



سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی





نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
 10-8 آذر ماه (تهران)



آنالیز شمع های تحت بار قائم فشاری در حالت الاستوپلاستیک

شادی دارایی ، دانشجوی کارشناسی ارشد ، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی ، shada_60@yahoo.com ،
 محمود قضاوی ، استادیار ، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی ، ghazavi_ma@kntu.ac.ir ،

کلید واژه: شمع، بار محوری، الاستوپلاستیک، خاک لایه ای

1- خلاصه مطالعات انجام شده

هدف در این مقاله گسترش روش قطعه به قطعه (SSM)، ارائه شده توسط Ghazavi و همکاران در سال 1997 [1]، به حالت الاستوپلاستیک و تعیین رفتار بار-نشست شمع ها تحت اثر بار قائم در خاک همگن و لایه ای می باشد. روش جدید SSM در حالت الاستوپلاستیک ارائه دهنده یک روش قابل اعتماد و در عین حال ساده برای تعیین توان باربری و رفتار بار-نشست شمع های فشاری می باشد. این روش با استفاده از روش های سنتی تعیین ظرفیت باربری جداری، انتهای شمع و همچنین تنش برشی نهایی استفاده شده توسط Lehane [2] می تواند رفتار بار-نشست و توان باربری کل شمع در حالت غیر خطی و همچنین برای خاک همگن یا لایه ای را به دست آورد. برنامه تعیین توان باربری شمع تحت اثر بار قائم در حالت الاستوپلاستیک در MATLAB نوشته شده است. بر اساس این برنامه شمع به n قسمت مساوی تقسیم می شود و یک مقدار اولیه برای بار وارد بر سر شمع و یک مقدار تغییر شکل برای المان اول فرض می شود. این مقادیر فرضی با استفاده از اصطکاک نهایی در طول جداره المان و حداکثر بار قابل تحمل در انتهای شمع کنترل می شوند. این روند به صورت پیش رونده ادامه می یابد تا در نهایت مقدار بار و جابجایی حداکثر قابل تحمل برای شمع به دست می آید. در روند این برنامه مقدار بار متناظر با هر مقدار جابجایی اعمالی وارد بر سر شمع به دست می آید و بر این اساس می توان نمودار بار-جابجایی شمع را رسم کرد.

2- مقدمه

علیرغم پیشرفت چشمگیر علم مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک در دهه های اخیر، تعیین ظرفیت باربری شمع ها هنوز با دشواری هایی همراه است. خواص فیزیکی و مکانیکی منحصر بفرد خاک مانند ناهمگونی، ناهمسانی، وجود آب، تنوع ترکیبات مختلف خاک در طبیعت، استعداد خزش، رفتار پیچیده تنش- کرنش از یک سو و تنوع شمع ها از لحاظ جنس مصالح، شکل مقاطع، روش های ساخت و استقرار و سایر موارد دیگر موجب پیچیدگی اندرکنش المان سازه ای شمع و خاک اطراف آن می گردند. لذا مدل کردن چنین شرایط پیچیده ای که متغیرهای مختلفی در آن دخالت دارند، به سادگی میسر نیست. به همین دلیل پژوهشگران متعددی در دهه های گذشته تلاش در جهت ارائه روابط تئوریک یا تجربی مختلفی برای تعیین ظرفیت باربری نموده اند. روش های تحلیلی استاتیکی متفاوتی برای محاسبه توان باربری شمع ها بر اساس فرضیات متفاوت ارائه شده است که اگرچه اکثر پژوهش های انجام شده برای محاسبه توان باربری شمع ها تحت اثر بار قائم در خاک لایه ای از دقت خوبی برخوردار بوده است لیکن این مطالعات در محدوده الاستیک می باشند. هدف ارائه این مقاله روشی جدید برای تعیین توان باربری و رفتار بار-جابجایی شمع ها تحت اثر بار محوری قائم در خاک لایه ای، با رفتار خاک به صورت الاستوپلاستیک، می باشد.

3- روند و فرمول بندی SSM در حالت الاستوپلاستیک

در این روش شمع مطابق (شکل 1) به n قسمت مساوی تقسیم می شود و با فرض یک مقدار اولیه برای بار (P_T) و جابجایی (W_T) سر شمع و تغییر شکل اولیه المان اول (a_1) محاسبات آغاز می شود. جابجایی اولیه قطعه اول با استفاده از رابطه (1) و تعیین تنش برشی بر سطح شمع در قطعه اول (τ_1) ، با استفاده از رابطه (2) [2] محاسبه می شود:

$$(1)$$

$$d_1 = W_T - a_1$$

W_T : مقدار جابجایی اولیه سر شمع

a_1 : مقدار تغییر شکل اولیه المان اول

d_1 : جابجایی کل در وسط المان اول

$$(2)$$

$$\tau_1 = d_1(G/r_0(1/(3\log 2 + \log(r_m/r_0))))$$

مقدار r_m به صورت زیر قابل محاسبه می باشد [3]:

$$r_m = 2.5L(1 - \nu)$$

$$(3)$$

که در آن:

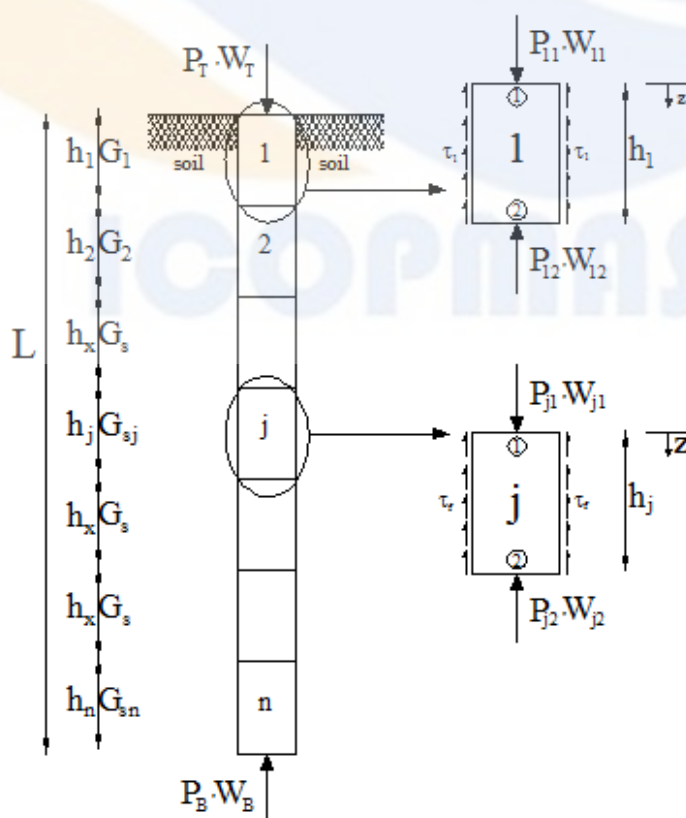
r_m : فاصله از مرکز شمع که از آنجا دورتر، خاک تحت تأثیر تنش های بارگذاری شمع فرار نمی گیرد.

r_0 : شعاع شمع

L : طول شمع

G : مدول برشی لایه خاکی که المان مورد نظر در آن قرار دارد.

ν : نسبت پواسون لایه مورد نظر



سپس مقدار τ_1 با مقدار تنش برشی گسیختگی (τ_f) در المان مورد نظر مقایسه می‌شود. اگر مقدار τ_1 از مقدار تنش برشی گسیختگی بزرگتر باشد، به جای مقدار τ_1 از مقدار τ_f در محاسبات استفاده می‌شود و در غیر این صورت از همان مقدار τ_1 استفاده می‌شود. در این روش برای محاسبه تنش برشی گسیختگی (τ_f) در طول جداره، با توجه به نوع خاک، از یکی از روش‌های α, β, λ استفاده می‌شود بنابراین:

$$\begin{cases} \tau_f = \alpha c_u \\ \tau_f = \sigma_{rc} \tan \delta \\ \tau_f = c_a + \sigma_{rc} \tan \delta \\ \sigma_{rc} = (1 - \sin \phi) \sigma_v \end{cases} \quad (4)$$

با تعیین نیروی برشی در جداره قطعه اول، نیرو و جابجایی در قطعه اول قابل محاسبه خواهند بود و مقدار تغییر شکل قطعه اول با استفاده از رابطه (5) محاسبه می‌شود و این مقدار با مقدار اولیه تغییر شکل فرض شده (a_1) مقایسه می‌شود. محاسبات تا تطبیق قابل قبول c_1 و a_1 ادامه می‌یابد.

$$c_1 = \frac{P_{1T}}{AE_p} H \quad (5)$$

که در آن:

P_{1T} : بار فشاری قطعه اول

E_p : مدول الاستیسته شمع

A : مساحت مقطع شمع

H : ارتفاع المان

سپس مقادیر نیرو و جابجایی در قطعه اول برای قطعه بعدی به عنوان شرایط مرزی در نظر گرفته می‌شوند. این روند ادامه می‌یابد تا در نهایت نیروی قابل تحمل جداره به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{shaft} = P_{11} + P_{21} + P_{31} + \dots + P_{n1} \quad (6)$$

با کسر مقادیر تغییر شکل‌های قطعات از مقدار جابجایی فرض شده اولیه (W_T)، مقدار جابجایی انتهایی شمع (W_{Bottom}) تعیین می‌شود و بنابراین نیروی قابل تحمل انتهایی (P_{Bottom}) با استفاده از رابطه (8) به دست می‌آید:

(7)

$$W_{Bottom} = W_T - \sum_{i=1}^n c_i$$

$$P_{Bottom} = \frac{4r_0 G_{Bottom}}{(1 - \nu_{sb})} W_{Bottom} \quad (8)$$

که در آن:

G_{Bottom} : مدول برشی خاک انتهایی شمع

ν_{sb} : نسبت پواسون خاک انتهایی شمع

مقدار نیروی قابل تحمل انتهایی (P_{Bottom}) با مقدار نیروی نهایی قابل تحمل توسط انتهای شمع (P_{ult}) مقایسه می‌شود. اگر مقدار P_{Bottom} از مقدار نیروی نهایی بزرگتر باشد، به جای مقدار P_{Bottom} از مقدار P_{ult} در محاسبات استفاده می‌شود و در غیر این صورت از همان مقدار P_{Bottom} استفاده می‌شود.

مقاومت فشاری انتهای شمع نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{ult} = q_{ult} \times A \quad (9)$$

$$(10)$$

$$q_{ult} = cN_c + qN_q + 0.5B\gamma N_\gamma$$

که در آن:

q_{ult} : حداکثر تنش زیر پی‌های سطحی

A : مساحت نوک شمع

N_q و N_γ : ضرایب بدون بعد تعیین ظرفیت باربری هسنس

B : قطر شمع

$$q = \gamma L$$

γ : وزن مخصوص خاک

مجموع نیروی به دست آمده از جداره و انتهای شمع با مقدار نیروی فرضی اولیه (P_T) مقایسه می‌شود. اگر اختلاف بین این دو ناچیز باشد، مقدار نیروی به دست آمده و W_T اولیه فرض شده یکی از نقاط روی منحنی بار-جابجایی هستند، در غیر این صورت با در نظر گرفتن مقدار نیروی جدید به عنوان فرض بعدی مقدار اولیه بار فشاری روند تکرار می‌شود.

4- بررسی صحت نتایج به دست آمده از SSM با نتایج تست‌های موجود در خاک همگن

داده‌های پایه مربوط به نمونه شمع A در منطقه West Seattle، که بر گرفته از مقاله Alawneh و همکاران [4] است، انتخاب شده‌اند. (جدول 1) مشخصات شمع و (جدول 2) خصوصیات خاک منطقه مورد آزمایش را نشان می‌دهند. خاک منطقه تا ارتفاع 10 متری ماسه شل و از آن به بعد ماسه سخت و خیلی سخت می‌باشد. جنس این شمع بتنی و مقطع آن هشت ضلعی پیش ساخته می‌باشد. با توجه به مقدار $\varphi_{toe} = 36^\circ$ ، مقادیر N_q و N_γ برای برآورد حداکثر تنش نوک شمع (q_{ult})، به ترتیب 37.75 و 40.05 می‌باشند، بنابراین با استفاده از رابطه (9) و سپس رابطه (10) مقادیر q_{ult} و P_{ult} قابل محاسبه می‌باشند. (شکل 2) مقایسه نتایج حاصل از SSM در حالت الاستوپلاستیک در این پژوهش و نتایج تست انجام شده در West Seattle را نشان می‌دهد.

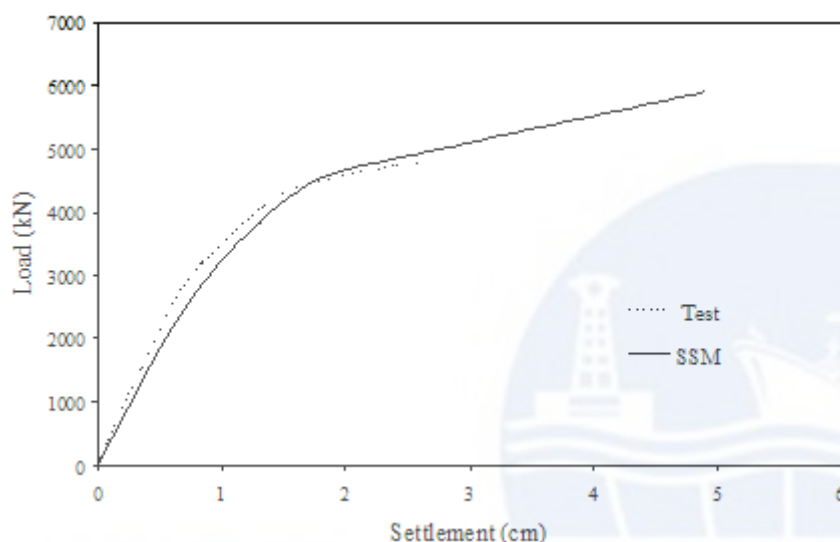
جدول 1) مشخصات شمع مورد آزمایش در منطقه West Seattle [4]

مقادیر	مشخصات شمع
29/9	طول (m)
0/61	قطر (m)
3075	مساحت (cm^2)
40	مدول یانگ (E_p) (GPa)
بتن هشت ضلعی درجا	نوع مقطع

جدول 2) مشخصات خاک در منطقه West Seattle [4]

مقادیر	خصوصیات خاک
--------	-------------

70	مدول یانگ (E_s (MPa))
0/3	نسبت پواسون (ν_s)
18	وزن مخصوص (γ ($\frac{kN}{m^3}$))
0	چسبندگی (c (kPa))
36	زاویه اصطکاک (ϕ ($^\circ$))
23	زاویه اصطکاک بین خاک و شمع



شکل 2) مقایسه نتایج حاصل از SSM در حالت الاستوپلاستیک در این پژوهش و نتایج تست انجام شده در West Seattle در خاک ماسه‌ای همگن

4- بررسی صحت نتایج به دست آمده از SSM با نتایج تست‌های موجود در خاک لایه‌ای

از داده‌های پایه و نتایج تست موجود در مقاله Neves و همکاران [5]، برای مقایسه نتایج حاصل از ظرفیت باربری شمع تحت اثر بار قائم در خاک لایه‌ای، حاصل از SSM در حالت الاستوپلاستیک، استفاده شده است. میانگین مقادیر خصوصیات مربوط به لایه‌های مختلف خاک، که از آنها برای مدل‌سازی استفاده شده است، در (جدول 3) ارائه شده است. همچنین سطح آب زیر زمینی 1 متر پایین‌تر از انتهای شمع می‌باشد.

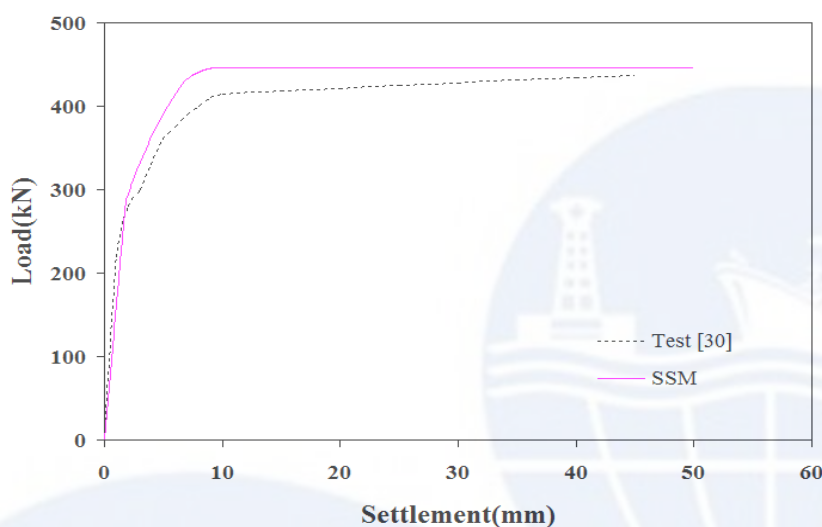
جدول 3) میانگین مقادیر پارامترهای خاک [5]

لایه چهارم	لایه سوم	لایه دوم	لایه اول	خصوصیات خاک
>11	8/3 تا 11	8/3 تا 6/3	0 تا 6/3	عمق (m)
19300	13570	13510	9150	مدول یانگ (E_s (kPa))
0/3	0/3	0/3	0/3	نسبت پواسون (ν_s)
10	19/8	18/8	16/7	وزن مخصوص (γ ($\frac{kN}{m^3}$))
17	14	12	13	چسبندگی (c (kPa))
23	23	23	26	زاویه اصطکاک (ϕ ($^\circ$))

(جدول 4) مشخصات شمع مورد آزمایش را نشان می‌دهد. شمع استفاده شده در این تست بتنی است و مقاومت فشاری بتن استفاده شده 25 مگاپاسکال می‌باشد. کلیه مقادیر برگرفته از مقاله Neves و همکاران [5] می‌باشد.

مقادیر	مشخصات شمع
10	طول (m)
0/4	قطر (m)
23/5	مدول یانگ E_p (GPa)
بتن	نوع مقطع

ضرایب بدون بعد ظرفیت باربری هسن، با توجه به مقدار زاویه اصطکاک لایه آخر ($\phi' = 23^\circ$) برابرند با: $N_q = 8.71, N_c = 18.1, N_\gamma = 4.94$ (شکل 3) مقایسه نتایج حاصل از SSM در حالت الاستوپلاستیک در خاک لایه‌ای در این پژوهش و نتایج تست انجام شده را نشان می‌دهد.



شکل 3) مقایسه نتایج حاصل از SSM در حالت الاستوپلاستیک در خاک لایه‌ای در این پژوهش با نتایج حاصل از تست در مقاله Neves و همکاران [5]

3- نتیجه گیری

بررسی‌ها و تغییرات سنجی‌های انجام شده نشان می‌دهد که نتایج حاصل از این روش تطابق خوبی با نتایج تست‌های موجود در خاک همگن و لایه‌ای دارد. با استفاده از این روش می‌توان تغییرات بار-نشست را برای شمع مدفون در خاک همگن و لایه‌ای تحت اثر بار قائم در حالت الاستوپلاستیک با تقریب خوبی پیش‌بینی کرد.

4- مراجع

- [1] M.Ghazavi, D.J.Williams and P.H.Morris" Analysis of Axially Loaded Piles in Layered Deposits", Application Numerical Method Engineerig, 335-344, 1997.
- [2] B.M. Lehane" Exprimental investigations of pile behaviour using instrumented field Piles ", Ph.D. thesis, University of London, London, 1992.
- [3] F.M. Randolph and C.P.Wroth" Analysis of deformation of vertically loaded piles", Journal Geotechnical Engineering, Division ASCE, 104(12), 1465-1488, 1978.
- [4] A.S. Alawneh, O. Nusier, A.I. H.Malkawi, and M.Al-Kateeb" Axial compressive capacity of driven piles in sand: A method including post-driving residual stresses", Canadian Geotechnical Journal, 38, 364-377, 2001.
- [5] M.D. Neves, Ph. Mestat, R. Frank, E. Degny" Research on the behavior of bored piles, 1. In situ and laboratory experiments", BL-231-039-GB, 2001.