز حادثه، خطر انسانی کم و خسارت اقتصادی زیادی به بار می‌آید.

۴-۱۱-۱- ضرایب اطمینان

جدول (۴-۱۹) ضرایب اطمینان برای خاک استفاده شده در محاسبات را برای یک دیوار سپری با و بدون سکوی کاهنده نشان داده است.

جدول (۴-۲۰) ضرایب اطمینان برای پارامترهای خاک بر طبق EUROCODE

پارامترهای خاک	نماد	سپری ساده	سپری با سکوی کاهنده
زاویه اصطکاک داخلی	γ_{φ}	۱/۱۷۵	۱/۲۵
چسبندگی	γ_c	۱/۲۵	۱/۴۵
مقاومت برشی زهکشی نشده	γ_{cu}	۱/۶	۱/۷۵
تراکم	γ_{γ}	۱	۱

بر طبق EUROCODE، بارهای متغیر معرف در یک ترکیب بار توسط ضرب مقادیر مشخصه در یک ضریب کاهش به دست آمده‌اند. ترکیب بارها بر اساس رخ دادن یک مقدار بحرانی از یک بار متغیر است، که به این معنی است که سایر بارها کاهش یافته‌اند. جدول (۴-۲۱) ضرایب کاهش را جهت طراحی در حالت حدی نهایی نشان می‌دهد.

یک ترکیب بار اساسی از بارهای دائمی و متغیر تشکیل شده است، که بر اساس بار متغیر اصلی با مقدار بحرانی می‌باشد. سایر بارهای هم‌زمان کاهش یافته‌اند. یک ترکیب بار تصادفی از ترکیب بارهای دائمی، یک بار تصادفی و بارهای متغیر هم‌زمان تشکیل شده است. نحوه ترکیب بارها در جدول (۴-۲۲) آورده شده است.

جدول (۴-۲۱) ضرایب کاهش توصیه شده برای ترکیب بار

بار	ψ_0
بار زمینی	0.7
بار ترافیک	0.6
بار جرثقیل	0.6
بارهای مهاری (بولارد)	0.7
بارهای پهلوگیری کشتی (فندر)	0.7
فشار خاک	1
فشار آب	1
بارهای محیطی (یخ، دما، موج، باد)	0.7

جدول (۲۲-۴) ترکیب بارها در حالت حدی نهایی

ترکیب بار	بار دائمی G_d	بار متغیر Q_d		بار خاص $F_{a,d}$
		متغیر اصلی	متغیر غیر اصلی	
اصلی	$\gamma_{f;g} \times G_{rep\ max}$	$\gamma_{f;q} \times Q_{1;d}$	$\gamma_{f;q} \times Q_{j;rep} \psi_{0,j}$	-

جدول (۲۳-۴) ترکیبات بار در حالت حدی نهایی

	LC1	LC2.1	LC2.2	LC3	ALS
بار مرده از سکوی کاهنده	1	1	1	1	1
فشار خاک	1	1	1	1	1
بار زمینی	1*1.1	1*1.1	1*1.1	0.7*1.1	0.5*1
بار جرتقیل	0.6*1.1	0.6*1.1	0.6*1.1	1*1.1	
بار بولارد		0.7*1.1			
بار فندر			0.7*1.1		

فصل پنجم:
مدل سازی
و بیان تفصیلی نتایج

۵-۱- مقدمه

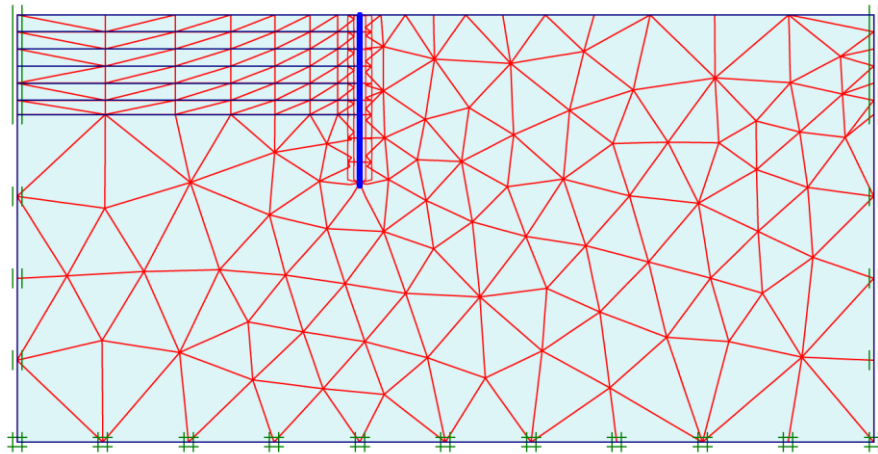
در این فصل پس از صحت‌سنجی نرم افزار، به بررسی مدل‌سازی و نتایج به‌دست آمده از طریق آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مختلف پرداخته شده است. هر آیین‌نامه شامل ترکیبات بار مخصوص خود می‌باشد که از بین آن‌ها بحرانی‌ترین ترکیب بار انتخاب شده است. پس از آن مقادیر خروجی نرم‌افزار، شامل ممان خمشی ماکزیمم، نیروی برشی ماکزیمم، جابه‌جایی افقی ماکزیمم و نیروی محوری ماکزیمم به‌دست آمده از ترکیب بار بحرانی هر آیین‌نامه با هم مقایسه و مناسب‌ترین پروفیل برای اسکله سپری با سکوی کاهنده طبق آیین‌نامه‌های مختلف پیشنهاد شده است. سپس نتایج در درجات مش متفاوت و آیین‌نامه‌های متفاوت به‌صورت گراف نمایش داده شده و با نتایج مدل ساده‌تر BEF در ترازهای پنجه مختلف مقایسه شده است.

۵-۲- صحت‌سنجی نرم‌افزار

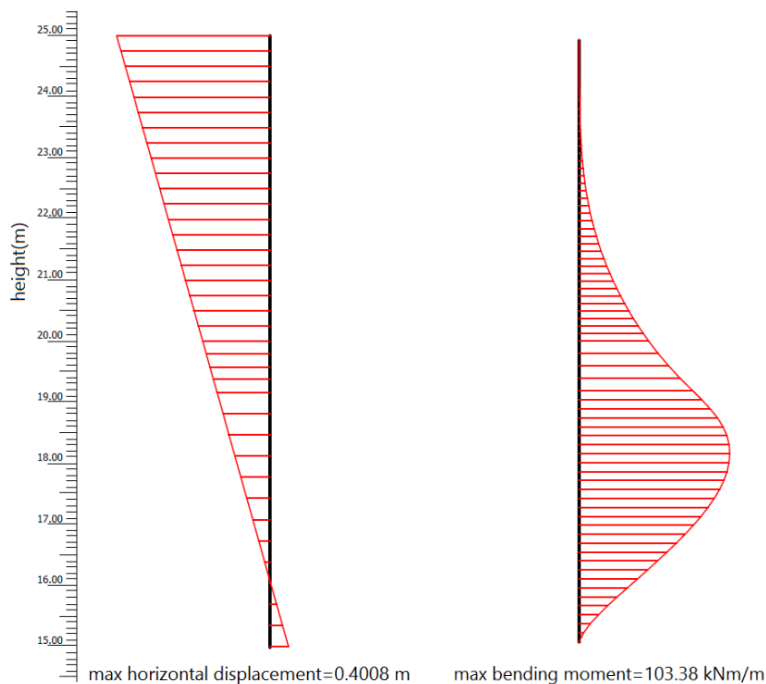
جهت صحت‌سنجی، از یک مدل آزمایشگاهی استفاده شده است. چگور^۱ و همکاران نتایج به‌دست آمده از یک مدل آزمایشگاهی را با نتایج نرم‌افزار PLAXIS مقایسه کرده و درصد اختلاف بسیار کمی برای ممان خمشی و جابه‌جایی افقی مشاهده شده است (چگور، ۲۰۱۷). در ادامه مقایسه نتایج با مدل ایجاد شده توسط نرم‌افزار PLAXIS انجام شده است. دیوار مدل شده از آلومینیوم AU3G با ضخامت 2mm، طول 24cm و ارتفاع 10m ساخته شده است. مدل در یک جعبه مستطیلی با ابعاد 1200*800*360 mm قرار گرفته است. 22 جفت حس‌گر سنجش کرنش در قسمت مرکزی دیوار قرار گرفته است. مقادیر حس‌گر به‌طور مستقیم، ممان خمشی در عمق مورد نظر را داده است. سایر حس‌گرهای متصل به مدل، جابه‌جایی افقی دیوار را در طول خاک‌برداری ارائه کرده‌اند. خاک استفاده شده، از نوع ماسه بوده و خاک‌برداری شامل شش مرحله است که هر مرحله عمقی به اندازه ۱متر را داراست. متاسفانه در جستجوهای انجام شده، تصویری در رابطه با مدل آزمایشگاهی انجام شده جهت درک بهتر آزمایش یافت نشده است.

^۱ Aissa Chogueur

در مدل نرم‌افزاری، رفتار خاک توسط مدل الاستوپلاستیک خطی مورکلمب توصیف شده و این مدل جهت آنالیز اولیه مدل ساخته شده پیشنهاد شده است. دیوار توسط المان plate شبیه‌سازی شده است. بعد از این که محاسبات تنش‌های اولیه و فشارهای منفذی آب به اتمام رسید، خاک‌برداری مرحله‌ای همانند شکل (۱-۵) شبیه‌سازی شده است.



شکل (۱-۵) مش‌بندی مدل ایجاد شده جهت صحت‌سنجی



شکل (۲-۵) نتایج صحت‌سنجی

نتایج مرحله صحت‌سنجی بیان می‌کند که ممان خمشی و جابه‌جایی افقی در دو حالت آزمایشگاهی و نرم‌افزاری اختلاف اندک ۱۴٪ در ممان خمشی ماکزیمم و ۵٪ در جابه‌جایی افقی ماکزیمم دارند. تفاوت

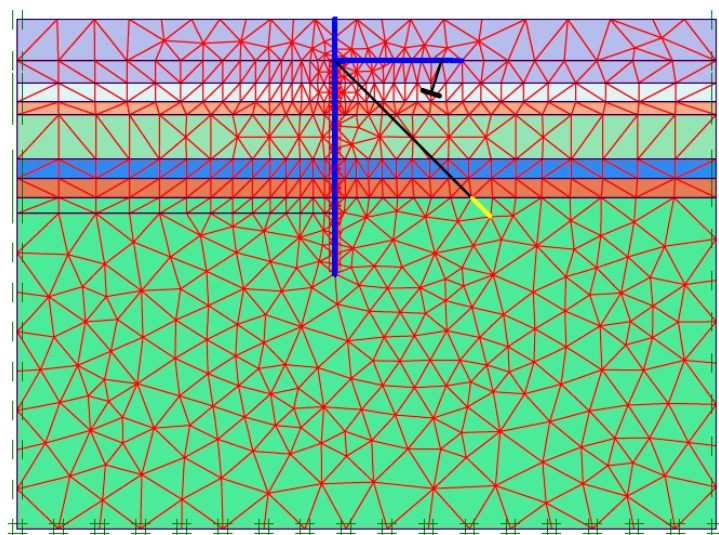
موجود در نتایج نیز به علت خطای وسایل اندازه‌گیری و نرم‌افزار می‌باشد. نتایج به‌دست آمده در جدول (۱-۵) آمده است.

جدول (۱-۵) مقایسه ممان خمشی به‌دست آمده

درصد اختلاف	نتایج به دست آمده از plaxis	نتایج Aissa Chogueur و همکاران	نتایج آزمایشگاهی	ممان خمشی ماکزیمم (kNm/m)
14%	103.38	112.8	120.9	ممان خمشی ماکزیمم (kNm/m)
5%	40.08	34.11	37.85	جابه‌جایی افقی ماکزیمم (cm)

۵-۳- مدل سازی

مدل‌سازی اسکله سپری با سکوی کاهنده توسط نرم‌افزار PLAXIS 2D انجام شده است. نرم‌افزار PLAXIS برای محاسبات 2D , 3D در دسترس می‌باشد، اما به علت پیچیدگی و زمان‌گیر بودن، محاسبات مدول 2D معروف‌تر است. رفتار خاک توسط مدل مورکلمب شبیه‌سازی شده است. در ادبیات فنی، استفاده از مدل‌های ساده مانند مورکلمب بسیار رایج است. مدل مورکلمب شناخته‌شده‌ترین این مدل‌هاست.



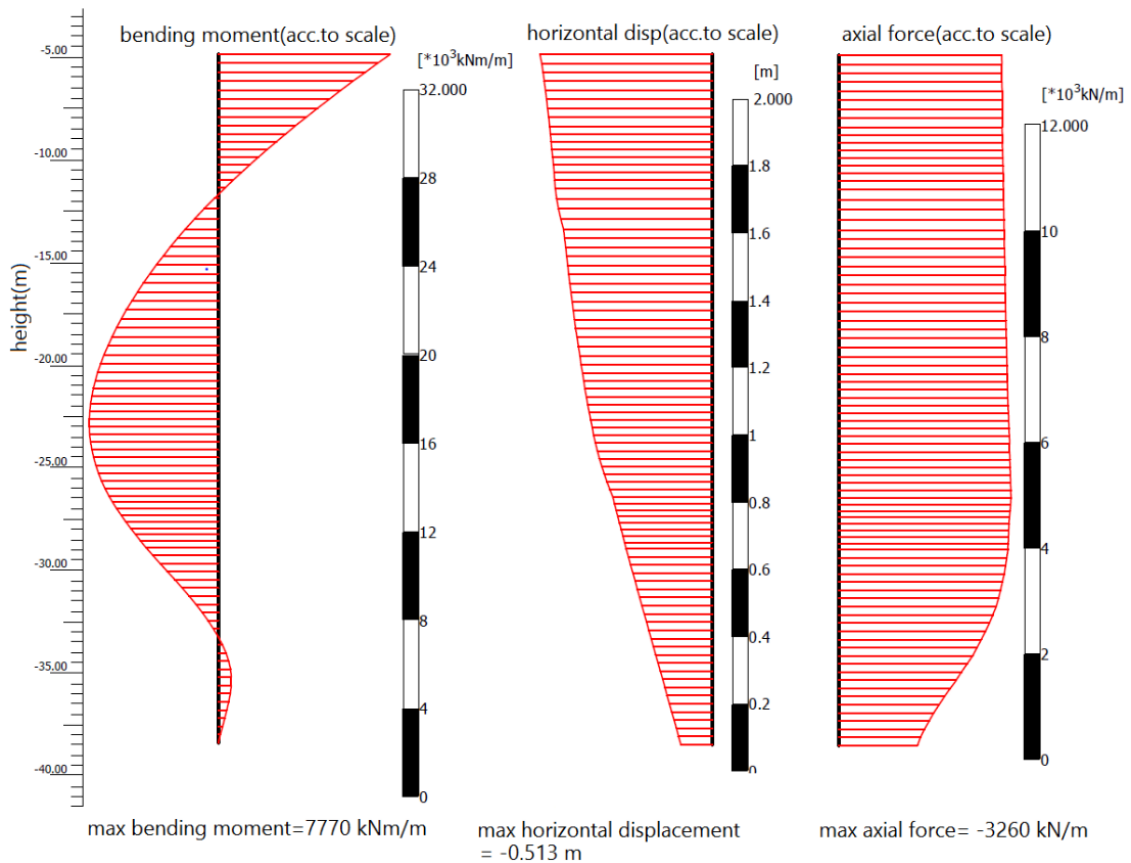
شکل (۳-۵) نمونه مش‌بندی در PLAXIS

برای مدل‌سازی در PLAXIS سازه‌های متفاوت قابل استفاده هستند. PLAXIS با در اختیار قراردادن امکان مش اتوماتیک، قدم بزرگی در سهولت مدل‌سازی عددی به روش اجزای محدود فراهم کرده است. در این تحقیق از درجه مش ریز و برای اطراف دیوار سپری از مش ریزتر استفاده شده است. دلیل این انتخاب، به دست آمدن نتایج دقیق‌تر در اطراف دیوار سپری است. برای دیوار سپری از المان plate با مشخصات معادل مقطع دیوار مرکب استفاده شده است. هم‌چنین برای شبیه‌سازی m-v pile المان node to node ancor با طول ۳۵ متر به کار برده شده است. جهت مدل‌سازی شمع باربر هم از المان fixed-end ancor استفاده شده است که دارای مشخصاتی مانند خود شمع و طول معادل ۳۰ متر می‌باشد. سکوی کاهنده هم مانند plate مدل شده و مشخصات بتن استفاده شده در آن اعمال شده است. برای در نظر گرفتن اندرکنش بین خاک و دیوار سپری از المان interface استفاده شده است. ترتیب اجرا یک عامل اساسی در طراحی دیوارهای سپری می‌باشد، چرا که توزیع تنش روی دیوار تحت تأثیر هر مرحله از لایروبی یا خاک‌برداری، خاک‌ریزی، متراکم کردن خاک و مهار کردن می‌باشد.

۵-۴- نتایج CUR 211

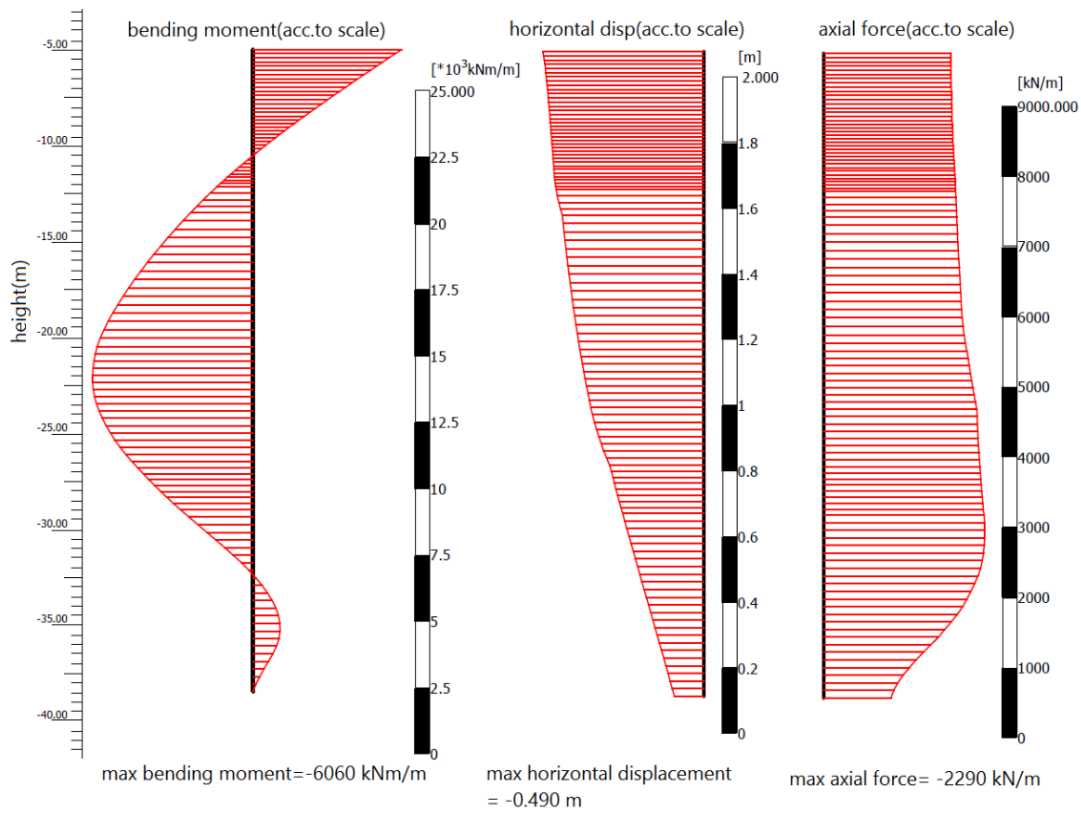
این آیین‌نامه مخصوص اسکله‌ها نوشته شده است. در این آیین‌نامه سازه‌ها به سه نوع کلی تقسیم‌بندی شده‌اند و بر اساس هر کدام، شاخص قابلیت اعتماد مربوطه پیشنهاد شده است. با داشتن شاخص قابلیت اعتماد و پارامترهای دیگر که از حوزه این تحقیق خارج است، ضرایب اطمینان جهت اعمال شدن بر بارها یا نیروهای داخلی و یا پارامترهای مقاومتی خاک به دست می‌آید. اسکله سپری با سکوی کاهنده در دسته‌بندی کلاس دو قرار می‌گیرد. بر طبق این کلاس، شکست یک سازه اسکله‌ای بزرگ عموماً منجر به خسارت‌های اقتصادی عظیم می‌شود اما خطر انسانی ندارد. بررسی‌های زیادی انجام گرفته و به این نتیجه رسیدند که برای اسکله سپری با سکوی کاهنده این کلاس ایمنی مناسب است؛ زیرا طراحی این نوع اسکله به صورتی نیست که ناگهانی تخریب شود و خطر انسانی آن کم است. چهار ترکیب بار

اصلی برای این سازه پیشنهاد شده است که مدل‌سازی بر اساس آن‌ها انجام گرفته است. نتایج مدل‌سازی تحت ترکیبات بار مختلف در گراف‌های زیر آورده شده است.

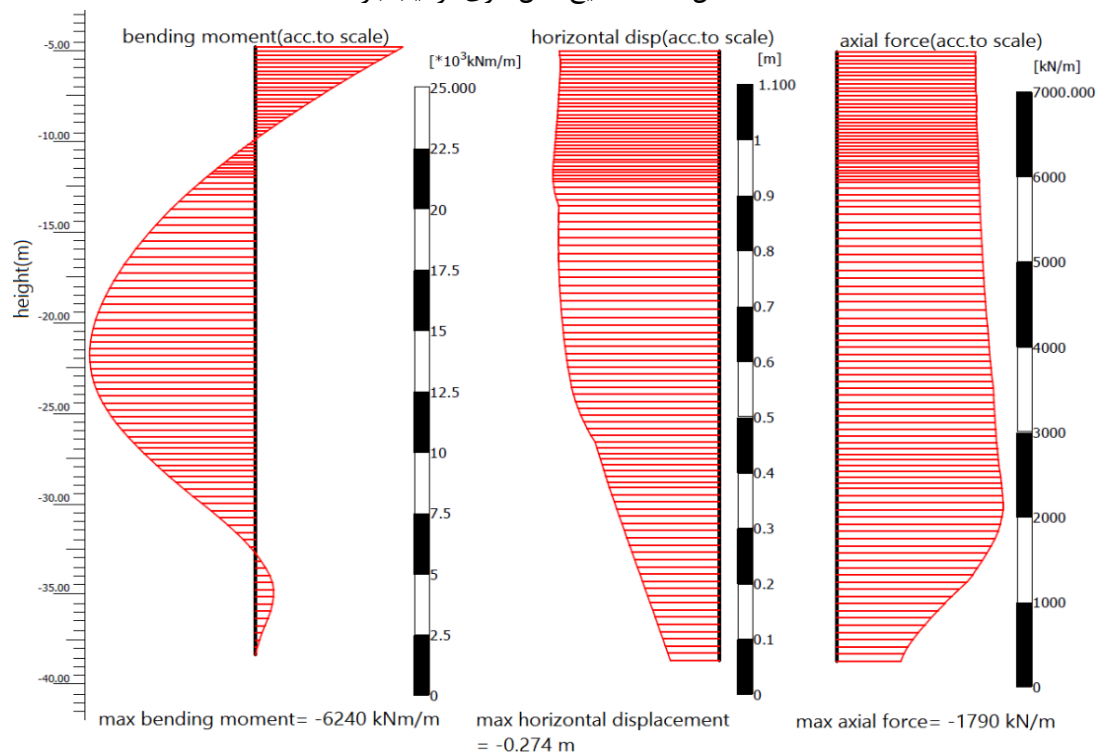


شکل (۴-۵) نتایج مدل‌سازی ترکیب بار LCA1

در حالت LCA، سطح آب زیرزمینی در بالاترین مقدار و سطح آب آزاد باید در پایین‌ترین تراز ممکن باشد. ترکیب بار LCA1 شامل بارهای زمینی و جرثقیل است و ترکیب بار LCA2 شامل بارهای زمینی و بولارد می‌باشد. برای هر کدام از اعضای سازه امکان مشاهده لنگر خمشی، جابجایی افقی وقائم، نیروی برشی و نیروی محوری وجود دارد ولی با توجه به این که در مرور ادبیات فنی اکثراً نتایج مربوط به دیوار سپری مورد بررسی قرار گرفته است، در این تحقیق نیز نتایج دیوار سپری آورده شده است. شکل (۵-۵) و (۴-۵) نتایج را در دو ترکیب بار ذکر شده نشان داده است.

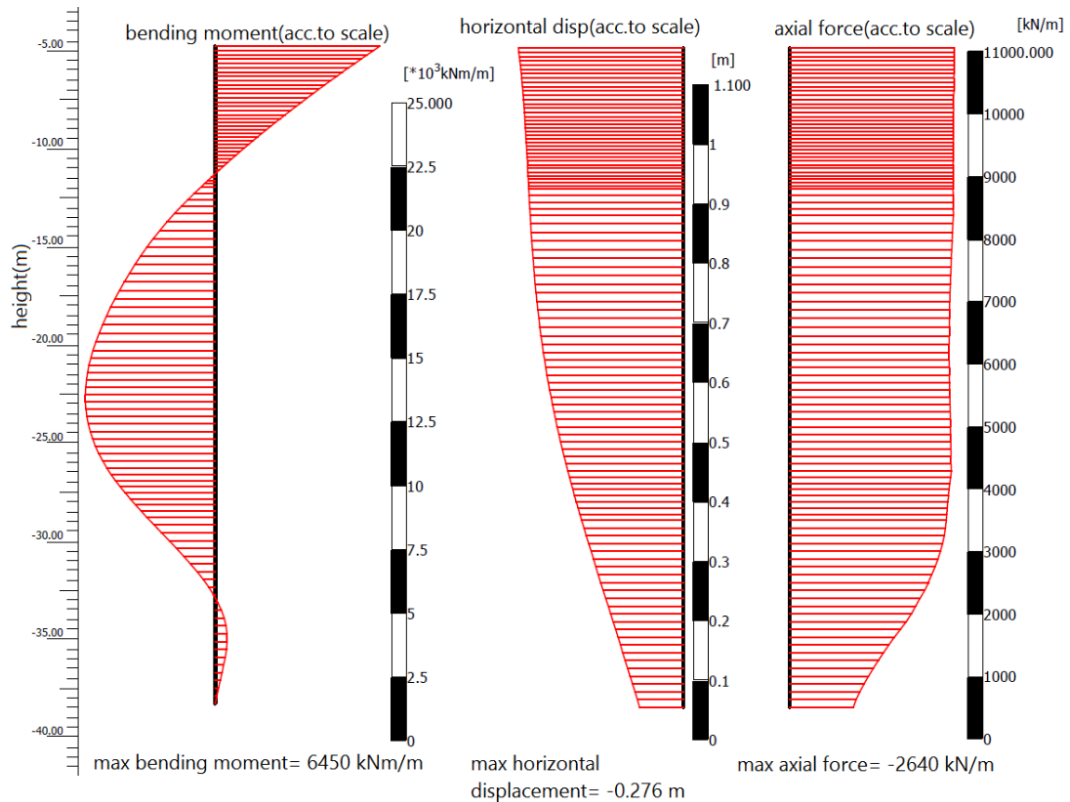


شکل (۵-۵) نتایج مدل سازی ترکیب بار LCA2



شکل (۶-۵) نتایج مدل سازی ترکیب بار LCA3

گراف‌های آورده شده از چپ به راست به ترتیب لنگر خمشی، جابه‌جایی افقی، نیروی برشی و نیروی محوری است. ترکیب بار LCA3 شامل بار زمینی و بار فندر می‌شود. در حالت LCB سطح آب زیرزمینی و آزاد در پایین‌ترین تراز خود قرار دارند و شامل بار زمینی و جرثقیل می‌باشد. نتایج به‌دست آمده در شکل‌های (۵-۶) و (۵-۷) آورده شده است.



شکل (۵-۷) نتایج مدل‌سازی ترکیب بار LCB

ضرایب اطمینان در این آیین‌نامه بر روی بارها و نیروهای داخلی اعمال می‌شود. خلاصه مقادیر به‌دست آمده برای لنگر خمشی، نیروی محوری، نیروی برشی و جابه‌جایی افقی دیوار سپری در جدول زیر آورده شده است:

جدول (۵-۲) مقادیر به‌دست آمده برای دیوار سپری طبق CUR 211

ترکیب بار	لنگر خمشی max (KNm/m)	نیروی محوری (KN/m)	جابه‌جایی افقی (cm)
LCA1	7770	3260	51.3
LCA2	6060	2290	49.08
LCA3	6240	1790	27.42
LCB	6450	2640	27.63

برای این که بحرانی‌ترین حالت ترکیب بار طبق این آیین‌نامه مشخص شود، ترکیب باری که شامل بیش‌ترین ممان خمشی و نیروی محوری است در نظر گرفته می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیش‌ترین لنگر خمشی و نیروی محوری مربوط به ترکیب بار LCA1 می‌باشد. پس از آن باید بررسی شود که آیا تنش به‌دست آمده از این ترکیب بار کمتر از تنش تسلیم فولاد مورد استفاده هست یا نه. تنش در حالت حدی نهایی دیوار مرکب، با استفاده از فرمول (۱-۵) بررسی می‌شود:

$$\sigma = \frac{M_{max,d}}{W} + \frac{N_d}{A} \quad (۱-۵)$$

$$I_{tube} = \frac{1}{64} \pi D^4 \quad (۲-۵)$$

$$W = \frac{I/L}{0,5D} \quad (۳-۵)$$

نحوه محاسبات در کادر زیر آورده شده است:

$\sigma = \frac{M_{max,d}}{W} + \frac{N_d}{A} = \frac{1,3 * 7770}{0,027} + \frac{1,3 * 3260}{1,141} = 374 \frac{N}{mm^2} < 483 \frac{N}{mm^2} \quad (۱-۵)$
$I_{tube} = \frac{1}{64} \pi D^4 = \frac{\pi}{64} \times 2,5^2 = 4,908 m^4 \quad (۲-۵)$
$W = \frac{I/L}{0,5D} = \frac{4,908/4,3}{0,5 \times 2,5} = 0,27 \frac{m^3}{m} \quad (۳-۵)$

نتیجه به‌دست آمده نشان می‌دهد که تنش به‌دست آمده کمتر از تنش تسلیم فولاد است و گسیختگی روی نمی‌دهد. فولاد مورد استفاده، پروفیل X70 با تنش تسلیم 483 N/mm² می‌باشد که برای این دیوار مناسب است. البته پروفیل کوچک‌تر نیز می‌تواند استفاده شود. در این‌جا طبق محاسبات انجام شده، فولاد X56 با تنش تسلیم 386 N/mm² جهت طراحی اقتصادی‌تر پیشنهاد می‌شود.

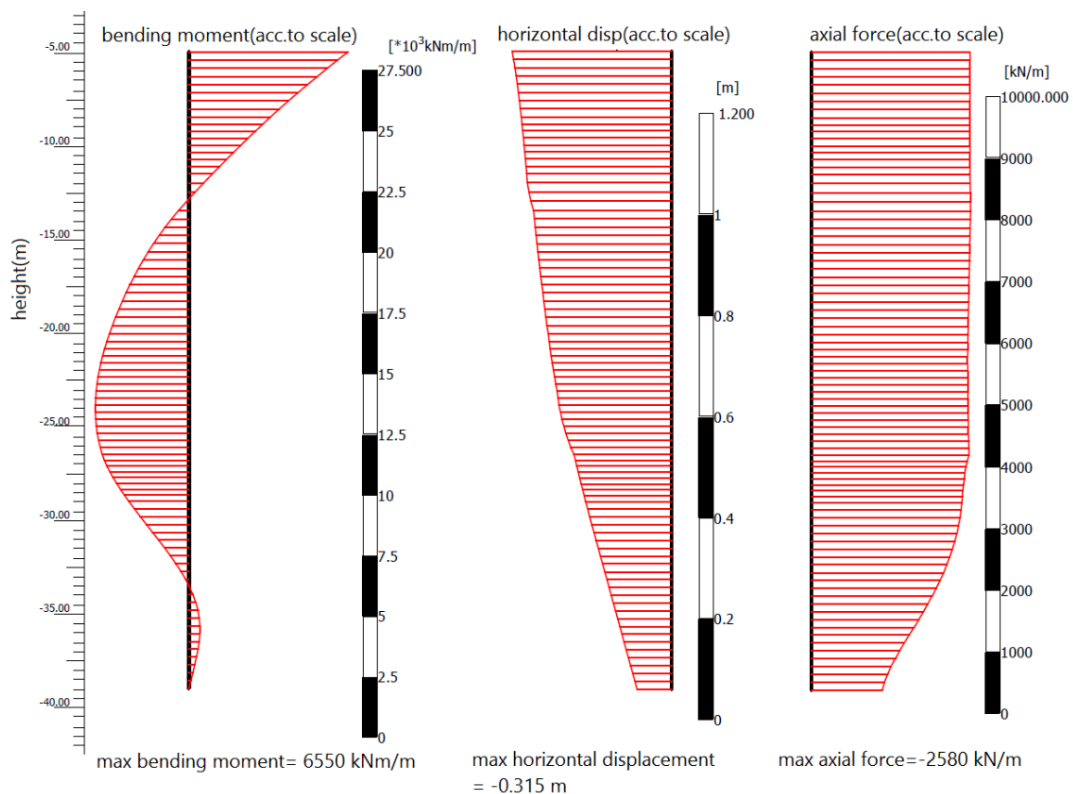
۵-۵- نتایج CUR 166

این آیین‌نامه برای طراحی سپری‌ها به‌طور مخصوص نوشته شده است. این آیین‌نامه، اسکله سپری با سکوی کاهنده را در گروه‌بندی کلاس ۳ با شاخص قابلیت اعتماد ۴/۲ قرار داده است. در این آیین‌نامه ضرایب اطمینان روی پارامترهای مقاومتی خاک، ارتفاع گیرداری، ترازهای آب آزاد و زیرزمینی و بارها اعمال شده است. در این آیین‌نامه ترکیب بار داده نشده است و به CUR211 ارجاع می‌دهد. مدل‌سازی با اعمال ضرایب اطمینان انجام گرفته و در مرحله محاسبات، متاسفانه سازه در همه حالات ترکیب بار، حین خاک‌برداری لایه رسی جلوی دیوار دچار واژگونی شده است. احتمال می‌رود این واژگونی به دلیل

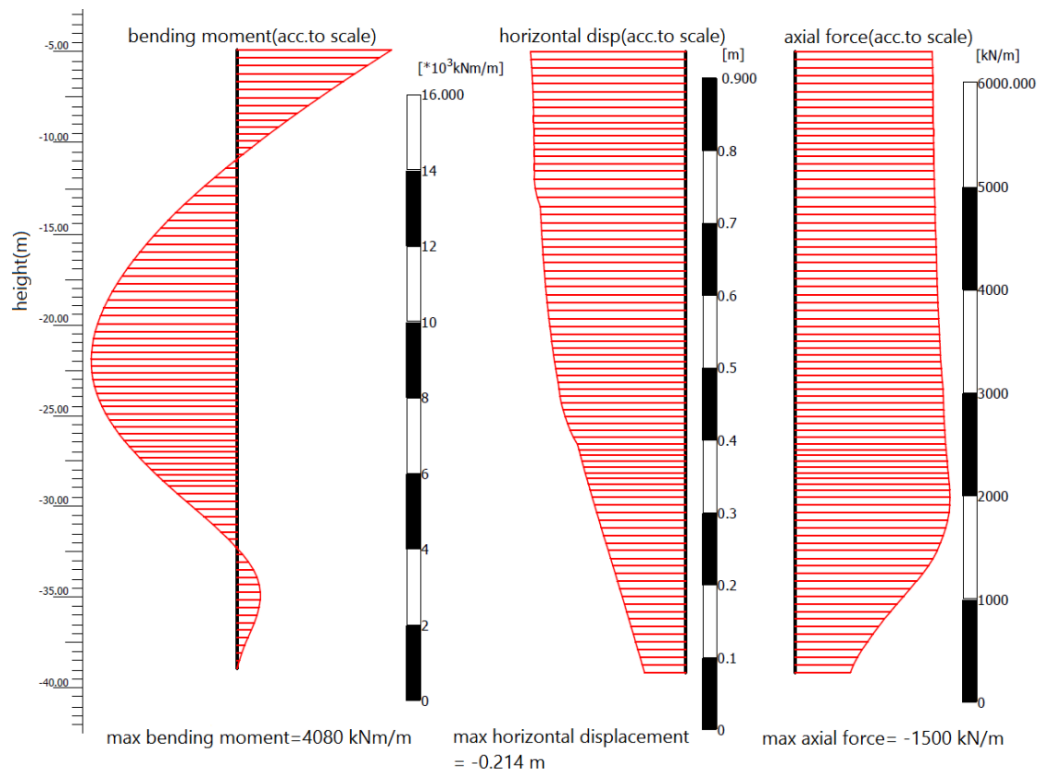
کاهش پارامترهای مقاومتی خاک توسط ضرایب اطمینان باشد. این کاهش پارامترهای مقاومتی خاک (c,phi) باعث کاهش مقاومت لایه رسی شده و سازه دچار ناپایداری گردیده است. در نتیجه طبق این آیین‌نامه، این اسکله با مشخصات ذکرشده حالت حدی نهایی را تامین نمی‌کند و باید از مصالح قوی‌تری برای دیوار سپری استفاده شود.

۵-۶- نتایج EAU

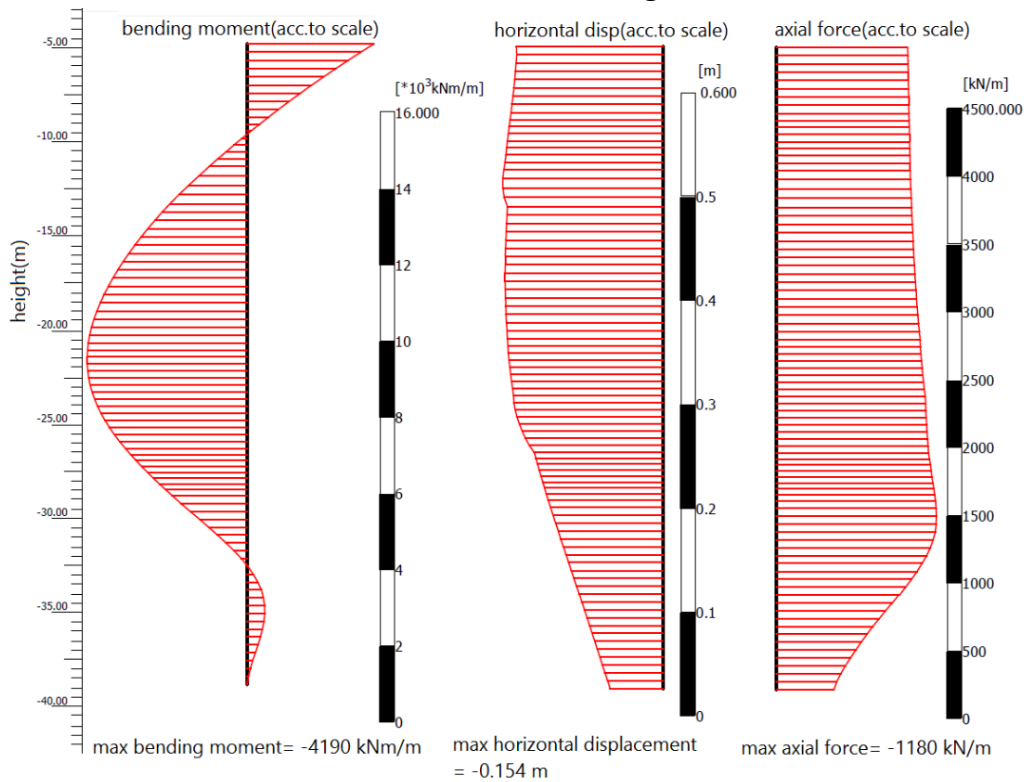
این آیین‌نامه بر اساس تجربیات کسب شده در طی سالیان دراز نوشته شده است. در این آیین‌نامه ضرایب اطمینان روی نیروهای داخلی و مقاومت خاک اعمال شده است. هیچ‌گونه ترکیب باری برای بارهای خارجی بیان نشده است. بنابراین از ترکیب بارهای CUR211 برای بارهای وارده استفاده شده است. فلسفه طراحی بر اساس چندین مورد بار با موقعیت‌های سطوح آب مرتبط با هم است. مکانیسم شکست اصلی، حالت 1B است که شامل شکست سازه‌ها و مولفه‌ها می‌باشد. در EAU شاخص قابلیت اعتماد داده نشده و توضیحی پیرامون ضرایب اطمینان بیان نشده است.



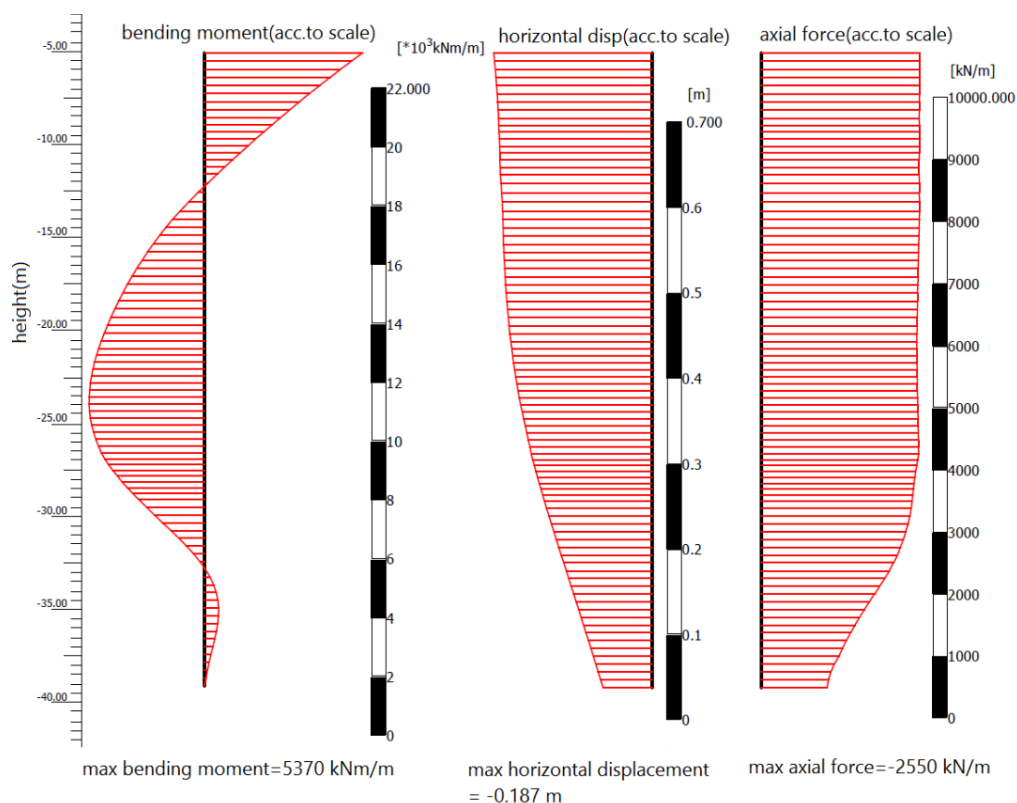
شکل (۸-۵) نتایج مدل‌سازی تحت ترکیب بار LCA1 بر طبق EAU



شکل (۹-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LCA2 بر طبق EAU



شکل (۱۰-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LCA3 بر طبق EAU



شکل (۵-۱۱) نتایج مدل‌سازی تحت ترکیب بار LCB بر طبق EAU

گراف‌ها در همه ترکیبات بار تقریباً مشابه یکدیگر هستند و تغییرات زیادی ندارند. لنگر خمشی در همه موارد در انتهای دیوار صفر می‌باشد که مفصل بودن انتهای دیوار را بیان می‌کند. همچنین در بالای دیوار لنگر زیادی به علت گیرداری نسبی به دست آمده است. بیش‌ترین مقدار لنگر خمشی در میانه دیوار می‌باشد که به علت کمانش است. مقدار جابه‌جایی افقی نیز در بالای دیوار بیش‌تر از انتهای آن است که به دلیل ارتفاع زیاد قابل درک است. بیش‌ترین مقدار نیروی برشی نیز در بالای دیوار رخ داده است. نیروی محوری نیز به جز انتهای دیوار، مقدار یکسانی دارد. مقادیر به دست آمده برای لنگر خمشی، نیروی محوری، نیروی برشی و جابه‌جایی در جدول زیر آورده شده است:

جدول (۵-۳) مقادیر به دست آمده برای دیوار سپری طبق EAU

ترکیب بار	لنگر خمشی max (KNm/m)	نیروی محوری (KN/m)	جابه‌جایی افقی (m)
LCA1	<u>6550</u>	<u>2580</u>	<u>31.51</u>
LCA2	4080	1500	21.40
LCA3	4190	1180	15.45
LCB	5370	2550	18.70

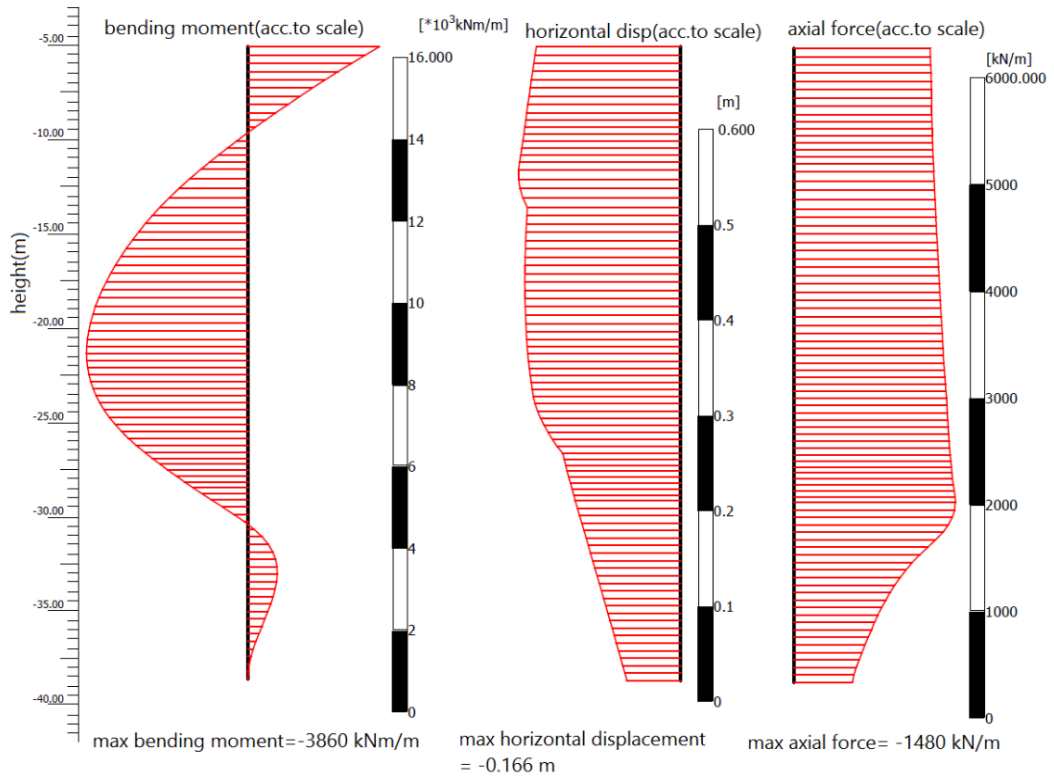
همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیش‌ترین لنگر خمشی و نیروی محوری مربوط به ترکیب بار LCA1 می‌باشد. در این آیین‌نامه بیان شده است که ضرایب اطمینان بر لنگر خمشی ناشی از بارهای دائمی و متغیر و همچنین بر فشار مقاوم خاک اعمال شود. تنش ماکزیمم در حالت حدی نهایی یک دیوار مرکب، با استفاده از فرمول (۵-۱) بررسی می‌شود:

$$\sigma = \frac{M_{max,d}}{W} + \frac{N_d}{A} = \frac{6550 * 1.5}{0,027} + \frac{2580 * 1.5}{1,141} = 367 \frac{N}{mm^2} < 483 \frac{N}{mm^2}$$

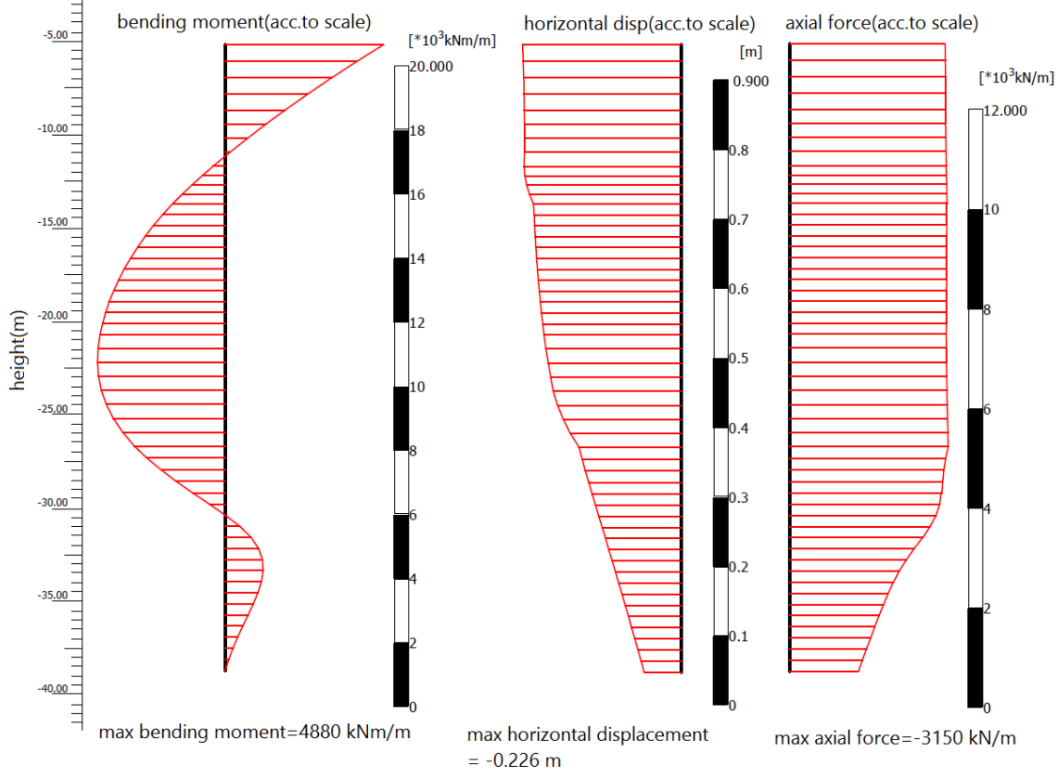
نتیجه به‌دست آمده نشان می‌دهد که تنش به‌دست آمده کم‌تر از تنش تسلیم فولاد است و گسیختگی روی نمی‌دهد. فولاد مورد استفاده، پروفیل X70 با تنش تسلیم 483 N/mm² می‌باشد که برای این دیوار مناسب است. البته پروفیل کوچک‌تر نیز می‌تواند استفاده شود. در این‌جا طبق محاسبات انجام شده، فولاد X56 با تنش تسلیم 386 N/mm² جهت طراحی اقتصادی‌تر پیشنهاد می‌شود.

۵-۷- نتایج EUROCODE

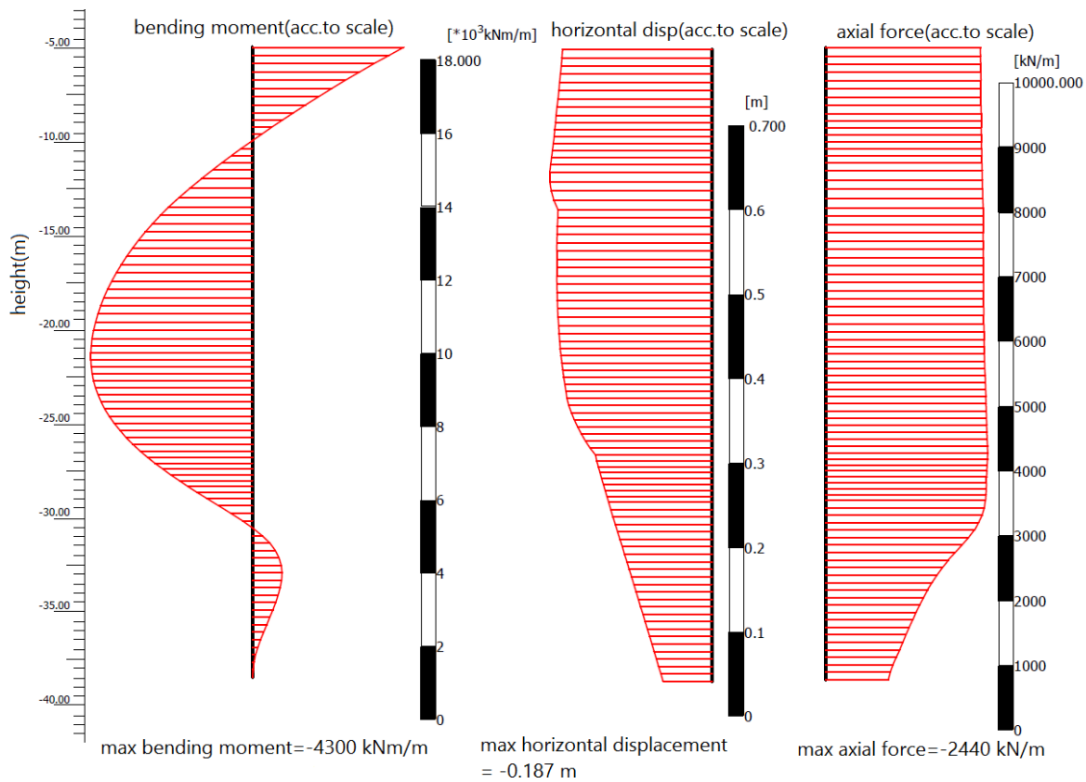
در این آیین‌نامه کلاس‌های مختلفی برای سازه‌ها بیان شده است و ضرایب اطمینان برای هر کلاس ایمنی داده شده است. برای اسکله سپری با سکوی کاهنده از کلاس ایمنی RC2 استفاده شده است. دلیل آن هم این است که معمولاً طول عمر ۵۰ ساله از اسکله انتظار می‌رود و به‌خاطر عملکرد بندر، در صورت بروز حادثه، خطر انسانی کم و خسارت اقتصادی زیادی به بار می‌آید. این آیین‌نامه ضرایب اطمینان را بر روی پارامترهای خاک اعمال می‌کند و ترکیبات بار مخصوص به خود را داراست. پنج ترکیب بار اصلی برای این اسکله پیشنهاد شده است که نتایج هر کدام آورده شده است. ترکیب بار ALC شامل بار زمینی می‌باشد. ترکیب بار LC3 نیز بار زمینی و جرثقیل را داراست. ترکیب بار LC2.2 شامل بار زمینی و بولارد می‌باشد و ترکیب بار LC2.1 نیز علاوه بر این‌ها بار جرثقیل را داراست. ترکیب بار LC1 هم بار زمینی و جرثقیل را شامل می‌شود. بر روی این بارها ضرایب کاهش و ضرایب جزئی اعمال شده است.



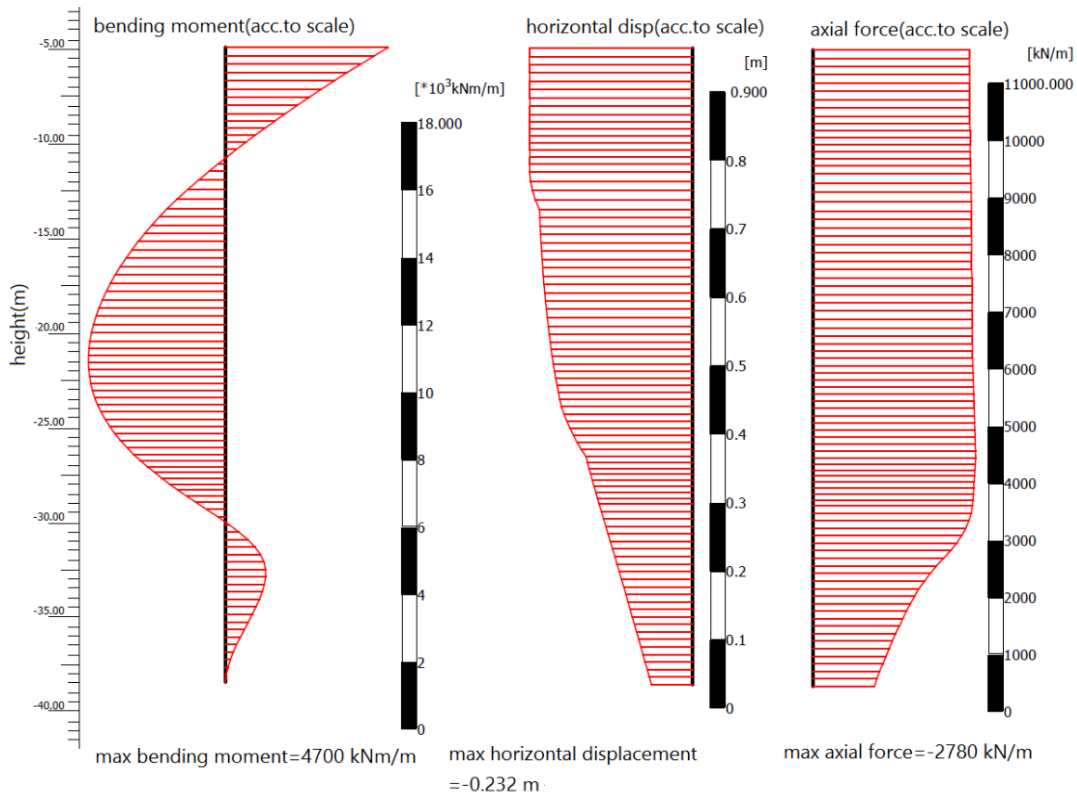
شکل (۵-۱۲) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار ALC بر طبق EURO CODE



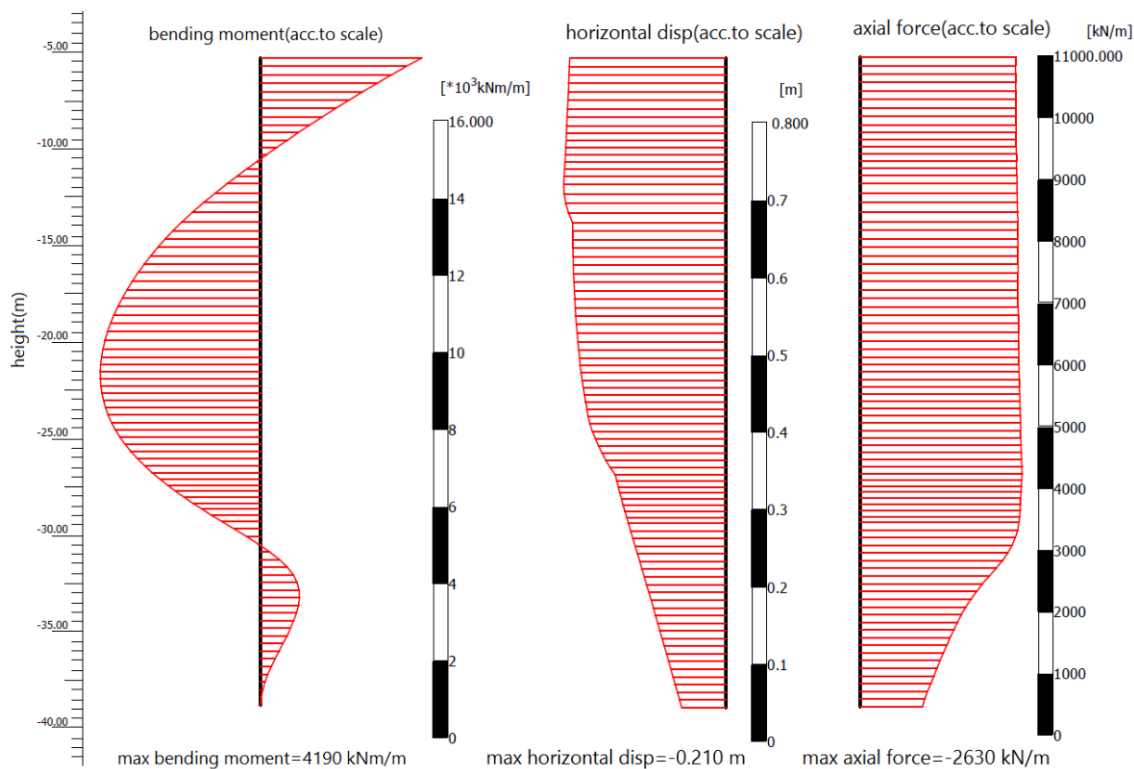
شکل (۵-۱۳) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LC3 بر طبق EUROCODE



شکل (۱۴-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LC2.2 بر طبق EUROCODE



شکل (۱۵-۵) نتایج مدل سازی تحت ترکیب بار LC2.1 بر طبق EUROCODE



شکل (۵-۱۶) نتایج مدل‌سازی تحت ترکیب بار LC1 بر طبق EUROCODE

نتایج به‌دست آمده در جدول زیر نیز آورده شده است.

جدول (۵-۴) مقادیر به‌دست آمده برای دیوار سپری طبق EUROCODE

ترکیب بار	لنگر خمشی max (KNm/m)	نیروی محوری (KN/m)	جابجایی افقی (cm)
ALC	3860	1480	16.6
LC3	<u>4880</u>	<u>3150</u>	22.60
LC2.2	4300	2440	18.72
LC2.1	4700	2780	<u>23.20</u>
LC1	4190	2630	21.00

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیش‌ترین لنگر خمشی و نیروی محوری مربوط به ترکیب بار LC3 به‌دست آمده است. تنش در حالت حدی نهایی یک دیوار مرکب، با استفاده از فرمول (۵-۱) کنترل شده است:

$$\sigma = \frac{M_{max,d}}{W} + \frac{N_d}{A} = \frac{4880}{0,027} + \frac{3150}{1,141} = 190 \frac{N}{mm^2} < 483 \frac{N}{mm^2}$$

نتیجه به‌دست آمده نشان می‌دهد که تنش به‌دست آمده کمتر از تنش تسلیم فولاد است و گسیختگی روی نمی‌دهد. فولاد مورد استفاده، پروفیل X70 با تنش تسلیم 483 N/mm² می‌باشد که برای این

دیوار مناسب است. البته پروفیل کوچک‌تر نیز می‌تواند استفاده شود. در این جا طبق محاسبات انجام شده، فولاد X52 با تنش تسلیم 358N/mm^2 جهت طراحی اقتصادی‌تر پیشنهاد می‌شود.

فصل ششم : جمع‌بندی رویکرد مقایسه‌ای و بیان خلاصه نتایج

۶-۱- مقدمه

مطابق روال طی شده در این تحقیق، جهت انجام آنالیز مقایسه‌ای ۴ بحث اصلی وجود دارد که نتایج حاصل تحت تاثیر آنها خواهد بود:

- گزینش صحیح آیین‌نامه‌های موجود برای طراحی اسکله
- تعیین مقادیر مشخصه صحیح (پارامترهای هندسی، مشخصات خاک و سطوح آب، بارها و ...)
- انتخاب فلسفه طراحی به روز
- تفسیر منطقی نتایج طراحی بعد از اعمال فلسفه طراحی

۶-۲- گزینش صحیح آیین‌نامه‌های موجود برای طراحی اسکله

از میان دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های موجود، تنها ۴ آیین‌نامه و دستورالعمل که همه مربوط به مناطق اروپایی هستند، با آخرین فلسفه طراحی نیمه‌احتمالاتی مطابقت دارند. این آیین‌نامه‌ها عبارتند از: CUR166, CUR211, EAU, EUROCODE

۶-۳- تعیین مقادیر مشخصه صحیح

مقادیر مشخصه برای طراحی اسکله شامل مقادیر مشخصات هندسی، سطوح آب، مشخصات خاک، مشخصات مصالح و بارهای خارجی می‌باشند. در این پژوهش مشخصات هندسی یکسان در نظر گرفته شده است. در مورد سطوح آب، CUR211 بیش‌ترین تفاوت سطح آب را برای طراحی اسکله در بندر رتردام ارائه داده است. علت آن می‌تواند این باشد که سطح آب آزاد بر اساس دوره زمانی ۵۰ ساله است و این که بیش‌ترین سطح آب زیرزمینی از نوسانات جزرومدی در سطح آب آزاد نشأت گرفته است. CUR166 کم‌ترین تفاوت سطح آب را ارائه داده است. مشخصات خاک داده شده بر طبق جداول CUR166, EAU تفاوت زیادی ندارند و فقط در مقاومت برشی تفاوت‌هایی وجود دارد. پیشنهاد می‌شود از دستورالعمل‌های همان کشوری که اسکله در آن ساخته می‌شود جهت تعیین مشخصات خاک استفاده گردد.

برای بارهای خارجی مانند زمینی، فندر، جرثقیل و بولارد جداولی در بعضی آیین‌نامه‌های طراحی موجود می باشد. بار جرثقیل و بار زمینی در آیین‌نامه CUR211 مقادیر به‌روزتری دارند و شامل جزئیات بیشتری برای انواع جرثقیل و کانتینرها هستند. EAU توضیح بهتری از بار فندر و مقدار انرژی جذب شده را بیان کرده است و CUR166 حاوی اطلاعات بیشتری درباره بولارد می‌باشد.

۴-۶- انتخاب فلسفه طراحی به‌روز

در فلسفه نیمه احتمالاتی، اعمال ضرایب اطمینان جزئی روی بارها، اثرات بارها و مقاومت توصیه شده است. این ضرایب عمدتاً بر اساس سطح ایمنی، درختچه خطا و مکانیسم‌های شکست هستند. سطح (کلاس) ایمنی در همه آیین‌نامه‌های مورد بررسی جهت طراحی اسکله سپری با سکوی کاهنده در بندر تردام بیان شده است. احتمال شکست مجاز اسکله، که رابطه عکس با شاخص قابلیت اعتماد دارد، در آیین‌نامه‌های CUR166, CUR211 آورده شده و قابل محاسبه است ولی در EAU, EUROCODE اشاره ای به آن نشده است. احتمال شکست مجاز برای یک اسکله در CUR166 کمتر از احتمال شکست در CUR211 است، یعنی CUR166 طراحی اسکله را با احتمال شکست کمتری نسبت به CUR211 در نظر گرفته است.

درختچه خطای موجود در آیین‌نامه‌های CUR166, CUR211 خلاصه ای از مکانیسم‌های شکست یک اسکله را نشان می دهد و از بین آنها مهم‌ترین مکانیسم شکست جهت به‌دست آمدن شاخص قابلیت اعتماد و احتمال شکست انتخاب می شود. دو آیین‌نامه EAU, EUROCODE شامل درختچه خطا نیستند و از این نظر ضعف دارند زیرا مشخص نیست که ضرایب اطمینان بر اساس چه مکانیسم شکستی به‌دست آمده اند و آیا آن مکانیسم، اصلی‌ترین مکانیسم شکست بوده است یا خیر.

ضرایب اطمینان جزئی داده شده در آیین‌نامه ها، ضرایبی روی بارها، اثرات بارها و مقاومت هستند. این ضرایب هم‌چنین می توانند روی ارتفاع گیرداری یا تراز کف اسکله وارد شوند که منجر به کاهش تراز خواهد شد. این کاهش تراز، باعث افزایش بار یا کاهش مقاومت می شود. در CUR166 ضرایب اطمینان جزئی روی پارامترهای مقاومتی خاک اعمال شده و باعث کاهش مقاومت خاک شده است. هم‌چنین برای تراز آب و ارتفاع گیرداری نیز ضرایبی در نظر گرفته شده است. در CUR211 ضرایب اطمینان بر

اثرات بار وارد شده اند که منجر به افزایش نیروهای داخلی گردیده است. EAU ضرایب اطمینان را روی مقاومت و اثرات بار اعمال کرده است. منظور از مقاومت در این آیین نامه، فشار مقاوم خاک است. EUROCODE نیز شامل ضرایب اطمینانی بر روی پارامترهای خاک می باشد. جدول زیر محل اعمال ضرایب اطمینان در آیین نامه های مختلف را نشان می دهد.

جدول (۶-۱) محل اعمال ضرایب اطمینان در آیین نامه های مختلف

آیین نامه ها	بارهای وارد شده بر اسکله	نیروهای داخلی (لنگر خمشی و نیروی محوری)	پارامترهای مقاومتی خاک	تراز آب	ارتفاع گیرداری	فشار مقاوم خاک
CUR 211	*	*		*		
CUR 166	*		*	*	*	
EAU	*	*				*
EURO CODE	*		*			

۶-۵- تفسیر منطقی نتایج طراحی بعد از اعمال فلسفه طراحی

در این پژوهش، محاسبات مقایسه ای توسط چهار آیین نامه نیمه احتمالاتی تحت عناوین CUR166, EAU, EUROCODE انجام شده است. سازه مورد مطالعه، یک اسکله سپری با سکوی کاهنده در بندر رتردام هلند بوده است. نتایج محاسبات به جنبه های خیلی بیشتری نسبت به ضرایب اطمینان متفاوت بستگی دارد. به خصوص ترکیبات بار، سطوح آب و مشخصات خاک طبق آیین نامه های مختلف می توانند در نتایج به دست آمده تاثیرگذار باشند.

در جدول (۶-۲) مقادیر لنگر خمشی، جابه جایی افقی، نیروی برشی و نیروی محوری در آیین نامه های مورد بررسی آورده شده است. این مقادیر، خروجی های نرم افزار PLAXIS می باشند. این جدول مقادیر بحرانی به ازای هر آیین نامه را نشان داده است. در طراحی بر طبق آیین نامه CUR 166، در مرحله خاک برداری جلوی دیوار سپری، اسکله دچار واژگونی شده است. در این حالت، اسکله با مشخصات ذکر

شده نمی تواند حالت حدی نهایی را تامین کند و باید مقاطع بزرگتری انتخاب شوند. مطالعات پیشین انجام شده نشان داده است که لنگر خمشی و نیروی محوری به دست آمده نقش بسیار مهمی در تعیین و کنترل پروفیل فولاد استفاده شده ایفا می کنند (میجر، ۲۰۰۶). کمترین لنگر خمشی و نیروی محوری از آیین نامه EUROCODE و بیشترین آنها از آیین نامه CUR211 به دست آمده است.

جدول (۶-۲) مقایسه نتایج مدل سازی

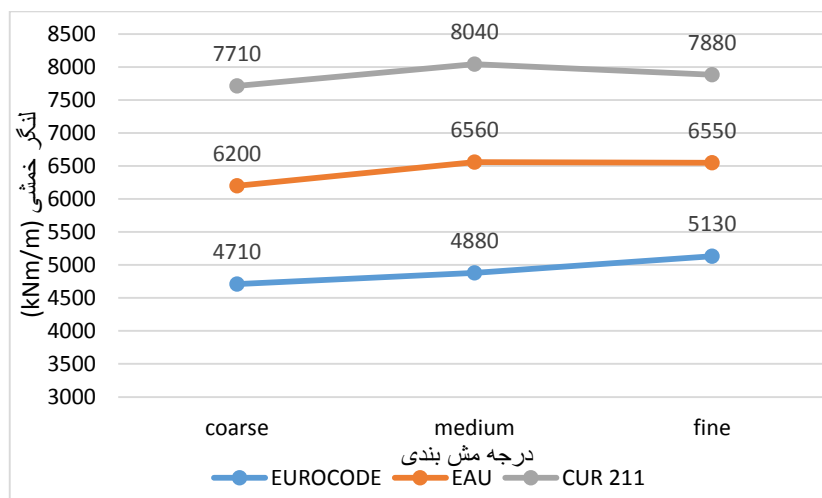
آیین نامه	لنگر خمشی max (kNm/m)	جابه جایی افقی دیوار (cm)	نیروی محوری max (kNm/m)
CUR 211	10244	51.30	3260
CUR 166	واژگونی	واژگونی	واژگونی
EAU	9825	31.51	3870
EUROCODE	5130	23.20	3150

این دو معیار در کنترل تنش به دست آمده از فرمول (۵-۱) با تنش تسلیم فولاد مورد استفاده نقش به سزایی دارند. پروفیل های لوله ای مورد استفاده در دیوار سپری از استاندارد API5L انتخاب شده اند. این استاندارد شامل لوله های فولادی بدون درز مورد استفاده در صنعت نفت و گاز می باشد. این پروفیل ها در خواص شیمیایی و مکانیکی با هم تفاوت دارند و شامل پنج نوع با تنش تسلیم های متفاوت می باشند. مقادیر تنش تسلیم مربوط به انواع پروفیل و تنش تسلیم محاسبه شده بر طبق هر آیین نامه در جدول زیر آورده شده است:

جدول (۶-۳) تنش تسلیم محاسبه شده

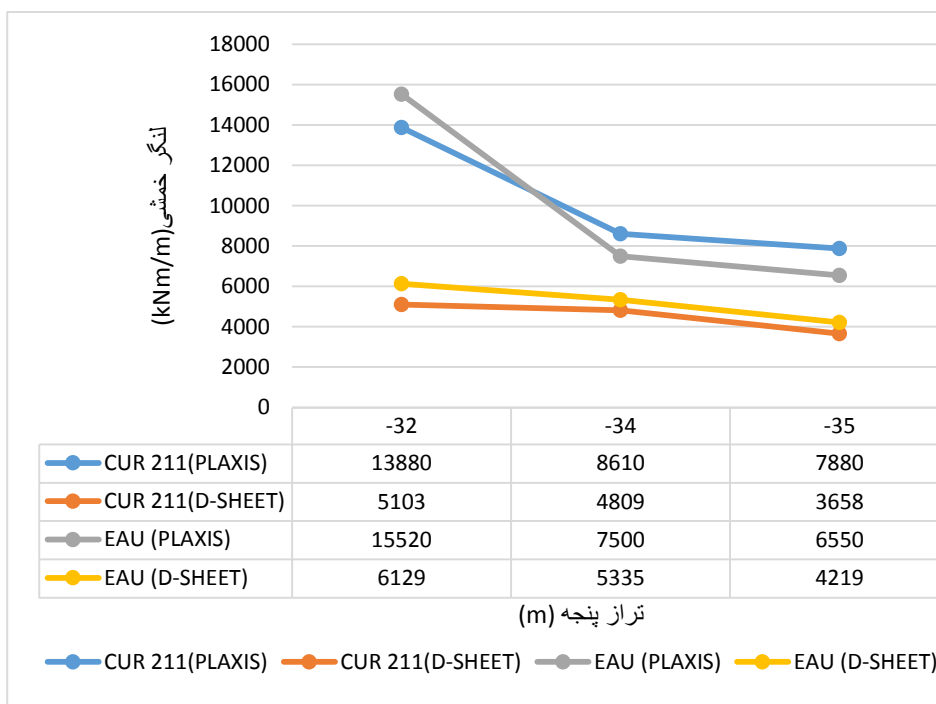
	CUR211	EAU	EUROCODE
تنش تسلیم محاسبه شده	$\sigma = \frac{M_{max,d}}{W} + \frac{N_d}{A}$ $= 379 \frac{N}{mm^2}$	$\sigma = \frac{M_{max,d}}{W} + \frac{N_d}{A}$ $= 364 \frac{N}{mm^2}$	$\sigma = \frac{M_{max,d}}{W} + \frac{N_d}{A}$ $= 190 \frac{N}{mm^2}$
تنش تسلیم X70	483	483	483
تنش تسلیم X65	443	443	443
تنش تسلیم X60	413	413	413
تنش تسلیم X56	<u>386</u>	<u>386</u>	386
تنش تسلیم X52	358	358	<u>358</u>

همان طور که در جدول بالا مشخص است، برای این نوع اسکله با مشخصات ذکر شده، بر طبق آیین نامه CUR211,EAU پروفیل X56 و بر طبق آیین نامه EUROCODE پروفیل X52 پیشنهاد می شود. در مقایسه بین جابه جایی های افقی به دست آمده از دیوار سپری بر طبق آیین نامه های مختلف نیز آیین نامه EUROCODE کمترین مقدار و آیین نامه CUR211 بیشترین مقدار را ارائه کرده است. در مورد جابه جایی، دو دیدگاه بر اساس خروجی های محدود این پژوهش وجود دارد. در دیدگاه اول، جابه جایی کمتر دیوار سپری منجر به خرابی احتمالی کمتری می شود. در دیدگاه دوم، جابه جایی بیشتر دیوار سپری نشان دهنده انعطاف پذیری بیشتر اسکله تا واژگونی آن است. البته محققان تحقیق حاضر در مورد این که کدام دیدگاه جابه جایی صحیح است به اجماع نرسیده اند. در ادامه جهت مشاهده اثر درجه مش بندی بر نتایج به دست آمده و مقایسه لنگرهای به دست آمده از آیین نامه ها گراف زیر رسم شده است. نتایج نشان داده است که در همه درجات مش بندی، لنگر خمشی EUROCODE از بقیه موارد کمتر است و همچنین با ریزتر شدن مش، لنگر خمشی افزایش یافته است.



شکل (۱-۶) مقایسه لنگر خمشی به دست آمده در درجات مش متفاوت

همان طور که در فصل اول گفته شد، این مقایسه با روش BEF و نرم افزار مربوط به آن نیز انجام شده که کاستی های آن در فصول قبل ذکر شده است. لذا با توجه به این که تراز پنجه مقداری فرضی است، در ترازهای مختلف لنگر خمشی به دست آمده توسط دو روش با هم مقایسه شده است. شکل (۵-۱۸) این مقایسه را نشان داده است.



شکل (۲-۶) مقایسه لنگر خمشی در تراز پنجه های متفاوت و با نرم افزارهای متفاوت از گراف به دست آمده مشخص است که مقادیر D-SHEET همواره از مقادیر PLAXIS کوچکتر می باشد. علت آن احتمالاً این است که D-SHEET از اصل بوزینسک برای تعیین فشار افقی ناشی از بارهای نواری استفاده کرده است. در صورتی که نتایج نشان داده است که مقادیر فشار افقی به دست آمده توسط بوزینسک کمتر از آزمایشات درجا است که توسط Bowles انجام شده است (گوموسیو، ۲۰۱۳).

۶-۶- پیشنهادات

در ابتدا قابل ذکر است که این پژوهش نیز مانند بسیاری از پژوهش های دیگر دارای کاستی هایی نیز می باشد. ادامه این پژوهش می تواند در قالب های زیر انجام گردد:

- نرم افزاری
- مشخصات منطقه
- نوع اسکله و مشخصات آن
- فلسفه طراحی
- پارامترهای مقایسه ای

در بخش نرم‌افزاری، سایر مدل‌های خاک علاوه بر مدل مورکلمب قابل استفاده است. هم چنین شرایط زهکشی می‌تواند در سیستم سازه‌ای اعمال شود و ضمناً مدل سه‌بعدی جهت نتایج دقیق‌تر نیز پیشنهاد می‌شود. مشخصات منطقه مانند سطوح آب و مشخصات خاک هم نقش بسزایی در نتایج نهایی دارند. در این پژوهش، اسکله سپری با سکوی کاهنده مورد بررسی قرار گرفته است. برای مطالعات بیشتر پیشنهاد می‌شود انواع دیگر اسکله و اثر ابعاد مختلف آن بر نتایج بررسی شود. در انتخاب یک پروفیل مناسب عوامل مختلفی دخیل هستند. در این پژوهش، اثر لنگر خمشی، نیروی محوری و جابه‌جایی افقی در نظر گرفته شده است. برای بررسی بیشتر می‌توان سایر موارد مانند جابه‌جایی در حالت حدی سرویس و یا پایداری سپری را محاسبه کرد. اساس محاسبات پژوهش، فلسفه نیمه احتمالاتی است که سطح سوم از فلسفه احتمالاتی است. سطوح یک و دو (فلسفه احتمالاتی کامل و احتمالاتی با تقریب) نیز جهت پژوهش بیشتر پیشنهاد می‌شوند.

مراجع و منابع:

- ندافی م، (۱۳۹۵)، پایان نامه ارشد: " تعیین روش های بهینه سازی رفتار لرزه ای اسکله های شمع و عرشه در شرایط خوردگی " دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.
- سیدی ا.، الهی ح.، داوری م.، (۱۳۸۳)، "تحلیل اسکله های سپری لوله ای و مقایسه با سپرهای معمولی"، کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، دوره ششم
- نشریه ۳-۳۰۰ (مکانیک خاک و پی)، (۱۳۸۵)، آیین نامه طراحی بنادر و سازه های دریایی ایران، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
- نشریه ۵-۳۰۰ (موج شکنها و سازه های حفاظتی)، (۱۳۸۵)، آیین نامه طراحی بنادر و سازه های دریایی ایران، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
- نشریه ۶-۳۰۰ (سازه و تجهیزات پهلوگیری)، (۱۳۸۵)، آیین نامه طراحی بنادر و سازه های دریایی ایران، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
- فاخرع، (۱۳۹۴)، اسکله سپری فولادی، درس اجرای سازه های دریایی

Gumucio J., (2013), Master Thesis, "Design of Quay Walls using the Finite Element Method" , Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technology.

Karamperidou A.,(2008), Master Thesis, “Parametric Analysis of Quay Walls with Relieving Platform, by means of Elastic Supported Beam and Finite Element Method”, Faculty of Hydraulic Engineering, Delft University of Technology.

Meijer, E. (2006), Master Thesis, "Comparative analysis of design recommendations for Quay Walls" , Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technologies.

Wolters, H.J., (2012), Master Thesis,” Reliability of Quay walls”, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technologies.

Kamp, S. P. (2016).Master Thesis,”Reliability-based ultimate limit state design in finite element models”, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technologies.

López del Blanco, I. (2011), Master Thesis,” Numerical analysis of embedded walls for design with Eurocode 7”, Universitat Politècnica de Catalunya.

Mourillon, N. K. (2015). Master Thesis,”Stability analysis quay structure at the Amazonehaven, port of Rotterdam, Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technologies.

Bonte, P. (2007). Master Thesis,” Structural design of a sandwich wall as the quay wall for the future: And an investigation to apply parametric design to quay wall structures”, faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology

de Gijt, J. G., & Broeken, M. L, (2005), Handbook of Quay Walls. CRC Press.

Ernst & Sohn, EAU, (2004), Recommendations of the Committee for Waterfront Structures, Harbors and Water ways, Berlin, Germany

Frank, R. (2004). Designers' guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design-General rules. Thomas Telford

Chogueur, A., Abdeldjalil, Z., & Reiffsteck, P. (2018). Parametric and Comparative Study of a Flexible Retaining Wall. Periodica Polytechnica Civil Engineering CUR Report 166(2008) ,Design, Construction, Management and Maintenance or Sheetpile Walls

Abstract

In Iran as one of the developing countries with long water boundaries, the construction of the piers is important according to the role played in the development of the country. The quays, including sheet pile with relieving platform where the soil is poor, enter a large load on the berth, or a higher elevation of the wall required is applicable. The relieving platform removes the side pressure caused by overhead. In this study, a type of sheet pile with relieving platform with finite element method and according to different guidelines is studied and compared. The software used for modeling is PLAXIS 2D, and a laboratory model has been used to validate the software. The basis for the selection of codes for comparative analysis was the semi-probabilistic design philosophy surrounding this type of structure. Hence, four codes and guideline CUR166, CUR211, EAU, EUROCODE7 are selected for further consideration.

At the end of this research, the comparison of codes has been made and the results of the software brought in which the sheet pile wall is compared in terms of bending moment, axial force and horizontal displacement. The values of bending moment, axial force and horizontal displacement obtained from EUROCODE have been the lowest value between the codes and guidelines and the X52 profile has been proposed for it. For the quay wall designed according to the CUR211 code, the EAU also has been proposed the X56 profile.

Keywords: sheet pile quaywall with relieving platform, finite element method, design codes for quaywalls, PLAXIS2D software, bending moment, horizontal displacement, axial force.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

**M.Sc. Thesis in Coastal Engineering, Ports and Marine
Structures**

**Comparative Analysis of Design Guidelines for Sheet pile
Quay walls with Relieving Platform by means of
Finite Element Method**

By:
Mahnaz Askari

Supervisors:
Dr. Mehdi Ajami
Dr. Mohsen keramati

January 2019