

" تحلیل اسکله‌های سپری لوله‌ای و مقایسه با سپرهای معمولی "

احسان سیدی حسینی نیا، کارشناس ژئوتکنیک مهندسی مشاور ساحل

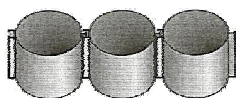
حمیدرضا الهی، کارشناس ژئوتکنیک مهندسی مشاور ساحل

مهدی داوری، کارشناس ارشد ژئوتکنیک مهندسی مشاور ساحل

چکیده: اسکله‌ای که در این مقاله به آن اشاره شده است، یکی از اسکله‌های بندرخدماتی پارس واقع در منطقه عسلویه می‌باشد. خاک بستر در محل، سخت و متراکم و عمق آبخور اسکله حدود ۱۳ متر می‌باشد. باتوجه به چنین شرایطی، از گزینه سپرهای لوله‌ای استفاده شده است. با کمک نرم افزار PLAXIS که از روش عددی اجزاء محدوده استفاده می‌کند، شرایط ساخت اسکله شبیه سازی شده و رفتار سازه تحت نیروهای اعمالی در شرایط استاتیکی و زلزله، مورد مطالعه قرار گرفته است.

۱- مقدمه

یکی از روشهای متداول اجرای اسکله‌های ساحلی، استفاده از سپرهای فلزی می باشد. مقطع این گونه سپرها از مقاطع استاندارد تشکیل شده است. به منظور کوبش راحت سپرها در بستر، مقاطع سپری معمولاً کم ضخامت بوده و از صلیبیت خمشی کمی برخوردارند. به همین دلیل لازم است که قبل از اجرای کامل، سپر به طریقی مهار شود تا از تغییر شکل بزرگ آن جلوگیری شود. در مواقعی که خاک بستر، سخت و متراکم باشد، کوبش سپر در زمین با مشکلات اجرایی همراه می‌شود. همچنین 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 لوله‌ای می‌باشد. در این اسکله‌ها، لوله‌های فولادی در کنار هم کوبیده شده و دیواره جلویی اسکله را تشکیل می‌دهند. به طور معمول، شمع در مقایسه با صفحات سپری قابلیت کوبش راحتتری دارد. همچنین با انتخاب قطر بزرگ‌تر برای شمعها، می‌توان صلیبیت خمشی مقطع سپری را افزایش داد تا تغییر شکل‌های اسکله با ارتفاع زیاد را کاهش دهد. از طرفی پروفیل لوله نسبت به مقاطع استاندارد سپر در ایران بیشتر در دسترس می باشد. در شکل ۱ مقطع شماتیک سپرهای لوله‌ای و استاندارد نشان داده شده است.



ب) سپر لوله‌ای



الف) سپر استاندارد

شکل ۱- نمایش شماتیک سپر

پایه و اساس طراحی اسکله‌های سپری لوله‌ای ذکر شده در آیین نامه‌ها همانند سایر سازه‌های خاکی نگهبان، بر گرفته از روش تعادل حدی است. این روش، فقط شرایط نهایی سازه را در نظر می‌گیرد و اصولاً به تغییر شکل‌های سازه در اثر بارهای وارده نمی‌پردازد. با توجه به کمبودهای این روش، امروزه استفاده از روشهای عددی در شبیه سازی مراحل ساخت سازه‌ها به منظور در نظر گرفتن تمهیدات خاص اجرایی، امری اجتناب ناپذیر شده است.

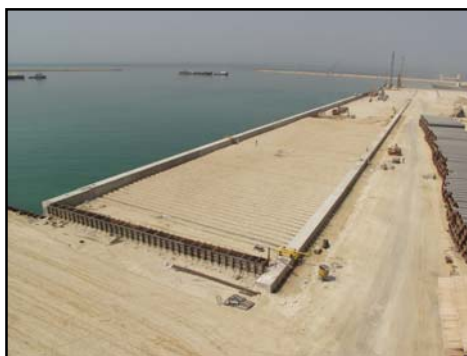
۲- تحلیل با روش‌های تعادل حدی

از جمله روشهای مرسوم طراحی اسکله‌های سپری ذکر شده در آیین نامه‌های معتبر، می‌توان به روشهای پای مفصلی و گیردار در پا اشاره نمود. در روش مفصلی، عمق نفوذ سپر آنقدر نیست که نیروی مقاوم جلوی سپر بتواند نیروی محرک پشت آن را خنثی کند و در نتیجه لازم است سپر به طریقی مهار شود. در صورتیکه در روش گیردار در پا، عمق نفوذ کافی باعث بسیج شدن کامل نیروی مقاوم و ایجاد تعادل سپر می‌گردد. در مواردیکه طول آزاد سپر کم باشد،

میتوان سپر را بدون هیچ گونه مهار اجرا نمود. ولی با زیاد شدن طول آزاد آن، برای جلوگیری از تغییر شکل بالای سپر و ایجاد اختلال در شرایط بهره برداری، لازم است از مهار کردن بالای سپر استفاده کرد. تحلیل این گونه سپرها که سازه ای نامعین می باشند، با در نظر گرفتن فرضیاتی ساده، انجام می گیرد. در طراحی اسکله غربی بندر خدماتی پارس از روش پای مفصلی برای طراحی و کنترل استفاده شده است. بدین ترتیب که شمعه های اسکله توسط مهار (Tendom) به شمعه های مهاری فاصله ۳۰ متری که در پشت اسکله قرار گرفته اند، متصل شده است. با طراحی اولیه، ابعاد اولیه شامل طول شمعه های اصلی و مهاری، عمق نفوذ و فاصله بین دو ردیف شمعه ها و همچنین نیروی کشش در تاندوم تعیین شده است.

۳- روش اجرا

محل ساخت اسکله در کنار ساحل دریا قرار گرفته که عقبه آن با استحصال زمین از دریا بوجود آمده است. برای ساخت اسکله سپری لوله ای لازم است که مقاطع لوله ای در یک خط مستقیم در کنار هم کوبیده شوند تا خط ساحلی را تشکیل دهند. با توجه به وجود فاصله بین محل کوبش شمعه های اسکله و اراضی استحصال شده، به منظور ایجاد شرایط دسترسی جرقیل برای مستقر شدن و کوبیدن شمعه ها، ابتدا به فاصله حدود ۲ متر عقب تر از محل خط اسکله، یک سری شمعه های موقت با طولی کمتر از شمعه های اسکله کوبیده می شود. نقش این شمعه ها، ایجاد حائل مناسب جهت نگهداری خاک پشت می باشد. با خاکریزی مرحله به مرحله پشت شمعه های موقت و پیشروی به سوی دریا، سهولت بیشتری برای شمع کوبی دقیق شمعه های اصلی اسکله امکان پذیر است. پس از کوبیدن شمعه های اصلی، شمعه های موقت بیرون کشیده شده و حدود پنج متر خاک پشت شمعه های اصلی قرار می گیرد.



(ب)



(الف)

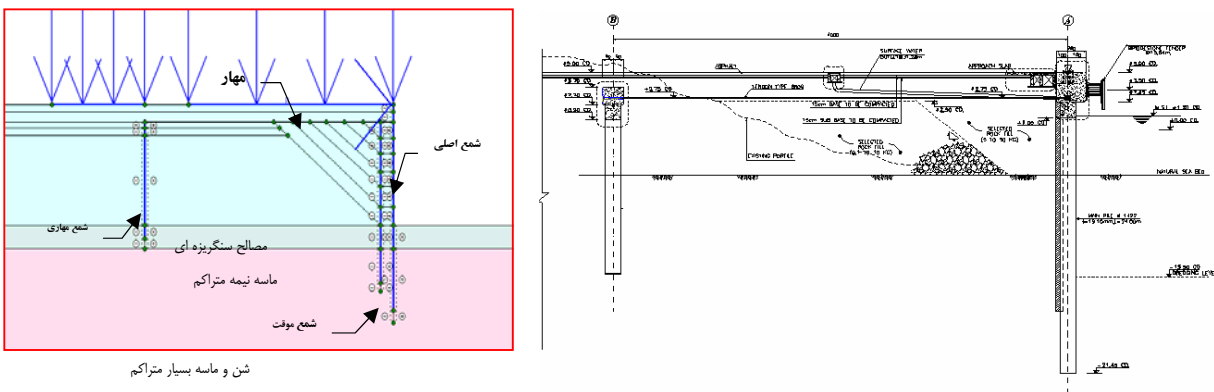
شکل ۲- مراحل اجرایی ساخت اسکله (الف) نمایش شمعه های اصلی و موقت؛ (ب) مرحله نصب تاندوم ها

برای مهار کردن شمعه های اسکله از شمعه های مهاری که به فاصله ۳۰ متر در زمین استحصال شده پشت اسکله کوبیده شده اند، استفاده می گردد؛ به طوریکه تکیه گاه لازم برای مهار شمعه های اصلی ایجاد شود. با بیرون راندن شمعه های موقت، خاک فضای خالی را پر کرده و باعث تغییر شکل های شمع اصلی می شود. برای جلوگیری از ایجاد تغییر شکل بیشتر در شمعه ها و بروز ناپایداری در آنها، لازم است قبل از عملیات خاکریزی کامل پشت، شمعه های اصلی بوسیله تاندومها مهار شوند. تاندومها توسط جک هیدرولیکی کشیده شده و به شمعه های مهاری، متصل می گردند. در مرحله نهایی، خاکریزی پشت دیوار تا تراز نهایی عرشه اسکله، انجام می گیرد.

شایان ذکر است، در اجرای سپرهای معمولی اجازه خاکریزی پشت سپر قبل از نصب میل مهارها داده نمی شود. ولی در سپرهای لوله های امکان خاکریزی ناقص وجود دارد. دلیل این امر سختی زیاد شمعه ها می باشد.

۴- روش مدل سازی

روش تعادل حدی که جزء روشهای اولیه و مرسوم محسوب می شود، تنها به شرایط نهایی سازه توجه دارد و نمی تواند تخمینی از تغییر شکل ها حین ساخت داشته باشد. همچنین در روشهای تحلیل سازه در مقابل زلزله نظیر روش شبه استاتیکی نیز این نقص وجود دارد. به منظور کنترل نتایج حاصل از تحلیل روش تعادل حدی در حالت استاتیکی و دینامیکی و تعیین تغییر شکلهای سازه حین ساخت و حین زلزله، از نرم افزار PLAXIS که بر پایه روش عددی اجزاء محدود استوار است، استفاده شده است (شکل ۳). با مدل سازی مراحل مختلف ساخت، می توان روش اجرای مناسب نظیر ترتیب مراحل مختلف اجرا شامل خاکریزی پشت شمع اصلی، مرحله کشیدن تاندوم و مقدار نیروی لازم برای آن را ارزیابی نمود. برای رفتار خاک در شبیه سازی فوق از مدل ارتجاعی-خمیری موهر کولمب استفاده شده است. همچنین برای مصالح شمعها، به منظور در نظر گرفتن تغییر شکلهای ماندگار بوجود آمده ناشی از زلزله، مدل رفتاری الاستوپلاستیک، انتخاب شده است.



شکل ۳- مقطع اسکله و مدل آن در برنامه PLAXIS

پارامترهای طراحی ژئوتکنیکی در محل ساخت اسکله بر اساس نتایج مطالعات آزمایشگاهی و تحقیقات محلی، مطابق جدول ۱ می باشد.

جدول ۱- پارامترهای ژئوتکنیکی مصالح خاکی

نام لایه	مشخصات	ضخامت (m)	γ_{sat} (kN/m ³)	ϕ'	E (Mpa)	ν	C (kN/m ²)
ماسه نیمه متراکم		3	20	35	30	0.3	10.0
شن و ماسه بسیار متراکم		>27	21	45	80	0.25	0
مصلح سنگریزه ای	پشت اسکله		20	40	50	0.3	0

برای دیواره جلویی اسکله و شمعهای مهار از لوله های فولادی از نوع ST52 به قطر ۵۶" و ضخامت ۱۹/۲ mm استفاده شده است. بخاطر وجود یونهای خورنده در آب دریا، به دو طریق حفاظت کاتدیک و پوشش پلی اتیلن، از خوردگی شمعهای دیواره اسکله جلوگیری می شود. مشخصات مقاطع سالم و خورده شده برای طول عمر مفید ۵۰ سال پروژه، در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- پارامترهای طراحی برای مقاطع شمعهای خورده نشده و خورده شده

پارامتر نو	وضعیت شمع	طول (m)	D(mm)	t (mm)	A(m ²)	I(m ⁴)	v	E(kg/cm ²)	M _{plastic} (kN.m)	M _{max} (kN.m) در شرایط استاتیکی	M _{max} (kN.m) در شرایط زلزله
شمع اد	خورده نشده	24	1422	19.2	0.0846	0.0207	0	2.1E+6	13604	5240	6970
	خورده شده		1412	14.05	0.0617	0.015	0	2.1E+6	9885	2660	3535
شمع ما	خورده شده	15	1419	17.55	0.0772	0.019	0	2.1E+6	12409	4810	6397

در مدل سازی شمع، از گزینه المان تیر خمشی (beam) استفاده شده است. همچنین، شایان ذکر است مقطع سالم شمع در شبیه سازی مراحل ساخت و نوع خورده شده، در مرحله بهره برداری و تحلیل دینامیکی حین زلزله، مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

به علت وجود تماس شمع با خاک اطراف و شبیه سازی بهتر رفتار این گونه سازه‌ها، از المان اندرکنش خاک و سازه (interface) استفاده شده است. از اینرو، ضریب کاهش مقاومت (R) برابر $0.67 \cdot (\frac{2}{3} \tan \phi')$ اختیار شده است [4]. کابل‌های بکار گرفته شده در این پروژه، از ۹ رشته کابل بهم بافته تشکیل شده و مشخصات آن مطابق جدول ۴ است.

جدول ۴- مشخصات تاندوم

Type	A(cm ²)	P مجاز (kN)	P _{yield} (kN)
6809	1260	1227	1978

• بارگذاری

- سربار زنده وارد بر تراز اسکله با توجه به کاربری آن و طبق استاندارد کارهای دریایی ژاپن [2] و توصیه نامه کارهای دریایی آلمان (EAU) [3]، برابر چهارتن بر متر مربع انتخاب شده است. همچنین فقط ۵۰٪ از سربار ذکر شده در تحلیل دینامیکی بکار گرفته می‌شود [2,3].

- نیروی کششی ناشی از مهار شناور برابر ۱۰۰ تن محاسبه شده که بین چهار شمع اطراف بولارد بطور مساوی تقسیم می‌شود [2].

- بارگذاری ناشی از زلزله: طراحی لرزه‌ای بر اساس استاندارد کارهای دریایی ژاپن و راهنمای طراحی لرزه‌ای سازه‌های دریایی (PIANC) انجام گرفته شده است [1,2]. با توجه به ماهیت تصادفی وقوع زلزله، تعیین یک تاریخچه زمانی برای زلزله طرح به روش تعینی (Deterministic) غیر ممکن می‌باشد. در این پروژه، با توجه به مطالعات لرزه خیزی انجام شده در منطقه، از مؤلفه افقی پنج تاریخچه زمانی شتاب و ایستگاه‌های مختلف آنها استفاده شده است. در انتخاب این زلزله‌ها، عواملی همچون بزرگای زمین لرزه، خصوصیات محل، مکانیزم گسل مولد و مدت دوام حرکت توانمند زمین، در نظر گرفته شده‌اند. شتابنگاشت‌های انتخابی به گونه ای مقیاس شده‌اند که طیف پاسخی شبیه به طیف پاسخ ارایه شده برای منطقه عسلویه داشته باشند. نام زلزله‌های انتخابی جهت تحلیل دینامیکی اسکله در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- زلزله‌های انتخابی جهت تحلیل دینامیکی اسکله

نام زلزله	Cape Mendocino (1992)	Chi-Chi, Taiwan (1999)	Northridge (1994)	Kocaeli, Turkey (1999)	Landers (1992)
-----------	--------------------------	---------------------------	----------------------	---------------------------	-------------------

به منظور تحلیل دینامیکی مدل، پارامترهای بکار گرفته شده در تحلیل دینامیکی مطابق شرح زیر است :

$$\alpha=0.01 \text{ و } \beta=0.01$$

ضرایب میرایی ریلی

ضرایب انتگرال گیری نیومارک
ضرایب نیروی جاذب انرژی

$$\alpha=0.25 \text{ و } \beta=0.25$$
$$C_1=0.25 \text{ و } C_2=0.5$$

۵- مدل سازی مراحل ساخت

هدف از مدل سازی مراحل ساخت به روش عددی، ارزیابی روش اجرا با توجه به شرایط خاص اجرای اسکله در این پروژه بوده است. برای مدل فوق، چند روش اجرا مد نظر قرار گرفت. از جمله مواردی که در هر مطالعه روی مدل فوق مورد بررسی قرار گرفت، تاثیر نحوه خاکریزی پشت دیوار بر تغییر مکانهای شمعهای اصلی، مقدار کشیدگی تاندوم جهت مهار کردن شمعهای اصلی و بهترین زمان لازم برای انجام این عملیات بوده است. پس از انتخاب نهایی روش اجرایی، تحلیل دینامیکی بر روی مدل انجام شد. در این تحلیل، کنترل پایداری سازه شامل کنترل تغییر مکانها در شرایط استاتیکی و حین زلزله، نیروی کششی تاندوم و عملکرد سازه بعد از زلزله، مورد مطالعه قرار گرفته است.

با لحاظ کردن روش نهایی اجرای ساخت اسکله، مراحل شبیه سازی به شرح زیر می باشد:

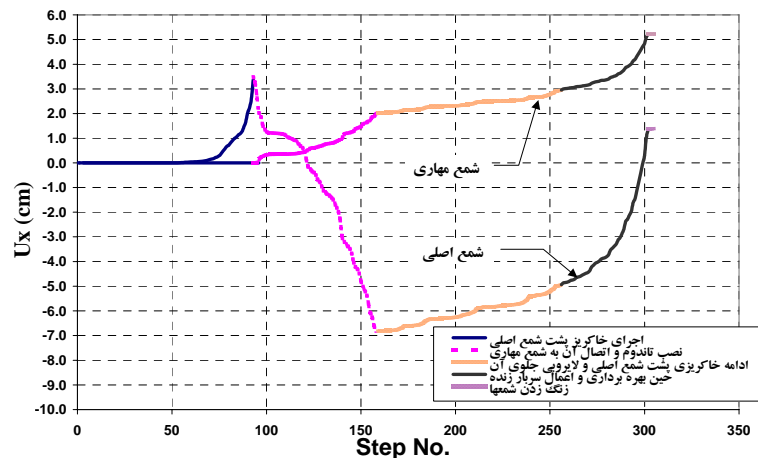
- ۱-۵- در ابتدا شرایط اولیه محیطی شامل بستر دریا و خاکریز استحصال شده قبل از احداث اسکله، مدل می شود.
- ۲-۵- جهت خاکریزی روی بخش استحصال شده تا تراز تاندوم، بخشهای (cluster) مربوطه فعال می گردند.
- ۳-۵- برای مدل سازی خاکریزی پشت شمع، شمع موقت و اولین لایه خاکریز، فعال می شود. در مراحل بعد، لایه های بعدی خاکریز پشت شمع موقت نیز فعال می گردند.
- ۴-۵- با رسیدن به فاصله مورد نظر برای کوبیدن شمعهای اصلی، شمع اصلی در بستر دریا در جلوی شمع موقت به فاصله ۲ متر، نصب می گردد. با بیرون کشیدن شمعهای موقت، خاک فضای خالی بین دو شمع موقت و اصلی را پر می کند. این مراحل، با فعال کردن همزمان شمع اصلی و بخشهای بین فضای شمع اصلی و مهاری و غیر فعال کردن شمع موقت، مدل می شود. همچنین، در این مرحله، شمعهای مهاری فعال می گردند.
- ۵-۵- قبل از پر کردن کامل فضای خالی پشت شمع اصلی، تاندوم نصب می شود. بر اساس مدل های مختلف تحلیل شده و بررسی تغییر شکل اسکله پس از ساخت، مشاهده شد که نیروی پیش کشیدگی معادل ۵۰ تن برای هر تاندوم، مناسب به نظر می رسد.
- ۶-۵- در ادامه، خاکریزی تا تراز عرشه ادامه می یابد. پس از اتمام خاکریزی پشت اسکله، بستر جلوی سپر اسکله تا تراز تعیین شده، لایروبی می گردد.
- ۷-۵- مرحله پایانی شامل اعمال بارهای اعمالی بر اسکله شامل سربار و نیروی مهار شناور می باشد. در این مرحله، برای بررسی تغییر شکل اسکله پس از گذشت زمان بهره برداری، پروفیل خورده شده، جایگزین پروفیل های سالم شمع اسکله می گردد.
- ۸-۵- در نهایت مدل تحت بارگذاری دینامیکی ناشی از زلزله قرار می گیرد.

۶- بحث در نتایج

به علت تغییرات تراز بستر دریا در طول اسکله، تحلیل مدل اسکله برای دو مقطع بحرانی انجام و مشاهده شد که با پیش تنیدگی یکسان برای تمام تاندوم ها به اندازه ۵۰ تن، تغییر مکان بالای شمعهای اصلی در طول اسکله در حد مطلوبی می باشد. در ادامه، به ارائه نتایج مربوط به بحرانی ترین مدل که در آن تراز کف بستر در $10/5^{CD}$ قرار دارد، پرداخته می شود.

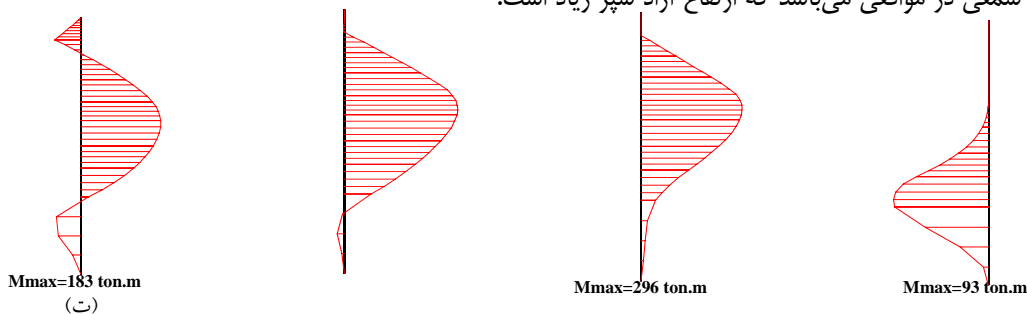
از امکانات برنامه PLAXIS، ردیابی تغییر مکان هر نقطه از مدل حین اجرای برنامه می باشد که با کمک آن تغییر شکل های شمعهای اصلی و مهاری مورد بررسی قرار گرفته اند. بر این اساس مشاهده شده است که جابجایی افقی

پای شمعها در شرایط استاتیکی حداکثر چهار میلیمتر می باشد که می توان از این مقدار صرفنظر نمود. از اینرو، در ادامه فقط به ارائه تغییر شکل افقی بالای شمعها می پردازیم. شکل ۴ تغییر مکان نوک شمعهای اصلی و مهار را از لحظه شروع نصب تا پایان مرحله بهره برداری نشان می دهد. مطابق شکل، تغییر مکان بالای شمع تحت اثر فشار خاکریز پشت ۳/۵ سانتیمتر می باشد. با کشیدن تاندوم به مقدار ۵۰ تن و متصل کردن آن به شمع مهار، محور سرشمع ۷ سانتیمتر از امتداد قائم به عقب برمی گردد. سپس خاکریزی در چند مرحله پشت اسکله تا تراز کامل عرشه و همچنین لایروبی جلوی اسکله، سبب تغییر مکان سرشمع به اندازه ۲ سانتیمتر به سمت دریا می شود. در نهایت، در اثر اعمال سربار وارد بر عرشه اسکله، تغییر مکان سرشمع اصلی به مقدار ۱/۵ سانتیمتر به طرف دریا از حالت قائم می باشد. در مدلسازی شرایط بهره برداری با جایگزین کردن پروفیل خورده شده با پروفیل سالم، ملاحظه شد که تغییر چندان در تغییر شکل شمع ایجاد نمی شود. خاطر نشان می شود که در اثر متصل شدن شمع اصلی به شمع مهار توسط تاندوم و کشش آن، در شمع مهار ۲ سانتیمتر تغییر شکل ایجاد می شود که بدلیل محصورشدگی در خاک اطراف مقدار آن کمتر از شمع اصلی می باشد. سرانجام این تغییر شکل در مرحله بهره برداری به ۵ سانتیمتر می رسد.



شکل ۴- تغییر مکان نوک شمع اصلی و شمع مهار در مراحل مختلف اجرا

در شکل ۵ منحنی تغییرات لنگر خمشی بوجود آمده در پروفیل شمع اصلی در مراحل مختلف اجرا از زمان نصب آن تا مرحله بهره برداری ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود حداکثر لنگر ایجاد شده در مقطع شمع، قبل از مرحله بهره برداری می باشد و سپس بر اثر اعمال بار ناشی از سربار به مقدار زیاد کاهش می یابد (۴۰٪). این کاهش لنگر شمع بخاطر کاهش تغییر شکل نسبی در شمع از پنج سانتیمتر به ۱/۵ سانتیمتر در شرایط بهره برداری می باشد. حداکثر لنگر ایجاد شده در مقطع شمع قبل از اینکه شمع مهار شود برابر ۹۳ تن متر می باشد و این در حالی است که ۹ متر خاک پشت اسکله بدون مهار قرار گرفته است. همچنین همانطور که ملاحظه می گردد، حداکثر لنگر خمشی ایجاد شده در مراحل ساخت اسکله، ۳۰۴ تن متر می باشد. این در حالیست که در صورت استفاده از قویترین پروفیل سپری AZ 50 محصول شرکت Arcelor, Luxemburg، حداکثر لنگر خمشی مجاز ۲۵۳ تن متر برای عرض معادل شمع را نتیجه می دهد که جوابگوی لنگر خمشی وارده نمی باشد. این امر نشان دهنده قدرت بالای عملکرد اسکله های سپری شمع در مواقعی می باشد که ارتفاع آزاد سپر زیاد است.



Mmax=304 ton.m

(پ)

(ب)

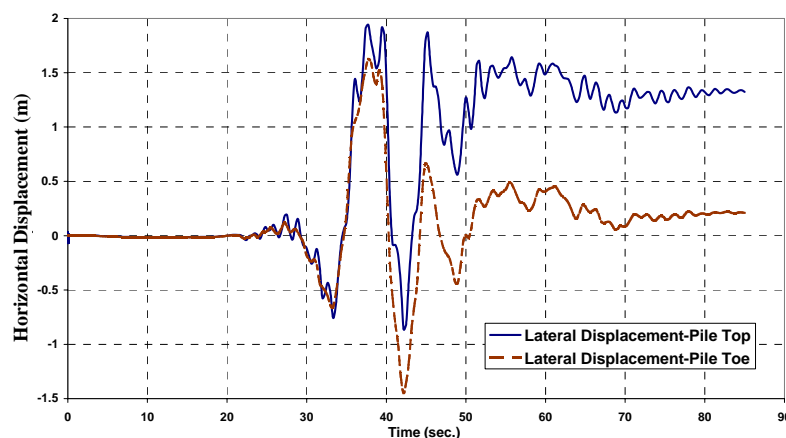
(الف)

شکل ۵- تغییرات لنگر خمشی در شمع اصلی در مراحل مختلف اجرا (الف) پس از نصب؛ (ب) اتصال شمع اصلی به شمع مهارى توسط تاندوم و کشش آن؛ (پ) پس از خاکریزی پشت اسکله و لایروبی جلوی آن؛ (ت) حین بهره برداری و اعمال سربار

با پیشرفت مراحل اجرای خاکریزی پشت اسکله، نیروی کشش تاندوم افزایش می‌یابد و مقدار آن از ۵۰ تن در مرحله نصب به ۷۴ تن در مرحله بهره‌برداری می‌رسد. لازم به ذکر است که در روش تحلیل اولیه، نیروی تاندوم ۶۰ تن بدست آمده بود.

با انجام تحلیل دینامیکی اسکله و مطالعه تغییر مکانهای افقی و قائم شمعهای اصلی و مهارى حین زلزله‌های اعمالی، مشاهده شد که به دلیل اتصال دو شمع توسط تاندوم، هر دو شمع اصلی و مهارى باهم و به صورت یکپارچه رفتار می‌کنند. با این وجود، تغییر مکانهای افقی سرشمع اصلی به مقدار ناچیزی بیشتر از شمع مهارى می‌باشد که این پدیده بخاطر اختلاف در رفتار شمعهای بلند (شمع اصلی) و شمعهای کوتاه (شمع مهارى) و همچنین محصور بودن شمع مهارى در زمین بر خلاف شمع اصلی و تغییر شکل تاندوم می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که تاندوم باعث کنترل و جلوگیری از ایجاد تغییر مکانهای بزرگ در شمع اصلی شده است.

شکل ۶ تاریخچه زمانی تغییر مکان افقی نوک و پای شمع اصلی برای بحرانی‌ترین تاریخچه زمانی زلزله انتخابی (chi-chi-Taiwan) ارائه شده است. مشاهده می‌شود که تا اواسط مدت زمان اعمال نیروی زلزله (۴۰ ثانیه اول)، شمع‌های بدنه اسکله رفتار انتقالی داشته و فاصله ایجاد شده بین نوک و پای شمع ناچیز می‌باشد. در صورتیکه در نیمه دوم زمان اعمال زلزله، نوک و پای شمع به تدریج از هم فاصله گرفته‌اند. شایان ذکر است که این امر باعث ایجاد لنگر در شمع می‌شود. از اینرو، در مطالعه رفتار شمع‌ها و بررسی لنگر بیشینه ایجاد شده حین زلزله، تنها کافیست به لنگر ماندگار در شمع در پایان زلزله توجه نمود. همانطور که ملاحظه می‌گردد، نیروی دینامیکی باعث ایجاد تغییر مکان افقی بیشینه ۲۰۰ سانتیمتر نسبت به مرحله بهره‌برداری در نوک شمع اصلی حین زلزله می‌گردد. در عین حال، پس از اتمام زلزله، تغییر شکل افقی ماندگار در شمع برابر ۱۳۰ سانتیمتر و لنگر ماندگار در آن برابر ۶۶۰ تن متر می‌باشد.



شکل ۶- تاریخچه تغییر مکان افقی نوک و پای شمع اصلی در زلزله *chi-chi-Taiwan*

بر روی داده‌های حاصل از نتایج تحلیل دینامیکی از زلزله‌های مختلف، محاسبات آماری و احتمالاتی صورت گرفته است. با استفاده از توزیع چگالی احتمالی چولگی، بازه‌ای که نشانگر احتمال وقوع بیش از ۹۵٪ در آن بازه قرار می‌گیرد، برای تغییر مکان بالای شمعها و لنگر بیشینه در پایان زلزله بدست آمده است. نتایج آماری حداقل، متوسط و حداکثر مقادیر تغییر مکان افقی، لنگر بیشینه اسکله و همچنین نیروی تاندوم در پایان زلزله با احتمال وقوع ۹۵٪ در جدول ۶ ارائه شده است.

با در نظر گرفتن مقادیر مجاز تغییر مکان نوک شمع براساس آیین نامه ژاپن که مقدار آن را ۵۰~۳۰ سانتیمتر بیان می‌کند، مشاهده می‌شود که تغییرشکل‌های ماندگار بوجود آمده در نوک عرشه اسکله در پایان زلزله، در این محدوده قرار دارد و در نتیجه عملکرد سازه در سطح زلزله انتخابی، در محدوده مجاز توصیه شده، می‌باشد.

جدول ۶- مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر پس از زلزله با احتمال وقوع بیش از ۹۵٪

نیروی تاندوم (ton)	شمع مهاری		شمع اصلی		کمیت	احتمال وقوع بیش از ۹۵٪
	$M_{max}(t.m)$	$U_x(cm)$	$M_{max}(t.m)$	$U_x(cm)$		
۸۷/۲	۲۴۵	۱۹/۴	۳۰۵	۱۸/۹	مقدار کمینه	
۹۱/۲	۲۷۲	۳۰/۲	۳۴۱	۳۰/۹	مقدار متوسط	
۹۵/۲	۳۰۰	۴۱/۰	۳۷۷	۴۲/۹	مقدار بیشینه	

۷- نتیجه گیری

در مقاله حاضر به شبیه سازی عددی مراحل ساخت و تحلیل دینامیکی بندر خدماتی پارس (منطقه عسلویه) پرداخته شد. به دلیل شرایط ویژه‌ای همچون ارتفاع زیاد آزاد اسکله و همچنین عدم شرایط مناسب برای مهار اسکله حین ساخت، امکان استفاده از اسکله سپری با مقاطع استاندارد وجود نداشت و به جای آن از سپرهای لوله‌ای استفاده شد. مدل سازی عددی نشان داد که:

(الف) می‌توان با افزایش صلبیت سپر بوسیله استفاده از شمعهای با قطر بزرگ، سختی لازم برای اسکله حین اجرا و بدون مهارشدگی را ایجاد کرد. این نکته یکی از تفاوت‌های اصلی سپر معمولی و سپر لوله ای می باشد.

(ب) در اجرای سپرهای معمولی اجازه خاکریزی پشت سپر قبل از نصب میل مهارها داده نمی شود. ولی در سپرهای لوله های امکان خاکریزی ناقص وجود دارد. دلیل این امر سختی زیاد شمعها می باشد.

(پ) با مدل سازی مراحل مختلف ساخت، رفتار سازه شامل مقادیر لنگرها و تغییرشکل‌های دیواره اسکله، مطالعه گردید و مشاهده شد که برای ساخت اسکله با عمق بالای آب‌خور، استفاده از شمعهای موقت جهت مهار موقتی خاک پشت، مناسب می باشد.

(ت) مرحله مناسب نصب تاندوم بر اساس تغییر شکل‌های شمع اصلی انتخاب شد تا اینکه شمع کوبیده شده بر اثر فشار جانبی خاک پشت، گسیخته نشود.

(ث) مقدار پیش کشیدگی تاندوم بر این اساس انتخاب شد که عرشه اسکله بر اثر سربار اعمالی، حداقل تغییر شکل را ایجاد نماید.

(ج) شایان ذکر است که برخلاف عدم توجه به تغییر شکل‌های ایجاد شده حین ساخت در روشهای تحلیل دستی، مقدار نیروی تاندوم و عمق نفوذ شمع حاصل از روشهای تحلیل دستی تطابق خوبی با نتایج تحلیل عددی به کمک اجزاء محدود داشته است.

(چ) با مدل سازی عددی، عملکرد اسکله حین زلزله و پس از آن مورد بررسی قرار گرفت.

۸- مراجع

[1] (PIANC) (2001), Seismic Design Guidelines for Port Structures, Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, 474p

[2] Technical Standards and Commentaries for Port Harbour Facilities in Japan (2002), The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan, 600p

[3] EAU(1996), Recommendation of committee for waterfront structures, Ernst and John, Berlin

[4] PLAXIS Manual Reference, version 7.12