بررسی عددی عملکرد شمع ها ی بتنی با مقاطع سنتی و بهینه تحت اثر بار جانبی در خاک چسبنده

امیر حسین مالکی[۱]، محمد علی برخورداری[۲]، بابک وفایی[۳] ناصر عرفاتی[٤]

۱-کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافق

Maleki.ah@gmail.com

۲ - دانشیار دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت تهران
barkhordari@iust.ac.ir

۳ – کار شناس ارشد ژئوتکنیک

Babak.vafaii@gmail.com

٤- استادیار دانشکده عمران دانشگاه تفرش
Nasser.arafati@gmsil.com

خلاصه

یکی از روش های اصیل پایداری شیب ها احداث شمع است. سیستم های مختلفی از شمع برای پایدارسازی کمک گرفته اند مانند دیوار های شمعی، سازه های خرپایی، شمع های نگهبان و... که هر کدام در داشتن شمع و اعمال بار جانبی مشترک و در نوع و موارد استفاده بعضا دارای تفاوت های چشمگیر می باشند. اساسا انتخاب روش مناسب برای پایدار سازی شیب ها به صورت یک قالب و یا دسته بندی قطعی نمی باشد و لذا در هر پروژه و مورد باید تمام شرایط در نظرگرفته شوند. در اینجا ما به بررسی عملکرد شمع بتنی با مقاطع متفاوت می پردازیم، این روش ها شامل روش سنتی طراحی شمع و دو روش طراحی بهینه ارائه شده برای شمع تحت اثر بار جانبی می باشد؛ ابتدا به توضیح مختصر این روش ها می پردازیم؛ سپس به بررسی نتایج حاصله توزیع تنش و جابجایی شمع ها تحت اثر بار جانبی از روش اجزای محدود در خاک چسبنده می پردازیم.

کلمات کلیدی: شمع بتنی، طراحی بهینه، بار جانبی، اجزای محدود

۱. مقدمه

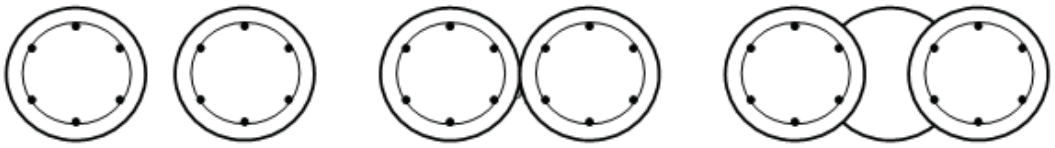
مسئله طراحی سیستم ها نگهدارنده وا استفاده سازه نگهبان امری نیست که اهمیت آن بر جامعه مهندسین پنهان باشد. از طرفی طراحی و اجرای سازه های نگهبان مستلزم سختی اجرایی زیاد و هزینه های هنگفت در پروژه ها می شود. با پیشرفت علوم مدیریت و پیشرفت مهندسی، صرفا طراحی و اجرای پروژه به صورت صحیح و طوری که به اصطلاح موجب خرابی یا هر گونه مفسده دیگر نشود ملاک عمل نیست بلکه اجرای صحیح و بی نقص با کمترین هزینه ممکن است که مد نظر جامعه مهندسی مدرن می باشد. در برخی پروژه ها هنوز طراحی ها بالاتر از حد و سنگین تر و هزینه بر تر از حتی طراحی های استاندارد مورد استفاده که این امر پسندیده نیست. لذا ایجاد تغییر در این روند طراحی و توسعه دانش بهینه سازی از مسائل روز و بسیار مهم مهندسی امروزی است؛ این مسئله هم به سرعت اجرا کمک مثبت می کند و هم به صرفه جویی در منابع و مصالح کمک شایانی می کند. مسئله بهینه کردن مقاطع طراحی شده برای بارهای جانبی مسئله ایست که چند سال اخیر به صورت اجرایی مورد توجه مهندسان این صنف قرار گرفته است.ما در این پژوهش به بررسی روش های پیشنهادی برای طراحی مقاطع شمع تحت اثر بار جانبی می پردازیم و آنها را به لحاظ کیفیتی و اقتصادی بوسیله نرم افزار المان های محدود در حالت سه بعدی در خاک ریز دانه و چسبنده با هم مقایسه می کنیم تا درک بهتری از عملکرد این نوع مقاطع داشته باشیم.

چرا که هرچه واضح تر و دقیق تر و با جزئیات بیشتر این مقاطع را بررسی کنیم به هنگام طراحی و استفاده با اطمینان خاطر بهتر و دید وسیع تری دست به طراحی می زنیم و از هرگونه طراحی دست بالا و تحمیل هزینه های اضافی به پروژه جلوگیری می کنیم.

بار های جانبی ممکن است از طریق باد، ترافیک، اتفاقات لرزه ای، امواج و فشارهای زمین وارد شود. ممان ممکن است در اثر خروج از مرکزیت نیروی محوری یا عمودی، گیرداری سازه فوقانی با شمع یا گروه شمع . مکان نیروهای جانبی روی شمع با توجه به سطح زمین ایجاد شود. هنگامی که یک شمع تحت اثر بار جانبی یا ممان جانبی قرار می گیرد، شمع تمایل به خمش شدن یا تغییر شکل دادن پیدا می کند.

در طراحی شمع ها تحت اثر بار جانبی، ما باید تغییر شکل شمع (مجاز) را به جهت تامین کارایی مورد نیاز و ممان خمشی برای تعیین اندازه شمع بدانیم. تغییر شکل شمع به نوع خاک، نحوه نصب شمع، انعطاف شمع (یا سختی شمع)، شرایط بارگذاری و اینکه چگونه شمع به سازه فوقانی متصل شده باشد بستگی دارد[1]

سیستم های مختلفی از شمع برای جلوگیری از لغزش شیروانی ها استفاده کرده اند که یکی از پرکاربرد ترین روش ها در خاک چسبنده سیستم دیوار شمعی[1] می باشد. این سیستم به سه حالت طراحی می شود که در شکل۱ مشاهده می فرمایید، در صورتی که خاک چسبنده باشد و آب زیر زمینی وجود نداشته باشد از حالت شمع های جدا استفاده می کنیم.[2]



شکل1 اشکال مختلف دیوار شمعی- الف) متقاطع ب) مماسی ج) جدا

برای طراحی مقطع شمع ابتدا بار وارد شده به سیستم را از روش های موجود بدست آورده و با لحاظ ضریب اطمینان بر اساس ضوابط و روابط آیین نامه طراحی می کنیم. بر اساس آیین نامه اروپا[2] (که مبنای محاسبات ما در این پژوهش نیز می باشد) موارد زیر در طراحی شمع ها باید در نظر گرفته شوند:

- قطر میلگردها نباید از ۸ میلیمتر کمتر باشد
- مقدار کلی میلگردهای طولی نباید از ..۰.۰۰۲ سطح مقطع کل کمتر باشد.
- مقدار کلی میلگردهای طولی نباید از ..۰.۰۴ سطح مقطع کل بیشتر باشد.
- در یک مقطع دایره ای حدداقل ۴ میلگرد طولی مورد نیاز است.

طبق آیین نامه حد اقل فاصله مجاز میلگرد ها ۲۰ میلیمتر و حد اکثر ۳۰۰ میلیمنر می باشد.[۳]

این سیستم در خاک هایی که چسبندگی کافی برای نگهداری پایداری خود را در زمان حفاری و مدت کمی بعد از حفاری را دارند به طور گسترده ای استفاده می شود.

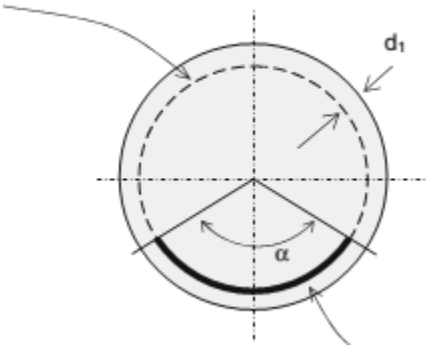
۳. تاریخچه طراحی بهینه شمع

در سال ۱۹۸۸ میلادی آقایان داوالات و مادوگولا ۱ یک روش عددی برای طراحی و تحلیل بتن مسلح با مقطع دایره ای تحت بار محوری و ممان خمشی، بر اساس فرضیات ACI 318 ارائه کردند.

[1] Wall pile
[2] Euro code 2

در روش آنها میلگرد هایی یکسان با مقاطعی برابر برای مقاطع دایره ای بتنی به گونه ای تعیین می شوند که ترکیبی بهینه از آرماتور بندی و شعاع مقطع به منظور کاهش هزینه ها بدست می آید. با افزایش تعداد میلگرد ها در مقطع دایره ای منحنی اندرکنش N-M شکل متقارن قطبی پیدا می کند و در نتیجه آرایش سنتی و معمولی میلگرد ها برای اعضایی مناسب است که N-Mمورد نیاز در محدوده ای از اندر کنش باشد که تقریبا در سه بعد متقارن است. در برخی کاربرد های شمع مانند دیوار های حائل که با استفاده از شمع های دایروی پشتیبانی می شوند N-M مورد نیاز، فاقد تقارن است. در نتیجه ممکن با استفاده از آرایش دایروی و غیر یکنواخت میلگرد ها مزایای اساسی برای ما ایجاد کند.

وبر و ارنست ۲ نیز دیاگرام اندر کنش مقاطع مسلح دایروی بتن را در حالت آرایش نا متقارن میلگرد ها توسعه دادند؛ که به مهندسین امکان استفاده از طراحی آرایش نا متقارن میلگرد ها را در مقاطع دایروی مهیا می کنند. در این روش با جدا کردن یک صفحه پیوسته که در شکل با ضخامت بیشتر و با زاویه آلفا نمایش داده شده. فاصله از لبه مقطع تا مرکز صفحه آرایش با d1 مشخص شده است.



شکل ۲ مقطع تعریف شده توسط وبر و ارنست

کاناگاسوندارام و کاریهولو۳ در سال ۱۹۹۰ کمینه کردن هزینه ی طراحی مقاطع مسلح دایروی را در مسائل، به عنوان یک مسئله ریاضی غیر خطی فرموله کردند.

سپس آقایان آدامو و کاریهولو۴ در سال ۱۹۹۴ یک روش عددی برای اقصادی کردن اجزای طراحی های بتن مسلح بر اساس معیارهای مجزای بهینه از نوع پیوسته۵ پیشنهاد کردند.[۴] در این روش کم کردن هزینه ها نیز در بین سایر فاکتور ها مانند محدودیت های بتن و آرایش میلگرد ها تحت اثر خمش و مقاومت برشی، جزو قید های طراحی می باشد. این روش برای مقاطع مسلح مستطیلی متقارن و به عنوان ستون و فریم های بتن مسلح به کار برده شد.[۵]

در کارهای قبلی تشخیص داده شد که یک تعداد نا محدود از آرایش میلگرد ها می تواند یک مقطع با مقاومت مناسب ارائه کند و در نتیجه مهندسان این شانس را دارند که یک ترکیبی از فولاد گذاری بالا و پایین با در نظر گرفتن سایر شرایط به منظور کاهش هزینه و مقدار فولاد و تبعات زیست محیطی یا افزایش شکل پذیری خمشی به همراه مقاومت مناسب انتخاب کنند.

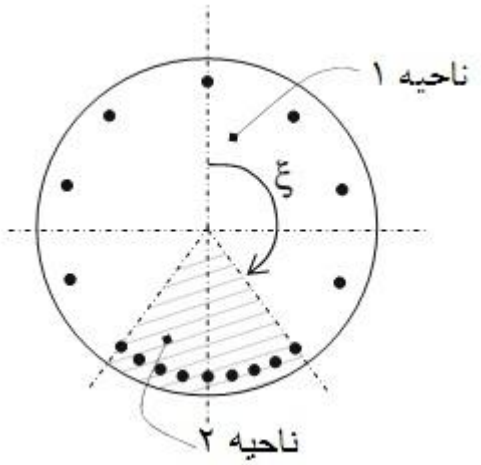
در این پژوهش روشی برای محاسبه مساحت کمینه فولاد در بین روش های نا محدود ممکن برای ترکیبی خاص از میلگرد های طولی که به صورت پارامتریک می باشد، معرفی می شود. که یک الگوریتم نیز به تشریح هرچه بهتر آن کمک می کند.

روش بهینه سازی باید چندین متغییر را در خود جای دهد. برخی از این متغییر ها می تواند بر اساس ملاحظات اجرایی بنا نهاده شوند. البته این نکته لطمه ای به رعایت استاندارد های طراحی آیین نامه ای وارد نمی کند. . ما در ابتدا مقطع شمع را به دو قسمت که تحت اثر بار جانبی فشار های متفاوت را متحمل می شوند یا به زبانی گویا تر نیاز به مقاومت های متفاوتی نسبت به یکدیگر دارند تقسیم می کنیم. البته قسمت بندی به صورت فرمولی

---

[1] Davalath and Madugula
[2] Weber and ernst
[3] Kanagasundaram and Karihaloo
[4] Adamu and Karihaloo
[5] Discretized Continuum-type Optimality Criteria (DCOC)

و با سیستم پیچیده نیست؛ بلکه قسمتی از شمع که در تماس با محل وارد شدن نیرو (جانبی) می باشد تحت اثر باری یکسان اما ممانی مضاعف را متحمل می شود ناحیه دو می نامیم. قسمت مقابل مقطع نیز ناحیه یک نامیده می شود. واضح است که برای مثال فاصله گذاری در ناحیه یک در شکل زیر در مقطع مورد نظر ما باید بیشترین اندازه مجاز طبق آیین نامه باشد در حالیکه در ناحیه دوم باید کمترین اندازه مجاز آیین نامه را در نظر گرفت. در نتیجه در این صورت چند روش بهینه سازی ممکن است در نظر گرفته شود. ε_0 زاویه ایست که ناحیه یک را از ناحیه دو جدا می کند.



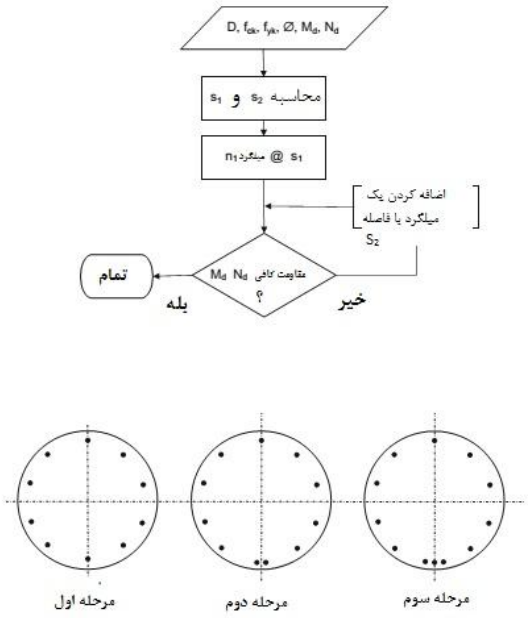
شکل ۳ قسمت های فرض شده در مقطع بهینه

روش اول: بهینه سازی با شعاع ثابت میلگرد (σ2 = σ1)

مراحل فرآیند بهینه سازی در شکل زیر نشان داده شده است. برای یک شعاع داده شده میلگرد S1 و S2 طوری انتخاب شده اند که به ترتیب دارای بیشترین اندازه مجاز و کمترین اندازه مجاز باشند. البته میلگردها در ناحیه یک با فاصله S1 قرار دارند و در ناحیه کششی که ناحیه دو می باشد تا نقطه ای که مقاومت خمشی نهایی مناسب باشد، میلگرد اضافه می شود با فاصله.[۵]

مکن است برای بدست آوردن مقاومت لازم گزینه های زیادی برای تامین سطح مقطع فولاد مورد نیاز داشته باشیم اما مناسب تر آن است که ما تعداد کمتری میلگرد با قطر بیشتر استفاده کنیم. برای قطر پیشنهادی مقطع نیز راه عقلانی این است که بسته و امکانات قالب بندی یا مته های موجود آگر[1] برای نوع خاک منطقه و امکانات در دسترس در منطقه قطر مقطع انتخاب شود.

[1] Auger



شکل ٤ نمودار عملیات طراحی مقاطع بهینه با شعاع ثابت میلگرد

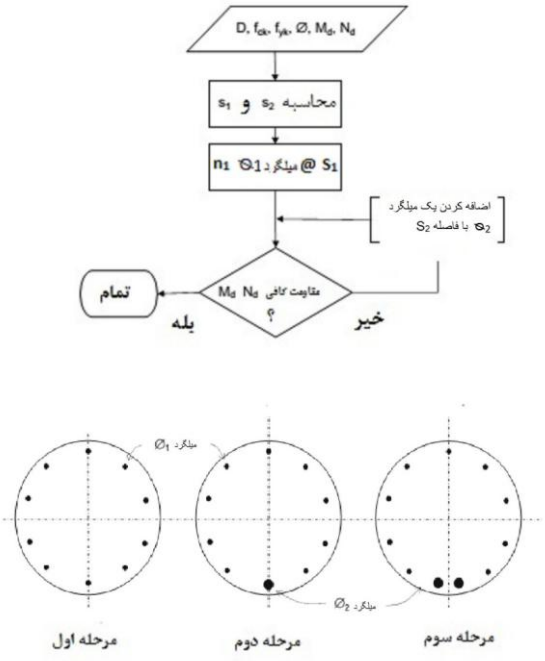
میلگرد هایی که در ناحیه ۲ اضافه می شود که ناحیه ایست که بیشترین فاصله را با مرکز جرم مقطع در ناحیه کششی دارد. هنگامی که ما میلگردی در ناحیه دو اضافه می کنیم ممکن است تداخلی بین میلگرد های ناحیه دو با میلگرد های ناحیه ۱ اتفاق بیفتد؛ هر میلگردی که در مرحله اول موجود است و در مراحل بعد با میلگرد های ناحیه دوم تداخل می کند باید حذف شود.

روش دوم: بهینه سازی با دو شعاع متفاوت میلگرد

مراحل طراحی در شکل زیر نشان داده شده. اگر دو شعاع مختلف انتخاب شود کم کردن سطح مقطع فولاد در مقطع به دو قسمت A1 و A2 تقسیم می شود که به ترتیب باید شامل کمترین و بیشترین شعاع میلگرد ممکن طراحی شوند که به لحاظ فنی و مهندسی مشکلی ایجاد نکند. فاصله S1 نیز باید بیشترین حد مجاز در نظر گرفته شود که برای کمترین شعاع ممکن در مقطع می باشد در حالی که S2 کمترین فاصله ممکن میلگردها بین بیشترین شعاع میلگرد ممکن در مقطع می باشد.

در نتیجه میلگرد با شعاع بزرگتر در ناحیه ۲ قرار می گیرد و تعداد میلگرد های این ناحیه با n2 می باشد، که ترکیب این میلگرد ها در مقطع مورد نظر باید انتظارات ما را در رابطه با ممان طراحی و نیروی محوری طراحی برآورده کنند.

هنگامی که n2 افزایش می یابد باید کاهشی در تعداد میلگرد های ناحیه یک n1 در نظر گرفته شود زیرا فضایی که میلگرد های ناحیه دو اشغال می کنند به علت قطر بیشتر، بزرگتر می باشد.



شکل ۵نمودار عملیات طراحی مقاطع بهینه با شعاع متفاوت میلگرد

میلگرد هایی که در ناحیه ۲ اضافه می شود که ناحیه ایست که بیشترین فاصله را با مرکز جرم مقطع در ناحیه کششی دارد. هنگامی که ما میلگردی در ناحیه دو اضافه می کنیم ممکن است تداخلی بین میلگرد های ناحیه دو با میلگرد های ناحیه ۱ اتفاق بیفتد؛ هر میلگردی که در مرحله اول موجود است و در مراحل بعد با میلگرد های ناحیه دوم تداخل می کند باید حذف شود.

۴. شرایط و فرضیات

در این تحقیق بر اساس اصول طراحی و با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ممانی مورد نیاز ۱۵۰۰ کیلو نیوتن متر را در نظر گرفتیم و بر اساس آن شمع را در سه حالت سنتی و بهینه با شعاع ثابت میلگرد و بهینه با شعاع متغییر میلگرد طراحی و سپس در نرم افزار آباکوس مدل کردیم. که مشخصات شمع های طراحی شده با روش های اشاره شده در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول1 مشخصات مقاطع شمع های مورد بررسی

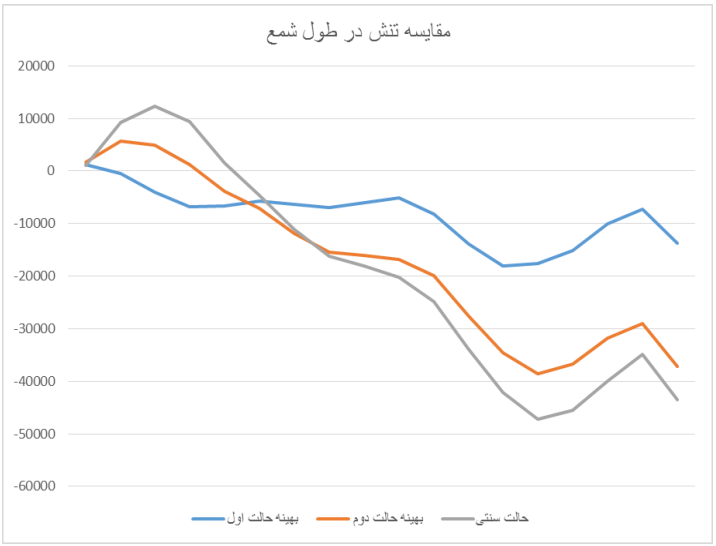
آرایش میلگرد	میلگرد های طوللی	سطح مقطع فولاد (میلیمتر مربع)	درصد کاهش سطح مقطع فولاد نسبت به حالت سنتی
سنتی (متقارن)	عدد میلگرد ۲۵ ۲۰	۹۸۱۷	۰.۰۰
بهینه با شعاع ثابت میلگرد	۹عدد میلگرد ۲۰ فاصله ۲۷۰ میلیمتر و ۱۲ عدد میلگرد ۲۰ فاصله ۴۵ میلیمتر	۶۶۷۳	۳۲.۰۳
بهینه با شعاع متغییر میلگرد	۹عدد میلگرد ۱۰ فاصله ۲۷۰ میلیمتر و ۶ عدد میلگرد ۳۲ فاصله ۶۵ میلیمتر	۵۵۳۲	۴۳.۶۵

همچنین مشخصات خاک مدل شده از نمونه گرفته شده در آزمایشگاه با چسبندگی ۱۲ کیلو پاسکال و زاویه اصطکاک ۲۵ درجه در نظر گرفته شد. و آب زیر زمینی برای این مدل لحاظ نشد.[۶]

ارتفاع گود طراحی ۵ متر و عمق مدفون شمع طبق آیین نامه ۳۰٪ ارتفاع گود برابر ۱.۵ متر اعمال شد. سر بار روی خاک نیز طبق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان بار استاتیکی جاده معادل ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شد.

۵. تحلیل ها

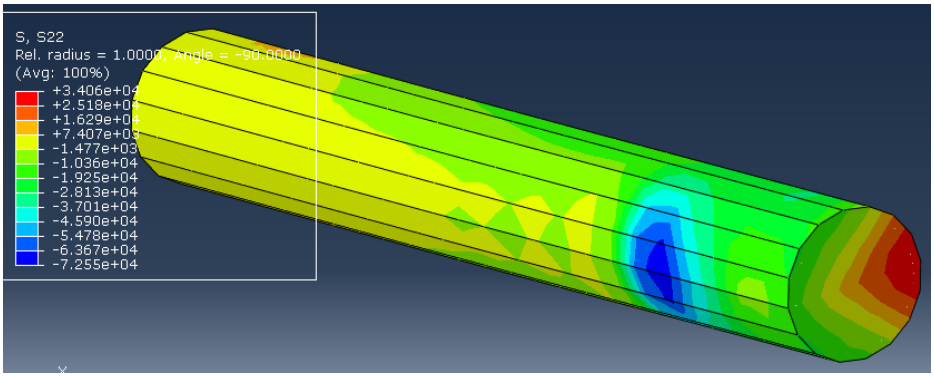
تنش روی شمع در این سه حالت نزدیک به هم بوده که این اختلاف جزیی که در حد ۲-۳ کیلو پاسکال بوده به مراتب بیشتر شده که محتمل ترین دلیل آن انتقال ۸ میلیمتری شمع و فشار مضاعف بر قسمتی از شمع که سطح آرماتور کمتری دارد و خود درگیر خاک مقاوم پشت شمع است، می باشد. با این حال نیز، نسبت به مزایای اقتصادی طرح های بهینه کماکان استفاده از آن را توجیه پذیر می کند. در شکل۲ نمودار مقایسه تنش ها در طول شمع را مشاهده می فرمایید.



شکل ٦ نمودار توزیع تنش در طول شمع

همانطور که مشهود است تنش در حالت های بهینه کمتر از حالت سنتی توزیع شده و حالت سنتی علی رغم سطح مقطع فولاد بیشتر تنش بیشتری را در مرکز شمع خود متحمل می شود. شکل ۷ توزیع تنش روی شمع ها را در حالت تک شمع نشان می دهد.

شکل ۷ توزیع تنش روی شمع



تغییرات و جابجایی در روی خاک نیز در سه حالت تقریبا منطبق بر یکدیگر بوده و از ۱ میلیمتر تا ۸ میلیمتر متغییر است که در حد مجاز و قابل قبول می باشد.

۶. نتیجه گیری

طراحی های بهینه که ما در دو نوع خاک تحت شرایط و بارگذاری یکسان بررسی کردیم تقریبا و با اختلاف کمی با یکدیگر برابر بودند هرچند که به لحاظ اقتصادی با هم اختلاف معنا داری داشتند. کاهش ۳۲درصدی و ۴۶ درصدی در سطح مقطع فولاد به اندازه ای هست که اگر ما هزینه اجرا و اجرت بالاتر برای سیستم جدید در نظر بگیریم باز هم برتری محسوسی نسبت به حالت سنتی مشاهده می شود؛ عملا می توان گفت این دو روش ارائه شده استفاده از شمع های طراحی سنتی را تحت اثر بار جانبی غیر منطقی کرده و پنجره جدیدی را در طراحی نوین شمع ها تحت اثر بار جانبی به روی مهندسین گشوده اند یا حد اقل مهندسین را برای کار بیشتر و بهتر در این زمینه ترغیب می کنند. در جدول شماره ۲ تفاوت سه روش طراحی به صورت خلاصه بیات شده است.

فهرست منابع

1. Budhu, Muni. *Soil mechanics and foundation.* Arizona : John Wiley and sons, 2010.
2. *Developments in excavation bracing systems.* Luisa María Gil-Martín, Enrique Hernández-Montes, Myoungsu Shin, Mark Aschheim. 2012, Tunnelling and Underground Space Technology.
3. Eurocode2 concrete structures part2 .EN1992
4. Adamu , A., Karihaloo , B., & Rozvany , G. (1994). Minimum cost design of reinforced concrete beams using continuum-type optimality. 91-102
5. Gil-Martín, L.M., Hernández-Montes, E., Aschheim, M., 2010. Optimization of piers for retaining walls. Structural and Multidisciplinary Optimization 41 (6), 979–987 (June 2010)

٦. شهبازی ,ر & ,.یکرنگ نیا ,م .(1392). *راهنمای کاربردی آباکوس به همراه مسائل مهندسی عمران* . تهران :نشر علم عمران