

۱. تعیین ظرفیت‌های مجاز طراحی

با تشکر از حسن توجه و دقت کارفرمای محترم در خصوص بررسی مدلسازی سازه و رفتار آن، با توجه به مدلسازی و تحلیل به روش‌های ضرایب بار و مقاومت و تنش مجاز، نیروهای مورد تحمل پایه‌های کوبشی به شرح زیر است:

S Design Load Combinations Selection ×

Load Combinations for Design

Select Type of Design Load Combination

Load Combination Type: **Strength**

Select Load Combinations

List of Load Combinations	Design Load Combinations
0.6D+0.6Wa-	0.9D+1.0Wa-
0.6D+0.6Wb-	0.9D+1.0Wb-
1.0D+0.6Wa+	1.2D+0.3Sn
1.0D+0.6Wb+	1.2D+0.3Sn+1.0Wa+
	1.2D+0.3Sn+1.0Wb+
	1.2D+1.0EX+0.15Sn
	1.2D+1.0EY+0.15Sn
	1.2D+1.0Sn+0.5Wa+
	1.2D+1.0Sn+0.5Wb+

Buttons: Add ->, <-, Show...

شکل ۱. ترکیب بارهای کنترل نیرو و تنش در سازه و پایه‌ها

S Design Load Combinations Selection ×

Load Combinations for Design

Select Type of Design Load Combination

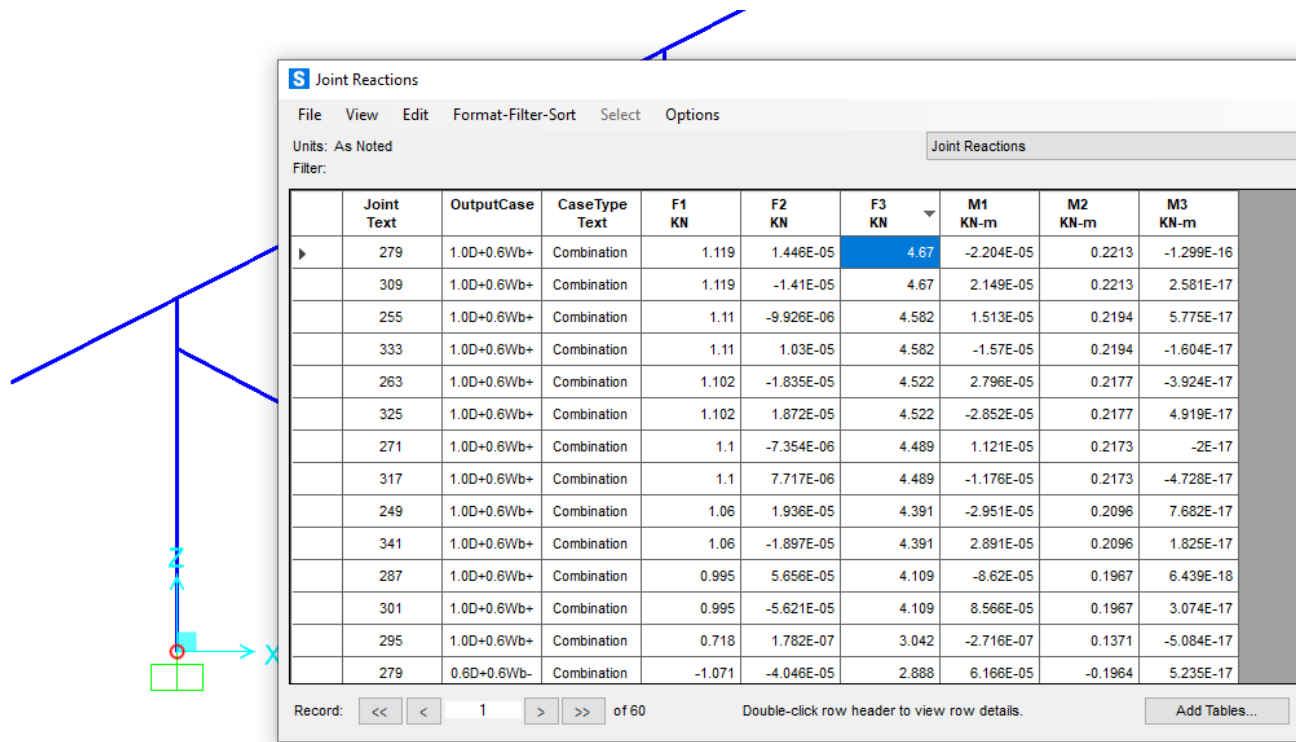
Load Combination Type: **Deflection**

Select Load Combinations

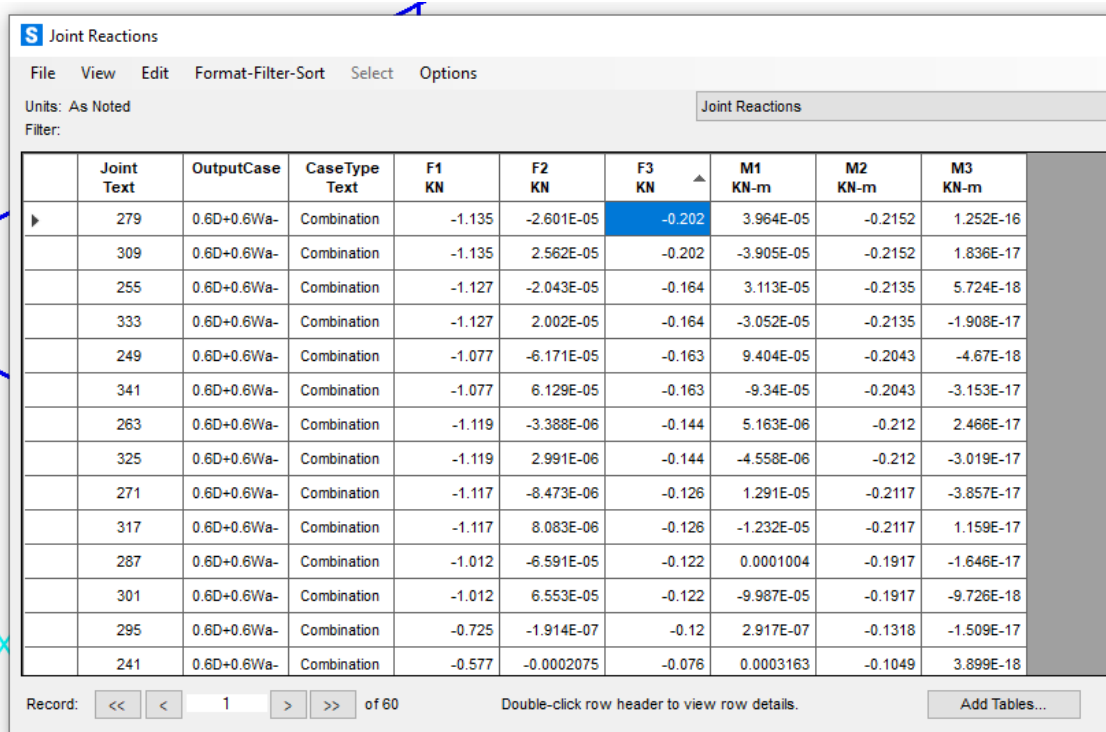
List of Load Combinations	Design Load Combinations
0.9D+1.0Wa-	0.6D+0.6Wa-
0.9D+1.0Wb-	0.6D+0.6Wb-
1.2D+0.3Sn	1.0D+0.6Wa+
1.2D+0.3Sn+1.0Wa+	1.0D+0.6Wb+
1.2D+0.3Sn+1.0Wb+	
1.2D+1.0EX+0.15Sn	
1.2D+1.0EY+0.15Sn	
1.2D+1.0Sn+0.5Wa+	
1.2D+1.0Sn+0.5Wb+	

Buttons: Add ->, <-, Show...

شکل ۲. ترکیب بارهای کنترل تغییرمکان در سازه و پایه‌ها



شکل ۳. حداکثر نیروی فشاری در پایه‌های جنوبی در حالت کنترل تغییرمکان



شکل ۴. نیروی کششی حداکثر در پایه‌های جنوبی در حالت کنترل تغییرمکان

S Joint Reactions

File View **Edit** Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Joint Reactions

Filter:

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
▶	280	1.0D+0.6Wa+	Combination	-8.029	-1.797E-05	13.572	4.662E-05	-1.7352	4.245E-16
	310	1.0D+0.6Wa+	Combination	-8.029	1.796E-05	13.572	-4.659E-05	-1.7352	1.368E-16
	256	1.0D+0.6Wa+	Combination	-7.968	-2.334E-05	13.435	6.055E-05	-1.7219	-2.554E-16
	334	1.0D+0.6Wa+	Combination	-7.968	2.333E-05	13.435	-6.052E-05	-1.7219	-8.258E-16
	264	1.0D+0.6Wa+	Combination	-7.912	-2.615E-05	13.321	6.783E-05	-1.7099	3.579E-16
	326	1.0D+0.6Wa+	Combination	-7.912	2.614E-05	13.321	-6.78E-05	-1.7099	-3.892E-16
	272	1.0D+0.6Wa+	Combination	-7.899	-2.403E-05	13.281	6.235E-05	-1.7071	2.97E-16
	318	1.0D+0.6Wa+	Combination	-7.899	2.402E-05	13.281	-6.232E-05	-1.7071	-1.01E-15
	250	1.0D+0.6Wa+	Combination	-7.613	-0.067	12.83	0.0386	-1.6443	-1.588E-16
	342	1.0D+0.6Wa+	Combination	-7.613	0.067	12.83	-0.0386	-1.6443	1.044E-15
	288	1.0D+0.6Wa+	Combination	-7.163	-1.338E-05	12.113	3.47E-05	-1.5475	-7.889E-16
	302	1.0D+0.6Wa+	Combination	-7.163	1.336E-05	12.113	-3.467E-05	-1.5475	-8.148E-16
	280	1.0D+0.6Vb+	Combination	-6.81	-4.524E-06	8.858	1.173E-05	-1.462	2.331E-16
	310	1.0D+0.6Vb+	Combination	-6.81	4.515E-06	8.858	-1.171E-05	-1.462	4.069E-16

Record: << < 1 > >> of 60 Double-click row header to view row details. Add Tables...

شکل ۵. نیروی فشاری حداکثر در پایه‌های شمالی در حالت کنترل تغییرمکان

S Joint Reactions

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Joint Reactions

Filter:

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
▶	280	0.6D+0.6Vb-	Combination	6.602	2.146E-05	-12.48	-5.567E-05	1.4372	-3.726E-16
	310	0.6D+0.6Vb-	Combination	6.602	-2.145E-05	-12.48	5.564E-05	1.4372	-5.84E-16
	256	0.6D+0.6Vb-	Combination	6.554	3.636E-05	-12.348	-9.431E-05	1.4267	-3.383E-16
	334	0.6D+0.6Vb-	Combination	6.554	-3.635E-05	-12.348	9.429E-05	1.4267	-6.136E-17
	264	0.6D+0.6Vb-	Combination	6.511	3.556E-05	-12.244	-9.225E-05	1.4173	-7.324E-16
	326	0.6D+0.6Vb-	Combination	6.511	-3.555E-05	-12.244	9.222E-05	1.4173	-5.902E-17
	272	0.6D+0.6Vb-	Combination	6.501	3.03E-05	-12.205	-7.861E-05	1.4151	7.541E-16
	318	0.6D+0.6Vb-	Combination	6.501	-3.029E-05	-12.205	7.858E-05	1.4151	-2.479E-16
	250	0.6D+0.6Vb-	Combination	6.269	0.026	-11.688	-0.023	1.3637	3.085E-16
	342	0.6D+0.6Vb-	Combination	6.269	-0.026	-11.688	0.023	1.3637	2.269E-16
	288	0.6D+0.6Vb-	Combination	5.903	1.387E-05	-11.115	-3.597E-05	1.2847	-2.017E-17
	302	0.6D+0.6Vb-	Combination	5.903	-1.386E-05	-11.115	3.594E-05	1.2847	8.191E-16
	280	0.6D+0.6Wa-	Combination	6.958	9.887E-06	-9.962	-2.565E-05	1.5035	-1.282E-15
	310	0.6D+0.6Wa-	Combination	6.958	-9.877E-06	-9.962	2.562E-05	1.5035	6.129E-16

Record: << < 1 > >> of 60 Double-click row header to view row details. Add Tables...

شکل ۶. نیروی کششی حداکثر در پایه‌های شمالی در حالت کنترل تغییرمکان

S Joint Reactions

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter:

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
▶	279	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.864	2.461E-05	7.767	-3.751E-05	0.3688	-2.165E-16
	309	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.864	-2.402E-05	7.767	3.66E-05	0.3688	4.297E-17
	255	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.85	-1.503E-05	7.621	2.29E-05	0.3657	9.637E-17
	333	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.85	1.566E-05	7.621	-2.387E-05	0.3657	-2.676E-17
	263	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.836	-2.94E-05	7.521	4.48E-05	0.3629	-6.534E-17
	325	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.836	3.001E-05	7.521	-4.574E-05	0.3629	8.199E-17
	271	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.833	-1.141E-05	7.465	1.74E-05	0.3622	-3.332E-17
	317	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.833	1.202E-05	7.465	-1.832E-05	0.3622	-7.881E-17
	249	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.766	3.411E-05	7.304	-5.198E-05	0.3495	1.281E-16
	341	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.766	-3.345E-05	7.304	5.098E-05	0.3495	3.046E-17
	287	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.659	9.442E-05	6.828	-0.0001439	0.3279	1.072E-17
	301	1.2D+0.3Sn...	Combination	1.659	-9.382E-05	6.828	0.000143	0.3279	5.115E-17
	279	1.2D+1.0Sn...	Combination	0.936	1.749E-05	6.006	-2.665E-05	0.1891	-1.085E-16
	309	1.2D+1.0Sn...	Combination	0.936	-1.719E-05	6.006	2.619E-05	0.1891	2.197E-17

Record: << < 1 > >> of 135 Double-click row header to view row details. Add Tables...

شکل ۷. حداکثر نیروی فشاری در پایه‌های جنوبی در حالت کنترل نیرو و تنش در سازه

S Joint Reactions

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

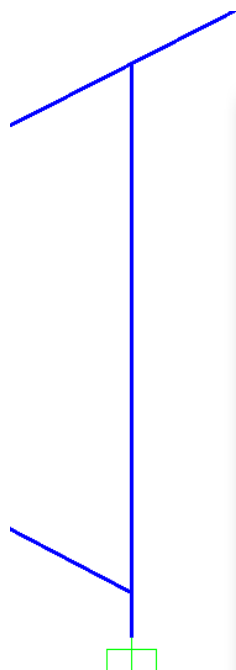
Units: As Noted

Filter:

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
▶	279	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.892	-4.354E-05	-0.45	6.636E-05	-0.359	2.086E-16
	309	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.892	4.29E-05	-0.45	-6.538E-05	-0.359	3.056E-17
	255	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.878	-3.498E-05	-0.386	5.331E-05	-0.3561	9.521E-18
	333	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.878	3.43E-05	-0.386	-5.227E-05	-0.3561	-3.18E-17
	249	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.795	-0.0001041	-0.378	0.0001586	-0.3407	-7.806E-18
	341	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.795	0.0001034	-0.378	-0.0001575	-0.3407	-5.256E-17
	263	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.865	-6.33E-06	-0.351	9.647E-06	-0.3536	4.109E-17
	325	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.865	5.668E-06	-0.351	-8.639E-06	-0.3536	-5.033E-17
	271	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.862	-1.455E-05	-0.321	2.218E-05	-0.353	-6.43E-17
	317	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.862	1.39E-05	-0.321	-2.119E-05	-0.353	1.932E-17
	287	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.686	-0.0001097	-0.305	0.0001672	-0.3198	-2.745E-17
	301	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.686	0.0001091	-0.305	-0.0001662	-0.3198	-1.622E-17
	295	0.9D+1.0Wa-	Combination	-1.208	-3.19E-07	-0.277	4.861E-07	-0.2198	-2.514E-17
	349	0.9D+1.0Wa-	Combination	-0.962	0.0003464	-0.196	-0.0005279	-0.175	7.262E-18

Record: << < 1 > >> of 135 Double-click row header to view row details. Add Tables...

شکل ۸. نیروی کششی حداکثر در پایه‌های جنوبی در حالت کنترل نیرو و تنش در سازه



S Joint Reactions

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Joint Reactions

Filter:

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
▶	280	1.2D+0.3Sn...	Combination	-13.382	-3.047E-05	22.581	7.904E-05	-2.892	7.076E-16
	310	1.2D+0.3Sn...	Combination	-13.382	3.045E-05	22.581	-7.899E-05	-2.892	2.28E-16
	256	1.2D+0.3Sn...	Combination	-13.279	-4.035E-05	22.352	0.0001047	-2.8699	-4.256E-16
	334	1.2D+0.3Sn...	Combination	-13.279	4.033E-05	22.352	-0.0001046	-2.8699	-1.376E-15
	264	1.2D+0.3Sn...	Combination	-13.187	-4.471E-05	22.163	0.000116	-2.8499	5.964E-16
	326	1.2D+0.3Sn...	Combination	-13.187	4.469E-05	22.163	-0.0001159	-2.8499	-6.487E-16
	272	1.2D+0.3Sn...	Combination	-13.164	-4.088E-05	22.096	0.000106	-2.8451	4.951E-16
	318	1.2D+0.3Sn...	Combination	-13.164	4.086E-05	22.096	-0.000106	-2.8451	-1.683E-15
	250	1.2D+0.3Sn...	Combination	-12.688	-0.1	21.313	0.0598	-2.7405	-2.649E-16
	342	1.2D+0.3Sn...	Combination	-12.689	0.1	21.313	-0.0598	-2.7406	1.74E-15
	288	1.2D+0.3Sn...	Combination	-11.938	-2.25E-05	20.146	5.836E-05	-2.5793	-1.315E-15
	302	1.2D+0.3Sn...	Combination	-11.938	2.248E-05	20.146	-5.831E-05	-2.5793	-1.359E-15
	280	1.2D+0.3Sn...	Combination	-11.351	-8.055E-06	14.725	2.089E-05	-2.4367	3.887E-16
	310	1.2D+0.3Sn...	Combination	-11.351	8.039E-06	14.725	-2.085E-05	-2.4367	6.781E-16

Record: << < 1 > >> of 270 Double-click row header to view row details. Add Tables...

شکل ۹. نیروی فشاری حداکثر در پایه‌های شمالی در حالت کنترل نیرو و تنش در سازه



S Joint Reactions

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Joint Reactions

Filter:

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m
▶	280	0.9D+1.0Wb-	Combination	11.004	3.612E-05	-20.914	-9.369E-05	2.3954	-6.21E-16
	310	0.9D+1.0Wb-	Combination	11.004	-3.61E-05	-20.914	9.365E-05	2.3954	-9.733E-16
	256	0.9D+1.0Wb-	Combination	10.923	6.165E-05	-20.693	-0.0001599	2.3779	-5.637E-16
	334	0.9D+1.0Wb-	Combination	10.923	-6.163E-05	-20.693	0.0001599	2.3779	-1.023E-16
	264	0.9D+1.0Wb-	Combination	10.851	6.009E-05	-20.519	-0.0001559	2.3622	-1.221E-15
	326	0.9D+1.0Wb-	Combination	10.851	-6.007E-05	-20.519	0.0001558	2.3622	-9.837E-17
	272	0.9D+1.0Wb-	Combination	10.834	5.109E-05	-20.453	-0.0001325	2.3586	1.257E-15
	318	0.9D+1.0Wb-	Combination	10.834	-5.107E-05	-20.453	0.0001325	2.3586	-4.132E-16
	250	0.9D+1.0Wb-	Combination	10.448	0.047	-19.595	-0.0398	2.2729	5.141E-16
	342	0.9D+1.0Wb-	Combination	10.448	-0.047	-19.595	0.0398	2.273	3.782E-16
	288	0.9D+1.0Wb-	Combination	9.839	2.322E-05	-18.628	-6.022E-05	2.1412	-3.359E-17
	302	0.9D+1.0Wb-	Combination	9.839	-2.32E-05	-18.628	6.018E-05	2.1412	1.385E-15
	280	0.9D+1.0Wa-	Combination	11.596	1.683E-05	-16.718	-4.366E-05	2.5059	-2.136E-15
	310	0.9D+1.0Wa-	Combination	11.596	-1.682E-05	-16.718	4.362E-05	2.5059	1.021E-15

Record: << < 1 > >> of 270 Double-click row header to view row details. Add Tables...

شکل ۱۰. نیروی کششی حداکثر در پایه‌های شمالی در حالت کنترل نیرو و تنش در سازه

بنابراین به شکل خلاصه نیروهای مورد نیاز در هر دو حالت طراحی برای کنترل با گزارش پول اوت به شرح زیر است:

جدول 1. خلاصه نتایج تحلیل نرم افزار برای پایه‌ها

مقاومت				تغییر مکان				نوع تحلیل
نیروی فشاری متوسط	نیروی کششی متوسط	نیروی فشاری حداکثر	نیروی کششی حداکثر	نیروی فشاری متوسط	نیروی کششی متوسط	نیروی فشاری حداکثر	نیروی کششی حداکثر	موقعیت پایه
20.0 kN	18.4 kN	22.6 kN	20.9 kN	12.0 kN	11.0 kN	13.6 kN	12.5 kN	شمالی
6.8 kN	0.4 kN	7.8 kN	0.5 kN	4.1 kN	0.2 kN	4.7 kN	0.2 kN	جنوبی

بررسی و تحلیل نتایج تست پول اوت:

• تست کشش پایه‌ها:

هدف از انجام این تست، ترسیم و دریافت نمودار نیرو جابجایی برای رفتار خاک و تحلیل آن است. مرجع تحلیل نتایج تست پول اوت استاندارد FHWA است. بر مبنای این مرجع، بازه جابجایی مجاز پایه در خاک در تست کشش شمع بین ۱۰ تا ۲۵ میلی‌متر است. لازم به ذکر است که این مرجع مقدار جابجایی هدف را به کارکرد آن شمع و سازه اجرا شونده بر روی آن ارجاع می‌دهد و عدد مطلق ارائه نمی‌دهد. لذا در تفسیر مهندسی این موضوع، بر مبنای رفتارشناسی سازه خورشیدی و در نظر گرفتن این موضوع که میز خورشیدی مجموعه‌ای از چندین شمع کوبشی است و رک اصلی سازه این پایه‌های کوبشی را به هم متصل می‌سازد، بررسی رفتار تک پایه کوبشی بسیار محافظه کارانه است.

نکته حائز اهمیت در تحلیل نیروهای ایجاد شده در پایه‌های کوبشی مطابق نرم‌افزار، این است که رفتار خاک در کل سایت و در تمامی نقاط از جمله در یک میز متفاوت است. خاک به عنوان یک ماده غیر همسان شناخته می‌شود و یکی از اهداف انجام تست پول اوت، شناخت تفاوت رفتارهای خاک در مناطق مختلف سایت است. هر تست نیز معرف یک هکتار از سایت است، حال آنکه در یک نقطه با انجام تست‌های مختلف امکان رسیدن به نتایج بسیار متفاوت وجود دارد. در توضیح این نکته به عنوان مثال توجه کارفرمای محترم را به مشاهده نتایج تست پایه‌های شماره ۴، ۵، ۸ و ۱۲ در گزارش رمینگ مرحله دوم جلب می‌نمایم.

نکته دیگر حائز اهمیت در بررسی رفتار پایه‌های کوبشی، در نظر گرفتن این موضوع است که با وارد شدن باد مکشی به سازه، رک نگهدارنده میز که به تمامی پایه‌های کوبشی متصل است، به شکل نسبتاً صلب عمل کرده و بنابراین در عمل در تحلیل رفتاری سازه بازتوزیع نیرویی شکل خواهد گرفت و نیروها متعادل خواهد گردید و به همان عدد میانگین نیرو برای کل میز نزدیکتر خواهد شد؛ فلذا وضعیت بهبود خواهد یافت.

با در نظر گرفتن عملکرد مورد انتظار در سازه خورشیدی که هدف نهایی آن عدم ایجاد میکروتکرک در پنل‌ها می‌باشد، مطابق رویه متداول صنعت نیروگاه خورشیدی مانند دستورالعمل پایه‌کوبی شرکت NEXTRACKER و معیار پذیرش جابجایی ۱۹ میلی‌متر برای نیروی کششی پایه کوبشی، استفاده از جابجایی حداکثر میانگین ۱۰

میلی‌متر برای کل میز به شکل بسیار محافظه کارانه است و استفاده از جابجایی حداکثر میانگین ۱۹ میلی‌متر به عنوان میانگین (و نه حد بالای) بازه اعلامی توسط FHWA، برای تک پایه اتخاذ می‌گردد. بدیهی است در نظر گرفتن جابجایی حداکثر ۱۰ میلی‌متر برای تمامی حالت‌ها بسیار محافظه کارانه بوده و سازه به صورت بیش ظرفیت طراحی خواهد گردید.

با در نظر گرفتن نتایج ارائه شده در تست پول اوت، دو جابجایی هدف لحاظ می‌گردد و بر مبنای آن‌ها، ظرفیت نیرویی متناظر با جابجایی ۱۰ میلی‌متر متناظر با حد پایین بازه مجاز جابجایی پایل کوبشی و ظرفیت سرویس-پذیری خاک متناظر با جابجایی ۱۹ میلی‌متر متناظر با حد میانگین بازه مجاز جابجایی ملاک تصمیم‌گیری است. با مراجعه به نتایج ارائه شده، ظرفیت متناظر با جابجایی‌های مورد اشاره در جدول ۲ بدست می‌آید.

NEXTracker General Requirements for Pile Load Testing

Also, the pile test report includes:

- A graph showing load vs. deflection for each test pile for both lateral and vertical test information.
- recommended L pile design parameters and a graph of the L pile deflection curve
- Any unusual occurrences during testing.
- Report on equipment and gauge calibration.
- Example photographs showing the test instrumentation and set-up.

5.0 Acceptance Criteria

The thresholds for pile acceptability are as follows:

- Criterion 1: Displacement in tension load = 0.75 in.
- Criterion 2: Displacement in lateral load at 4 in. from grade = 1.00 in.
- Criterion 3: Drivability = All test piles are driven at specified embedment.

مرجع اشاره به عدد ۱۹ میلی‌متر، گزارش راهنمای تست پایه‌های کوبشی توسط وندور NEXTRACKER است.

به عنوان جمع بندی نحوه مقایسه اعداد، در کنترل تغییر مکان بیرون آمدگی پایه‌ها از خاک و تطبیق با تست پول اوت با جابجایی هدف ۱ سانتی‌متر، از اعداد کنترل تغییر مکان جدول ۱ استفاده می‌گردد. در کنترل نیرویی پایه‌ها از مقایسه نیروهای پایه‌ها با ظرفیت هدف بیرون‌آمدگی حداکثر ۱.۹ سانتی‌متری پایه از استفاده شده است.

جدول 2. ظرفیت کششی خاک با استاندارد به نتایج تست پول اوت ناودانی‌ها

Po. No.	Pile Type	Ramming Depth (m)	Fmax (kN)	δ_{max} (mm)	عمق کوبش مورد نیاز (m)	Fe (kN) for d=10mm	Fe (kN) for d=19mm	مقطع پیشنهادی	ظرفیت خاک (kN) برای d=1cm	ظرفیت خاک (kN) برای d=1.9cm
1	UNP 100	1.8	18.6	28.6	1.8	12.6	15.5	UNP 120	23.0	31.1
2	UNP 100	1.6	23.5	29.9		17.6	21.6			
3	UNP 100	1.8	17.6	31.3		11.6	14.1			
5	UNP 100	2	19.6	21.4		12.9	16.7			
8	UNP 100	1.8	15.7	23.5		11.2	14.2			
10	UNP 100	2	15.7	36.5		9.0	10.7			
14	UNP 100	1.8	18.6	19.8		14.0	18.2			
17	UNP 100	1.8	14.7	24.8		10.3	13.0			
19	UNP 100	1.8	27.4	0.7		50.0	50.0			
21	UNP 100	2.5	22.5	37.8		10.2	12.2			
30	UNP 100	1.7	22.5	8.5		25.9	38.5			
4	UNP 120	1.9	19.6	26.3		12.8	16.0			
6	UNP 120	2	16.7	15.8		12.3	16.6			
7	UNP 120	2	16.7	22.8		10.8	13.8			
9	UNP 120	1.6	23.3	9.3		27.2	39.9			
11	UNP 120	1.8	23.5	2.8		50.0	50.0			
12	UNP 120	1.8	18.6	24.6		13.1	16.5			
13	UNP 120	1.6	23.5	9.8		26.7	38.8			
15	UNP 120	1.8	26.5	7.3		31.4	47.7			
16	UNP 120	1.8	25.5	9.1		26.8	39.4			
18	UNP 120	1.8	23	7.1		27.7	42.3			
20	UNP 120	1.8	25.5	6.5		32.4	50.0			
22	UNP 120	1.8	23.5	9.2		24.5	36.0			
23	UNP 120	1.8	24	9.2		25.0	36.8			
24	UNP 120	1.8	26.5	8.9		28.1	41.5			
25	UNP 120	1.8	25.5	8.9		27.1	40.0			
26	UNP 120	1.8	25.5	9.6		26.0	38.0			
27	UNP 120	1.8	25.5	9.7		25.9	37.7			
28	UNP 120	1.8	23.5	9.3		24.4	35.8			
29	UNP 120	1.8	23	8.5		25.0	37.2			

لازم به ذکر است در تعیین ظرفیت خاک برای پایه‌های مختلف از روش میانگین‌گیری ظرفیت ثبت شده برای مقاطع همسان استفاده شده است تا ظرفیت معادل خاک در سایت بدست آید.

• تست فشار پایه‌ها:

بر مبنای قضاوت مهندسی و واقعیت ساختگاه و رفتار خاک، میزان اصطکاک پایه با خاک در حالت فشاری و کششی مشابه است و لازم به ذکر است که خاک در حالت فشاری به علت درگیر شدن سر شمع با خاک، عملکرد بهتری دارد که از آن صرف‌نظر می‌شود. لذا با توجه به شرایط واقعی و بهبود رفتار خاک در حالت اعمال بار فشاری (ناشی از ترکیب عملکرد اصطکاکی و فشاری انتهای مقطع شمع) و هم حد بودن نیروهای نهایی کششی و فشاری، ظرفیت باربری خاک سایت پاسخگوی نیاز سازه و نیاز بهره‌برداری خواهد بود.

- تست جانبی پایه‌ها:

هدف اصلی از انجام تست جانبی پایه‌ها کالیبراسیون مدل رفتار خاک-شمع است. این تست در تعیین سختی جانبی اولیه خاک به کار می‌رود و عدد نهایی تست شده به معنای ظرفیت نهایی خاک نیست و ظرفیت نهایی خاک بسیار بالاتر از عدد اعلام شده خواهد بود. همچنین موضوع عدم خم‌شدگی پایه با انجام محاسبات دستی قابل کنترل است.

- ارجاع آئین‌نامه‌ای ضرایب اطمینان:

به هدف تعیین ضرایب اطمینان بین تقاضای نیرویی و مقاومت موجود در خاک، با توجه به طراحی سازه مطابق آئین‌نامه ASCE7.22 و اعمال ضرایب افزایشی به بارها توسط این آئین‌نامه، از ضریب اطمینان ارائه شده در استاندارد Eurocode 7-part1 استفاده می‌گردد. این روش طراحی مناسب پروژه‌های بزرگ مقیاس از جمله خورشیدی است. بر طبق این روش ضرایب افزایش بار و کاهش مقاومت به شرح زیر است:

A.3 Partial factors for uplift *limit state* (UPL) verifications

A.3.1 Partial factors on actions (γ_F)

Action	Symbol	Value
Permanent Unfavourable ¹	$\gamma_{G,dst}$	1,00
Favourable ²	$\gamma_{G,stb}$	0,90
Variable Unfavourable ¹	$\gamma_{Q,dst}$	1,50
¹ Destabilising, ² Stabilising		

بنابراین ضریب اطمینان ۱.۵ برای کنترل آپلیفت پیشنهاد شده است.

برای کنترل بار فشاری نیز به دلیل طراحی سازه مطابق آئین‌نامه ASCE7.22 و اعمال ضرایب افزایشی در طراحی مطابق آن، از روش طراحی دوم استفاده می‌گردد:

2.4.7.3.4.2 Design Approach 2

(1)P REQ It shall be verified that a limit state of rupture or excessive deformation will not occur with the following combination of sets of partial factors:

Combination: A1 "+" M1 "+" R2

A.2.1 Partial factors on actions (γ_F) or the effects of actions (γ_E)

Action		Symbol	Set	
			A1	A2
Permanent	Unfavourable	γ_G	1,35	1,0
	Favourable		1,0	1,0
Variable	Unfavourable	γ_Q	1,5	1,3
	Favourable		0	0

A.2.3.2 Pile foundations

A.2.3.2.1 Driven piles

Resistance	Symbol	Set			
		R1	R2	R3	R4
Base	γ_b	1,0	1,1	1,0	1,3
Shaft (compression)	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
Total/combined (compression)	γ_t	1,0	1,1	1,0	1,3
Shaft in tension	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

A.2.2 Partial factors for soil parameters(γ_M)

Soil parameter	Symbol	Set	
		M1	M2
Shearing resistance	γ_{φ}^1	1,0	1,25
Effective cohesion	γ_c	1,0	1,25
Undrained strength	γ_{cu}	1,0	1,4
Unconfined strength	γ_{qu}	1,0	1,4
Unit weight density	γ_{σ}	1,0	1,0
¹ This symbol is related to $\tan \varphi'$			

بنابراین ضریب اطمینان بار فشاری برابر است با ۱.۱:

$$FS_C = A_1 * M_1 * R_2 = 1 * 1 * 1.1 = 1.1$$

مسیر انتقال بار در سازه خورشیدی در شرایط کشش پایه‌ها که در نتیجه اعمال بار باد در جهت شمال به جنوب اتفاق می‌افتد، بار باد به سطح پیل وارد شده و پس از آن از پیل به پرلین‌ها و سپس به بیم‌ها وارد می‌شود. از آنجا که بیم‌ها در طول میز به ۱۵ پایه متصل هستند، مجموع رفتار این پایه‌ها نیز باید در نظر گرفته شود. لذا در تحلیل نتایج علاوه بر آن که به شکل محلی به هر پایه توجه می‌گردد، به رفتار کلی میز نیز باید توجه نمود. نیروی کششی وارد بر تک پایه در مدل ارائه شده ۲۱ کیلونیوتن و میانگین نیروی کششی همان پایه‌های شمالی برابر ۱۸.۷ کیلونیوتن (در همان ترکیب بار بحرانی) است.

بنابراین با جمع‌بندی نیروها و در نظر گرفتن ظرفیت خاک و در نظر گرفتن عمق کوبش ۱.۸ متری برای ناودانی ۱۲۰ و ۱.۴ متری برای C120، ضرایب اطمینان استفاده از پایه مورد طراحی به شرح جداول ۳ تا ۶ است:

جدول ۳. مقایسه ظرفیت خاک و نیروهای سازه در کنترل تغییرمکان میز

موقعیت پایه	مقطع پایه	نیروی طراحی کششی متوسط	ظرفیت کششی خاک در $\delta = 1\text{cm}$	ضریب اطمینان	نیروی طراحی فشاری متوسط	ظرفیت فشاری خاک در $\delta = 1\text{cm}$	ضریب اطمینان
شمالی	UNP 120	11 kN	23 kN	>2	12.0 kN	>23 kN	>1.5
جنوبی	UNP 100	0.2 kN	15 kN	>2	4.1 kN	>15 kN	>1.5

جدول ۴. مقایسه ظرفیت خاک و نیروهای سازه در کنترل تغییرمکان تک پایه

موقعیت پایه	مقطع پایه	نیروی طراحی کششی متوسط	ظرفیت کششی خاک در $\delta = 1\text{cm}$	ضریب اطمینان	نیروی طراحی فشاری متوسط	ظرفیت فشاری خاک در $\delta = 1\text{cm}$	ضریب اطمینان
شمالی	UNP 120	12.5 kN	23 kN	>2	13.6 kN	>23 kN	>1.5
جنوبی	UNP 100	0.۲ kN	15 kN	>2	4.1 kN	>15 kN	>1.5

جدول ۵. مقایسه ظرفیت خاک و نیروهای سازه در کنترل نیرویی میز

موقعیت پایه	مقطع پایه	نیروی طراحی کششی حداکثر	ظرفیت کششی خاک در $\delta = 1.9\text{cm}$	ضریب اطمینان	نیروی طراحی فشاری حداکثر	ظرفیت فشاری خاک در $\delta = 1.9\text{cm}$	ضریب اطمینان
شمالی	UNP 120	18.4 kN	31.1 kN	1.7	20.0 kN	>31.1 kN	>1.55
جنوبی	UNP 100	0.4 kN	20 kN	>2	6.8 kN	>20 kN	>2

جدول ۶. مقایسه ظرفیت خاک و نیروهای سازه در کنترل نیرویی تک پایه

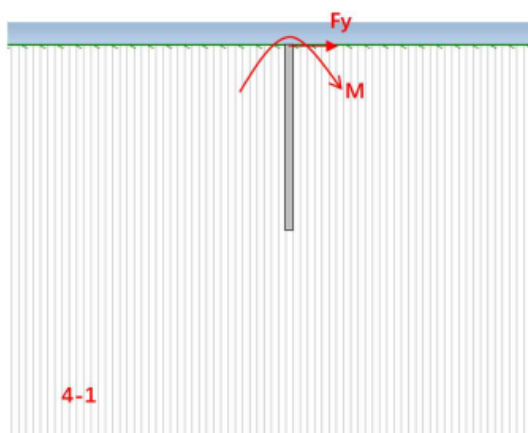
موقعیت پایه	مقطع پایه	نیروی طراحی کششی حداکثر	ظرفیت کششی خاک در $\delta = 1.9\text{cm}$	ضریب اطمینان	نیروی طراحی فشاری حداکثر	ظرفیت فشاری خاک در $\delta = 1.9\text{cm}$	ضریب اطمینان
شمالی	UNP 120	20.9 kN	31.1 kN	1.49	22.6 kN	>31.1 kN	>1.۳۸
جنوبی	UNP 100	0.4 kN	20 kN	>2	7.8 kN	>20 kN	>۱/۵

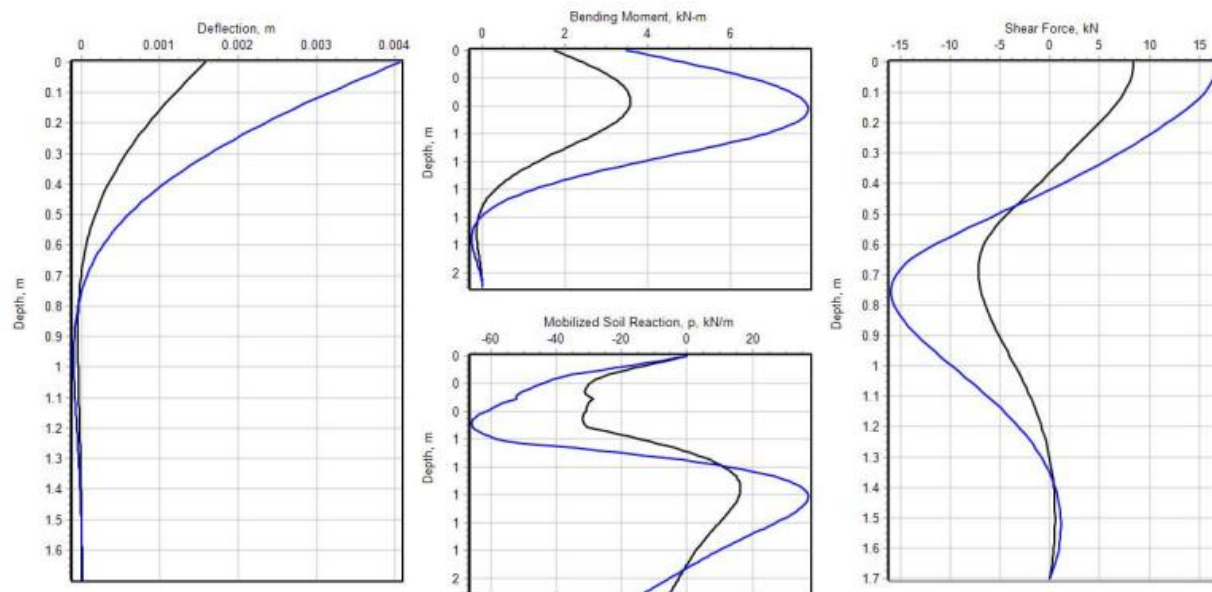
با توجه به نیروی کششی و فشاری ایجاد شده در پایه‌های جنوبی، پایه مورد استفاده ناودانی سایز ۱۰۰ با عمق کوبش ۱.۱ متر در نظر گرفته شده است. اعداد ظرفیتی لحاظ شده در جداول ۳ تا ۶ با فرض عمق کوبش ۱.۸ متری است و با تبدیل آن به عمق کوبش ۱.۱ متر، ظرفیت خاک ۴۰٪ کاهش می‌یابد که به این ترتیب ظرفیت فشاری و کششی خاک برابر ۹ و ۱۲ کیلونیوتن می‌گردد. در این حالت ضرایب اطمینان برابر با بیش از ۲ برای آپلیفت و بیش از ۱.۵ برای فشار است و خاک پاسخگوی نیروهای موجود خواهد بود. لذا پایه جنوبی ناودانی سایز ۱۰۰ با عمق کوبش ۱.۱ متر در نظر گرفته شده است. همچنین پایه شمالی مطابق جدول ۲، ناودانی سایز ۱۲۰ با عمق کوبش ۱.۸ متر لحاظ شده است.

۲. بررسی اندرکنش نیروها

با توجه به فایل ارسالی در پیوست، محاسبات مقایسه در نظر گرفتن و عدم در نظر گرفتن اثر همزمانی نیروها ارائه شده است. همانگونه که در فایل مورد نظر قابل مشاهده است، اثر این همزمانی قابل چشم‌پوشی بوده و تاثیر چندانی بر عملکرد نهایی و مورد نیاز از سازه و خاک نخواهد داشت. در خصوص نحوه مقایسه در این فایل، توضیحات زیر ارائه می‌گردد:

در ابتدا یک نمونه مبنا بدون در نظر گرفتن نیروی محوری مدلسازی گردیده است. در این مدلسازی ترکیب نیروی جانبی و لنگر اعمالی به شمع بررسی شده و نتایج بیرون آمدگی پایه و توزیع نیروها در عمق خاک مورد بررسی قرار گرفته است:

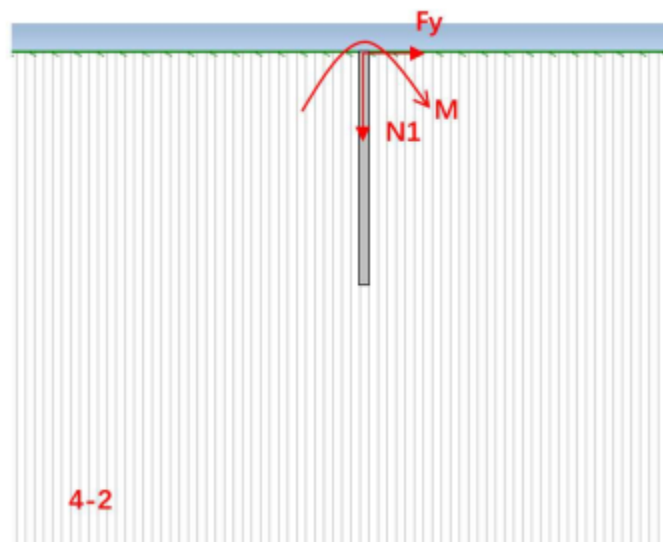




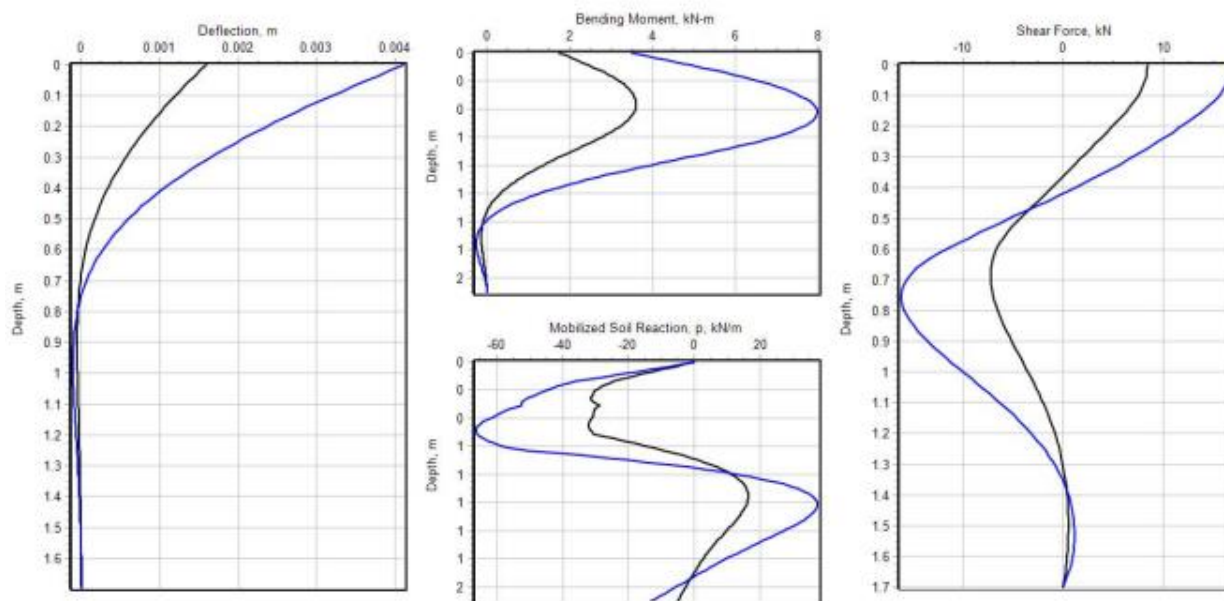
C120*70*20*4.0- (P01-P11)-1.7m-4.06mm

Figure 4-1: Pile foundation mechanical feedback diagram for ramming piles (corresponding to 4-1)

در حالت اول و با نیروهای پیش فرض مدلسازی، بلندشدگی حداکثر معادل ۴۰۶ میلی‌متر ثبت شده است.
در حالت دوم علاوه بر نیروهای قبلی، نیروی فشاری ۲ تن به پایه اعمال شده است و نتایج آن به صورت زیر است:



4-2

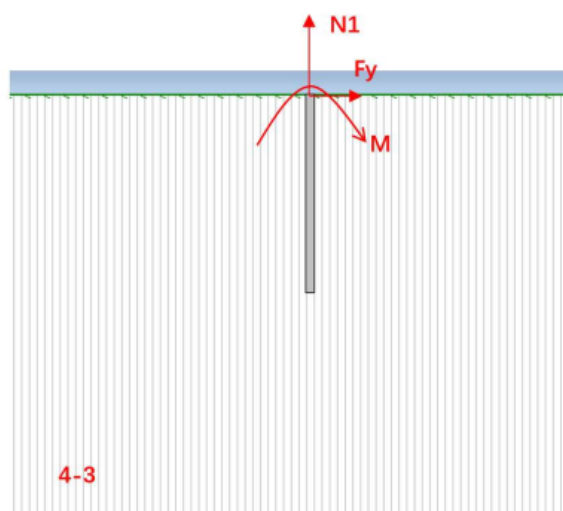


C120*70*20*4.0- (P01-P11)-1.7m-4.02mm

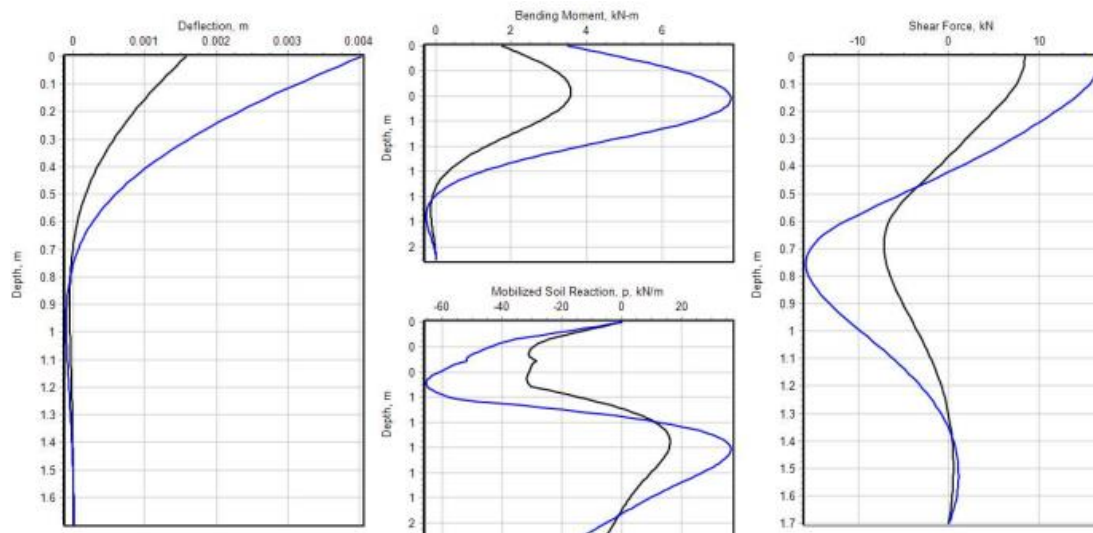
Figure 4-2: Pile foundation mechanical feedback diagram for ramming piles (corresponding to 4-2)

در حالت دوم و با نیروهای پیش فرض مدلسازی، بلندشدگی حداکثر معادل ۴.۰۲ میلی‌متر ثبت شده است.

در حالت سوم علاوه بر نیروهای قبلی، نیروی فشاری ۲ تن به پایه اعمال شده است و نتایج آن به صورت زیر است:



4-3



C120*70*20*4.0- (P01-P11)-1.7m-4.10mm

Figure 4-3: Pile foundation mechanical feedback diagram for ramming piles (corresponding to 4-3)

در حالت سوم و با نیروهای پیش فرض مدلسازی، بلندشدگی حداکثر معادل ۴.۱۰ میلی متر ثبت شده است.

جدول ۷. مقایسه حالت‌های اندرکنش بارگذاری پایه کوبشی

حالت	میزان بلندشدگی پایه	میزان تغییرات
۱	4.06 mm	۰٪
2	4.02 mm	-۱٪
3	4.10 mm	+۱٪

لذا تغییر بلندشدگی پایه با در نظر گرفتن اثر همزمانی بارگذاری جانبی و بدون آن همزمان با نیروی محوری در حدود ۱٪ است و قابل چشم پوشی خواهد بود.

۳. ارائه طرح جایگزین برای نواحی دارای لایه سخت

برای پیش‌بینی شرایط نواحی مورد اشاره، طرح بتنی جایگزین در نظر گرفته می‌شود. در این نواحی با توجه به میزان عمق کوبش صورت گرفته برای پایه‌ها و دسته‌بندی شرایط موجود، از عملکرد ترکیبی کوبش و تقویت بتنی استفاده می‌گردد. بر این اساس برای پایه‌های شمالی با عمق کوبش کمتر از ۱ متر، تیپ تقویت بتنی طرح ۱ و برای پایه‌های با عمق کوبش بین ۱ تا ۱.۶ متر تیپ تقویت بتنی طرح ۲ لحاظ می‌گردد و برای پایه‌های با عمق کوبش با عمق بیشتر از ۱.۶ متر بسته به زمان کوبش آن پایه تصمیم‌گیری می‌گردد. تیپ طرح تقویت بتنی‌های مطرح شده به شرح جدول ۸ است:

جدول ۸. طرح تقویت بتنی پایه‌های با مشکل کوبش

طرح تقویت بتنی	موقعیت پایه	نوع فونداسیون	ابعاد فونداسیون (سانتی‌متر)	نیروی آپلیفت تک پایه	سهم پایه‌کوبی	نیروی آپلیفت فونداسیون	ضریب اطمینان
۱	شمالی	نواری	3600x75x60	18.7 kN	0%	261.8 kN	۱/۵
۲	شمالی	گلدانی	100x100x60	21.2 kN	50%	1.06 kN	۱/۵

۴. کنترل اجرایی حین کوبش

در خصوص کنترل‌های حین اجرا، چک لیست‌های نظارتی در حین هرگونه عملیات در سایت تهیه و تکمیل خواهد شد و مبنای بازرسی خواهد بود. در خصوص پایه‌کوبی نیز چک لیست مربوطه به کارفرمای محترم ارائه خواهد گردید که در آن رواداری‌های اجرایی از جمله خطای راستایی، انحراف از راستای قائم، پیچش پایه و ... مطرح می‌گردد. همچنین جهت اصلاح خطای پایه‌های دارای پیچش و یا دارای انحراف از راستای قائم، تمهیدات لازم جهت اصلاح این خطا در تاپ فریم اندیشیده می‌شود. چنانچه پایه‌ای دارای خطای بیش از حد باشد و امکان اصلاح آن در تاپ فریم مقدور نباشد و از رواداری‌های اندیشیده شده در تاپ فریم فراتر رود، از خاک بیرون کشیده شده و به صورت بتنی اجرا می‌گردد.

۵. اصلاح مشخصات متریال

در خصوص اختلاف متریال مورد تست در پایه‌کوبی و فایل مدلسازی به استحضار کارفرمای محترم می‌رساند که متریال مورد استفاده در مدلسازی از لحاظ مقاومتی و رفتاری مشابه با نمونه ورق مورد تست در سایت بوده و در نتایج تست پول اوت تأثیری ندارد چرا که تست کشش وابسته به اصطکاک میان پایه کوبشی و خاک است و به زبری مقطع ارتباط دارد و گرید فولاد در آن تأثیرگذار نیست. هرچند با استفاده از مقاطع ناودانی، این موضوع به طور کامل در مدارک جدید مرتفع گردیده است.

در نهایت با عنایت به نظر کارفرمای محترم، در مدارک ارسالی سازه نام‌گذاری و مشخصات متریال همسان‌سازی گردید و در مدارک تکمیلی قابل مشاهده است.