



## بررسی فشار برخاست (uplift) روی شمع توسط اجزاء محدود

سید محمد روحانی<sup>۱</sup>، سید محمد علی حسینی<sup>۲</sup>، محمد مهدی حیدری<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان [m.rohany@yahoo.com](mailto:m.rohany@yahoo.com)

<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان [sma.hosseiny@yahoo.com](mailto:sma.hosseiny@yahoo.com)

<sup>۳</sup>دانشجوی دکتری سازه های آبی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان و عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان [mehdiheydari1@yahoo.com](mailto:mehdiheydari1@yahoo.com)

### چکیده

در این مقاله یک شمع مجزا به همراه گروهی از شمع‌های دارای سطح مقطع متغیر به وسیله ی روش اجزاء محدود غیر خطی و تحت شرایط کرنش مسطح (تغییر شکل نسبی مسطح) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. هر ردیفی از گروه شمع‌ها ی در مسیر عرضی به نواری هم ارز (معادل) با حجمی مساوی با تعداد کل شمع ها تبدیل شده است. بالای شمع‌ها به یک سرپوش صلب (سخت) شمع متصل شده به طوری که تحت بار برخاست (uplift)، هر یک از شمع‌ها متحمل جابجایی عمودی یکسانی می‌شوند. سرپوش، شمع و خاک به چهار عنصر ایزوپارامتری گره دار تجزیه شده‌اند. خاک بوسیله ی معیار تسلیم دراکر - پراگر<sup>۱</sup> به صورت یک محیط دارای خاصیت ارتجاعی - خمیری در آمده است. منحنی‌های بار - تغییر مکان برای یک شمع منفرد فراهم شده‌اند، و یک شمع مجزا از گروهی از شمع ها انتخاب شده است. تاثیر سطح مقطع سطح مقطع متغیر بر روی منحنی بار - تغییر مکان نیز مورد تحلیل واقع شده است. ظرفیت حمل بار دارای سطح مقطع متغیر بیش از بار شمع دارای میله ی مستقیم که حجم بتنی یکسانی دارد می باشد. اندر کنش بین شمع ها در فاصله بندی نزدیک ترو حداقل در فاصله بندی بالاتر بیشتر یافت شده است و این امر به تغییر مکان بیشتر یک شمع در یک گروه منجر می شود. ظرفیت حمل بار یک شمع منفرد بیش از بار یک شمع در یک گروه در شمع‌های تحت بار برخاست (uplift) و دارای سطح مقطع متغیر است. ظرفیت حمل بار گروهی از شمع‌ها بیش از یک شمع منفرد یافت شده است.

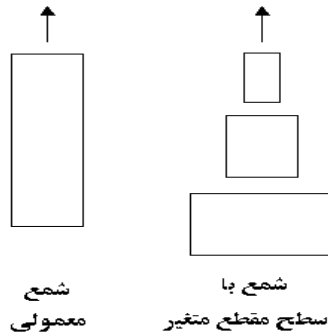
کلمات کلیدی: شمع منفرد، سطح مقطع متغیر، تجزیه و تحلیل، تغییر مکان، ظرفیت حمل بار، شمع‌های گروهی.

### مقدمه

شمع‌های تحت بار عمودی اکثراً برای سازه‌های سنگینی استفاده می‌شوند که در آنها بار جانبی تأثیر گذار بر شمع ناچیز و بی اهمیت تصور می‌شود. برای سازه‌هایی که در آنها بار جانبی حائز اهمیت می‌باشد، کاربرد شمع در جاییکه شمع‌ها تحت بار برخاست (uplift) باشند، ضروری است. این شمع‌ها برای استقامت و امنیت سازه بسیار مفید می‌باشند. این شمع‌ها بار را از طریق اصطکاک سطحی حمل می‌کنند. شمع‌ها به صورت یک واحد منفرد و یا یک گروه قابل تهیه می‌باشد. بسته به مقاومت برخاست (uplift) که توسط شمع‌ها برای استقامت سازه حمل می‌شود. بعضی از تاریخچه‌های مهم مربوط به این مقاله عبارتند از: پاتس و مارتینز (۱۹۸۲)، چو (۱۹۸۷)، پولو و کلمنته (۱۹۸۸)، تروچانیز (۱۹۹۱)، ول و ناگار (۱۹۹۸)، کاستلی و ماگری (۲۰۰۲). پاتس و مارتینز (۱۹۸۴)، تجهیز کارگاه تنش برشی را در طول یک شمع دارای میله ی ناصاف و زبر در خاک رس متراکم شده ی نرمال گزارش دادند. چو (۱۹۸۷) یک روش عددی را برای تجزیه و تحلیل سه گروه کلی از شمع‌های بعدی (ابعادی) را ارائه داد. پولو و کلمنته (۱۹۸۸) یک روش پیش بینی نشست شمع‌های گروهی را برای مواردی ارائه دادند که در آنها شمع‌ها به وسیله سرپوش صلب شمع در کنار همدیگر قرار می‌گیرند. چو (۱۹۹۱) یک تجزیه و تحلیل عددی را برای بررسی رفتار گروه‌های شمع بارگذاری شده ی عمودی ارائه داد که این گروه‌ها در یک خاک همگن جاسازی شده بودند که سرپوش شمع در تماس با زمین قرار داشت. تروچانیز (۱۹۹۱) تأثیر رفتار غیر خطی خاک را بر واکنش محوری و جانبی شمع‌ها به خاطر بارگذاری یکنواخت و دوره‌ای مورد بررسی قرار داد. ول و ناگار (۱۹۹۸)

<sup>1</sup> - Drucker-Prager

تحقیق تجربی در خصوص شمع ماهیچه‌ای را مورد بحث قرار دادند. کاستلی و ماگری (۲۰۰۲) یک روش تقریبی برای تجزیه و تحلیل واکنش غیر خطی گروه‌های شمع بارگذاری شده‌ی عمودی پیشنهاد کردند. در این مقاله تجزیه و تحلیل شمع مجزا و شمع‌های گروهی با سطح مقطع متغیر بوسیله روش اجزاء محدود برای یافتن ظرفیت حمل بار آن و بررسی رفتار آن انجام گرفته است.



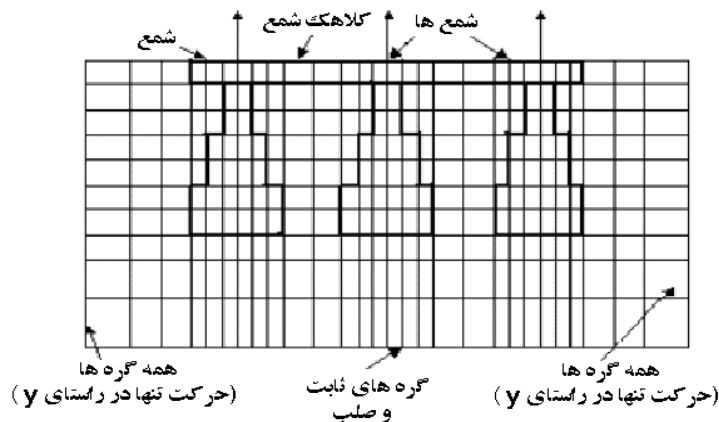
شکل ۱- شمع دارای میله‌ی مستقیم و با سطح مقطع متغیر

### فرمول اجزاء محدود

ماتریس سختی اجزاء، بردار بار اجزاء، مجموعه ماتریس سختی و برداری بار، مدل اساسی مورد بررسی، مشتق ماتریس ارتجاعی - خمیری، روش تکراری برای حل معادله‌ی غیر خطی اجزای محدود و اعتبار دو مدل بعدی اجزاء محدود مورد بررسی توسط نویسنده‌ی این مقاله ماها راج (۲۰۰۳) گزارش شده‌اند.

### تجزیه و تحلیل اجزاء محدود

شکل ۲ قسمتهای اجزاء محدود مورد بررسی را برای تجزیه و تحلیل شمع تحت بار برخاست (uplift) نشان می‌دهد. شمع و خاک توسط عناصر چهار گرهی اجزاء محدود ایزوپارامتری تجزیه شده‌اند. خاک بوسیله‌ی معیار تسلیم دراکر - پراگر به صورت یک محیط دارای خاصیت ارتجاعی - خمیری درآمده است. معادله‌ی غیرخطی اجزاء محدود با روش تکراری نیوتن - رافسون<sup>۱</sup> حل شده است. یک منطقه از خاک بطول ۲۸ متر و عمق ۱۵ متر در تجزیه و تحلیل مورد بررسی قرار گرفته است بطوری که مرز خاک در هریک از دو انتها، در فاصله‌ی ۱۰ متری از مرکز شمع‌های انتهایی قرار دارد. فاصله بندی مرکز به مرکز بین شمع‌ها برابر با ۴ متر بوده است. مرز زیرین حوزه‌ی خاک مورد بررسی کاملاً صلب بوده، درحالی که مرز لبهای خاک فقط از میزان آزادی عمودی برخوردار می‌باشد.



شکل ۲- جدا کردن اجزاء محدود برای گروه شمع‌های دارای سطح مقطع متغیر

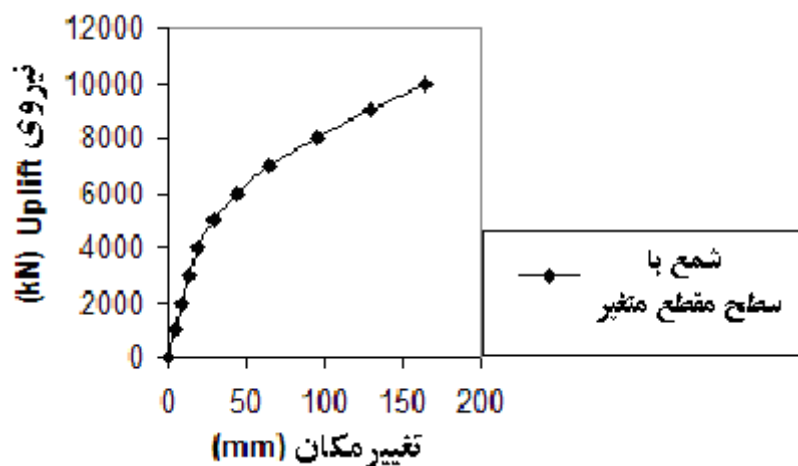
<sup>1</sup> - Neuton-Rapshon

### خواص مواد

محدوده‌ی خواص مواد و سایر پارامترهای استفاده شده به شرح زیر می‌باشد: طول شمع: ۱۲ متر، عرض شمع: ۱،۲،۳ متر که در هر ۴ متر عمق متغیر بوده است. عرض شمع برای شمع عادی: ۲ متر، ضریب سرپوش (کلاهیك) و مصالح شمع:  $2 \times 10^6 \text{ KN} / \text{M}^2$  ، ضریب پواسون سرپوش (کلاهیك) و مصالح شمع: ۰،۳۰، ضریب یانگ خاک برابر  $32007600 \text{ KN} / \text{m}^2$  ، ضریب پواسون خاک: ۰،۴۵ و چسبندگی خاک برابر  $29/10,634 \text{ kN} / \text{m}^2$  است.

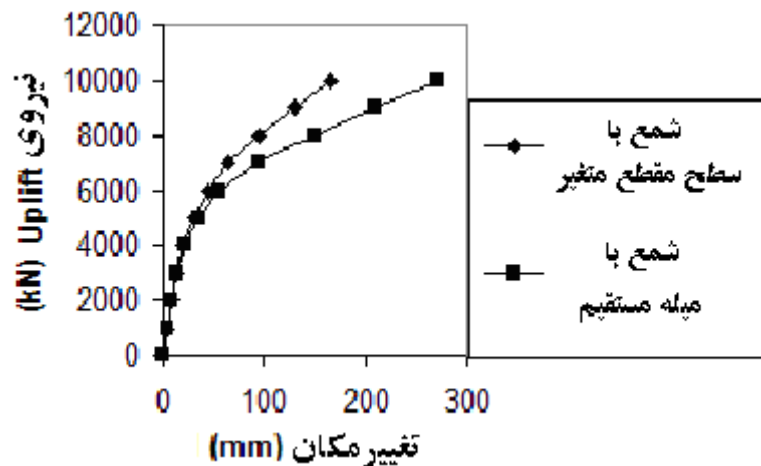
### نتایج و بحث

شکل (۳) منحنی بار- تغییرمکان را برای یک شمع مجزای دارای سطح مقطع متغیر را برای ضریب یانگ خاک  $76000 \text{ KN} / \text{m}^2$  نشان می‌دهد. منحنی بار- تغییرمکان در ابتدا خطی بوده و سپس به صورت غیرخطی در می‌آید. برای یک تغییرمکان شمع، می‌توان ظرفیت حمل بار شمع تحت بار برخاست (uplift) را یافت. به طور مشابه، وقتی بار مشخص شود، تغییرمکان شمع رامی‌توان بدست آورد. برای یافتن ظرفیت برخاست مجاز شمع بایستی تغییرمکان مجاز را مورد بررسی قرار داد.



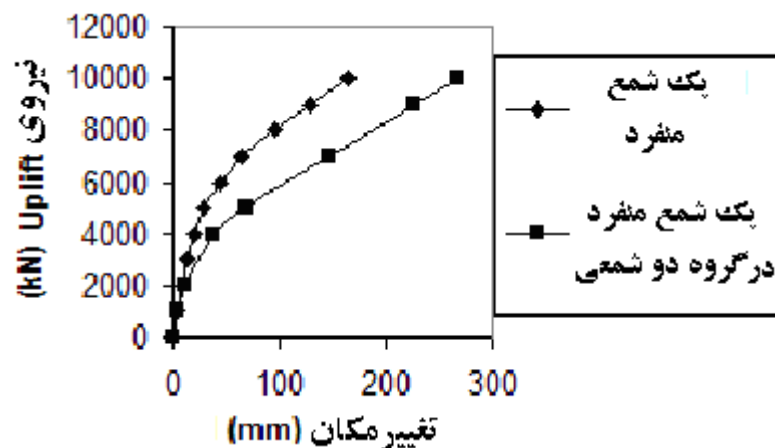
شکل ۳- منحنی بار- تغییرمکان برای شمع دارای  $E_s = 76000 \text{ KPa}$

شکل (۴) مقایسه بین منحنی بار- تغییرمکان شمع دارای میله ی مستقیم و شمع دارای سطح مقطع متغیر با حجم کلی یکسان از بتن را نشان می‌دهد. تأثیر سطح مقطع متغیر این است که ظرفیت حمل بار شمع را افزایش می‌دهد. این افزایش ظرفیت در تغییرمکان بالاتر شمع حائز اهمیت بوده است.



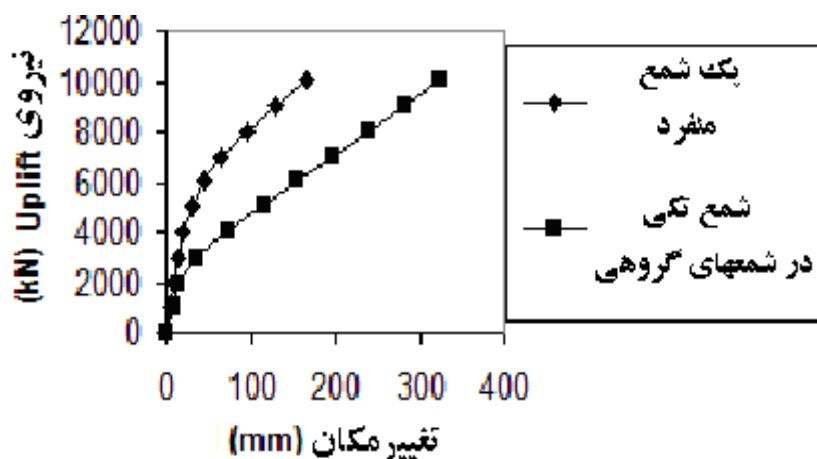
شکل ۴- مقایسه‌ی منحنی‌های بار- تغییر مکان برای شمع‌های سطح مقطع عادی و متغیر

شکل (۵) مقایسه‌ی منحنی بار- تغییر مکان را برای یک شمع منفرد و یک شمع منتخب از گروه متشکل از دو شمع را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که باری که توسط یک شمع منفرد حمل می‌شود بیشتر از باری است که یک شمع مجزا در گروهی از شمع‌ها حمل می‌کند. این امر به خاطر اندر کنش بین شمع‌هاست که ظرفیت آنرا کاهش می‌دهد.



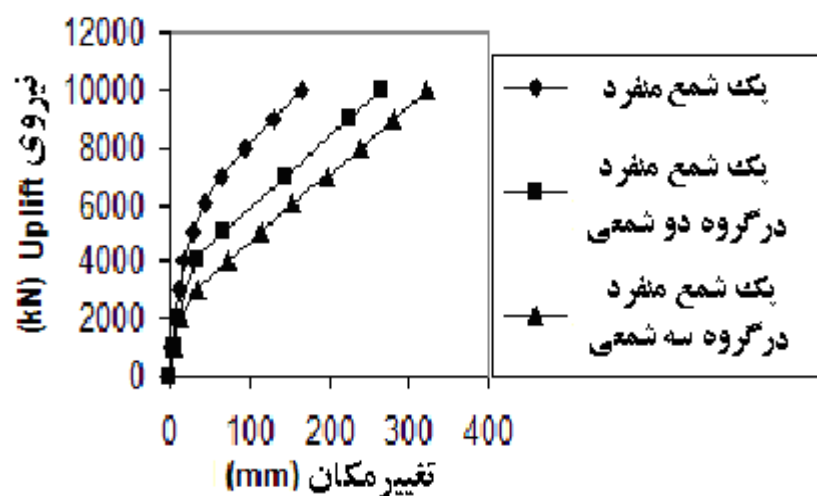
شکل ۵- مقایسه‌ی منحنی‌های بار- تغییر مکان برای شمع‌های مجزا و شمع‌های گروهی

شکل (۶) مقایسه‌ی منحنی بار- تغییر مکان را برای یک شمع منفرد و یک شمع منتخب از گروه متشکل از سه شمع (از نظر عرض) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که باری که توسط یک شمع منفرد حمل می‌شود بیشتر از باری است که یک شمع مجزا در گروهی از شمع‌ها حمل می‌کند. این امر به خاطر اندر کنش بین شمع‌هاست که ظرفیت آنرا کاهش می‌دهد. همچنین مشاهده می‌شود که در مقایسه با یک گروه متشکل از دو شمع، ظرفیت حمل بار یک شمع در یک گروه کاهش یافته است. این امر به دلیل این حقیقت است که هنگامی که فاصله‌بندی بین شمع‌ها کاهش بیابد، تأثیر اندر کنش بین شمع‌ها بیشتر است و لذا ظرفیت شمع کاهش می‌یابد.



شکل ۶- مقایسه‌ی منحنی شمع‌ها برای شمع‌های مجزا و شمع تکی در یک گروه شمعها

شکل (۷) مقایسه‌ی تغییر مکان یک شمع منفرد و یک شمع در یک گروه متشکل از سه شمع را نشان می‌دهد. از این شکل آشکار می‌شود که یک شمع در یک گروه متشکل از سه شمع بیشتر متحمل تغییر مکان می‌شود تا در یک گروه متشکل از دو شمع. یک شمع منفرد کمترین میزان تغییر مکان را متحمل می‌شود. این امر حاکی از آنست که هرچه شمع‌ها نزدیک تر باشند، ظرفیت شمع کمتر است. لذا می‌توان گفت که بازده (کارایی) گروه شمع‌ها در خاک رس دار کمتر از یک می‌باشد.



شکل ۷- مقایسه‌ی منحنی‌های جابجایی بار برای شمع‌های مجزا و شمع در یک گروه

### نتیجه‌گیری

فشار برخاست (UPLIFT) شمع به طرز قابل توجهی با ایجاد شمعی با سطح مقطع متغیر با حجم بتن یکسان افزایش می‌یابد، به عبارت دیگر، ظرفیت حمل بار شمع دارای سطح مقطع متغیر بیشتر از ظرفیت شمع معمولی با حجم بتنی یکسانی دارد می‌باشد. اندر کنش بین شمع‌ها در فاصله‌بندی نزدیک تر و حداقل در فاصله بندی بالاتر بیشتر یافت می‌شود این امر به تغییر مکان بیشتر یک شمع در یک گروه منجر می‌شود. ظرفیت حمل بار یک شمع مجزا همیشه بیشتر از ظرفیت حمل بار یک شمع در یک گروه است. البته در خصوص شمع‌هایی که تحت فشار برخاست (UPLIFT) و دارای سطح مقطع متغیر بوده‌اند. ظرفیت حمل بار گروهی از شمع‌ها بیش از یک شمع مجزا یافت شده است، اما ظرفیت حمل بار گروهی از شمع‌ها کمتر از ظرفیت همان تعداد شمع منفرد می‌باشد. بازده گروهی از شمع‌ها کمتر از یک می‌باشد.

## مراجع

- 1- Castelli, F. and Maugeri, M., Simplified nonlinear analysis for settlement prediction of pile groups Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.128, No.1, pp76-84 (2002).
- 2- Chow, Y.K., Three dimensional analysis of pile groups, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 113, No.6, pp.637-651 (1987).
- 3- Chow, Y.K., Pile-cap-pile group interaction in nonhomogeneous soil, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.117 No.11, pp.1655-1667 (1992).
- 4- Maharaj, D.K., Nonlinear finite element analysis of strip footing on reinforced clay, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol.8, Bundle(C), Paper 2003-0338(2003).
- 5- Polo J.M. and Clemente L.M., Pile-group settlement using independent shaft and point loads, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 114, No.4, pp.469-487(1988).
- 6- Potts, D.M. and Martins, J.P., The shaft resistance of axially loaded piles in clay, Geotechnique, Vol.32, No.4, pp. 369-386 (1982).
- 7- Trochanis, A.M., Bielak, J. and Christiano, P., Three-dimensional nonlinear study of piles, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 117, No.3, pp.429-447 (1991).