



استفاده از شمعهای بتنی پیش تنیده سانتریفوژ در سازه های دریایی

علیرضا محمدی¹ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه های دریایی دانشگاه هرمزگان

چکیده :

یکی از مهمترین مسائل روز در سازه ها بحث پایداری آنها در طول مدت بهره برداری می باشد که اهمیت این موضوع در سازه های دریایی به دلیل عوامل مخرب دریا و هزینه ساخت و نگهداری بیشتر، بیش از پیش مهم جلوه می کند. استفاده از شمعهای بتنی پیش تنیده سانتریفوژ که بصورت پیش ساخته تهیه می شوند از جمله روشهای افزایش طول عمر سازه های دریایی است که متأسفانه در کشور ما چندان مورد توجه قرار نگرفته است. در گذشته از این نوع شمعها در کشور استفاده شده است لیکن تا مدتها بکارگیری آنها در کشور به دلایلی چند متوقف بوده است و خوشبختانه هم اکنون مجدداً مورد توجه قرار گرفته است.

برخی از مزایای این نوع شمعها عبارت است از:

الف) شمع های PHC تحت اثر یک فرایند دوران شکل می گیرد طی فرایند مذکور نسبت آب به سیمان کاهش یافته و به همین دلیل مقاومت بتن بالا می رود.

ب) شمع های PHC قابلیت نصب در زمان کوتاه را دارا می باشد و بعد از اینکه از دستگاه بخار تحت فرایند عمل آوری خارج شدند.

پ) مقاومت بالای بتن تا حدود $770 (kg/cm^3)$

ج) مقاومت انعطاف پذیر

د) مقاومت پیچشی مناسب تحت اثر عملیات کوش

و.....

مادر این مقاله برآنیم با بررسی نحوه ساخت و مزایای این نوع شمعها دریچه ای نو در بکارگیری آنها بگشاییم.

کلمات کلیدی: شمع-پیش تنیده-سانتریفوژ-سازه های دریایی

مقدمه:

شمع عضو سازه ای چوبی، بتنی و یا فولادی است که برای انتقال بارهای سطحی به ترازهای پایین تر توده خاک مورد استفاده قرار می گیرد. شمعها به صورت گسترده در سازه های مختلف کاربری دارند و در سازه های دریایی نیز نقش آنها بسیار تعیین کننده است.

در سازه های دریایی شمعها جهت انتقال بارهای بالای سطح آب از میان آب به درون خاک زیرین مورد استفاده قرار می گیرند. این در حالی است که شمع کوبیده شده به طور ویژه تحت تاثیر بارهای قائم (و کمانش) و همین طور بارهای جانبی قرار دارد.

با توجه به اینکه شمعها در سازه های دریایی در تماس مستقیم با آب دریا هستند و وجود مواد زیان آور بالاخص یون کلردر آن همواره باعث کاهش دوام و پایداری سازه ها می شود. طراحان همواره سعی بر این دارند که به طرق مختلف مثل افزایش ضخامت طراحی شمعهای فولادی جهت پیش بینی پوسیدگی آن در طول دوران بهره برداری و یا استفاده از رنگها و ضد زنگهای مختلف مانع از پایین آمدن ضریب اطمینان سازه در دوران بهره برداری شوند. یکی از راههای افزایش دوام بتن در شمعهای بتنی پیش ساخته کاهش نفوذ پذیری آن است. از جمله راههای کاهش نفوذ پذیری عبارت است از:

- استفاده از سیمان کافی

- کاهش مناسب نسبت آب به سیمان

- استفاده از روشهای مناسب کیورینگ

- اطمینان کامل از فشردگی بتن

در صورتیکه بتوان به صورت مناسب مقدار آب موجود در بتن را کاهش داد و با استفاده از تجهیزات کافی، شمع بتنی با کیفیت بالا و با ضریب اطمینان کارخانه ای ساخت این امکان وجود دارد که طول عمر و دوام شمع افزایش یابد. استفاده از شمعهای (PHC) (PRETENSIONED SPUN CONCRETE PILES) یکی از راههای افزایش دوام در شمعها است. این شمعها با توجه به دیگر ویژه گی های خاص آنها می توانند از لحاظ اقتصادی بسیار سودمند باشند که در بخشهای بعدی بصورت مبسوط بحث خواهد شد.

شمعهای PHC بیش از 45 سال است که در پروژه های مختلف در ژاپن مورد استفاده قرار می گیرد و از سال 1975 میلادی وارد کشور مالزی شده است.

در حال حاضر در کشور ما کارخانه تولید این نوع شمعها (با مشخصات مورد نیاز اغلب سازه های دریایی) وجود ندارد. یکی کشورهای صادر کننده این نوع شمعها کشور مالزی است که امکان حمل شمعهای مذکور توسط کشتی به کشورهای مختلف منجمله ایران وجود دارد.

این شمعها در گذشته در کشور ما در ساخت بندر امام خمینی مورد استفاده قرار گرفته اند.

شاخص های ویژه شمعهای PHC :

الف - شمعهای PHC تحت اثر یک فرایند دورانی قرار می گیرند که باعث متراکم شدن بتن میگردد و طی فرایند مذکور نسبت آب به سیمان کاهش یافته و به همین دلیل مقاومت بتن بالا میرود

ب - مقاومت بالا در برابر خوردگی بخصوص در شرایط دریایی

پ - شمعهای PHC قابلیت نصب در زمان کوتاه را دارا می باشند بعد از اینکه از دستگاه بخار تحت فرایند عمل آوری خارج شدند

ج - مقاومت بالای بتن تا حدود 770 کیلوگرم بر سانتیمترمربع

د - مقاومت انعطاف پذیری بالا

ه - مقاومت پیچشی مناسب تحت اثر عملیات کوبش

ز - طول بزرگتر تا 46 متر در هر قطعه

ح - جاگذاری سریع و باصرفه

ط - وزن واحد پایین با هزینه پایین

ی - کیفیت ثابت تحت شرایط کارخانه

- ک- میزان بالای تولید
ل- پایین آوردن یا حذف Casteng Yard و قسمت بتن ریزی

مشخصات کلی شمعهای PHC

استاندارد شمعهای PHC با استاندارد MS1314 : PART1: 1993 و JISA5337:1993 مطابقت دارند. این شمعها بر اساس استانداردهای BS 8004:1986 (فونداسیونها) و BS8110:1997 (استفاده سازه ای از بتن) و ACI543R-74(80) (پیشنهاد طراحی و ساخت و نصب شمعهای بتنی پیشض ساخته با استاندارد BS8004 باید مطابقت داشته باشد).

بررسی فنی و محاسباتی شمعهای PHC

مطابق برگه مشخصات فنی شمعهای بتنی سانتیفریوژ شرکت ICP (کارخانه تولید کننده در مالزی) ظرفیت باربری شمعهای بتنی سانتیفریوژ بقطر 1000 میلیمتر کلاس C برابر است با:

نیروی محوری 603.84 تن

لنگر خمشی 159.68 تن متر

از طرف دیگر در محاسبات و بررسی های اولیه صورت گرفته شمع فولادی 42 اینچ با ضخامت 22 میلی متر گرید ST-52 جوابگوی بارهای فوق می باشد.

بارمحوری مجاز

بر اساس آئین نامه BS8004:1986 ماکزیمم تنش محوری مجاز وارده به شمع باید برابر با

$$\begin{aligned} N_a &= \sigma_{ca} * A \\ &= 1/n(\sigma_{cu} - \sigma_{ce}) * A \\ &= 1/4(\sigma_{cu} - \sigma_{ce}) * A \end{aligned}$$

که :

N_a = نیروی محوری مجاز (N)

σ_{ca} = تنش مجاز در بتن (N/MM²)

σ_{cu} = مقاومت ویژه فشاری بتن (N/MM²)

σ_{ce} = مقاومت پیش تنیدگی مؤثر بتن (N/MM²)

A = سطح مقطع بتن (MM²)

n - ضریب اطمینان

تعیین ظرفیت باربری شمعها:

بر اساس فرمول ارائه شده در کنفرانس بین المللی رفتار شمعها (لندن 15-17 سپتامبر 1970) توسط and B.B.BORMS L.HELLMAN مقدار ظرفیت باربری انتهایی شمعهای بتنی پیش ساخته بر اساس روش مورد استفاده قرار گرفته در سوئد بصورت زیر قابل محاسبه است که برای شمعهای PHC قابل استفاده است.

$$P = \frac{Q * H}{S + 0.5e} + \frac{Q + 0.25q}{Q + q}$$

که :

P-ظرفیت باربری نهائی شمعها

H-ارتفاع سقوط پیستون

Q- وزن پیستون چکش

q- وزن شمع

S- فشردگی موقتی کلاhek (e1), شمع(e2), خاک(e3)

e- فروروی شمع بعد از هر ضربه

آزمایش مقاومت خمشی :

آزمایش مقاومت خمشی یک از مهمترین بخشهایی است که با استفاده از دو تکیه گاه بشکل ذیل در $\frac{3}{5}$ طول شمع و قراردادن بار عمودی P در مرکز طول شمع انجام می شود. بایستی از تجهیزات مناسب جهت جلوگیری از شکست شمع در محل وارد شدن نیرو و در تکیه گاهها قبل شکست ناشی از خمش استفاده نمود. ممان خمشی بایستی بر اساس فرمول ذیل (JIS A5335 :1987) محاسبه گردد:

$$M = \frac{W*L}{40} + \frac{(3P*L-5L)}{20}$$

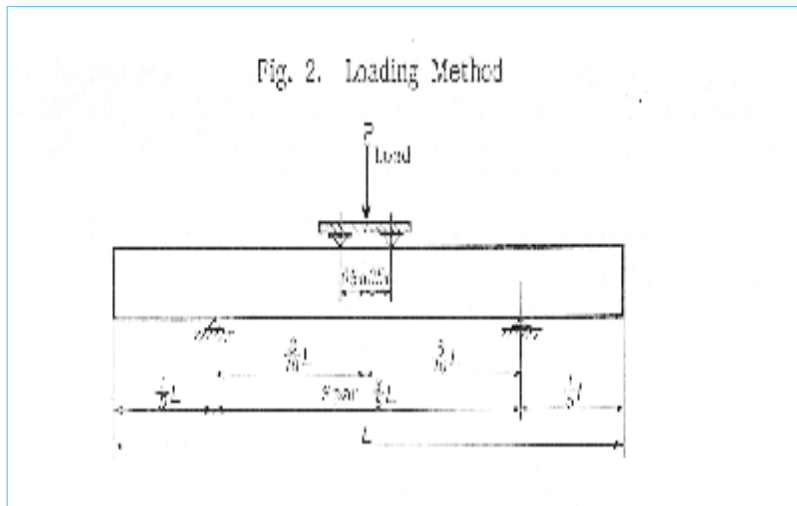
که :

M-ممان خمشی (tm)

P-نیرو (t)

L- طول شمع (m)

W- وزن شمع (t)



مصالح مصرفی :

سنگدانه :

مصالح دانه درشت باید با سایز 20 میلیمتر باشد این مصالح مناسب باید از ماسه تمیز رودخانه یا ماسه شسته باشد.

سیمان :

سیمان معمولی پرتلند با استاندارد MS 522: 1989 یا ASTM C150-72

فولاد پیش تنیده:

منطبق با استاندارد JIS G3137: 1994 یا معادل با آن

وابرهای اسپیرال:

مطابق با استاندارد BS 4482 یا ASTM A82-97

طرح اختلاط بتن

طرح اختلاط بتن با مقاومت 800 Kg/cm^2

500 کیلوگرم	سیمان
600 کیلوگرم	ماسه (0-5mm)
1215 کیلوگرم	شن (حد اکثر دانه 20 mm)
145 کیلوگرم	آب
33%	نسبت آب به سیمان
40-50 میلیمتر	اسلامپ
8 کیلوگرم	روان کننده
(MIGHY 150-NEW)	

با توجه به نسبت آب به سیمان و مقدار آب و سیمان قطعاً آب موجود در ماسه نیز در طرح اختلاط پیش بینی شده است.

بررسی نفوذ پذیری یون کلر

نفوذ پذیری یون کلر براساس ASTM باید مطابق با جدول زیر باشد.

Table 1: Chloride ion penetrability based on charge passed*

Charge passed (Coulombs)	Chloride ion penetrability
<4,000	High
2,000 – 4,000	Moderate
1,000 – 2,000	Low
100 – 1,000	Very low
<100	Negligible

* - Information obtained from ASTM C1202.

نتایج آزمایش نفوذپذیری سریع یون کلر با میزان سیمان متفاوت

	CEMENT TYPE		
	OPC	OPC + SILICA SAND	OPC + 25% PFA
CEMENT CONTENT (KG)	500	350 + 150	400+130
WATER/CEMENT RATIO	0.29	0.32	0.29
SILICA SAND/AGGREGATE RATIO	0.33	0.33	0.33
AUTOCLAVE COMPRESSIVE STRENGTH (MPa)	107.30	114	81.60
AVERAGE COULOMBS	1,566	250	820

از طرف دیگر مطابق با آزمایشات انجام شده نتایج ذیل بدست آمده است.

همانطور که مشخص است نتایج بدست آمده بسیار امیدوار کننده است. جهت انجام آزمایشات عملی در JULY 2001 از چند شمع 700 میلیمتری با پوشش بتنی 50 میلیمتر از یک پروژه JETY ساخته شده در سال 1991 در مالزی برای انجام تست اسید کلرید محلول (ASTM C 1552) نمونه برداری شد. که نتایج آن به شرح ذیل است.

MEASURED CHLORIDE CONTENTS

PILE NO.	SAMPLE REF. NO.	DEPTH BELOW SOFFIT OF (mm)	CHLORIDE CONTENT (%, m/m OF CEMENT)	
			0 - 25mm	25 - 50MM
B1	B1-100/DE/01	100	0.09	< 0.01
B1	B1-300/DE/02	300	0.04	< 0.01
B1	B1-1100/DE/03	1100	0.05	< 0.01
F1	F1-500/DE/09	500.00	0.05	< 0.01
F5	F5-240/DE/04	240.00	0.06	0.02
F8	F8-300/DE/05	300.00	0.16	0.02

بر اساس محاسبات انجام شده تحت اثر بارهای سرویس، عمر مفید این شمعها بالای 50 سال می باشد. بر اساس آزمایشات انجام شده بر روی شمعهای PHC، مقاومت بالای شمعهای فوق در مقابل شرایط خوردگی در محیط دریایی منتج شده است.

فرایند تولید شمعهای بتنی پیش ساخته به روش سانتریفوژ در یک نگاه

1- ساختن قفس و جا انداختن گیره کابل

میله های بتن پیش تنیده به شکل حلقه و مستقیم می باشند و به طولهای مساوی بریده می شوند، در انتها بصورت گرم به جسم متصل شده اند. میله ها از میان دستگاه بصورت حلقه به شکل اسپیرال عبور نمود و با جوش نقطه ای بطور اتوماتیک با فاصله ثابت متصل می شوند. صفحات انتهایی قفس محکم می شود. کل قفس در بخش پایینی قالب جاسازی می شود.



2- ریختن بتن

بتن از طریق بچینگ مجهز به کامپیوتر به داخل مجرای بتن ریزی منتقل می شود. بتن به بخش پایینی قالب از طریق یک منبع تغذیه با پیچ معکوس ریخته می شود. نیمه بالایی قالب در نهایت بر روی بخش پایینی قرار گرفته و بسته می شود.



3- اعمال تنش

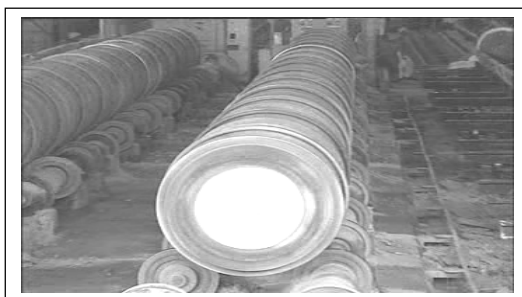
میله های PC تحت اثر یک شافت مرکزی و صفحه پشت ایجاد کننده تنش سخت قرار می گیرد. ایجاد تنش در یک مرحله بطور یکنواخت در تمامی میله ها صورت می پذیرد و ضمناً در راستای طول شمع اعمال میگردد.



4- دوران کردن شمع

قالب پر شده بر روی ماشین دوار سانتریفوژ تحت اثر دوران اتوماتیک در چهار مرحله قرار می‌گیرد. حاصل دوران تحت اثر فشار بالا و فشردن بیش از حد باعث خارج شدن آب می‌گردد. در نتیجه باعث کاهش نسبت آب به سیمان می‌گردد که نهایتاً باعث افزایش مقاومت شمع می‌گردد.

مرحله چهارم	مرحله سوم	مرحله دوم	مرحله اول	مراحل گردش
510_520	420_420	195_205	75_85	سرعت دوران R.P.M
3	3	4	5	مدت (دقیقه)



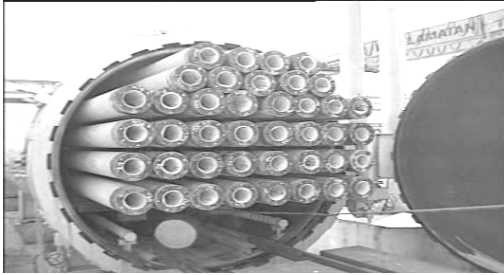
5- برداشتن قالب

عمل آوری با بخار باعث می‌گردد به سرعت قالب برداری شود. عمل برداشتن قالب به کمک یک مکنده بالابر انجام می‌پذیرد.



6- عمل آوری به کمک بخار (بخار تحت فشار)

شمع ها تحت یک فرآیند صنعتی عمل آوری با بخار را طی می نماید و بلافاصله بعد از خارج شدن از فرآیند عمل آوری قابل مصرف می باشند.
 کاربرد شمعهای پیش تنیده و نحوه اجرای کلی آن:



روشهای اجرای عملیات کوبش:

- الف- چکش دیزل
- ب- چکش هیدرولیک
- ج- سیستم دوار
- د- سیستم جکینگ



نصب شمعهای PHC در سرشمعها :

اتصال شمعها می تواند براحتی و به شکل ذیل انجام پذیرد. لازم بذکر پس از جوشکاری محل اتصال بایستی در محل مورد نظر از ضد زنگ استفاده شود.



نحوه جابجایی شمعها

جهت جابجایی شمعها می توان از تریلی کشتیها و بارج استفاده نمود که در هنگام جابجایی با کشتیها و حمل طولانی شمعها می بایست بخوبی قفل و بست شوند.



چند نکته اجرایی:

-برش شمعها براحتی با ااره الماسی قابل انجام است.

- پرپاسازی شمعها با استفاده از دو جرثقیل شمعکوب و کمکی در دریا امکان پذیر است.
 -باتوجه به نوع زمین جهت حفاظت نوک شمعها از سه نوع حفاظ (بیکانی-خورشیدی-دج بر) می توان استفاده نمود.
معرفی یکی از شرکتهای تولید کننده (ICP مالزی):

کارخانه ICP اولین کارخانه تولید کننده شمعهای پیش تنیده در مالزی می باشد. و علاوه بر این بزرگترین کارخانه در جنوب شرق منطقه آسیا می باشد. شرکت فوق در 6 آوریل 1977 در مالزی تأسیس گردید و فعالیت تجاری خود را در سپتامبر 1977 شروع کرد.

شمع های ICP با مقطع عرضی دایره می باشند که در ابعاد مختلف با قطرهای 250 میلی متر تا 1000 میلی متر با طولهای استاندارد متنوع از 6 متر تا 40 متر در هر قطعه ساخته می شوند و برای تولید شمع بقطر 1200 میلیمتر کارخانه در حال تمهیدات لازم است. شمع های ICP به سهولت به هم متصل می شوند و براحتی طول مورد نیاز طراحی را تأمین می نمایند. (بوسیله ورقهای فولادی در انتها)

شمعهای ICP بلافاصله پس از خارج شدن از دستگاه بخار قابل مصرف می باشند البته عملیات عمل آوری شمع های با قطر 1 متر توسط دستگاه بخار نمی باشد.

شمع های ICP برای فونداسیونهای عمیق نیروگاهها، ساختمانهای بلند، سازه های عمرانی، جاده سازی، پلها و سازه های دریایی و بنادر و غیره کاربرد دارند. شمع های ICP برای برونئی، سنگاپور، سریلانکا، خاورمیانه، اندونزی، فیلیپین، ویتنام، میانمار و شمال آمریکا نیز صادر شده است. در ذیل تصاویری از پروژه هایی مختلفی که در آنها از شمعهای فوق استفاده شده آمده است.



خلاصه و نتیجه گیری

مطابق با بررسی ها و برآوردهای اولیه انجام شده (در سال 1382) هزینه تهیه و بارگیری و حمل تا بنادر جنوبی کشور جهت یک شمع PHC با قطر 1000 میلیمتر در حدود 2500000 (دو میلیون و پانصد هزار ریال) می باشد که در حال حاضر تهیه هر متر طول لوله فولادی با قطر 1000 میلیمتر و ضخامت 22 میلیمتر در حدود 3000000 (سه میلیون ریال) تمام خواهد شد. لذا اگر تمام دیگر محسّنات شمعهای PHC بالاخص پایداری و عمر بالای آنها را نادیده بگیریم تفاوت هزینه بسیار هنگفت شمعهای مذکور برای ما بسیار می تواند مفید باشد. از طرف دیگر با توجه به استفاده در سازه های متنوع در صورت بکارگیری مکرر از شمعهای مذکور در کشور امکان ساخت و راه اندازی کارخانه تولید شمع نیز وجود خواهد داشت که مطمئنا باعث کاهش چشمگیر هزینه تهیه خواهد شد.

لذا براساس نتایج بدست آمده در بالا و با توجه وضعیت شیمیایی آبهای خلیج فارس شمعهای PHC سیستم فونداسیونی بسیار اقتصادی تر از شمعهای حفاری و یا شمعهای فولادی H و شمعهای متداول بتنی در کشور می توانند باشند..

مراجع:

- روش اجرای شمعهای سانتریفوژ -قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء -مؤسسه عمران ساحل-معاونت فنی
- J.BOWLES اردشیر اطمینانی-تحلیل و طراحی پی -جلد 2-انتشارات جویبار
- (CD تبلیغاتی شرکت ICP) TECHNICAL PRESENTATION