

آنالیز عددی جهت بررسی عوامل موثر در تغییر مکان های جانبی دیوار حائل دیافراگمی متشکل از شمع های هم پوشان در خاک های شنی و ماسه ای

نیما کریمی شهرکی

کارشناسی ارشد

نام نویسنده مسئول:

نیما کریمی شهرکی

چکیده

در این پروژه یک سری مدلسازی و مطالعه عددی با استفاده از برنامه PLAXIS روی پارامترهای سیستم نگه دارنده (شمع های هم پوشان و استرات فلزی)، در خاک شنی و ماسه ای منطقه (ایستگاه مترو انقلاب) انجام گردید. این پارامترها به ترتیب فواصل افقی و قائم استرات های فلزی، سختی خمشی شمع های هم پوشان و اثر ارتفاع دیوار در ایجاد گود برداری به صورت خشک و غوطه ور هستند. در مجموع ۱۲ مدل به همراه مدل اصلی ایجاد گردید و تغییر شکل افقی دیواره به صورت نمودار ارائه گردید و موثر ترین پارامتر، روی تغییر شکل افقی دیوار اثر ارتفاع دیوار در ایجاد گود برداری به صورت خشک و غوطه ور است. بعد از اثر فوق، فواصل قائم استرات های فلزی، فواصل افقی استرات ها و سختی خمشی شمع های هم پوشان به ترتیب دارای اهمیت هستند همان طور که ملاحظه خواهد شد، گودبرداری به صورت خشک مقادیر تغییر شکل افقی دیوار، را نسبت به حالت غوطه ور به مقدار قابل توجهی بزرگتر تخمین می زند. در نتیجه نقش آب بندی و ارتفاع دیوار در خاک منطقه، اهمیت بسزایی دارد. بنابراین می بایست با استفاده از شمع های هم پوشان و با افزایش ارتفاع این شمع ها تا لایه ریزدانه زیرین، شرایط آب بندی گود را فراهم نمود. ضمناً یادآوری می شود که از این تحقیق می توان جهت انتخاب سیستم دیوار حائل مناسب، امن و اقتصادی در محل پروژه ایستگاه انقلاب و همچنین دیگر پروژه ها با شرایط خاک کم و بیش یکسان و سختی خاک نسبتاً بالا استفاده نمود.

واژگان کلیدی: گودبرداری عمیق-شمع های هم پوشان-مطالعه پارامتری-تغییر مکان افقی دیوار.

مقدمه

مهندسين عمران برای ساخت امکانات زیرزمینی نظیر ساخت ایستگاه های مترو در مناطقی با تراکم بالای ساخت و ساز شهری ناچار می شوند جهت ایجاد فضای بیشتر برای ساخت ایستگاه، به اجرای گودبرداریهای عمیق درون زمین، اقدام کنند. معمولاً حساسیت سازه های مجاور به تغییر شکل های زمین توجه به نکاتی را جلب می کند و آن شامل نوع سازه حائل، سیستم نگه دارنده، امکان ساخت و مشخص کردن هزینه ی عملیات ساخت می شود.

ماچ (Mauch, 2003) در تحقیقاتش نشان داد که پارامترهایی مؤثر دیوار بر روی جابه جایی خاک (زمین) شامل سختی سازه المان های نگهدارنده قائم، نوع نگه دارنده افقی (نظیر استرات و انکرها و ...)، فواصل افقی و قائم نگهدارنده های افقی و روش های ساخت، هر یک یا ترکیبی از عوامل فوق روی جابه جایی های کلی یک شمع درجا یا دیوار دیافراگم در یک گودبرداری تأثیر خواهد گذاشت. کلاف و اورورک (Clough and O'Rourke, 1989) یک روش نیمه تجربی برای ارزیابی تغییر شکل ها در رس های نرم ارائه کردند که با توجه به آن ماکزیمم تغییر شکل های جانبی بسیج شده به وسیله گودبرداری به سختی سیستم، و فاکتور ایمنی در مقابل بلند شدگی کف وابسته هستند (Tewodors Fekadu, 2010).

پالمرات آل (palmer et al, 1972) از اجزا محدود جهت ارزیابی اهمیت پارامترهای مختلف روی اجرای یک گودبرداری در مترو اسلو نروژ استفاده نمود و به وسیله ی تعداد زیادی متغیرهای ورودی، رفتار و اندرکنش های متفاوتی از خاک شبیه سازی نمود. مهمترین پارامتر مدول تغییر شکل خاک در نظر گرفته شد و به جز اثر سختی استرات و دیوار حائل، از اثر دیگر پارامترها چشم پوشی گردید. مانا و کلاف (Mana and clough, 1981) یک آنالیز پارامتری با استفاده از روش المان محدود، روی رفتار ترانشه های مهار شده در خاک رُس انجام دادند و آن را با نشست سطح به صورت تابعی از فاکتور ایمنی در مقابل بلند شدگی کف مربوط کردند (David-G Zapata-Medina, 2007).

مطالعه پارامتریک در مورد اثر سختی خاک و دیوار، نگه دارنده های افقی و ضریب فشار خاک قبل از گودبرداری به وسیله پاوریات آل (Powrie et al ۱۹۹۱) انجام گرفت آنالیز نشان داد که سختی خاک نقش اصلی را در ایجاد تغییر شکل ایفا می کند نه سختی خمشی دیواره و در مورد ممان خمشی، ضریب فشار خاک پیش از گودبرداری، تأثیر اصلی را خواهد گذاشت و اثر اتصالات دال و دیوار روی ممان خمشی کمتر خواهد بود.

در این پژوهش یک سری مطالعه پارامتری شامل یک مدل اصلی (ابتدایی) به همراه ۱۲ مدل دیگر مربوط به مشخصات سیستم نگهدارنده گودبرداری یعنی شمع های هم پوشان و استرات های افقی انجام می گیرد و به تاثیر آن بر روی تغییر شکل های افقی دیوار حائل می پردازد. در این مطالعه عددی از برنامه المان محدود plaxis ورژن 8 و برای ایجاد مش بندی از المان های مثلثی ۱۵ گرهی استفاده شد. برای نشان دادن رفتار خاک از مدل سخت شوندهی استفاده گردید.

معرفی مشخصات پروژه

مشخصات خاک بر اساس مشخصات خاک منطقه (ایستگاه مترو انقلاب) است (شکل ۱) یعنی، از پائین به بالا شامل رسوبات آبرفتی دامنه ای، ریزدانه زیرین، درشت دانه میانی، ریز دانه روئین و خاک دستی است. در این مطالعه بخش ریزدانه روئین و خاک دستی حذف گردیده و به جای آن مشخصات خاک درشت دانه میانی قرار گرفته است. سطح آب زیرزمینی نیز مطابق با گزارشات ارائه شده در ۷ متری زیر زمین فرض شد. برای مدل کردن ساختمان های مجاور گود از یک بار سطحی به میزان $80 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ به عرض ۱۷ متر که در فاصله ۹ متری از دیواره گود قرار داشت استفاده گردید. عمق گودبرداری ۱۸ متر و عرض آن ۲۴ متر است که با توجه به تقارن تنها نصف آن مدل شده است.

شمع های هم پوشان به صورت المان های تیری الاستیک و با فرض wished-in-Place شبیه سازی شده است این فرض به این مفهوم است که خود ساخت یک دیوار حائل هیچگونه جابه جایی یا تغییری در فشار جانبی خاک و آب ایجاد نمی کند و فرض می شود که جابه جایی های خاک تماماً ناشی از گودبرداری عمیق خواهد بود و استرات های فلزی نیز به صورت مصالح الاستیک مدل شده اند. (Ng, Haut Hoe, 2007)

لازم به توضیح است که شمع های هم پوشان به قطر 1m از پروژه ایستگاه مترو تختی و مقطع استرات فلزی از پروژه ایستگاه مترو بابلدشت برای مدل اصلی انتخاب گردیده است. استرات فلزی از نوع پایپ و سطح مقطع آن برابر با $214/25$ سانتی متر می باشد.

اصول طراحی

روش تئوری برای تعیین تغییر مکان دیوار های دیافراگم یا شمع های هم پوشان به وسیله ACECS ارائه شده است. این روش به وسیله ژیاوات آل (Xiao et al, 2003) که بر اساس تئوری بستر الاستیک استوار است، ارائه گردید. در این روش دیوار دیافراگم به وسیله تیری مدل شده و خاک و مهارها (استرات ها) به صورت فنر وینکلر در نظر گرفته می شوند. همچنین توزیع فشار جانبی خاک در ناحیه حفاری شده به صورت مثلثی و در زیر آن مستطیلی می باشد. فشار وارده برابر با مجموع فشار جانبی خاک و آب است. با انتخاب طول مشخصی از دیوار، دیفرانسیل تغییر مکان دیوار برابر است با:

$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} - e_a(z) = 0 \quad (0 \leq z \leq h_n) \quad (1)$$

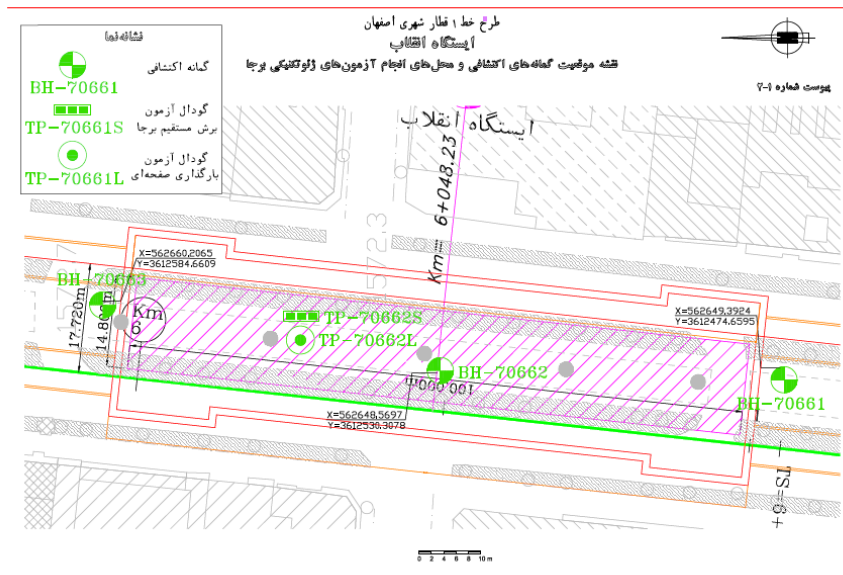
$$EI \frac{d^4 y}{dz^4} + m(z - h_n)y - e_a(z) = 0 \quad (z \geq h_n) \quad (2)$$

که در آن EI برابر است با صلبیت خمشی دیوار، y تغییر مکان افقی دیوار، z عمق، $e_a(z)$ تابعی از توزیع فشار فعال رانکین و با در نظر گرفتن سربار مشخص q ، m مدول عکس العمل افقی بستر و h_n عمق حفاری شده مرحله m . در صورتی که خاک به صورت لایه ای باشد و چندین مهاری وجود داشته باشد لازم است که دیوار را به چندین بخش تقسیم کرده و از معادله (۱) یا (۲) استفاده نماییم.

مدلسازی مدل اصلی و مطالعه پارامتری

مدل با استفاده از اجزا محدود و با شرایط کرنش مسطح به صورت متقارن شبیه سازی شده است. با توجه به اینکه جزء مثلث ۱۵ گرهی نسبت به جزء مثلث ۶ گرهی، المان بسیار دقیق تری است و نتایج بهتری را برای مسائل مشکل ارائه می دهد، برای ایجاد مش بندی از المان های مثلثی ۱۵ گرهی استفاده شده است. مش بندی المان محدود مدل اصلی در شکل ۲ نشان داده شده است. شرایط مرزی در ناحیه مش بندی به گونه ای است که دو سمت مرزها در راستای افقی گیردار هستند و امکان تغییر مکان وجود ندارد؛ اما تغییر مکان در راستای عمودی با استفاده از غلتک ایجاد می گردد. در پایین مرزها، از ایجاد تغییر مکان در دو راستای افقی و عمودی جلوگیری می شود. برای پیش بینی رفتار خاک در این مطالعه پارامتری از مدل سخت شوندگی (HS) استفاده شده است. مدل (HS) از تئوری پلاستیسته بهره می برد و قادر به شبیه سازی رفتار اتساعی، اضافه بر رفتار سخت شوندگی کرنش حجمی است حالت تنش محدود کننده در مدل (HS) همانند مدل مور-کولمب، در جمله های پارامترهای تنش مؤثر، مثل زاویه اصطکاک (ϕ) چسبندگی (c) و زاویه اتساع (ψ) یا در جمله های مقاومت برشی زهکشی نشده (S_u) که با قرار دادن مقدار صفر برای (ϕ) و (ψ) و قرار دادن مقدار C معادل با S_u به دست می آید توصیف شده است. سختی های خاک به هر حال در مدل (HS) با دقت بیشتری به وسیله مقادیر سختی ورودی متفاوت شامل سختی بارگذاری سه محوری E_{50}^{ref} ، سختی باربرداری / بارگذاری مجدد E_{ur}^{ref} و سختی بارگذاری ادنومتر E_{oed}^{ref} توصیف شده است. همچنین این مدل برخلاف مدل مور-کولمب، تنش وابسته به سختی خاک را به حساب می آورد و مقادیر سختی الاستیک با افزایش تنش محدود کننده افزایش می یابد. این مدل علاوه بر برش پلاستیک ناشی از بارگذاری انحرافی (سخت شوندگی برشی) امکان تغییر حجم پلاستیک (سخت شوندگی حجمی) را می دهد. (مهندس محمد بهپور گوهری، مرجع کامل PLAIS، ۱۳۸۵)

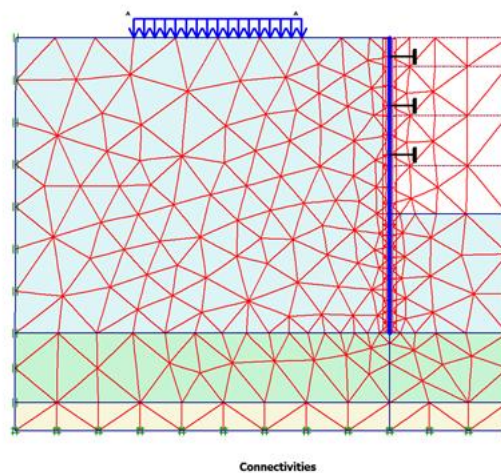
شکل ۱: پلان گودبرداری ایستگاه انقلاب



جدول ۱: مراحل ساخت مدل اصلی

مرحله	شرح عملیات
مرحله ۱	فاز اولیه
مرحله ۲	فعال کردن بارگذاری پشت گودبرداری و نصب شمع های هم پوشان
مرحله ۳	گودبرداری از کد ارتفاعی ۰ تا -۳ متر
مرحله ۴	نصب اولین استرات در کد ارتفاعی -۲ متر
مرحله ۵	گودبرداری از کد ارتفاعی -۳ تا -۸ متر
مرحله ۶	نصب دومین استرات در کد ارتفاعی -۷ متر
مرحله ۷	گودبرداری از کد ارتفاعی -۸ تا -۱۳ متر
مرحله ۸	نصب سومین استرات در کد ارتفاعی -۱۲ متر
مرحله ۹	گودبرداری از کد ارتفاعی -۱۳ تا -۱۸ متر

شکل ۲: مدل المان محدود دو بعدی دیوار حائل



جدول ۲: مشخصات پارامترهای مدل های ۰ تا ۱۲

شماره مدل	فواصل افقی استرات ها	فواصل قائم استرات ها	قطر شمع ها	ارتفاع دیوار	نوع گودبرداری
Model0	5	5	1	30	غوطه ور
Model1	2/5	5	1	30	غوطه ور
Model2	10	5	1	30	غوطه ور
Model3	20	5	1	30	غوطه ور
Model4	5	2/5	1	30	غوطه ور
Model5	5	7/5	1	30	غوطه ور
Model6	5	10	1	30	غوطه ور
Model7	5	5	0/6	30	غوطه ور
Model8	5	5	0/8	30	غوطه ور
Model9	5	5	1/20	30	غوطه ور
Model10	5	5	1	32/5	غوطه ور
Model11	5	5	1	27/5	غوطه ور
Model12	5	5	1	27/5	خشک

رفتار باربرداری خاک در مدل (HS) بهتر از مدل مور- کولمب لحاظ می گردد به دلیل اینکه اولاً این مطالعه عددی مربوط به یک پروژه گود برداری (باربرداری) است و در نتیجه مطابقت بهتری با مدل فرضی دارد و ثانیاً مدل سخت شوندگی نسبت به مدل مور- کولمب علیرغم آنکه سبب افزایش محاسبات می گردد با دقت بیشتری همراه است. همچنین در تعیین سختی خاک در مدل سخت شوندگی از فرض $E_{ur}=3E_{oed}=3E_{50}$ استفاده گردیده است. مشخصات خاک به کار رفته در مدل اصلی (model0) در جدول ۳ آمده است. المان های سطح مشترک برای لحاظ کردن رفتار اندرکنش خاک - سازه در مدل ایجاد شده اند و گودبرداری به صورت غوطه ور (به استثنای مدل شماره ۱۲) فرض گردیده و محاسبات جریان آب زیرزمینی انجام نگرفته است.

جدول ۳: پارامترهای خاک به کار رفته در مدل اصلی (model0)

داده های طراحی		واحد	درشت دانه	ریزدانه	رسوبات آبرفتی دامنه‌ای
وزن واحد حجم	کل، γ	kN/m^2	۱۹	۲۰	۲۰
	اشباع γ_{sat}	kN/m^2	۲۱	۲۰	۲۰
ضریب تراوایی	قائم، k_v	m/day	۱۷/۲۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
	افقی، k_h				
عوامل مقاومت برشی Mohr-Coulomb (برحسب تنش مؤثر)	چسبندگی، c'	kN/m^2	۰	۴۰	۴۰
	زاویه اصطکاک داخلی، ϕ'	degree	۳۵	۲۵	۳۰
عوامل دگرشکلی پذیری	پارامترهای سختی درمدل سخت شوندگی (HS)	E_{oed}	kN/m^2	۴۲۶۷۰	۳۲۰۰۰
		E_{50}			
		E_{ur}			
	ضریب دگرشکلی جانبی نسبی، μ_r		—	۰/۲۷	۰/۳۵

جدول ۴: مشخصات شمع های هم پوشان و استرات فلزی مدل اصلی (model0)

المان	نوع مصالح	EA	EI	d	W	ν	فاصله افقی استرات ها
واحد	-	kN/m	kNm ² /m	m	kNm/m	-	m
شمع های هم پوشان	الاستیک	۱/۱۴۵۸e۶	۱/۸۳۳e۷	۰/۸۶۶	۱۸/۸۴	۰/۱۵	-
استرات فلزی	الاستیک	۴/۲۸۵e۶	-	-	-	-	۵

اثر فواصل افقی استرات ها (قیدها)

همانطور که در شکل ۳ مشخص است تغییر شکل های دیوار با افزایش فاصله افقی استرات ها افزایش می یابد. ماکزیمم تغییر شکل های دیوار برای مدل اصلی و مدل های ۱ تا ۳ در بالای کف گود ایجاد می گردد که با افزایش فاصله افقی استرات، موقعیت ماکزیمم تغییر شکل بالاتر می رود و فاصله آن تا کف افزایش می یابد. تغییر مکان افقی بالای دیوار (فاصله سر دیوار تا اولین استرات ۲ متر است) با افزایش فواصل افقی استرات افزایش می یابد به طور کلی با افزایش فاصله افقی استرات ها تغییر مکان افزایش ولی با کاهش آن نسبت به مدل اصلی تغییر قابل توجهی مشاهده نمی گردد. تغییر مکان پای دیوار در تمامی مدل ها با هم برابر و تغییر شکل دیوار از عمق ۲۵ متر تا ۳۰ متری تقریباً یکسان هستند که به دلیل سختی بالای خاک و دیوار نگه دارنده می باشد.

اثر فواصل قائم استرات ها (قیدها)

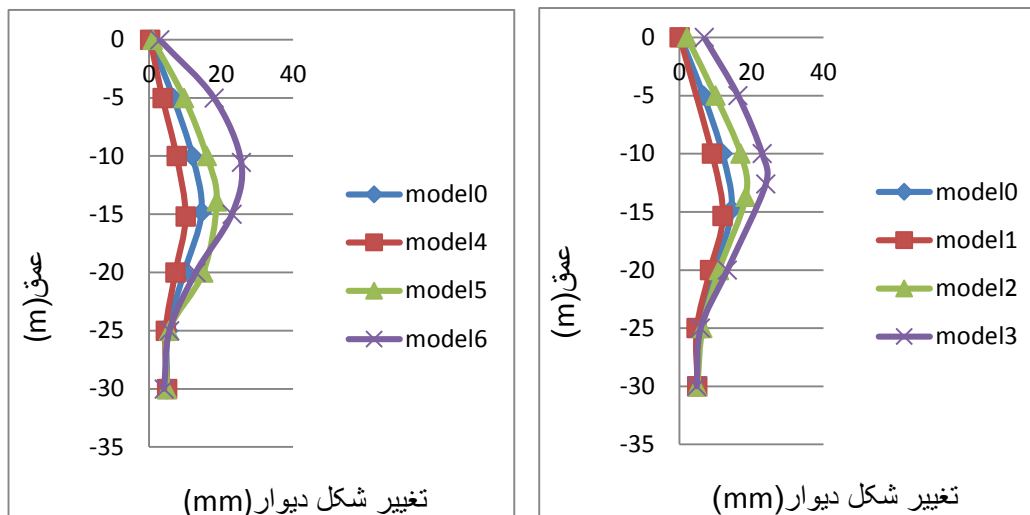
همانطور که انتظار می رفت (شکل ۴) با افزایش فاصله قائم استرات ها، تغییر شکل ها افزایش می یابد و بیشترین آن مربوط به استرات با فاصله ۱۰ متری است. افزایش تغییر شکل ماکزیمم دیوار برای مدل های شماره ۵ و ۶ نسبت به مدل اصلی به ترتیب ۲۹ و ۷۶ درصد است که به روشنی اثر فواصل قائم در تغییر شکل دیوار مشاهده می گردد. همچنین مقدار کاهش ماکزیمم تغییر شکل مدل ۴ نسبت به مدل اصلی به میزان ۳۰ درصد است که تقریباً با افزایش تغییر شکل در مدل شماره ۵ برابر است.

اثر سختی خمشی شمع های هم پوشان (EI)

مطابق شکل ۵ با کاهش سختی، تغییر شکل های افقی افزایش می یابد ولی سختی خمشی دیوار (EI) تأثیر قابل توجهی در تغییر شکل افقی دیوار نگه دارنده نخواهد گذاشت به عنوان نمونه تغییر شکل ماکزیمم مدل ۷ که سختی خمشی آن ۰/۲۱ مدل اصلی است تنها ۳۰ درصد افزایش یافته و کاهش تغییر شکل مدل ۹ که سختی خمشی آن ۱/۷۵ برابر مدل اصلی است فقط ۱۰ درصد خواهد بود. الگوی تغییر شکل دیوار برای تمامی مدل ها شبیه به هم و تغییر مکان بالا و پائین دیوار در تمام مدل ها تقریباً یکسان است. در ۲۵ متر تا ۳۰ متری از بالای دیوار، دیوار به نوعی صلب شده است و تغییر مکان به صورت انتقالی است. در مورد شمع به قطر ۰/۶ متر به علت کم شدن سختی، تغییر مکان بالای دیوار (۲ متری بالای استرات اول) منفی شده است ولی با این حال قابل صرف نظر خواهد بود.

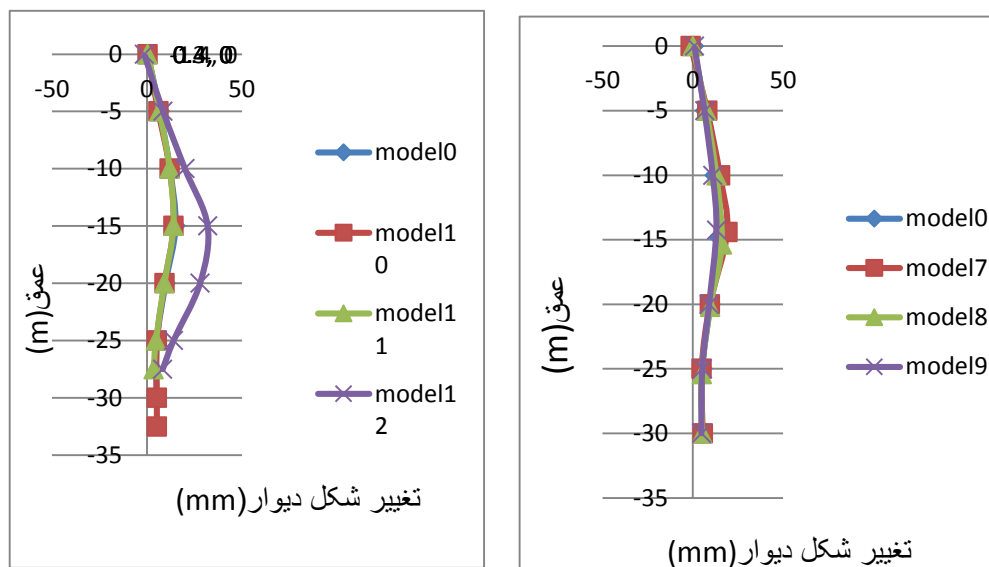
اثر ارتفاع دیوار در ایجاد مدلسازی گودبرداری به صورت خشک و غوطه ور

شکل ۶ نمودار تغییر شکل مدل های ۱۰ تا ۱۲ را نشان می دهد. بر خلاف مدل های ۱۰ و ۱۱ که تفاوتی از نظر تغییر شکل با مدل اصلی نداشتند، تغییر مکان ها به طور مشخص در مدل ۱۲ نسبت به سایر مدل ها افزایش یافته اند. این افزایش به این دلیل است که در گودبرداری به صورت غوطه ور، فشار آب در دوطرف دیوار در حال تعادل است در صورتی که در گودبرداری به صورت خشک، فشار آب به صورت نامتوازن است و یک فشار آب به المان های سطح مشترک دیوار اعمال می شود. (Rajendra Karki, 2006)



شکل ۳: نمودار تغییر شکل افقی دیوار برای مدل اصلی به همراه مدل‌های ۱ تا ۳

شکل ۴: نمودار تغییر شکل افقی دیوار برای مدل اصلی به همراه مدل‌های ۴ تا ۶



شکل ۵: نمودار تغییر شکل افقی دیوار برای مدل اصلی به همراه مدل‌های ۷ تا ۹

شکل ۶: نمودار تغییر شکل افقی دیوار برای مدل اصلی به همراه مدل‌های ۱۰ تا ۱۲

بررسی میزان اثر گذاری پارامترها روی تغییر شکل افقی دیوار

همانطور که در جدول ذیل ملاحظه می گردد، اثر گودبرداری به صورت خشک و غوطه ور به میزان قابل توجهی نسبت به دیگر پارامترها در تغییر شکل های افقی دیوار مؤثر است زیرا گودبرداری به صورت خشک باعث افزایش ۱۲۶ درصدی تغییر شکل افقی دیوار نسبت به حالت غوطه ور شده است. بعد از آن به ترتیب اهمیت اثر فواصل قائم استرات ها، فواصل افقی استرات و سختی خمشی شمع ها در تغییر شکل افقی دیوار مؤثر هستند.

جدول ۴: مقایسه میزان تاثیر پارامترهای بررسی شده روی تغییر مکان افقی دیوار

model	$\delta_{\max}$ mm)	$\frac{\delta_{\max}(\text{model } i)}{\delta_{\max}(\text{model } 0)}$	model	$\delta_{\max}$ mm)	$\frac{\delta_{\max}(\text{model } i)}{\delta_{\max}(\text{model } 0)}$
0	14/5	1	7	19	1/31
1	11/93	0/82	8	16	1/1
2	18/41	1/26	9	13	0/89
3	24	1/65	10	14/47	0/99
۴	10/1	0/69	11	14/4	0/99
۵	18/76	1/29	12	32/9	2/26
۶	25/6	1/76			

نتیجه گیری

در این مقاله چند عامل تاثیر گذار روی سازه نگهبان ایستگاه انقلاب اصفهان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گردید:

۱- در مناطقی که سطوح آب زیرزمینی بالاتر از کف گود قرار داشته باشد، نقش آب بندکردن گود بسیار مهم است و استفاده از سیستم شمع هم پوشان بتنی یا دیواره دیافراگم علاوه بر اینکه از سختی کافی برای حفاظت از دیواره گود برخوردار است، می تواند نقش مهمی در آب بندی کردن آن هم به عهده بگیرد.

۲- همانطور که در این مطالعه عددی مشاهده شد، سختی خاک شنی و ماسه ای منطقه در محل احداث پروژه ایستگاه مترو بالا بوده و مقادیر تغییر مکان های افقی نسبتاً کمی مشاهده گردید؛ لذا می توان با رعایت ملاحظات سازه ای مانند مقاومت خمشی دیوار یک طراحی اقتصادی و مطمئن ارائه داد.

همانطور که ملاحظه گردید انتخاب فواصل قائم استرات های فلزی با توجه به مراحل گودبرداری نسبت به انتخاب فواصل افقی استرات فلزی و تعیین مقطع شمع های هم پوشان از اهمیت بیشتری برخوردار است. بنابراین با توجه به بالا بردن سختی خاک منطقه و نقش کم سختی دیوار حائل در کاهش تغییر مکان های افقی دیوار، می توان با رعایت ملاحظات سازه ای و همینطور در نظر گرفتن اهمیت و سن سازه های مجاور نسبت به یک مقطع بهینه اقدام نمود.

منابع و مراجع

- [1] Tewodors Fekadu, , "Analysis and parametric study of deep excavation support with diaphragm wall "Addis Ababa university school of Graduate studies", 14-24, 2010
- [2] David-G Zapata-Medina" semi-Empirical Method for Designing Excavation support system Based in Deformation control" The Graduate school university of Kentucky 96-101, 2007
- [3] Ng, Huat Hoe, "Numerical Modelling of Diaphragm wall in Kuala Lumpur Limes Stone Formation". University Technology Malaysia, 9- 2, 2007
- [4] Z.H.Xu , W.D. Wang and S.L. Shen," Performance of deep excavation retaining wall in Shanghai soft deposit., 2005
- [۵] مهندس محمد بهپور گوهری، مهندس امیر روحی مهر و مهندس رامین وفایی پور ۱۳۸۵ ، مرجع کامل plaxis ورژن ۸
- [۶] گزارش نهایی مطالعات ژئوتکنیکی "طرح خط ۱ قطار شهری اصفهان ایستگاه انقلاب" شرکت مهندسی مشاور زمین فناوری، ۱۳۸۹
- [۷] اطلاعات موجود در شرکت قطار شهری اصفهان و حومه
- [8] Rajendra Karki, , "Effect of deep excavation on circular Tunnels in fine-grained soils". In the department of civil and Geological Engineering university of Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada: 28-41, 2006