شمع های بتنی پیش تنیده سانتریفوژ

میثم پارسا[1]، علی سلیقه زاده[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات خوزستان

۲- عضو هیأت علمی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر

a_salighehzadeh@yahoo.com

خلاصه

مزایای شمع های بتنی پیش تنیده سانتریفوژ، از جمله مقاومت فشاری بالا، مقاومت پیچشی مناسب، طولهای زیاد قابل اجرا، هزینه های تمام شده کمتر و . . . باعث شده است تا امروزه بسیار مورد توجه واقع شوند. هم اکنون بیش از ده سال از کاربرد شمع های بتنی سانتریفوژ در کشور می گذرد، اما هنوز هم جز در پروژه های خاص و توسط کارفرمایان ویژه، از اینگونه شمع ها استفاده نمی شود و هنوز هم شمع های بتنی پیش تنیده سانتریفوژ تا حدود زیادی ناشناخته هستند. لذا این مقاله سعی دارد با توجه به تجربیات بدست آمده در زمینه تهیه، حمل و کوبش این نوع شمع ها در پروژه های اجرا شده مختلف، از جمله پروژه احداث اسکله ۱۵۰ هزار تنی بندر امام خمینی (ره)، پروژه طرح ساماندهی بندر صادراتی ماهشهر و پروژه احداث واحد آب پتروشیمی فجر ۲ و پروژه احداث کارخانه تصفیه روغن در بندر امام خمینی (ره)، ضمن معرفی آنها و بیان تجربیات اجرایی، این نوع شمع را به عنوان گزینه ای مناسب در دریا و خشکی پیشنهاد نماید.

کلمات کلیدی: شمع، شمع بتنی سانتریفوژ ، پیش تنیده، PHC

۱. مقدمه

در طراحی و اجرای سازه های مختلف، پایداری و استحکام سازه بر روی بستر خاکی از اهمیت بسزایی برخوردار است. برای این منظور با توجه به وضعیت بستر، سیستمهای مختلفی برای پی سازه به کار برده می شود و از انواع مختلف پی های عمیق و سطحی کمک گرفته می شود. به این ترتیب در مناطقی که ظرفیت باربری زمین برای استفاده از پی های سطحی مناسب نباشد، جهت انتقال وزن سازه و بارهای وارده، به لایه های سخت زمین، شمع ها مورد استفاده قرار می گیرند. شمع ها اعضای سازه ای از جنس چوب، بتن مسلح یا فولاد می باشند که با توجه به شرایط، باربری را از طریق عکس العمل جداره و عکس العمل کف انجام می دهند و نیروهای جانبی، کششی و یا برکنش را نیز تحمل می نمایند [۱].

در سازه های دریایی با توجه به شرایط خاص محیطی و نیز بستر دریا، استفاده از شمعها بهترین گزینه می باشد و امروزه استفاده از شمع های فولادی و بتنی مسلح، با توجه به فراوانی مصالح تشکیل دهنده و ظرفیت باربری آنها متداول می باشد. در این سازه ها با توجه به اینکه شمعها در تماس مستقیم و مداوم با آب دریا قرار دارند، باید در برابر عوامل تهدید کننده دوام و پایداری نیز مقاوم باشند. شمعهای بتنی در این گونه سازه ها به دلیل ارزانتر بودن مصالح تشکیل دهنده، نسبت به شمعهای فولادی اقتصادی تر هستند. همچنین این شمعها به دلیل عدم نیاز به روشهایی مانند حفاظت کاتدیک، افزایش ضخامت پوسته و یا استفاده از رنگها و سایر پوششهای ضد زنگ که جهت محافظت از شمعهای فلزی در مقابل عوامل خورنده به کار می روند کم هزینه ترهستند. علاوه بر این استفاده از انواع شمع های بتنی با توجه به نیاز و شرایط باربری، در خشکی نیز بسیار متداول است [۲].

در این میان با توجه به مزایای مختلف شمع های بتنی پیش تنیده سانتریفوژ (Pretensioned spun High strength Concrete piles)، این شمع ها می توانند گزینه مناسبی جهت استفاده بیشتر در دریا و خشکی باشند. اولین بار این شمعها که به اختصار شمع های سانتریفوژ خوانده می شوند، در کشور ژاپن تولید و استفاده شدند. استفاده از این شمع ها که بصورت بتنی پیشتنیده ساخته می شوند با استقبال روبرو شده و پس از آن در سایر کشورها نظیر مالزی نیز مورد توجه قرار گرفته و تولید می شوند [۳].

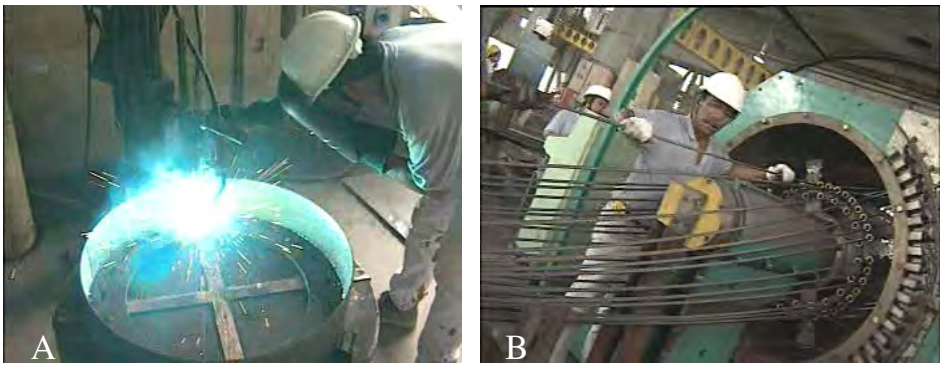
اگرچه قبلاً در کشور از این نوع شمعها استفاده شده است، لیکن هم اکنون جز در پروژه های خاص و توسط کارفرمایان ویژه از اینگونه شمع ها استفاده نمی شود. لذا این مقاله سعی دارد تا با معرفی این شمعها و بیان تجربیات اجرایی استفاده از آنها در پروژه های مخلف از جمله پروژه احداث

اسکله ۱۵۰ هزار تنی بندر امام خمینی (ره)، پروژه طرح ساماندهی بندر صادراتی ماهشهر، پروژه احداث واحد آب پتروشیمی فجر ۲ و پروژه احداث کارخانه تصفیه روغن در بندر امام خمینی (ره)، اینگونه شمع ها را بعنوان گزینه ای مناسب و کارا در استفاده در پروژه های مختلف خشکی و دریا معرفی و پیشنهاد نماید.

۲. فرایند تولید شمع های سانتریفوژ

شمع های بتنی سانتریفوژ پس از طراحی مطابق با استانداردهای موجود (BS8004:1986 ، BS8110:1997 ، ACI543R-74(80) و BS8004) به صورت پیش ساخته در کارخانه در کلاس های مختلف ساخته می شوند و آماده حمل به محل پروژه می گردند [۴]. مراحل تولید این شمع ها در ذیل بطور مختصر شرح داده می شود:

ساخت صفحات انتهایی: این صفحات به تعداد کابلهای پیش تنیدگی سوراخکاری می شوند. درکنار هر سوراخ، سوراخ دیگری بحالت خزینه شده تعبیه می گردد تا انتهای کابل پیش تنیدگی که تحت فشار و حرارت بحالت نیمه ذوب شده درمی آید، درمحل خزینه قرارگیرد و با پشت صفحه همباد گردیده و امکان عبور از سوراخ دوم را نداشته باشد. به این ترتیب همانند سیستم گیره و گوه درسیستم پیش تنیدگی، گیرداری مناسبی درانتهای کابل ایجاد می گردد. عملکرد سیستم ایجاد شده به این شکل است که سوراخ اول رزوه شده آماده است، تا امکان پیچ نمودن صفحه نگهدارنده کابل ها را جهت ممانعت از حرکت طولی کابلها درحین تولید، فراهم آورده و همچنین امکان ایجاد نیروی پیش تنیدگی را بدلیل گیرداری کابل ها درسوراخ خزینه فراهم سازد. نصب حلقه انتهایی شمع ها به صفحه انتهایی با دستگاه جوش Co_2 انجام می شود. بعد از ساخت قطعات فلزی انتهایی، تعدادی از کابل های پیش تنیدگی که به طول حدود ۱/۵ متر بریده شده اند، به صفحه جوش می شوند و باعث افزایش مقاومت قطعه درطرفین شمع می گردند. زیرا این نقاط درمعرض کوبش و تمرکز نیروی پیش تنیدگی قراردارند. درکارهای پیش تنیده متعارف این قسمت به نام بلوک انتهایی قطعه معرفی می گردد. شکل ۱ این مراحل را نشان می دهد.



شکل ۱. کابل های پیش تنیدگی (B) و ساخت صفحات انتهایی (A) [۵]

ساخت قفس داخلی شمع: پس از چیدن کابلها و آرماتورهای طولی بر روی محیط دایره ای شکل درون دستگاه، میلگردهای مارپیچ در حلقه های کلاف توسط دستگاه مخصوصی، باز، صاف و زنگ زدایی می شوند و مجدداً دور قرقره هایی جهت انجام جوش اتوماتیک به کابل ها و آرماتورهای طولی پیچیده می شوند. روش ساخت به این صورت است که از یک طرف ورق انتهایی به گیره ای وصل می شود و با حرکت گیره روی ریل به عقب رانده می شود و همزمان آرماتورهای مارپیچ به دور قفس گردانده شده و جوش می شوند. فاصله گام مارپیچها با تغییر سرعت حرکت قفس به صورت اتوماتیک قابل تنظیم است.

عملیات قالب بندی و بتن ریزی: پس از آماده شدن قفس شمع، آن را داخل نیمه قالب که مقطع آن نیم دایره است قرار داده و پس از بتن ریزی به صورت یکنواخت در طول شمع، قسمت دیگر قالب روی آن قرار گرفته، پیچ های قالب محکم شده و قالب به شکل استوانه یکپارچه با درزبندی مناسب قرار می گیرد. این مراحل در شکل ۲ نشان داده شده است.

اعمال نیروی پیش تنیدگی: پس از قالب، کلاهک هایی به ابتدا و انتهای شمع بسته می شوند که این کلاهک ها قادر به انتقال نیروی کششی پیش تنیدگی به صفحات انتهایی شمع، کابلهای پیش تنیدگی و قالب ها هستند. پس از اعمال نیروی پیش تنیدگی و پس از سفت کردن مهره انتهای کلاهک، نیرو درمقطع باقیمانده و جکهای پیش تنیدگی آزاد می شوند.

شکل ۲. جوشکاری مارپیچ ها (C)، نصب کلاهک ها (B) و بتن ریزی شمع (A) [۶] و [۷]

ایجاد شرایط گریز از مرکز: دراین مرحله قالب و بتن درون آن، روی غلتک های دستگاه گرداننده قرار می گیرند. این دستگاه شامل دو محور طولی است که یک محور آن دارای غلتک های هرزه گرد و سمت دیگر دارای غلتکهای محرک می باشد که در طی مراحل مختلف گردانده می شود. این عمل باعث می شود تا بتن داخل شمع دراثر نیروی گریز از مرکز به جدار خارجی قالب چسبیده و آب اضافی آن خارج شود. قالب درداخل مقطع خالی استوانه، روی جدار داخلی شمع قرار می گیرد. این روش باعث تراکم مناسب بتن و کاهش نسبت آب به سیمان و افزایش مقاومت آن می گردد.

عمل آوری با بخار تحت فشار: در این مرحله قالب ها به مدت ۲۴ ساعت، تحت بخار نگه داشته می شوند تا عمل آوری تکمیل گردد. با پایان یافتن مدت عمل آوری، قالب ها از محل عمل آوری خارج شده و پس از آزاد سازی نیروی پیش تنیدگی و بازکردن کلاهک های انتهای قالب، شمع را باز کرده و با دستگاه جرثقیل سقفی مکنده، به محل انبار انتقال می دهند [۴].

شکل ۳. اعمال نیروی پیش تنیدگی(B) و اعمال نیروی گریز از مرکز(A)

۳. خصوصیات ویژه شمع های بتنی سانتریفوژ

در سال های اخیر، با استفاده بیشتر از شمع های بتنی سانتریفوژ، قابلیت های ویژه آنها بیشتر شناخته شده و موجب روی آوردن و استفاده بیشتر از این نوع شمعها گردیده است. ساخت صنعتی این شمع ها، بوسیله ماشین آلات خودکار و نیمه خودکار و وجود کنترل بسیار زیاد بر روی کیفیت بتن، وجود کابل های پیش تنیدگی و ورق های فولادی مورد استفاده در دو سر شمع، موجب گردیده است که شمع های بتنی سانتریفوژ با کیفیت مناسب و مقاومت بسیار بالا در برابر عوامل آسیب رسان محیطی ساخته شوند. بتن مورد استفاده در این نوع شمع ها با عیار سیمان بالا بوده و استفاده از سنگدانه های گرانیتی و نسبت آب به سیمان پایین، که ناشی از شرایط گریز از مرکز در قالب و خارج شدن آب اضافی می باشد و نیز عمل آوری آنها که در دیگ های بخار تحت فشار صورت می گیرد، مقاومت فشاری بسیار بالایی را به این نوع شمع ها داده است. علاوه بر این، شرایط گفته شده در بالا، میزان نفوذ پذیری شمع را به حداقل رسانده و در نتیجه شمع در برابر عوامل خورنده از جمله یون های کلرید و سولفات پایایی بیشتری خواهد داشت.

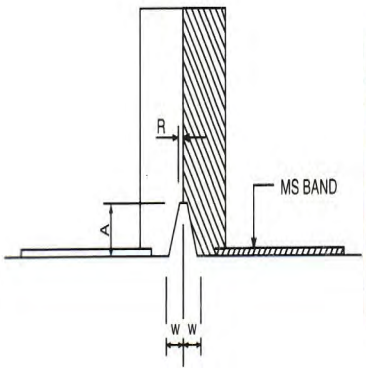
شمع های بتنی سانتریفوژ را با توجه به پیش تنیده بودن می توان با طولهای زیاد تولید نمود و رکورد بلندترین شمع کوبشی ساخته شده با طول ۴۶ متر نیز مربوط به همین نوع شمع می باشد که توسط شرکت سپکو در مالزی تولید شده است [۵] و [۸]. در جدول ۱. نمونه ای از مشخصات فنی این شمع ها آمده است.

جدول ۱. نمونه ای از مشخصات فنی کلاس های مختلف شمع های بتنی سانتریفوژ [۵]

Nominal Diameter	Class	Nominal Thickness	Length	Nominal Weight	P.C Bar			Area of Concrete	Section Modulus	Bending Moment		Recommended Max. Axial Working Load (For a short strut)		Effective Prestress
					7.1mm	9.0mm	10.7mm			Cracking	Ultimate	PC Pile Tonne	PHC Pile Tonne	
mm		mm	m	kg/m	no.	no.	no.	mm^2	$x1000mm^3$	t-m	t-m			N/mm^2
250	A	55	6-12	88	6	-	-	33,694	1,435	1.87	2.96	46	62	6.3
300	A	60	6-15	118	8	-	-	45,239	2,394	3.12	4.73	62	84	6.3
350	A	70	6-16	160	-	6	-	61,575	3,786	4.68	6.62	85	115	5.7
400	A B C	80	6-20	209	-	8 10 12	- - or 8	80,425	5,655 5,701 5,730	7.05 7.79 8.23	10.09 12.62 14.19	111 109 107	150 147 145	5.8 6.9 7.6
450	A B C	80	6-20	242	-	8 10 12	- - -	92,991	7,624 7,679 7,734	8.97 9.88 10.73	11.36 14.19 17.03	130 128 125	174 172 169	5.1 6.1 7.2
500	A B C	90	6-24	301	-	10 12 15	- - or 10	115,925	10,518 10,579 10,641	12.37 13.49 14.69	15.77 18.93 22.18	162 159 156	217 214 211	5.1 6.0 7.1
600	A B C	100	6-30	408	-	14 - -	- 12 14	157,080	17,546 17,646 17,761	20.94 22.70 24.52	26.50 31.94 37.26	219 216 212	293 289 286	5.2 6.2 7.1
700	A B C	110	6-46	530	-	20 - -	- 16 20	203,889	27,131 27,244 27,498	33.63 35.42 39.25	44.16 49.68 62.10	282 279 273	378 375 369	5.7 6.3 7.5
800	A B C	120	10-46	667		24 - -	- 20 24	256,354	33,455 39,672 39,966	48.00 51.46 55.94	60.56 70.97 85.16	356 351 345	477 472 465	5.5 6.3 7.3
900	A B C	130	10-44	818	-	28 - -	- 24 28	314,473	54,942 55,285 55,622	65.54 71.07 76.76	79.49 95.81 111.78	439 432 424	587 580 572	5.2 6.1 7.1
1000	A B C	140	10-40	983	-	- - -	24 32 36	378,248	74,056 74,811 75,188	88.42 100.35 105.97	106.45 141.94 159.68	528 514 507	707 692 685	5.2 6.7 7.4

همچنین لازم به ذکر است که شمع های سانتریفوژ ضمن دارا بودن مقاومت بالا، به نسبت شمع های معمولی بتنی، از وزن واحد طول کمتری برخوردار هستند و این موضوع حمل و نقل و اسقرار آنها جهت کوبش را نیز آسان تر کرده است. ضمن اینکه با محاسبات انجام گرفته در کارخانه، محل هایی با نوار قرمز رنگ جهت بستن کابل در آن قسمت و بلند کردن شمع به نحوی که آسیبی در اثر وزن به شمع وارد نیاید مشخص شده است. پس از کوبش این نوع شمع، به راحتی می توان از طریق جوش دادن حلقه های انتهایی، شمع دیگری را به آن اضافه نموده و عملیات کوبش را ادامه داد. در جدول ۲ ابعاد جوش مورد نیاز با توجه به مشخصات شمع آورده شده است.

جدول ۲. ابعاد جوش شیاری صفحات انتهایی [۵]



Dia Of Pile D	Throat Thickness A	W	Root R
mm	mm	mm	mm
250	8.5	4.0	1.5
300	8.5	4.0	1.5
350	8.5	4.0	1.5
400	10	4.5	1.5
450	10	4.5	1.5
500	12	5.0	1.5
600	12	5.0	1.5
700	12	5.0	1.5
800	14	6.0	2.0
900	14	6.0	2.0
1000	14	6.0	2.0

۴. روش بهینه اجرا و نکات بدست آمده از تجربیات اجرایی

با توجه به تجربیات اجرایی بدست آمده در پروژه های مخلف در حاشیه خور موسی و منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی ماهشهر، از جمله پروژه احداث اسکله ۱۵۰ هزار تنی بندر امام خمینی (ره)، پروژه طرح ساماندهی بندر صادراتی ماهشهر، پروژه احداث واحد آب پتروشیمی فجر ۲ و پروژه احداث کارخانه تصفیه روغن در بندر امام خمینی (ره)، به نکات و تجربیات اجرایی زیر جهت به کارگیری در پروژه های آتی اشاره می گردد:

تجهیزات مورد نیاز: بر روی دریا جهت کوبش هر نوع شمع تجهیزاتی از قبیل جرثقیل بوم خشک، بارج با تناژ بالا و یدک کش مورد نیاز می باشد. این موارد در خشکی می تواند شامل دستگاه شمع کوب و جرثقیل باشد. در استفاده در دریا جرثقیل می بایست بر روی بارج مستقر گردیده و عملیات استقرار شمع، قرار دادن چکش بر روی شمع و کوبش را انجام دهد. در انتخاب جرثقیل می توان به معیارهایی از جمله وزن جرثقیل، طول بوم، ظرفیت و ابعاد آن اشاره کرد.

نصب شابلون: جهت جلوگیری از جابجایی شمع ها مطابق شکل ۴ در ابتدا می بایست شابلون مناسبی تهیه گردیده و در محل دقیق کوبش شمع که بوسیله دوربین نقشه برداری تعیین می شود ثابت گردد. می توان جهت ثابت نمودن شابلون از دو لوله استفاده کرد. این لوله ها به هر وسیله از جمله چکش ویبراتور، به فاصله ای به اندازه عرض شابلون از یکدیگر، در بستر فرو می شوند. شابلون بین این دو لوله جوش داده شده و ثابت می گردد.

شکل ٤. شابلون های اجرا شده (B) و عملیات شابلون گذاری (A) [۸]

نصب ورق محافظ بالشتک چوبی و کفشک شمع: در هنگام کوبش، جهت جلوگیری از وارد شدن مستقیم ضربه چکش به شمع و ممانعت از خرد شدن بتن سر شمع و آسسیب دیدن آن، قبل از آغاز کوبش، ضربه گیری چوبی بر روی شمع قرار داده می شود. جهت جلوگیری از فرو رفتن ضربه گیر در قسمت باز شمع، که ممکن است در اثر ضربه چکش اتفاق بیفتد، ورقی فولادی به اندازه قطر بیرونی شمع تهیه شده و بر روی حلقه ابتدای شمع جوش داده می شود. با توجه به شرایط ژئوتکنیکی بستر دریا، می توان شمع بتنی سانتریفوژ را به صورت ته باز یا ته بسته کوبید. جهت هر یک از این

روشها کفشکهایی طراحی گردیده و در نوک شمع به حلقه های فلزی متصل می گردد که در شکل ۵ آورده شده است. این کفشک ها عمل فرو رفت شمع را تسهیل می نماید و از آسیب دیدن شمع جلوگیری بعمل می آورد.

شکل ٦. ضربه گیر چوبی یا Cushion (B) و کفشک ته بسته (A) [۹]

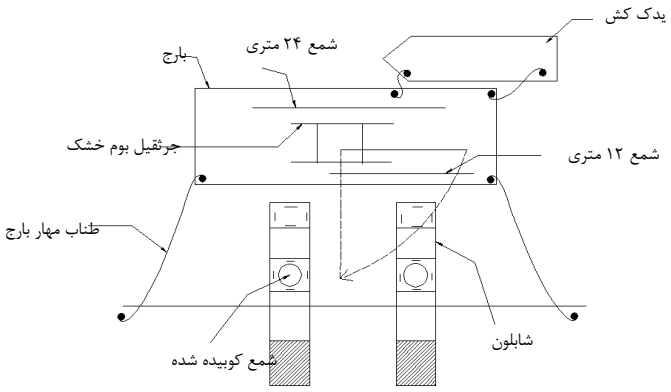
استقرار شمع: شمع بوسیله جرثقیل برداشته شده و درون شابلون قرار می گیرد و آرام آرام پایین برده می شود. معمولاً با رسیدن شمع به بستر دریا مقداری نفوذ در اثر وزن شمع صورت می گیرد که اصطلاحاً نفوذ استاتیکی نامیده می شود. در شکل ۷، پلان جانمایی تجهیزات لازم جهت استقرار شمع آورده شده است. همچنین لازم به ذکر است که برای علم کردن و استقرار شمع در محل کوبش مراحل زیر به ترتیب اجرا می گردند:

۱ – بستن بکسل بدور شمع در محلهای مشخص شده با نوار قرمز رنگ

۲ – مشخص نمودن شابلون مورد نظر برای راننده جرثقیل

۳ – بلند کردن شمع و قراردادن در شابلون

۴ – شاقول کردن شمع حین قراردادن در شابلون با تنظیم نئوپرن های قرار داده شده در چهار طرف شابلون



شکل ۷. پلان جانمایی تجهیزات جهت استقرار شمع [۹]

کوبش شمع: چکش بوسیله جرثقیل براشته شده و بر روی شمع قرار می گیرد. در این مرحله نیز در اثر وزن چکش، شمع مقداری دیگر در بستر نفوذ می کند. عملیات کوبش می بایست با کمترین انرژی چکش آغاز شده و به مرور با پایین آمدن نرخ نفوذ (میزان نفوذ با واحد میلیمتر در هر ضربه)، انرژی چکش تا دستیابی به نرخ نفوذ مطلوب در بالاترین انرژی بالا برده شود. با توجه به محاسبات انجام شده در خصوص این نوع شمع، وزن چکش می بایست در حدود نصف وزن شمع بوده و میزان حداکثر تنش باید به طور تقریبی معادل ۸ تا ۱۰ برابر سرعت چکش در زمان ضربه باشد و نیز ارتفاع سقوط چکش نیز باید ۱/۲ متر باشد [۵].

نکات قابل توجه در هنگام جابجایی و عملیات کوبش: ۱) مراقبت در بستن صحیح بکسل ها، ۲) مراقبت در بلند کردن شمع ها، ۳) انتخاب کارگر ماهر در همه موارد از قبیل بستن بکسل، بلند کردن شمع و علم کردن شمع در شابلون، ۴) استفاده از نئوپرن مناسب جهت رعایت فاصله شمع تا

شابلون و زخمی نشدن بدنه شمع ها، ۵) استفاده از ضربه گیر مناسب تا سر شمع لهیده و یا شکسته نشود، ۶) تنظیم درست انرژی کوبش چکش در مراحل مختلف کوبش تا باعث شکستگی و ترک شمع نگردد، ۷) هماهنگی کامل عواملِ در جریانِ اجرای کارهای اجرایی.

شاقول بودن شمع ها: این موضوع از اهمیت ویژه ای برخوردار است، چراکه در صورت عدم دقت در این زمینه، ضربه های چکش با وارد آوردن تنش های اضافی به شمع ممکن است باعث له شدگی سرشمع و نیز ایجاد ترک در بدنه شمع و در نتیجه پایین آمدن ظرفیت باربری و پایایی آن گردد. لذا عمود بودن شمع می بایست توسط دو دوربین نقشه برداری کنترل شود، بگونه ای که دو دوربین نسبت به شمع تقریباً در راستای عمود بر همدیگر مستقر شوند. در واقع زمانی که شمع در دید هر دو دوربین، بصورت عمود و موازی با تار عمودی دوربین دیده شود، شمع عمود می باشد.

پایش های لازم در هنگام کوبش: در هنگام کوبش تعداد ضربات در فواصل معین فرو رفت، نرخ نفوذ، کد بستر، پلان جانمایی شمع و مشخصات لازم می بایست در فرمی معروف به فرم صورتمجلس رکورد شمعکوبی، توسط تکنسین مربوطه ثبت گردد. به منظور ثبت نرخ نفوذ هنگام کوبش شمع ها، بهتر است روی هر شمع توسط رنگ با فواصل ۱۰ سانتی متری مدرج گردد، تا عملاً میزان نفوذ شمع در هر ضربه، بوسیله دوربین مستقر شده جهت این کار قابل قرائت باشد. پس از اتمام کوبش شمع و رسیدن به نرخ نفوذ مطلوب، در صورتی که سرشمع بالاتر از کد ارتفاعی مورد نظر باشد، مقدار طول اضافه شمع بوسیله اره های الماسه بریده می شود.

جلوگیری از ترک خوردن ناشی از انسداد انتهایی: در پروژه های دریایی اجرا شده با شمع بتنی سانتریفوژ به صورت ته باز در مواردی مشاهده شده است که در اثر فشار هوای ایجاد شده در درون شمع، که به دلیل ورود گل بستر دریا و انسداد انتهایی از یک سو و ضربات پیاپی چکش از سوی دیگر اتفاق می افتد و باعث کم شدن فضای درون شمع می گردد، بدنه شمع دچار ترک هایی گردیده است. جهت رفع این مشکل پیشنهاد می شود که با ساخت قطعه ای لوله ای شکل، که بر روی آن تعدادی سوراخ شیاری ایجاد گردیده، و قرار دادن آن درون شمع به عنوان واسطه بین چکش و شمع، عبور جریان هوای محبوس به خارج از شمع تسهیل شده و از ترک خوردگی بدنه جلوگیری به عمل آید.

اطاله شمع: در صورتی که شمع کوبیده شده به نرخ نفوذ مورد نظر نرسیده و یا لازم باشد که عمق نفوذ بیشتر شود، می بایست شمع دیگری بر روی شمع ابتدایی قرار داده شده و به آن متصل گردد که به این کار اصطلاحاً اطاله شمع گفته می شود. جهت انجام این کار، باید پس از قرار گرفتن شمع دوم، شیار موجود بین حلقه های دو شمع بوسیله جوش نفوذی پر شده و سپس بوسیله جوش دادن تعدادی وصله فولادی بر روی آن، عملیات اطاله شمع انجام شود. البته ذکر این نکته ضروری است که جهت جلوگیری از خوردگی محل وصله شمع می بایست این قسمت پس از زنگ زدایی بوسیله پوششهای مناسب اپوکسی پایه قیری، یا با اجرای پوشش بتنی با دانه بندی ریزدانه، روی آن پوشیده شود. روش اول و دوم در پروژه احداث اسکله بندر امام خمینی (ره) و روش سوم در طرح ساماندهی بندر صادراتی ماهشهر به کار برده شده است. شکل ۸ قسمت هایی از مراحل مختلف این عملیات را نشان می دهد.

شکل ۸. جوشکاری حلقه های انتهایی دو شمع (C)، جوشکاری ورق های اتصال (B) و اعمال پوشش اپوکسی بر روی محل اتصال (A) [۹]

۵. مزیت ها و صرفه اقتصادی:

شمعهای سانتریفوژ از ویژگیهای مثبت شمعهای فولادی شامل سهولت اجرا، امکان افزایش طول درحین اجرا، هزینه های پایین و صرفه اقتصادی و همچنین ویژگیهای مثبت شمعهای بتنی شامل دوام بالا در مقابل خوردگی وکاهش هزینه های مربوط به تعمیر و نگهداری برخوردار هستند [۳].

همچنین همانطور که اشاره شد، وزن واحد طول شمع‌های سانتریفوژ کمتر از شمع بتنی معمولی معادل است، لذا برای کوبش این شمع ها به تجهیزات سبکتری نیاز است. این مزیت علاوه بر سهولت اجرا، هزینه‌های ماشین آلات را به شدت کاهش می‌دهد. از سوی دیگر در برخی شرایط می توان این شمعها را بدون ایجاد تغییر در باربری، با انتهای باز کوبید. در چنین شرایطی با چکش سبکتر و در زمان بسیار کوتاهتری می‌توان شمع را کوبید که چنین امکانی برای شمع‌های بتنی معمولی، بدلیل بسته بودن مقطع، وجود ندارد. در خصوص مقایسه با شمع‌های فولادی نیز با توجه به هزینه بالای تهیه که ناشی از بالا رفتن قیمت فولاد در بازار جهانی طی سال‌های اخیر می‌باشد و نیز هزینه های مربوط به نگهداری آن‌ها شامل رپینگ، حفاظت کاتدیک، پوشش اپوکسی و ...، استفاده از شمع های بتنی سانتریفوژ دارای اولویت می باشد [۲]. علاوه بر موارد فوق می توان به طول عمر زیاد این شمع ها، ثابت ماندن کیفیت تولید با توجه به شرایط تولید انبوه صنعتی در کارخانه، سادگی اطاله و امکان اتصال دو قطعه شمع در محل، مقاومت بالا در برابر خوردگی بخصوص در شرایط دریایی و جاگذاری سریع و باصرفه، نیز بعنوان نقاط قوت و مزیت شمع های بتنی سانتریفوژ اشاره کرد. در جدول ۳، نمونه ای از مقایسه اقتصادی بین شمع بتنی سانتریفوژ و شمع فولادی، که در آغاز پروژه احداث اسکله ۱۵۰ هزار تنی بندر امام خمینی (ره) جهت تصمیم گیری در خصوص تعیین نوع شمع انجام گردید، آورده شده است.

جدول ۳. نمونه ای از مقایسه اقتصادی شمع‌های بتنی سانتریفوژ و شمع‌های فولادی

نوع شمع	واحد	مبلغ تهیه شمع (ریال)	هزینه بارگیری و حمل (ریال)	هزینه آماده سازی شمع (ریال)	هزینه استقرار و کوبش (ریال)	قیمت کل برای یک متر طول (ریال)
شمع سانتریفوژ	متر طول	۱،۷۰۱،۳۷۴	۹۲،۶۲۰	۲۷،۱۱۹	۲۹۷،۷۳۳	۲،۱۱۸،۹۲۶
شمع فولادی	متر طول	۳،۳۲۲،۶۲۰	۹۲،۶۲۰	۳۵۶،۳۵۷	۲۱۹،۴۷۳	۳،۹۹۱،۰۷۰

۶. نتیجه گیری

با توجه به مطالب ارائه شده در خصوص مزیت های استفاده از شمعهای سانتریفوژ و همچنین تجربیات بدست آمده از اجرای این نوع شمع در تعدادی از پروژه های بزرگ ملی که به آنها اشاره گردید، هم اکنون بازده و راندمان استفاده از این نوع شمع بالا رفته و جنبه های ناشناخته آنها بیشتر آشکار شده است. لذا به صورت بهینه تر و با صرفه زیاد، چه در زمان و چه در هزینه، می توان از این نوع شمع در پروژه های آتی استفاده نمود و این موضوع می تواند مدیران پروژه های دریایی را به استفاده از این نوع شمعها در جهت اقتصادی کردن پروژه ها ترغیب نماید. علاوه بر این با توجه به امکان استفاده از این نوع شمع در خشکی، شمع های بتنی سانتریفوژ می توانند گزینه ای بسیار مناسب و اقتصادی جهت جایگزینی با انواع دیگر شمع ها باشند.

۷. قدردانی

نگارندگان لازم می دانند از همکاری صمیمانه و مساعدت های مدیریت محترم مؤسسه عمران ساحل و همچنین جناب آقای مهندس طباطبائی، قائم مقام محترم مدیر عامل تشکر و قدردانی نمایند.

مراجع

۱. اسلامی، ا.، (۱۳۸۵)، "*مهندسی پی، طراحی و اجرا*،" وزارت مسکن و شهرسازی، نشریه شماره: ک-۴۳۷، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران.

۲. پارسا، م.، (۱۳۹۰)، "*مزایای استفاده از شمعهای لوله ای بتنی پیشتنیده دورانی در ساخت سازه های دریایی*،" سومین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران، تهران، ایران، ۱۷ مهرماه.

۳. قنبریان ، م.، سلطانکوهی، ع.، و محمدی، ع.، (۱۳۹۱)، "*بررسی روند تولید شمعهای سانتریفوژ و مزایای کاربرد آن در احداث اسکله های شمع و عرشه*،" دهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران، ایران، ۲۹ آبان لغایت ۱ آذر.

۴. مؤسسه عمران ساحل، (۱۳۸۴)، "*گزارش بازدید از کارخانجات تولید شمع های بتنی پیش تنیده سانتریفوژ*،" قرارگاه سازندگی خاتم الأنبیاء (ص)، قرب نوح (ع)، مدیریت ثبت تجربیات و دانش فنی، تهران.

5. http://www.cepco.com.my/download.html

6. http://www.paco-group.com/paco/eng/about.html

7. http://www.ijm.com/industry/ICPB/html/companyProfiles/manuProcess.html

۸. مؤسسه عمران ساحل، (۱۳۸۴)، "*روشهای اجرای شمعهای سانتریفوژ*،" قرارگاه سازندگی خاتم الأنبیاء (ص)، قرب نوح (ع)، مدیریت ثبت تجربیات و دانش فنی، تهران.

۹. مؤسسه عمران ساحل، (۱۳۸۴)، "*مشخصات شمعهای سانتریفوژ و روش بارگیری و حمل دریایی آنها*،" قرارگاه سازندگی خاتم الأنبیاء (ص)، قرب نوح (ع)، مدیریت ثبت تجربیات و دانش فنی، تهران.