

**مقایسه فنی و اقتصادی روش‌های اجرایی شمع‌های بتنی در  
سازه‌های دریایی،  
مطالعه موردی شمع‌های درجاریز، سکانت پایل، پیش‌ساخته  
و پیش‌تنیده سانتریفوژ**

هاشم طاهری

کارشناس ارشد مهندسی و مدیریت ساخت

جعفر وکیل پور

عضو هیئت علمی دانشگاه امام حسین (ع)

### چکیده

شمعها عضوهای اصلی سازه‌ای هستند که برای انتقال بارهای سطحی به لایه‌های زیرین زمین، طراحی و ساخته می‌شوند و از نظر نوع مصالح تشکیل دهنده به شمع‌های چوبی، شمع‌های فلزی، شمع‌های بتنی، شمع‌های کامپوزیتی تقسیم می‌شوند. انتقال بارها در شمع‌ها ممکن است بوسیله پخش بار در طول بدنه شمع (شمع اصطکاکی) و یا اینکه از طریق انتهای شمع مستقیماً به لایه‌های زیرین خاک منتقل شود. در اکثر حالات ترکیب مقاومت جانبی و مقاومت انتهایی وجود دارد مگر اینکه شمع از یک خاک سست عبور کرده و بر روی یک لایه سخت قرار گیرد که در این حالت فقط مقاومت انتهایی (نوک) شمع در انتقال بار دخالت داده می‌شود.

نظر به اهمیت تأسیسات سازه‌های دریایی (ساحلی و فراساحلی) مانند سکوها، اسکله‌ها، موج شکن‌ها، بنادر، سواحل و با آگاهی از اینکه شمع‌ها نقش اساسی و تعیین کننده‌ای در استحکام، پایداری، میزان باربری و طول عمر سازه‌ها ایفا می‌نمایند. در این مقاله مقایسه فنی و اقتصادی بین روش‌های اجرایی شمع‌های بتنی درجاریز معمولی - شمع‌های بتنی درجاریز سکانت پایل - شمع‌های بتنی پیش ساخته و پیش تنیده - شمع‌های پیش ساخته پیش تنیده سانتریفوژ صورت گرفته و در نهایت به این جمع بندی رسیده که انتخاب نوع شمع بر حسب شرایط آب و هوایی و مکانی (دریا یا خشکی) و سایر موارد دیگر تغییر می‌کند.

**کلمات کلیدی:** شمع‌ها، پیش ساخته، پیش تنیده، سانتریفوژ، سکانت پایل، کامپوزیتی.

## ۱- پیش زمینه

از آنجائیکه در اکثر زمین های ساحلی و نیز بستر دریا ها در این مناطق مقاومت لایه ها کم و یا لایه های مقاوم در عمق های پایین تری قرار گرفته اند، لذا جهت انتقال بارهای سطحی به لایه های زیرین و مهار نیرو های جانبی نیاز به احداث پی های شمعی پیدا می کنیم البته شمع ها از نظر تنوع جنس مصالح بکار رفته ، شرایط محل ، بزرگی نیرو های وارده و طرز اجراء در دامنه بسیار وسیعی تغییر می نمایند ، که به شرح زیر می توان تقسیم بندی کرد :

الف : شمع ها با مصالح سنگی (درجاریز)

ب : شمع های چوبی ( کوبشی )

ج : شمع های بتنی ( درجاریز )

د : شمع های بتنی مسلح (معمولی یا پیش تنیده)

ه : شمع های بتنی مسلح پیش تنیده سا نتریفوژ

ز : شمع های مرکب (کامپوزیتی)

و : شمع های فلزی

در این مقاله مقایسه فنی و اقتصادی بین انواع روشهای اجرایی شمع های بتنی فوق الذکر و نیز شمع های فلزی صورت گرفته و نتیجه گیری و پیشنهاداتی ارائه شده ، که امید است نتایج این تحقیق گامی هرچند کوچک در جهت کمک به حل مشکلات و معضلات عدیده اجرایی در سازه های ساحلی و فرا ساحلی کشور عزیزمان ایران ایفا نماید.

پی های شمعی در صنایع دریایی بصورت بسیار گسترده تری از خشکی برای شرایط بارگذاری مورد نظر طراحی شده و مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به اینکه حداکثر بارهای پی در هنگام شرایط طوفانی وارد می شود با فرض آنکه خطر فقط جنبه مالی و قابل قبول داشته بهره برداری های صنعتی در حین طوفان نیز به عملیات خود ادامه می دهد.

اگرچه محدوده باربری شمع‌ها به علت آزمایشات و مطالعات بر روی آنها در حال افزایش است اما قراردادان سازه‌های دریایی در آبهای عمیق‌تر که همراه با افزایش بارهای وارده بر شمع است باعث شده است که همچنان نکات ابهامی در طراحی شمع‌ها باقی بماند. مشخصه متمایز شمع‌های دریایی بزرگتر بودن نسبت بارهای افقی به بارهای عمودی است که به علت نیروهای طوفان و تندباد می‌باشد. محمود نیکخواه و دکتر رهایی تحقیقی تحت عنوان « بررسی و مطالعه رفتار شمع‌های صلب در خاک‌های مختلف » در سال ۱۳۷۴ انجام دادند. دکتر رحمت‌مدندوست (۱۳۸۲) (استاد دانشکده فنی دانشگاه گیلان) « عوامل موثر در نفوذ و کوبیدن شمع‌ها در زمین » را بررسی کرد. علیرضا محمدی (۱۳۸۳) « استفاده از شمع‌های بتنی پیش‌تنیده سانتریفوژ در سازه‌های دریایی » را مورد بررسی قرار داد. بطور کلی در رابطه با شرح روش‌های اجرایی شمع‌های بتنی و مقایسه آنها با هم تحقیقی به عنوان پایان‌نامه ثبت نشده بود. اولین شمع بتن آرمه ابعاد  $50 \times 50$  سانتی متری به طول ۲۷ متر تولید شده در داخل کشور، در کارگاه شهید محلاتی بوشهر با موفقیت به ثمر رسید و شمع ترک نخورد، در واقع اولین شمع بتنی در تاریخ کشور ایران بود، که تمام مراحل طراحی و تولید و عمل‌آوری و بلند کردن و حمل به محل دپو و انتقال از دپو (توسط بوژی ساخته شده در کارگاه) به محل کوبش و استقرار، کوبش و کنترل حین کوبش انجام گرفت.

هدف از این تحقیق بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی انواع مختلف شمع‌های بتنی در پروژه‌های عمرانی و دریایی کشور بود که به منظور بررسی دقیق‌تر تعدادی از پروژه‌های انجام شده توسط موسسات زیر مجموعه قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء و به طور خاص موسسه عمران ساحل مورد ارزیابی دقیق قرار داده شد. خوشبختانه به واسطه وجود طیف وسیعی از پروژه‌های دریایی با انواع مختلفی از شمع‌های بتنی (پیش‌ساخته، درجاریز، پیش‌ساخته پیش‌تنیده سانتریفوژ، سکانت پایل)، بررسی‌های ارائه شده در این فصل با واقعیت‌های علمی انطباق کاملی داشته و بر اساس شرایط و هزینه‌های روز تنظیم گردید. بطوریکه در بخش‌های بعدی اعلام شده این نتایج بر اساس ارزیابی‌های انجام شده مطابق با مدارک و اطلاعات فنی پروژه‌های، اسکله ۱۵۰ هزار تنی بندر امام(ره) (شمع سانتریفوژ) و حوضچه خشک بندر عباس (شمع

درجا ریز) و پروژه شهید محلاتی بوشهر (شمع پیش ساخته) و بندر شهید بهشتی چابهار (سکانت پایل) جمع آوری و تدوین گردیده است.

### ۱-۱- قدردانی و تشکر

به منظور بررسی دقیق روند اجرایی پروژه های دریایی مربوط به این تحقیق از کارگاه های شهید محلاتی بوشهر و کارگاه شهید باهنر و کارگاه مجیدیه و کارگاه بندر امام و کارگاه حوضچه خشک و ۰۰۰ بازدید و تهیه گزارش و عکس از مراحل اجرایی کار به عمل آمد. همچنین در طی این تحقیق با اکثر مسئولین و نیروهای اجرایی دست اندرکار کارگاه های مربوطه مشاوره و از نظرات و تجربیاتشان استفاده شده و نیز نقطه نظرات تعدادی از متخصصین مهندسان مشاور در رابطه با این تحقیق اعمال شده است که در اینجا فرصت را مغتنم شمرده از همه این عزیزان بدلیل مشاوره و ارائه داده ها و اطلاعات مورد نیاز نهایت قدردانی و تشکر را دارم.

### ۲- شرح مختصر پروژه های مذکور :

#### ۲-۱- پروژه حوض خشک بندرعباس (شمع درجاریز) :

پروژه حوض خشک بندرعباس در واقع احداث دو حوضچه خشک (تعمیرات ، نوسازی) که شامل کوبش شمع فلزی و شمع بتنی درجا در حال ساخت می باشد.

#### ۲-۲- پروژه اسکله ۱۵۰ هزار تنی بندر امام (ره) (شمع سانتریفوژ) :

پروژه فوق در بندر امام در حال احداث می باشد. این پروژه به کمک شمع های بتنی سانتریفوژ در حال اجرا می باشد.

#### ۲-۳- پروژه بندر شهید بهشتی چابهار (سکانت پایل) :

در این پروژه برای اولین بار در ایران از شمع های سکانت پایل جهت احداث دیوار ساحلی به منظور پهلوگیری کشتی استفاده می شود، شمع ها به صورت یک درمیان با تجهیزات ویژه ریخته می شوند.

### ۲-۴- پروژه شهید محلاتی بوشهر (شمع پیش ساخته) :

در پروژه مذکور از شمع های پیش ساخته جهت احداث اسکله استفاده شده است که هم اکنون اسکله مذکور در حال بهره برداری می باشد .

### ۳- بررسی مشخصات فنی و شرایط اجرای شمع در پروژه های مورد مطالعه :

#### ۳-۱- شهید محلاتی بوشهر (شمع پیش ساخته) :

با توجه به ماهیت پروژه شمع های پیش ساخته بتنی با مقاومت بالا با استفاده از مواد افزودنی (میکروسیلیس و فوق روان کننده) در حوضچه های ساخت و عمل آوری تهیه شده و طی یک پروسه خاص شمع ها حمل ، استقرار و کوبش شده اند . با توجه به طول زیاد شمع های مذکور نحوه ساخت و عمل آوری آن نسبتاً زمان بر بوده در نتیجه نیاز به احداث حوضچه به تعداد کافی ضروری بوده است و بدین ترتیب هزینه اولیه پروژه بالا بوده و همچنین بارگیری و استقرار و انتقال شمع به پای کار همراه با مشکلات فراوان بوده است و به کمک شابلون ویژه شمع ها بارگیری و حمل می گردیدند که سرعت عملیات انتقال و استقرار شمع به نسبت پایین بوده است . راندمان بهینه شمع کوبی در پروژه مذکور با توجه به شرایط خشکی ۲۰۲ شمع در روز بوده است . مهمترین مشکل عملیات این پروژه ترک خوردگی شمع ها در طی فرایند حمل و بارگیری و کوبش بوده است .

#### ۳-۲- حوض خشک بندرعباس (شمع درجاریز) :

در پروژه مذکور به واسطه کوبش شمع در زمین خاک برداری شده در بستر حوض و تراکم بالای خاک بستر ، کوبش با سختی بسیار بالایی همراه بوده است که در مقایسه با روند اجرای شمع های بتنی درجاریز

از راندمان و کیفیت مناسب تری برخوردار بوده است به طوری که یکی از مشکلات اصلی پروژه تأمین شمع های فلزی بوده که به همین منظور بخشی از شمع های پروژه (زیر ریل جرثقیل) با شمع های بتنی درجاریز اجرا گردیده که تا حدود زیادی مشکلات تأمین مصالح برای شمع های فلزی را کاهش می دهد . یکی از ویژگی های اساسی شمع های درجاریز نسبت به شمع های فلزی و پیش ساخته عدم نیاز به تأمین مصالح ویژه و مشکلات مربوط به تأمین کالا از خارج می باشد که عموماً شمع های درجاریز با کمک مصالح موجود در کشور قابل اجرا می باشد . ضمن اینکه نیازه تجهیز کارگاه خاص و احداث حوضچه عمل آوری نمی باشد که باعث صرفه جویی قابل توجهی در پروژه گردید .

### ۳-۳- اسکله ۱۵۰ هزار تنی بندر امام(ره)(شمع سانتریفوژ) :

در پروژه فوق شمع های بتنی سانتریفوژ با مقاومت بسیار بالا به صورت پیش تنیده در کشور مالزی با دانه بندی خاص تولید شده است و تحت عمل آوری بخار قرار گرفته و سپس به کمک بارج و یدک کش به پروژه منتقل گردیدند . از جمله موضوعات خاص در پروژه فوق تأمین شمع از خارج از کشور بوده است که در طی مراحل اجرای پروژه مسائل خاصی نظیر طوفان سونامی و عدم تعهد کارخانه به منظور تأمین شمع و تغییر کارخانه تولید شمع به وجود آمد که هزینه های زیادی را به پروژه تحمیل نمود . هر چند که در صورت ساخت کارخانه در ایران در صورت تولید انبوه شمع در این زمینه تأمین شمع های مذکور در مقایسه با شمع های فلزی قابل رقابت می باشد که در مقایسه اقتصادی با تفصیل بیشتری بررسی شده است . بطور کل بارگیری ، حمل و استقرار شمع های بتنی سانتریفوژ همانند شمع های پیش ساخته به عنوان اساسی ترین مشکل اجرا مطرح بوده است و بر راندمان کوبش تاثیر گذار بوده است که راندمان کوبش در پروژه مذکور یک عدد شمع در روز بوده است .

### ۳-۴- پروژه شهید بهشتی چابهار (سکانت پایل)

در این پروژه برای اولین بار در ایران از شمع های سکانت پایل جهت احداث دیواره ساحلی به منظور پهلوگیری کشتی استفاده می شود . شمع های سکانت پایل از نظر ساختار در گروه شمعهای درجاریز



محسوب می شوند ولی در عمل از تکنولوژی پیشرفته تری برخوردارند که باعث ارتقای مشخصات فنی شمع و سازه می گردد . برای احداث این شمع ها نیاز به محیط ساحلی یا ایجاد دیواره آب بند موقت در ساحل می باشد و از نظر اجرایی نیاز به ماشین آلات پیشرفته تری برای برش بتن شمع های غیر مسلح جهت ایجاد همپوشانی برای اتصال شمع های اصلی و فرعی دارند تا در نهایت شمع های اصلی و فرعی به صورت دیواره بتنی ساحلی در می آید

### ۴- بررسی اقتصادی روش های مختلف ساخت و اجرای شمع ها :

در این بخش با توجه به انواع شمع های بکار رفته در پروژه های مختلف قیمت آن بر اساس قیمت‌های روز بدون لحاظ نمودن ضرایب بالاسری محاسبه و به تفکیک آیتم ارائه می گردد . لازم به توضیح است که پروژه های مذکور همان طور که در بخش قبل اشاره شد در سالهای متفاوتی و شرایط خاص اجرا شدند و با توجه به دوره کارکرد ابتدا جهت مقایسه قیمت واحد ساخت و کوبش شمع های مذکور قیمت های پروژه بر اساس فهرست بهای همان پروژه محاسبه و سپس با لحاظ نمودن ضرایب تعدیل به روز شد و با توجه به اینکه شرایط خاص هر پروژه و قیمت های پیشنهادی تحت تأثیر ملاحظات قراردادی و اقتصادی برای پیمانکار و کارفرما قرار داشته است، لذا امکان ارزیابی دقیق وجود نداشت . به همین جهت با هماهنگی دست اندرکاران پروژه ها و موسسات مجری قیمت ها بر اساس بررسی های کارشناسی مورد بررسی قرار گرفتند و تا حد زیادی امکان مقایسه برای نسبت هزینه بر باربری شمع را فراهم آوردند که در ادامه به تفکیک قیمت ها بر اساس متره انجام شده بررسی و ارزیابی می گردد . و در انتها جدول مقایسه اقتصادی بر اساس نسبت هزینه بر ظرفیت باربری ارائه می شود

### ۴-۱- ارزیابی اقتصادی شمع های بتنی پیش ساخته شهید محلاتی بوشهر :

شمع های پروژه مذکور به ابعاد  $50 \times 50$  سانتی متر و به طول ۲۷ متر با آرماتورهای محاسباتی موجود در نقشه برآورد قیمت گردید . نکته اساسی در برآورد قیمت مذکور عملیات کوبش شمع در خشکی می باشد که نسبتاً شرایط آسانی نسبت به شرایط مشابه در دریا برای پروژه را شامل می گردید . مهمترین بخش اقتصادی در خصوص شمع های فوق الذکر هزینه اولیه برای احداث حوضچه های ساخت ، عمل آوری شمع می باشد که هزینه اولیه بالایی را به پروژه تحمیل می کرد . و با توجه به بررسی های بعمل آمده تولید شمع های پیش ساخته به این روش



در صورتی اقتصادی خواهد بود ، که طول ، ابعاد ، و بخصوص تعداد از حد معینی کمتر نباشد تا از توجیه اقتصادی نسبتاً قابل قبولی برخوردار باشد ، و عموماً در اکثر پروژه های دریایی با توجه به پیشرفت تکنولوژی ساخت شمع بندرت از این نوع شمع ها استفاده می شود . البته روش مذکور نیازمند تجهیزات سبک تری نسبت به سایر روش ها می باشد . برآورد احجام و قیمت های واحد اجرای عملیات پروژه شهید محلاتی برابر با ۷۰۰۰۰۰ ریال برای هر متر طول می باشد . هزینه ساخت ، حمل و کوبش شمع های بتنی به ازای متر طول برابر با ۱۴۲۱۵۲۰ ریال می باشد . البته به هزینه متر طول ساخت ، حمل و کوبش شمع ها بایستی هزینه تهیه ، ساخت و بهره برداری حوضچه های ساخت و عمل آوری شمع به میزان ۱۰ درصد اضافه شود که در این صورت هر یک متر طول شمع بتنی ۵۰×۵۰ سانتی برابر با ۱۵۶۳۶۷۲ ریال در متر طول محاسبه می گردد .

### ۴-۲- ارزیابی اقتصادی شمع های درجا ریز پروژه حوض خشک بندرعباس :

در پروژه فوق شمع های بتنی درجاریز اجرا شد . یکی از ویژگی های مقایسه شمع های درجاریز امکان ساخت شمع های درجا بدون نیاز به احداث حوضچه خاص و تجهیز کارگاه و اتلاف زمان می باشد . و از این جهت در پروژه هایی که نیاز به بهره برداری در کوتاه مدت بخصوص برای اسکله های یا دیواره های ساحلی ارجحیت دارد چرا که با احداث این شمع ها و استقرار دیوارهای پشت و استفاده از تاپرود<sup>۱</sup> عملاً همزمان با ریختن شمع ها ، اسکله ها قابل بهره برداری می شوند با توجه به اینکه عمده مشکل اینگونه شمع ها استفاده آن در بخش های ساحلی و خشک قابل کاربرد می باشد در حالیکه امکان استفاده از شمع های پیش ساخته در محیط دریایی نیز فراهم می آید و کیفیت ساخت شمع های درجاریز نسبت به شمع های پیش ساخته پایین می باشد به همین جهت به منظور لحاظ نمودن شرایط کیفی مناسب تر آیین نامه طول پوشش آرماتور بیشتری را برای شمع های مذکور و مقاومت بتن پایین تری به واسطه اسلامپ بالا پیشنهاد می نماید . به همین منظور نسبت حجمی بتن مصرفی برای باربری مشابه بیشتر می باشد بر اساس حجم مصالح قیمت هزینه واحد اجرای شمع درجاریز با قطر ۸۰ سانتی متر به ازای هر متر طول معادل ۲۱۹۷۰۰۰ ریال برآورد می گردد .

<sup>۱</sup> - Tierode

### ۳-۴- ارزیابی اقتصادی شمع های سکانت پایل (شهید بهشتی چابهار) :

شمع های سکانت پایل از نظر ساختار در گروه شمع های درجاریز می باشند با این تفاوت که از تکنولوژی پیشرفته تری برخوردارند و در عمل باعث ارتقای مشخصات فنی شمع و سازه می گردند. در این روش عملاً برای پروژه های دارای دیواره های ساحلی، طی یک فرآیند، عمل ساخت شمع و احداث دیواره ساحلی با کیفیتی بالاتر از جهت فنی و اقتصادی فراهم می شود. برای احداث این شمع ها نیاز به محیط ساحلی یا ایجاد دیواره آب بند موقت در ساحل ضرورت خواهد داشت و از نظر اجرایی نیاز به ماشین آلات پیشرفته تری درخصوص برش بتن شمع های غیر مسلح ضروری می باشد. به همین جهت هزینه ساخت شمع های مذکور به واسطه استفاده از دستگاه ویژه هزینه عملیات حفاری را به نسبت بالا می برد. هرچند که در مقایسه فنی و اقتصادی توام باید بررسی و ارزیابی شود. هزینه اجرای شمع های درجا سکانت پایل به قطر ۸۰ سانتیمتر در پروژه شهید بهشتی چابهار به ازای هر متر طول معادل ۳۱۴۳۶۶۷ ریال برآورد می گردد.

### ۴-۴- ارزیابی اقتصادی شمع های بتنی سانتریفوژ (بندر امام (ره)) :

شمع های بتنی سانتریفوژ به منظور تامین پایایی بتن در شرایط خاص بندر امام (ره) در نظر گرفته شد. شمع های سانتریفوژ در مقایسه با شمع های فلزی از شرایط نسبتاً آسانتری در تولید و تامین لوله های فلزی مخصوص با قطر بالا برخوردار می باشند. بر اساس مشخصات فنی محاسبات مربوط به برآورد ریالی در این بخش و برآورد فنی در بخش بعد مورد ارزیابی قرار گرفت. برآورد قیمت متر طول شمع سانتریفوژ طبق قرارداد (معادل دلاری) به ازای هر متر طول معادل 5,772,706 ریال برآورد می گردد.

برآورد قیمت متر طول شمع سانتریفوژ در صورت تولید در داخله ازای هر متر طول معادل ۴۶۵۳۹۵۶ ریال برآورد می گردد.

باید توجه داشت که قیمت مذکور بر اساس هزینه های تحمیل شده در خارج از کشور و لحاظ نمودن هزینه حمل و بارگیری و موارد دیگر محاسبه و ارائه شده است و این در حالی است که در زمان احداث اسکله قدیم بندر امام (ره) در حدود ۳۰ سال قبل شمع های مذکور در محل احداث اسکله توسط یک شرکت خارجی ساخته شد. در حقیقت هزینه ساخت، حمل و کوبش به نسبت تحت شرایط تولید شمع

در داخل کشور کمتر خواهد با توجه به ارزیابی های انجام شده در خصوص خرید کارخانه مذکور در حدود ۲۰ میلیارد ریال در صورتی که تعداد شمع های مورد نیاز به اندازه کافی (۱۰۰۰ عدد) در دستور کار قرار می گرفت، امکان ساخت کارخانه در داخل و بهینه نمودن پروژه وجود داشت. مبلغ فوق الذکر از طریق صرفه جویی در هزینه حمل قابل جبران بوده ضمن اینکه تکنولوژی ساخت شمع های فوق نیز به داخل کشور منتقل می شد. البته در شرایط فعلی ، پروژه در حدود ۶۰۰ عدد شمع نیاز دارد تصمیم گیری مدیریتی و بازاریابی فنی و اقتصادی و ارزیابی های اقتصادی همچنان در دستور کار می باشد هزینه واحد ساخت ، حمل و کوبش شمع های مذکور به ازای هر متر طول در خشکی و دریا به ترتیب معادل ۵۲۶۷۸۲۰ ریال و ۵۷۶۷۸۲۰ ریال برآورد گردید. لازم به ذکر است در حال حاضر بخش ساخت و حمل شمع هزینه ای معادل ۳۳۰ دلار با لحاظ نمودن هزینه های جانبی برای قطعات مختلف (۳۰، ۱۲، ۰۰۰) توسط فروشنده محاسبه می گردد و با منظور نمودن هزینه های بارگیری و دپو بر روی اسکله موقت و بارگیری و حمل از اسکله موقت جهت کوبش و فرآیند اتصال شمع ها و منظور نمودن عملیات برش کاری و استقرار و کوبش با هزینه محاسباتی انطباق دارد .

### ۴-۵- ارزیابی اقتصادی استفاده از شمع های فلزی :

یکی از نکات قابل توجه در بررسی انجام شده در پروژه های مورد مطالعه استفاده هم زمان از شمع های فلزی معادل با شمع های بتنی مورد مصرف در پروژه ها می باشد که امکان بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی را در شرایط یکسان برای تحقیق حاضر را فراهم نموده است ، همان طور که فصول گذشته در خصوص کیفیت فنی شمع های فلزی و بتنی اشاراتی شد . به واسطه شرایط خوردگی نسبتاً بالا و تجارب پیمانکاران ، مشاوران و کارفرمایان ، استفاده از شمع های بتنی با رعایت شرایط مناسب ساخت و عمل آوری بوده است تا شرایط کیفی از نظر فنی و اقتصادی تامین گردد . و با کمی دقت ملاحظه می شود شمع های بتنی سانتیفریوژ خریداری شده از خارج کشور امکان رقابت با قیمت شمع فلزی معادل را دارا می باشد و در صورتی که فرآیند تولید در کشور فراهم شود شمع های پر مقاومت PHC به راحتی با شمع های فلزی قابل رقابت می باشند . بنابراین هزینه تهیه ، حمل و کوبش شمع ۴۰ اینچ برای هر متر طول معادل

۶۹۸۹۴۰۰ ریال برآورد می‌گردد. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده و محاسبات انجام شده در خصوص محاسبه قیمت ساخت، حمل و کوبش انواع شمع‌های بتنی (پیش‌ساخته، درجاریز، پیش‌تنیده سانتریفوژ) و شمع فلزی در جدول ذیل خلاصه بررسی‌ها و نتایج با ذکر نام پروژه قابل ملاحظه می‌باشد.

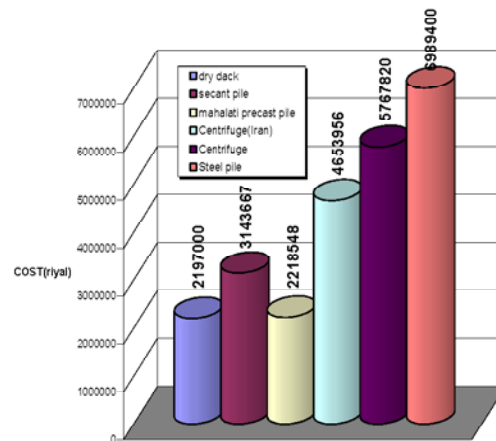
## همایش " توسعه قابلیت‌های مدیریتی و مهندسی در صنایع فراساحل "

جدول (۱) مقایسه برآورد قیمت شمعه‌های بتنی سانتریفوژ ( پروژه بندر امام (ره)) و شمعه‌های پیش ساخته بتنی و فولادی ( پروژه شهید محلاتی بوشهر) و شمعه‌های بتنی درجاریز (پروژه حوض خشک بندرعباس) و شمعه های سکانت پاییل (پروژه شهید بهشتی چابهار)

ردیف	انواع شمعه	شرح	واحد	تیمه شمعه (ریال)	استقرار و کوشش (ریال)	قیمت کل برای یک متر طول (ریال)
۱	شمعه‌های بتنی درجا ریز	شمع بتنی درجاریز معمولی	متر طول	2,197,000	—	2,197,000
		حوضچه خشک بطول ۲۴ متر و قطر ۸۰ سانتی متر	متر طول	3,143,667	—	3,143,667
۲	شمع بتنی پیش ساخته	—	متر طول	1,421,520	797,028	2,218,548
۳	شمع پیش ساخته و پیش تنیده سانتریفوژ با قطر یک متر در بندر امام (ره)	تولید خارجی	متر طول	426,782	1,500,000	5,767,820
		تولید داخلی	متر طول	۳۴۵۳۹۵۶	۱۲۰۰۰۰۰	۴۶۵۳۹۵۶
۴	شمع فولادی	—	متر طول	6,289,400	700,000	6,989,400

بر اساس اطلاعات موجود در جدول (۱) نمودار هزینه اجرا شمع های مختلف بدون لحاظ نمودن نوع

شمع و قطر شمع جهت ادامه بررسی در نمودار (۱) ملاحظه می گردد .



نمودار (۱) نمودار مقایسه برآورد هزینه انواع شمع ها

همانطور که ملاحظه می شود نمودار بالا تنها بیانگر جمع بندی اطلاعات جمع آوری شده در خصوص انواع شمع ها با

مشخصات مختلف از نظر هزینه می باشد .

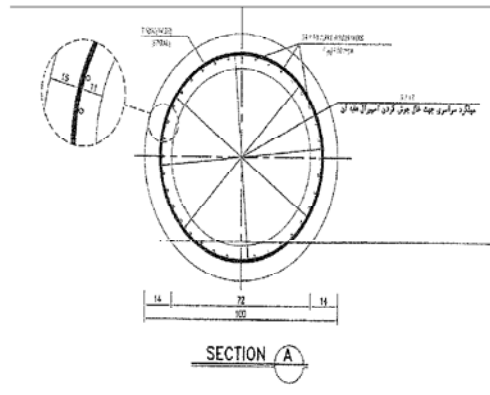
##### ۵- ارزیابی فنی شمع های پروژه های مورد مطالعه :

علاوه بر بررسی های اقتصادی انجام شده در خصوص انواع شمع های بتنی مورد مصرف در پروژه های مورد مطالعه جهت رسیدن به جمع بندی نهایی نیازمند ارزیابی فنی هریک از شمع ها می باشد . بدین منظور با توجه به ماهیت کاربرد هریک از شمع ها و شرایط خاص زمانی و جغرافیایی و هدف های طراحی امکان مقایسه شمع ها از نظر فنی بدون همسان نمودن مشخصات فنی وجود نخواهد داشت . علی رغم اینکه هریک از شمع ها برای اهداف خاص و شرایط ویژه ای طراحی شده بودند به همین منظور ابتدا با فرضیات مشابه ظرفیت باربری محوری و خمشی شمع ها بر اساس جداول و استانداردها محاسبه شدند که در ادامه شمع های هر پروژه به تفکیک مورد ارزیابی قرار می گیرد . لازم به ذکر است که عموماً در مقایسه فنی ظرفیت باربری محوری شمع ها مد نظر می باشد و علی رغم محاسبات انجام شده برای ظرفیت

خمشی و محوری مطابق نظر طراحان ارزیابی ها بر اساس ظرفیت باربری محوری شمع ها انجام می پذیرد.  
لازم به توضیح است محاسبات مربوط به شمع فلزی بکار رفته در پروژه فوق نیز محاسبه شد

### ۵-۱- بررسی ظرفیت باربری شمع های پیش تنیده سانتریفوژ :

مشخصات مقطع شمع های سانتریفوژ با مقطع دایره توخالی در شکل ذیل ملاحظه می گردد. با توجه به شرایط پیش تنیدگی و مشخصات مقطع و نوع شمع از نوع مقاومت بالا به واسطه پایین بودن نسبت آب به سیمان ظرفیت باربری محوری و خمشی شمع های فوق متفاوت می باشد.



شکل (۲) مقطع شمع سانتریفوژ

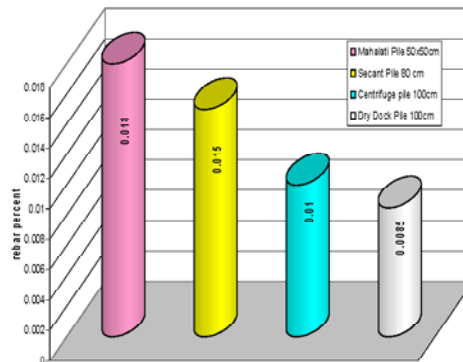
$$\gamma = \frac{0.4}{0.5} = 0.8$$

$$\rho = \frac{A_{st}}{A_g} = \frac{3240}{378056} = 0.0085$$

### ۵-۲- بررسی میزان آرماتور مصرفی (مقایسه فنی) :

منحنی میزان درصد آرماتور مصرفی برای انواع شمع های بتنی درجا ریز، پیش ساخته و سانتریفوژ در نمودار ملاحظه می گردد. لازم به ذکر است که در شمع های سانتریفوژ از کابلهایی با قطر ۱۰.۷ میلیمتر به تعداد بالا به جای آرماتور استفاده شده است.





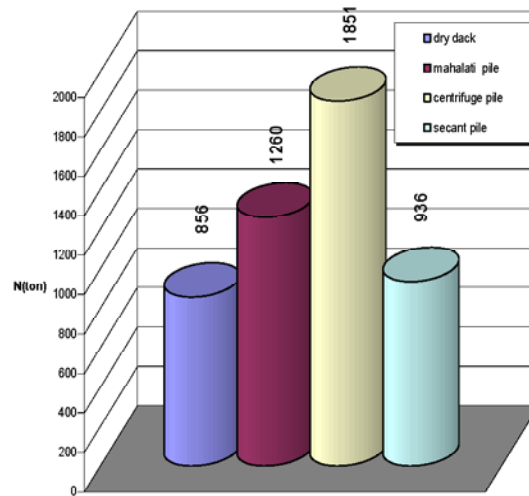
نمودار (۲) نمودار مقایسه ای میزان آرماتور مصرفی برای انواع شمع ها

همانطور که از نمودار (۲) ملاحظه می شود میزان آرماتور و فولاد مصرفی انواع شمع های بتنی با افزایش قطر کاهش می یابد .

یکی از مشکلات اساسی در پروژه های دریایی در جنوب کشور خوردگی فولاد موجود در بتن مسلح و قرارگیری آن در معرض یون کلر و سولفات‌ها می باشد . بنابراین در صورتی که درصد فولاد مصرفی پایین باشد احتمال خارج شدن شمع از ظرفیت باربری در طول زمان پایین می باشد و با توجه به اینکه در مورد شمع های پیش ساخته آرماتور با کمترین فاصله آزاد کار گذاشته می شود در خصوص کاربری این شمع ها در پروژه های جنوب کشور نیاز به تأمل بیشتری دارد .

### ۵-۳- بررسی محاسبه ظرفیت باربری واحد سطح شمع ها (مقایسه فنی):

بر اساس محاسبات انجام شده در خصوص ظرفیت باربری انواع شمع ها و اطلاعات موجود محاسبات مربوط به نیروی واحد سطح شمع محاسبه می گردد .

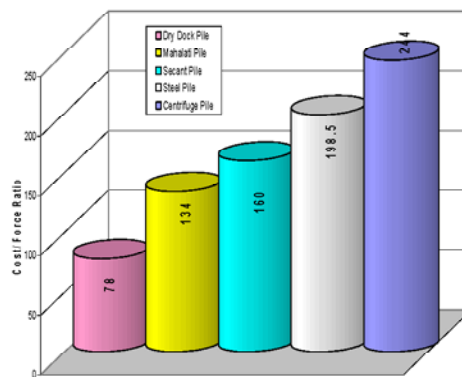


نمودار (۳) منحنی نیرو بر واحد سطح

در صورتی که نیروی واحد سطح شمع درجا حوض خشک را معادل عدد واحد در نظر بگیریم در آن صورت نسبت فوق برای شمع‌های محلاتی بوشهر و سانتریفیوژ به ترتیب معادل  $1047 = 1260 / 856$  و  $2016 = 1851 / 936$  خواهد شد.

#### ۴-۵- بررسی محاسبه نسبت هزینه بر بار وارد بر شمع‌ها (مقایسه اقتصادی):

با توجه به طول‌های تقریباً مساوی برای شمع‌های مورد اشاره به راحتی می‌توان هزینه انجام شده در مقابل ظرفیت باربری محوری حاصله را برای شمع‌های مختلف محاسبه نمود.



نمودار (۴) منحنی نسبت هزینه بر بار

#### ۴- دستاوردها و نتایج

نتایج و پیشنهادات بشرح زیر ارائه می گردد.

- ۱- انتخاب دقیق و مناسب نوع شمع و روش اجرای شمع برای هر پروژه نیاز به تحلیل اقتصادی و فنی داشته و مدیران پروژه لازم است قبل از شروع کار این بررسی را انجام دهند.
- ۲- مطالعات اولیه محل اجرای شمع، اطلاعات زمین شناسی، شناخت بافت، جنس لایه ها، شرایط مکانی زمین (خشکی یا دریا) و سایر شرایط آب و هوایی پیش نیاز ضروری در انتخاب نوع و روش اجرایی شمع می باشد.
- ۳- میزان دسترسی مجری پروژه به تجهیزات و ماشین آلات و نیز امکان بکار گیری آن تجهیزات و ماشین آلات (به علت شرایط و موقعیت زمینی یا دریایی) عامل دیگری در انتخاب نوع و روش اجرای شمع می باشد.
- ۴- روشهای پیچیده تر همواره روش های مقرون به صرفه تر نخواهد بود بلکه در بعضی شرایط روش های ساده و معمولی بهتر نتیجه می دهد.
- ۵- هرگاه آنالیزهای دقیق مبتنی بر اقتصاد مهندسی و همچنین اطلاعات زمین شناسی قابل اطمینان بهره گیری از روش های پیچیده تر و مکانیزه تر را توجیه نماید در انتخاب و بکار گیری آنها نباید تردید نمود.
- ۶- شمع های درجاریز معمولی را در دریا و یا در زمین هایی که سطح آبهای زیر زمینی در آنها بالا است نمی توان بکار برد ولی بعلت سادگی در اجراء، هزینه کم، تسریع در اجرای زمان پروژه و قابل اجرا بودن در زمین های رسی نسبتاً متراکم و اینکه مصالح مورد نیاز در دسترس بوده و از منابع داخل کشور قابل تأمین است نسبت به سایر شمع ها و روش ها اقتصادی تر و مناسب تر می باشند. در عین حال به علت عدم کنترل مناسب بر روی مشخصات فنی شمع و نیاز به کارایی بتن در زمان ریختن به کمک لوله ترمی در نتیجه افزایش اسلامپ، باعث می شود که از مقاومت کمتری نسبت به سایر شمع های پیش ساخته و سانتریفیوژ برخوردار باشند.

- ۷- سکانت پایل در واقع نوعی شیت پایل است که بجای صفحات فلزی با اجرای شمع های مسلح و غیرمسلح بصورت یک در میان، یک دیواره بتنی شمعی بوجود می آید که علاوه بر تحمل نیروهای محوری با در مقابل لنگرهای ناشی از نیروهای جانبی نیز مقاوم بوده و بیشتر در خشکی و خطوط دیواره ساحلی قابل اجرا می باشد. بقیه خصوصیات عیناً مثل شمع های درجاریز می باشد .
- ۸- شمع های بتنی پیش ساخته در دریا و خشکی قابل کوبش هستند ولی دارای معایبی بعلت نیاز به هزینه اولیه بالا و زمان نسبتاً طولانی در جهت ساخت حوضچه های تولید و عمل آوری، سرعت نسبی پایین در تولید در تولید شمع، راندمان نسبی پایین استقرار و حمل، کوبش بعلت طول و وزن زیاد شمع، محدودیت در انرژی وارده به شمع از طریق شمع کوب (به منظور جلوگیری از شکست شمع) در مقایسه با شمع های درجاریز و فلزی از مزیت کمتری برخوردارند. با این حال در صورتی که تعداد شمع های مورد نیاز پروژه از حد معینی (مثلاً برای پروژه شهید محلاتی ۱۴۰۰ عدد شمع باشد) فراتر رود در مقایسه با شمع های درجاریز از مزیت اقتصادی بهتری برخوردار خواهد شد.
- ۹- شمع های بتنی پیش ساخته با ابعاد بزرگ بدلیل هزینه بالای ساخت، بارگیری، محل و استقرار کوبش از نظر فنی و اقتصادی و اجرایی توصیه نمی شوند. با توجه به محاسبات بهینه یابی ابعاد و وزن شمع و محدودیت ابعاد و وزن چکش های شمع کوب مورد نیاز، حداکثر ابعاد برای شمع بتنی  $60 \times 60$  cm توصیه می شود.
- ۱۰- شمع های سانتریفیوژ دارای ظرفیت باربری واحد سطح بتن حدود  $800 \text{ kg/cm}^2$  و شمع های پیش ساخته حدود  $600 \text{ kg/cm}^2$  و شمع های درجاریز حدود  $350 \text{ kg/cm}^2$  می باشند. بنابراین شمع های سانتریفیوژ از نظر ظرفیت باربری واحد سطح بتن ، حداکثر مزیت را دارند . درحالیکه هزینه تمام شده آنها در شرایط فعلی (خرید از خارج) بالا می باشد ، اگر بتوان با تمهیداتی مثل تولید داخل و ... ، هزینه تمام شده را کاهش داد ، از نظر فنی و اقتصادی در بین شمع های بتنی از رتبه بالاتری برخوردار خواهند بود .

۱۱- شمع های بتنی پیش ساخته سانتریفیوژ در شرایط مساوی بعلت مقاوم بودن در برابر خوردگی و ظرفیت باربری محوری و لنگری بالا نسبت به شمع های درجا که در دریا کاربرد ندارد و نسبت به شمع های پیش ساخته معمولی و شمع های فلزی که در برابر خوردگی آسیب پذیرند ارجحیت بیشتری دارند.

۱۲- بررسی ارزیابی انواع شمع های بتنی نشان می دهد در صورتیکه تعداد شمع های بتنی سانتریفیوژ مورد نیاز در یک پروژه از حد معینی بیشتر باشد، خرید تجهیزات کارخانه و نصب در داخل کشور از نظر فنی و اقتصادی مقرون به صرفه خواهد بود. و از نظر اقتصادی شمع های بتنی سانتریفیوژ در صورت ساخت در داخل کشور حتی در مقایسه با شمع های فلزی ارزان تر تمام شده ، در عین حال هم اشتغالزایی ایجاد شده و هم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه خواهند بود.

لذا ساخت و تولید شمع های بتنی پیش ساخته و پیش تنیده سانتریفیوژ که در حال حاضر از خارج کشور خریداری و وارد می شوند اگر در داخل کشور راه اندازی و تولید شوند می توانند رقیب جدی برای شمع های فلزی باشند . بویژه از نظر خوردگی که در بنادر جنوب کشور یکی از معضلات پروژه های عمرانی است .

### فهرست مراجع و منابع:

- [۱] اسماعیل نژاد م. و ساطانی عربشاهی ک. " شالوده های عمیق (شمع) " ، انتشارات رامین ، ص ۶۱-۷۹ ، ۱۳۶۴.
- [۲] باولز ج ا. " تحلیل و طراحی پی " ، انتشارات جویبار ، ویرایش پنجم ، ۱۳۷۹
- [۳] رهایی ع. " اصول مهندسی پی " ، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر ، ص ۴۷۹-۴۹۰ ، ۱۳۷۷.
- [۴] فاخر ع. " پی سازی " ، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشکده فنی دانشگاه تهران، ص ۳۶۰-۳۹۷ ، ۱۳۷۱.
- [۵] " ثبت روش اجرا و تجربیات پروژه شهید باهنر " ، معاونت عمران قرب نوح (ع) ، تابستان ۱۳۸۰.
- [۶] " ثبت روش اجرا و تجربیات پروژه بندر امام " ، معاونت عمران قرب نوح (ع) ، آبان ۱۳۸۴.
- [۷] " روش اجرای اسکله بندر شهید بهشتی چابهار با طرح سکانت پایل " ، معاونت فنی عمران ساحل، ۱۳۸۴

- [۸] کیهانیان ع. "مقایسه فنی اقتصادی شمع‌های سانتریفیوژ با شمع‌های فلزی"، معاونت فنی عمران ساحل، ۱۳۸۳
- [۹] رمضانپور ع.ا. و طاحونی ش. و پیدایش م. "دستنامه اجرای بتن"، انتشارات علم و ادب، ص ۸۸۵-۹۰۹، ۱۳۸۲.
- [۱۰] پیش‌نویس آیین‌نامه طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران، مکانیک خاک و پی-فصل سوم: پی‌های شمعی.
- [۱۱] اطمیابی ا. "ساخت سازه‌های مهندسی"، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، ص ۵۲۳-۵۲۷، ۱۳۷۱
- [12] Tomlinson M.J. "Pile Design and Construction Practice", Viewpoint publications, 1977
- [13] Gerwick B.C. "Construction of offshore structures, John Wiley and sons, 1986
- [14] BS 8004 "British Standard Code of practice for Foundations", British Standard Publications, 1986
- [15] Beitelman, PE, Thomas E. "Structural Performance of ICP PHC piles", Structural research center, Florida department of transportation, September 2001