

## طراحی شمع ها براساس نتایج آزمایش CPTu و آزمایش دینامیکی در سازه های فراساحل، مطالعه موردی بر روی هشت شمع اجرا شده در پل میانگذر دریاچه اورمیه

برمک حسینی<sup>۱</sup>، ابوالفضل اسلامی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی  
۲- دانشیار و عضو هیات علمی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر تهران (پلی تکنیک)

[email: barmak.hb@gmail.com](mailto:barmak.hb@gmail.com)

### خلاصه

این مقاله قابلیت کاربرد پنج روش مبتنی بر نتایج آزمایش *CPTu* در تعیین ظرفیت باربری هشت شمع کوبشی اجرا شده در پروژه پل میانگذر دریاچه اورمیه در مقایسه با ظرفیت باربری اندازه گیری شده حاصل از نتایج آزمایش دینامیکی کوبش شمع، *PDA* به عنوان آزمایش مینا مورد بررسی و ارزیابی قرار می دهد. نتایج حاصل از ارزیابی های مختلف نشان می دهد که در حالت کلی روش های مبتنی بر نتایج *CPTu* از دقت کافی جهت محاسبه ظرفیت باربری شمع ها برخوردار می باشند. بنابراین در حالت کلی تلفیق آزمایش درجای *CPTu* با آزمایش دینامیکی کوبش شمع جهت طراحی شمع ها از جنبه ظرفیت باربری در سازه های دریایی می تواند مورد ملاحظه مهندسين طراح قرار گیرد.

**کلمات کلیدی:** ظرفیت باربری، محیط دریایی، شمع های کوبشی، آزمایش دینامیکی، آزمایش نفوذ سنج مخروطی *CPTu*

### ۱. مقدمه

پی های عمیق یا شمع ها در محیط های دریایی، به عنوان فونداسیون، انتخاب ارجح می باشند. یکی از مهم ترین عوامل موثر در پایداری و استحکام سازه های دریایی اجزای مربوط به فونداسیون آنها است که اغلب به صورت شمع های کوبشی فولادی، مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجایی که شمع های کوبشی برای سازه های دریایی در صورت پایدار نبودن باعث خرابی آنها می گردند، در نتیجه ارزیابی ظرفیت باربری شمع ها حائز اهمیت بوده و لازم است که شمع ها با دقت مناسبی طراحی شوند و در عین حال به علت صعوبت و سختی و نیز هزینه های بالا، تعداد و عمق بهینه ای برای استقرار شمع ها می بایست انتخاب گردد. تعیین ظرفیت باربری شمع ها از روش های مختلفی از قبیل: آنالیز استاتیکی، آزمایش دینامیکی، آزمایش بارگذاری شمع و استفاده از نتایج آزمایش های درجا قابل حصول می باشد. با در نظر گرفتن این نکته که از روش های مختلف محاسبه ظرفیت باربری شمع ها مبتنی بر روش های تحلیل استاتیکی پاسخ های بسیار متفاوتی حاصل شده، حتی تا چندین برابر با هم متفاوت می باشند، در نتیجه بایستی روش های ماکملی جهت کنترل و محاسبه ظرفیت باربری شمع ها با هدف طراحی اقتصادی تر مقاطع و طول شمع ها ارائه نمود. در این راستا آزمایش *CPT* و *CPTu* به عنوان یک روش مکمل می تواند در تحلیل ظرفیت باربری محوری شمع مورد استفاده قرار گیرد. شباهت دستگاه نفوذ سنج مخروطی یا پنترومتر با ساختمان یک شمع، دقت بالا و قابل ملاحظه تجهیزات الکتریکی دستگاه *CPTu* که امکان اندازه گیری همزمان فشار آب حفره ای ( $U_2$ ) را به همراه مقاومت نوک ( $q_c$ ) و جداره مخروط ( $f_s$ ) میسر می سازد، بعلاوه دست نخورده بودن خاک در حین آزمایش، از جمله عواملی هستند که انجام این آزمایش را در محیط های دارای خاک ریز دانه نرم تا متوسط با اقبال روز افزونی در طراحی شمع ها مواجه ساخته است. روش های متعددی جهت استفاده از نتایج این آزمایش برای محاسبه ظرفیت باربری شمع ها ارائه شده است. تحقیقات انجام شده در این زمینه حاکی از آن است که روابط مختلف ارائه شده برای استفاده از نتایج آزمایش *CPT* و *CPTu* نیز پاسخ های متفاوتی را ارائه می دهند، که این مهم محققین را به سوی بهگزینی این روش ها با توجه به مقایسه آنها با نتایج حاصله از آزمایش هایی نظیر بارگذاری استاتیکی و یا معادلات موج (*CapWap*) رهنمون می سازد. با توجه به میسر نبودن انجام آزمایش بارگذاری شمع در محیط های دریایی به دلیل صعوبت و سختی کار در این نوع محیط ها، استفاده از آزمایش های دینامیکی در حین کوبش شمع برای تحلیل ظرفیت باربری شمع ها انتخاب ارجح بوده، که یکی از ساده ترین و اقتصادی ترین روش ها جهت حصول اطمینان در مورد محاسبات انجام یافته می باشد.

با توجه به اهمیت موضوع در این مقاله، هشت شمع کوبشی فولادی اجرا شده در پروژه پل میانگذر دریاچه اورمیه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت و میزان تطابق روش های مختلف با آزمایش کوبش شمع تعیین گردید، تا بدینوسیله قابلیت و میزان کفایت روش های *CPT* و *CPTu* مورد ارزیابی قرار گیرد. برای این منظور نتایج ظرفیت باربری حاصله از روش های مبتنی بر آزمایش *CPT* و *CPTu*، با نتایج حاصل از آزمایش کوبش شمع، *PDA* توسط روش های آمار و احتمال مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند.