استفاده از روش ژئودتیک برای پایش و بررسی جابجایی افقی و قائم دیواره گودبرداری

یاسر عشورزاده یاسوری*[۱]، سید قاسم رستمی[۲]

[۱]سرپرست نقشه‌برداری دستگاه نظارت برج‌های دوقلو مخابرات ایران - شرکت مهندسین مشاور برنامه‌ریزی و طرح
y.ashoorzadeh@gmail.com

[۲]مربی گروه مهندسی عمران- نقشه‌برداری - دانشکده فنی مهندسی و علوم‌پایه - دانشگاه بجنورد
gh.rostami@ub.ac.ir

(تاریخ دریافت فروردین ۱۳۹۵، تاریخ تصویب شهریور ۱۳۹۵)

چکیده

پایش، می تواند روشی برای کاهش ضریب ایمنی، در مرحله طراحی یک سازه باشد. در این مقاله برای تعیین جابجایی های افقی و قائم دیواره های یک محدوده گود برداری، از روش ژئودتیک پایش استفاده شده است. در ابتدا طراحی نقاط یک شبکه ژئودتیک در اطراف گود انجام شده و سپس در هر مرحله از مشاهدات و به کمک نقاط ثابت دور از منطقه گودبرداری، تست پایدار بودن نقاط این شبکه انجام می شود. پس از اطمینان از میزان جابجایی نقاط شبکه، اقدام به سرشکنی مختصات نقاط تارگت نصب شده بر روی بدنه دیواره گودبرداری در هر دوره زمانی می کنیم. میزان جابجایی بین دو مرحله که برای هر تارگت در جهت افقی و قائم به دست می آید، در صورتی مشخص می شود که اندازه آن بزرگتر از ابعاد بیضی خطای برآورد مختصات آن نقطه باشد.

در پروژه برج های دوقولوی مخابرات ایران در تهران، هدف پایش دیواره های گودی به عمق ۲۰ متر می باشد. برای این منظور یک شبکه ۷ نقطه ای شامل ۲ نقطه ثابت در اطراف گود طراحی و مشاهدات طول و زوایای افقی و قائم به سوی تارگت های در نظر گرفته شده در ۴ اپوک متوالی یک ماهه (از شهریور تا آذر ۱۳۹۳) انجام شده است. پس از سرشکنی هر مرحله، میزان جابجایی ها در هر نقطه به دست آمده و به صورت نقشه و نمودار و جدول نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد میزان جابجایی ها، یک تابع خطی از عمق گود برداری و نوع خاک قرار گرفته در آن قسمت می باشد.

واژگان کلیدی: پایش، دیواره گودبرداری، شبکه ژئودتیک، تست باردا، جابجایی افقی وقائم

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

امروزه با توجه به پیشرفت ساخت و ساز در کلانشهرها و همچنین افزایش تعداد طبقات که در پی آن افزایش عمق گودبرداری را به دنبال دارد، ایمنی اجرای گودبرداری های با عمق زیاد در نواحی پر تراکم شهری به خصوص در محدوده های مجاور و همسایگی ساختمان های مسکونی چند طبقه را حساس می نماید. هدف از پایش گودبرداری[۱] مشخص نمودن مقدار جابجایی واقعی مولفه های افقی و قائم دیواره های گودبرداری در حین اجرا و حتی پس از اتمام عملیات پایدار سازی می باشد. روش های ژئودتیک در رشته مهندسی نقشه برداری و ژئوماتیک یکی از ابزارهای بسیار پرکاربرد در زمینه پایش و مانیتورینگ دیواره گودبرداری است که اگر به صورت تخصصی و اصولی صورت بگیرد، در عمل بسیار جامع و قابل بهره برداری می باشد[۳].

مهمترین عامل در روش ژئودتیک برای پایش دیواره یک پروژه گودبرداری به روش نقشه برداری، کاهش خطاهای موجود در مشاهدات نقشه برداری است که در نتیجه مقدار جابجایی واقعی دیواره گودبرداری قابل آشکارسازی است. در نتیجه مقادیر جابجایی ها میتواند به لحاظ ایمنی و از نظر تمهیدات لازم جهت بازنگری مجدد طرح، برای پایدار سازی آن دارای اهمیت ویژه ای باشد[۴].

۲-مواد و روش تحقیق

۲-۱- روش ژئودتیک پایش

در روش ژئودتیک برای پایش یک سازه در دو یا چند دوره زمانی، ابتدا یک شبکه ای از نقاط ثابت در اطراف آن سازه طراحی و ایجاد می گردد. سپس مشاهدات طول و زاویه برای تعیین مختصات دقیق این نقاط انجام می شود. در مرحله بعد نقاطی را به عنوان تارگت بر روی بدنه سازه مورد پایش، تعبیه کرده و سعی می شود کلیه مشاهدات ممکن از اکثر نقاط این شبکه به سوی تارگت ها به دست آیند. اگر این مشاهدات در دو مرحله انجام شده باشد، می توان میزان جابجایی تارگت ها را از مقایسه مختصات های به دست آمده، تعیین کرد. با توجه به اینکه ممکن است نقاط شبکه نیز خود حرکتی داشته باشند، لازم است مشاهدات از خارج از منطقه مورد مطالعه به سوی ایستگاه های شبکه انجام شده و به روش باردا تست پایداری شبکه در فاصله مشاهدات یک دوره زمانی[۲] بررسی شود [۶].

بر اساس مقدار مورد نیاز دقت آشکار سازی جابجایی، طراحی شکل هندسی نقاط اصلی شبکه و دقت اندازه گیری مشاهدات، نوع دستگاه اندازه گیری و همچنین برنامه زمانبندی مشاهدات رفتار سنجی پروژه پیش پردازش[۳] می گردد. طراحی یک شبکه با توجه به پارامترهای دقت، اعتماد پذیری، هزینه و حساسیت[۴]، بهینه[۵] می گردد [۴].

پس از انجام مشاهدات و اعمال تصحیحات مختلف بر روی آنها، می توان به روش اعتماد پذیری داخلی باردا، حد دقت هر مشاهده برای کشف جابجایی ها به صورت زیر به دست آورد. اگر مقدار انحراف معیار (تفاوت دو مقدار میانگین و مقدار اصلی) کمتر از Δ_{Li} باشد، خطا قابل کشف نیست و اگر بیشتر باشد مشاهدات اشتباه قابل کشف می باشند.

$$\Delta_{Li} = \frac{\delta_{\circ}\sigma_{Li}}{\sqrt{r_i}} \qquad (۱)$$

در این رابطه σ_{Li}، دقت هرمشاهده، r_i عدد آزادی آن مشاهده (عناصر قطر اصلی ماتریس آزادی R) و $\delta_{\circ}$ کمیت آماری تابع خطای نوع اول و دوم است که از رابطه زیر به دست می آیند:

$$R = I - (A^T PA)^{-1} A^T PL \qquad (۲)$$

$$\delta_0 = Z_{1-\frac{\alpha}{2}} + Z_{1-\beta} \qquad (۳)$$

با توجه به مقادیر انتخابی برای α و β می توان مقدار $\delta_{\circ}$ را از جدول زیر برآورد کرد. به عنوان مثال برای ۵ درصد خطای نوع اول و ۲۰ درصد خطای نوع دوم، مقدار $\delta_{\circ}$ برابر با ۲/۸۰ به دست می آید.

جدول۱- مقدار $\delta_{\circ}$ بر حسب مقادیر خطای نوع اول و دوم

β \ α	0.01	. . .	0.05
0.20	4.73	. . .	2.80
. . .	. . .		. . .
0.01	6.98	. . .	5.05

۱ Monitoring of excavation wall

۲ Epoch time
۳ PreAnalysis
۴ Precision, Reliability, Cost , Sensibility
۵ Optimization

جهت تشخیص نقاط پایدار و ناپایدار در شبکه ایجاد شده، از تست ثبات کلی شبکه استفاده می نماییم. در نتیجه جابجایی مطلق پس از مشاهدات در دو دوره زمانی محاسبه می گردد. اگر کل مشاهدات دوره اوّل را با L1 و کل مشاهدات دوره دوم را با L2 نمایش دهیم، آنگاه از سرشکنی هر دوره زمانی داریم:

$$\begin{aligned} L1 &\xrightarrow[I.C]{M.C} \hat{X}_1 , \vec{Q}_{\hat{x}1} , \hat{\sigma}_1^2 \\ L2 &\xrightarrow{I.C} \hat{X}_2 , \vec{Q}_{\hat{x}2} , \hat{\sigma}_2^2 \end{aligned} \tag{۴}$$

جهت بررسی جابجایی محسوس نقاط شبکه، از آزمون آماری زیر استفاده می کنیم:

$$\begin{cases} H_0 : E(\vec{\hat{d}}) = 0 \\ H_1 : E(\vec{\hat{d}}) \neq 0 \end{cases} \tag{۵}$$

این بدان معنی است که با قبولی فرض H_0، هیچ جابجایی محسوسی در شبکه صورت نگرفته است و با قبولی فرض H_1، جابجایی در نقاط شبکه صورت گرفته است. برای بررسی این آزمون از آماره زیر می توان استفاده کرد:

$$W = \frac{\vec{\hat{d}}^T \, Q_d \, \vec{\hat{d}}}{h \hat{\sigma}_0^2} \rightarrow F_{n, df1+df2} \tag{۶}$$

در این رابطه، بردار $\hat{d}$، بردار مقادیر جابجایی های برآورد شده بوده و h مرتبه ماتریس کوفاکتور d و $\hat{\sigma}_0^2$ متوسط وزندار فاکتور واریانس ثانویه دو دوره مشاهده می باشد که از روابط زیر به دست می آیند:

$$h = rank(Q_{\hat{d}}) \tag{۷}$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{df_1 \hat{\sigma}_1^2 + df_2 \hat{\sigma}_2^2}{df_1 + df_1} \tag{۸}$$

لذا نقطه ناپایدار، نقطه ای است که بیشترین اثر را روی W می گذارد و باعث می شود که مقدارW از F (توزیع فیشر) بیشتر گردد.

از عوامل مهم دیگری که سبب می شود بردار جابجایی درست آشکار سازی نشده و مقادیر غیر واقعی داشته باشند، وجود خطاهای سیستماتیک و نقص در مدل ریاضی است. برای بررسی خطاهای سیستماتیک و دیگر عوامل موثر در رد نتایج سرشکنی، استفاده از تست فاکتور واریانس ثانویه بعد از مراحل پردازش سرشکنی می باشد [۵]. برای این منظور و برای هر یک از دوره های زمانی مشاهدات، می توان این تست را به کمک توزیه خی دو، به صورت زیر انجام داد:

$$X_{df_1, \frac{\alpha}{2}} < \frac{df_1 \hat{\sigma}_1^2}{\sigma_0^2} < X^2_{df_1, 1-\frac{\alpha}{2}} \tag{۹}$$

$$X_{df_2, \frac{\alpha}{2}} < \frac{df_2 \hat{\sigma}_2^2}{\sigma_0^2} < X^2_{df_2, 1-\frac{\alpha}{2}} \tag{۱۰}$$

همچنین می توان نسبت فاکتور وریانس های ثانویه هر دو دوره زمانی را با تست فیشر مورد بررسی قرار داد. این نسبت باید در محدوده زیر قرار بگیرد:

$$F_{df_1+df_2, \alpha/2} < \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} < F_{df_1+df_2, 1-\alpha/2} \tag{۱۱}$$

در انتها باید متذکر شد که برای محاسبه بردار جابجایی حقیقی، موارد ذیل بایستی لحاظ گردد:

سیستم مختصات در هر دو دوره زمانی یکسان باشد. برای یکسان بودن سیستم می بایست مقادیر اولیه برای مجهولات جهت انجام عمل سرشکنی در هر دو اپوک یکسان باشد.

نوع و مقدار مشاهدات در هر دو دوره زمانی یکسان می باشد و تغییر در مشاهدات (از نظر نوع و تعداد) سبب می شود که بردار جابجایی مجازی و غیر واقعی داشته باشیم.

تغییر در وزن مشاهدات نیز بردار جابجایی مجازی تولید می کند.

تغییر در تعداد نقاط شبکه نیز می تواند بردار جابجایی مجازی ایجاد کند.

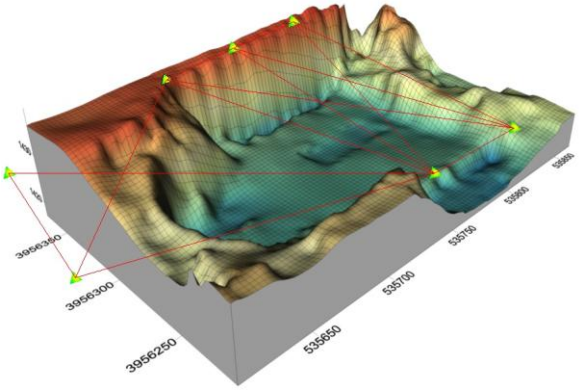
۲-۲- شبکه پایش در منطقه مورد مطالعه

گودبرداری پروژه ساخت برج های دوقلو مخابرات ایران با مساحت تقریبی ۳۰ هزار مترمربع و با عمق میانگین ۲۰ متر در جنوب غربی تقاطع بزرگ راه شهید همت و خیابان شیخ بهایی شهر تهران واقع است. روش پایدارسازی دیواره های گود، تلفیقی از روش میخکوبی یا نیلینگ[۱]، میله های

۱ Nailing

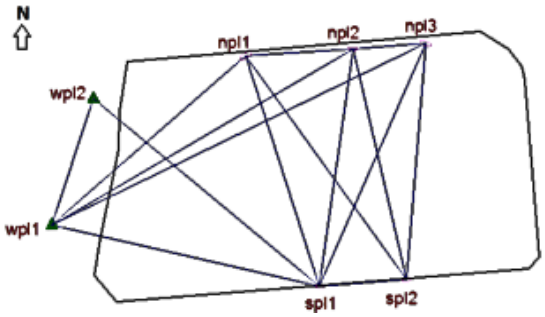
مهاری و همچنین شمع های بتنی درجا است [۱] که با توجه به نوع خاک و عمق گودبرداری طراحی گردیده است.

با توجه به موقعیت پروژه و شکل۱، دو ایستگاه ثابت طبق تشخیص مهندسان سازه (wpl1 وwpl2) در خارج از پروژه و ۵ ایستگاه غیر ثابت شبکه پایش به صورت پی لار در اطراف گودبرداری، بر طبق محاسبات طراحی مرتبه یک و ساختمان نقاط مربوطه بر طبق نشریه ۵_۱۱۹ سازمان مدیریت و برنامه ریزی احداث شد. این شبکه با ۱۴ مشاهده طولی و ۱۵ مشاهده زاویه افقی (۴ کوبل)، به صورت مسطحاتی سرشکن شده و دارای عدد آزادی متوسط ۰/۴۸ می باشد.



شکل۱- نقاط شبکه پایش در اطراف گودبرداری

مشاهدات نقاط شبکه پایش برای تست ثبات کلی در هر یک از دوره های زمانی مطابق شکل زیر و بوسیله دوربین TS09 Plus R1000 با دقت زاویه ای ۳ ثانیه و دقت طولی 1.5mm+2ppm قرائت گردید.



شکل۲- نقاط و مشاهدات شبکه پایش

در این تست، دو ایستگاه wpl1 وwpl2 پایدار شناخته شد و برای پایداری یا میزان جابجایی ۵ نقطه دیگر شبکه پایش، مطابق روش گفته شده در قسمت قبل عمل شد.

این جابجایی به کمک سرشکنی همزمان مشاهدات اپوک اول و دوم صورت می گیرد. با فرض اینکه X1 مختصات نقاط پایدار، X2 مختصات نقاط ناپایدار در اپوک اول و X3 مختصات نقاط ناپایدار در اپوک دوم باشد، شبکه را سرشکن می کنیم:

$$X=\begin{bmatrix}\vec{X}_1\\ \vec{X}_2\\ \vec{X}_3\end{bmatrix}\longrightarrow \hat{\vec{X}}=\begin{bmatrix}\hat{\vec{X}}_1\\ \hat{\vec{X}}_2\\ \hat{\vec{X}}_3\end{bmatrix}$$

قبل از پیدا کردن میزان جابجایی نقاط ناپایدار باید ضریب اطمینان را نسبت به نقاط ناپایدار بالا ببریم این امر به این دلیل است که تست ثبات کلی دارای خطا می باشد و ممکن است که نقاط پایداری در بین نقاط ناپایدار (به صورت اشتباه) وارد شده باشند، انجام می شود. با توجه به اینکه تست پایداری برای نقطه Spl1 انجام شده است، بردار d دارای دو درایه بوده و مقدار h برابر با دو خواهد بود:

$$W_i=\frac{\hat{d}_i^T\, Q_{\hat{d}i}\, \hat{d}i}{2\hat{\sigma}_0^2} \qquad h=2 \qquad (۱۲)$$

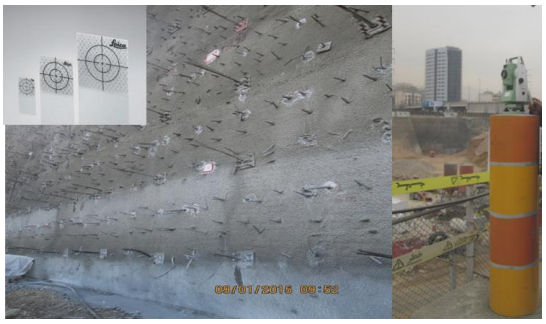
حال اگر $W_i > F_{2,df,1-\alpha}$ باشد، نقطه i ناپایدار است. در صورت ناپایدار بودن نقطهi، به محاسبه میزان جابجایی مطابق با رابطه زیر می پردازیم:

$$\hat{\vec{d}}i=\begin{bmatrix}\Delta x_i\\ \Delta y_i\end{bmatrix} \qquad \left\|d\vec{i}\right\|=\sqrt{\Delta x_i^2+\Delta y_i^2}$$
$$\tan\theta=\frac{\Delta y_i}{\Delta x_i} \qquad (۱۳)$$

۲-۳- بررسی جابجایی مسطحاتی

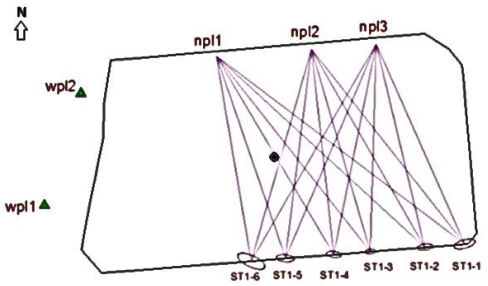
نقاط تارگت یا نشانه نیز به صورت رفلکتور ورقه ای (یا برچسبی) بر روی دیواره جنوبی گود (به ابعاد به طول ۱۵ متر و ارتفاع ۳ متر) به تعداد ۱۸ نقطه (۶ نقطه در هر ردیف و در سه ارتفاع مختلف) مطابق شکل ۳، نصب گردید.

پس از انجام مشاهدات و تصحیحات مربوطه به هر تارگت، سرشکنی مشاهدات شبکه به روش کمترین مربعات با نرم افزار GeoLab انجام شده و بیضی خطای نقاط تارگت بر اساس دقت مشاهدات و دقت نقاط شبکه پایش، در سطح و فاصله اطمینان ۹۹ درصد به دست می آیند.



شکل۳- ایستگاه پیلار و نقاط نشانه دیواره جنوبی گودبرداری

پس از حذف مقدار خطای هر نقطه با توجه به بیضی خطای آن در هر جهت، و تفاضل موقعیت آن با مقادیر قبلی میزان جابجایی واقعی بدست می آید و در گزارش مانیتورینگ (شکل ۵) قید می گردد. در نقاطی که مقادیر ابعاد بیضی خطا از مقدار جابجایی تجاوز نماید، این روش قادر به آشکارسازی جابجایی نمی باشد. این بدان معنا می باشد که خطای مشاهدات بیشتر از مقدار جابجایی است.



شکل۴- مشاهدات و نقاط نقاط نشانه نصب شده بر روی دیواره گود

۲-۴- بررسی جابجایی قائم

بر اثر گودبرداری، وضعیت تنش در خاک تغییر میکند لذا لازم است تغییر شکل قائم یا نشست دیواره های آن نیز بررسی شوند [۱]. با توجه به اهمیت مولفه جابجایی قائم یا نشست، ترازیابی نقاط اصلی از نوع درجه یک طبق دستورالعمل های سازمان نقشه برداری کشور بین نقاط اصلی پی لار صورت پذیرفت و با توجه به مشاهدات زاویه قائم، ارتفاع به نقاط نشانه یا تارگت روی دیواره انتقال یافت.

۲-۵- تمهیدات دقت و روش اجرا

یکی از اهداف مهم پایش گودبرداری، معین نمودن جابجایی واقعی دیواره می باشد. لذا بایستی در خطای مشاهدات نقشه برداری را به حداقل ممکن برسانیم. از جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

کنترل کالیبراسیون دوربین نقشه برداری قبل از هر یک از مشاهدات.

همزمانی انجام مشاهدات برای داشتن شرایط جوّی یکسان.

اعمال اثر انکسار جوّی بر روی مشاهدات از طریق روابط مربوطه و یا اعمال دما و فشار در تنظیمات EDM دستگاه توتال استیشن.

عدم برداشت در زمان ریزش نزولات جوّی.

مکث چند ثانیه ای یا چرخش دوربین با سرعت کم جهت اعمال تصحیحات کمپانسانتور.

قرائت نقاط نشانه توسط یک عامل جهت کاهش خطای قرائت و خطای انسانی.

استراحت چشم پس از قرائت هر ۳ نقطه نشانه و فوکوس کردن به یک نقطه ی دور دست.

عدم انتخاب نقاط نشانه در فاصله نزدیک به انکرهای[۱] تحت کشش (میله مهاری) برای حذف جابجایی مجازی.

در صورت امکان حداکثر زاویه مجاز بین دوربین و نقطه نشانه در انتهای دیواره ۹۰ درجه می باشد.

عدم قرائت در زمان لرزش تولید شده توسط دستگاه های موجود در کارگاه.

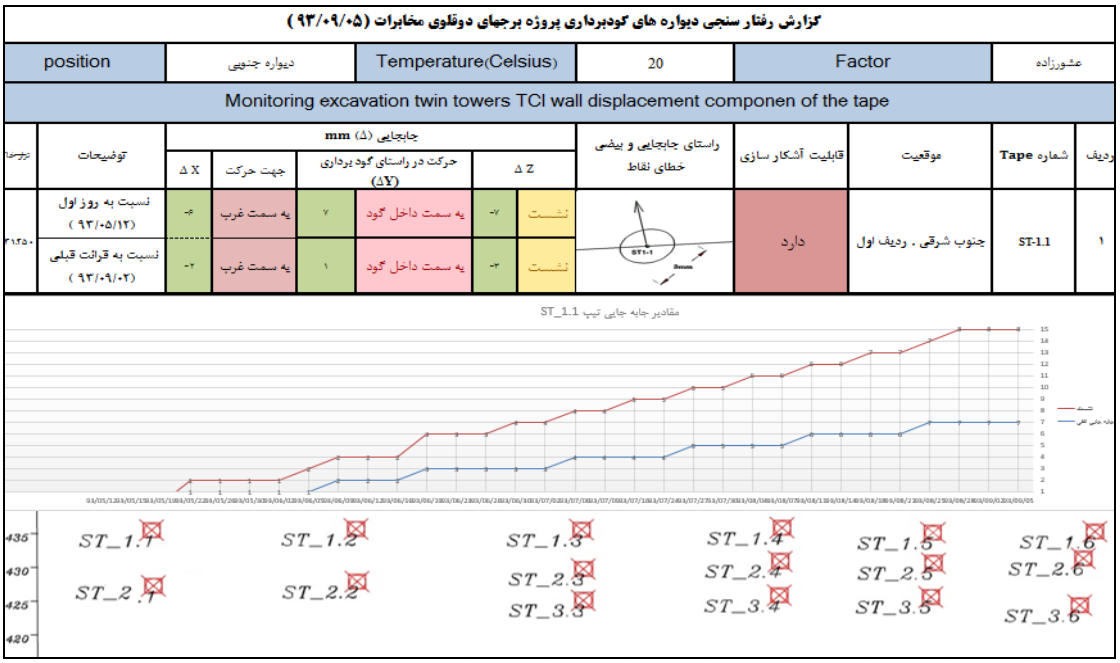
انتخاب نقاط اجباری در محدوده های حساس و حفظ و نگهداری نقاط نشانه تا اتمام عملیات پایدارسازی.

از مهمترین نکات در پایش دیواره گودبرداری نحوه ارائه گزارش فنی می باشد. این گزارش از آن جهت اهمیت بسزایی دارد که مبناء تصمیمات و تمهیدات لازم در عملیات پایدارسازی دیواره است [۴].

در مواقعی که مقادیر جابجایی دیواره گودبرداری از مقدار مجاز در طرح تجاوز نماید، عملیات پایدارسازی متوقف و طرح اولیه جهت جلوگیری از روند پیشرفت جابجایی بازنگری می گردد.

---

۱ Bolt Anchor



گزارش رفتار سنجی دیواره های گودبرداری پروژه برجهای دوقلوی مخابرات (۹۳/۰۹/۰۵)

position	دیواره جنوبی	Temperature(Celsius)	20	Factor	عشورزاده

Monitoring excavation twin towers TCI wall displacement componen of the tape

ردیف	شماره Tape	موقعیت	قابلیت آشکار سازی	راستای جابجایی و بیضی خطای نقاط	جابجایی (Δ) mm						توضیحات	تاریخ
					Δ Z		حرکت در راستای گود برداری (ΔY)	جهت حرکت	Δ X			
۱	ST-1.1	جنوب شرقی ، ردیف اول	دارد		-۷	نشست	۷	به سمت داخل گود	-۶		نسبت به روز اول (۹۳/۰۵/۱۲)	۲۱۲۵۰
					-۳	نشست	۱	به سمت داخل گود	-۲		نسبت به قرائت قبلی (۹۳/۰۹/۰۲)	

شکل۵- بخشی از گزارش مانیتورینگ دیواره جنوبی گودبرداری

برخی از این تمهیدات عبارتند از: کاهش فواصل انکر یا مهاری ها، نصب سولجر[۱] های فلزی، خاکریزی جلوی دیواره، بازنگری روش اجرا و آماده سازی مهار ها، تغییر روش درروند خاکبرداری و ... [7].

۲-۵- تعیین حد و مرز دقت ها

در این مقاله با توجه به مطالعات ژئوتکنیکی و عمق نسبی و نوع سازه مورد نظر، حداکثر دقت جابه جایی مورد انتظار جهت پایش و رفتار سنجی دیواره گودبرداری معین گردید. از عوامل عمده در ارزیابی خطرپذیری گودبرداری و تعین دقت رفتار سنجی دیواره گودبرداری پروژه مخابرات می توان به حرکات دینامیکی بزرگراه شهید همت در شمال پروژه با عرض ۲۰۰ متر، پل شیخ بهایی و مجموعه برج های ونک پارک در قسمت شرقی ، وجود خط گسل شمالی جنوبی و همچنین آب های زیر سطحی، جنس خاک و عمق گودبرداری اشاره نمود که با توجه به نظر طراح این مقدار به صورت مسطحاتی و ارتفاعی ۲ میلیمتر انتخاب گردید.

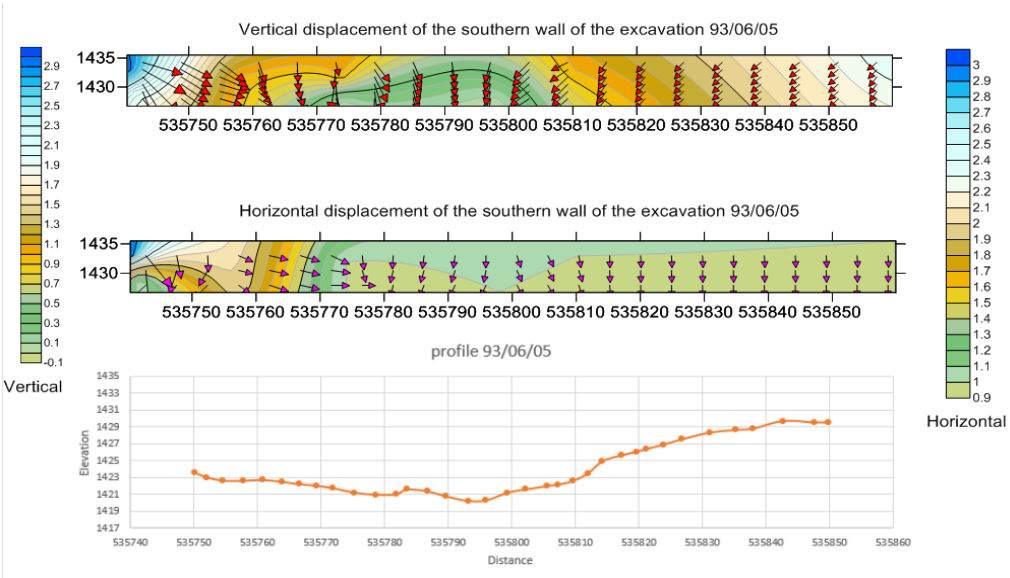
۳- ارزیابی نتایج

همانگونه که در شکل۵ و در نمونه گزارش پایش مشاهده می شود، پارامتر های جابجایی گودبرداری به صورت جابجایی در راستای عمود که بر دیواره مطابق با رابطه ۸ محاسبه و جابه جایی قائم که تحت عنوان نشست بیان می گردد به صورت تفکیک شده درج گردیده است. از جمله داده ای که نقش عمده ای در آنالیز های جابجایی دیواره گودبرداری دارد، قید نمودن کد ارتفاعی برداشت خاک موجود در پاشنه دیواره به هنگام قرائت نقاط نشانه مربوطه می باشد. این داده مستقیماً با نیروی سربار ناشی از وزن خاک متناسب است. با توجه به این که در گودبرداری بر اساس پیشرفت کار و افزایش عمق آن، به حساسیت مانیتورینگ افزوده می شود، لذا در گزارش مربوطه بایستی به این نکته توجه کرد که مقادیر جابجایی دیواره گودبرداری در هر اپک زمانی با مقـــادیر جابجایی روز اول برداشت و قرائت قبلی آن مقایسه و در گزارش مانیتورینگ موجود باشد.

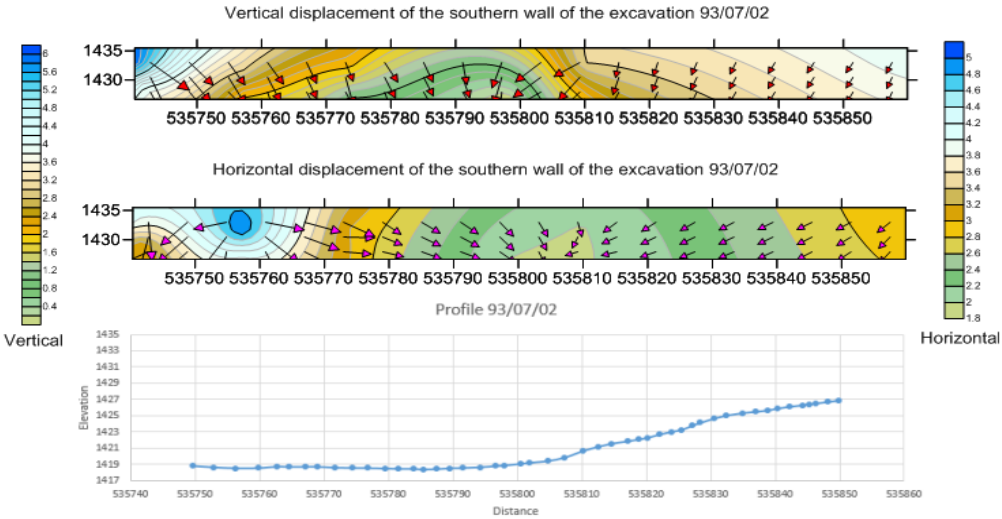
۳-۱- دیواره جنوبی

گزارش های پایش دیواره گودبرداری پروژه برج های دوقلو مخابرات ایران از مورخه ۹۳/۰۵/۰۲ الی ۹۳/۰۹/۰۵ به مدت چهار ماه (در چهار دوره زمانی یک ماه) مورد بررسی قرار گرفت. با عنایت به اتمام پانل برداری دیواره جنوبی، آنالیز های جابجایی آن توسط نرم افزار Surfer نشان داده شد. که نتایج جابجایی قائم (نشست) و جابجایی افقی دیواره جنوبی به صورت تفکیکی به همراه بردار شدت و جهت جابجایی و همچنین پروفیل طولی تراز خاک موجود پای دیواره در هر ماه را در شکل های ۶ تا ۹ مشاهده می نمایید.

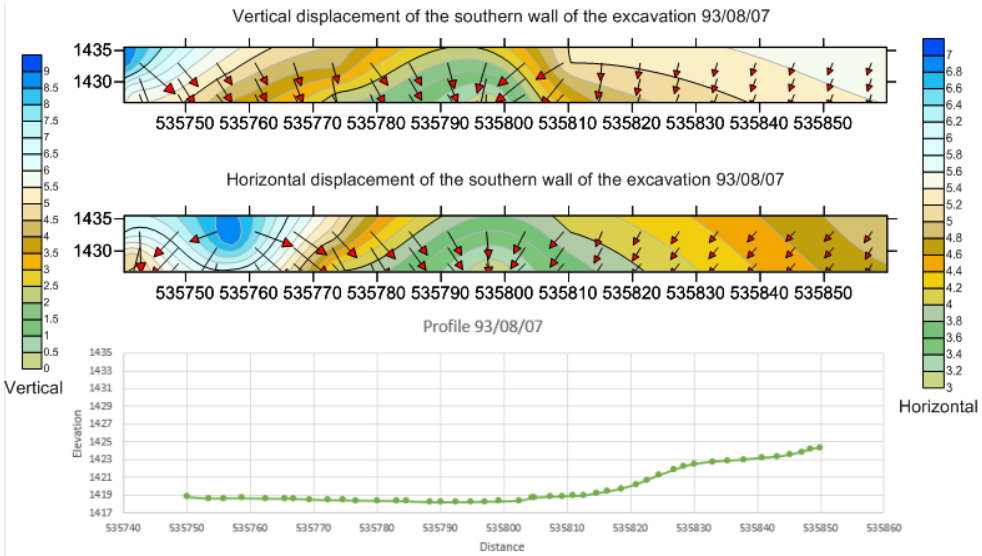
[۱] Solder



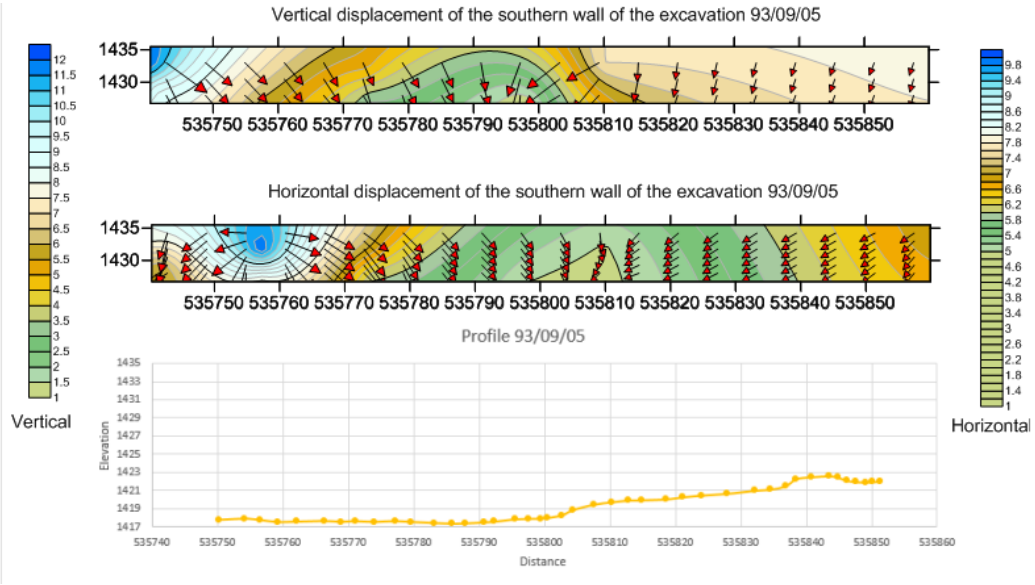
شکل۶- آنالیز جابجایی افقی و قائم بر حسب میلیمتر و پرفیل طولی تراز خاک موجود در پای دیواره در تاریخ ۹۳/۰۶/۰۵



شکل۷- آنالیز جابجایی افقی و قائم بر حسب میلیمتر و پرفیل طولی تراز خاک موجود در پای دیواره در تاریخ ۹۳/۰۷/۰۲



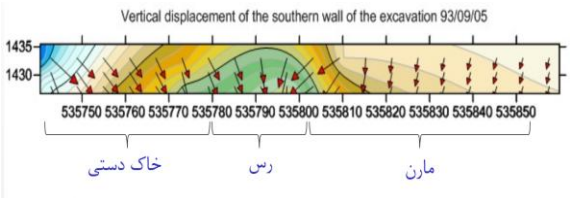
شکل۸- آنالیز آنالیز جابجایی افقی و قائم بر حسب میلیمتر و پرفیل طولی تراز خاک موجود در پای دیواره در تاریخ ۹۳/۰۸/۰۷



شکل۹- آنالیز جابجایی افقی و قائم بر حسب میلیمتر و پرفیل طولی تراز خاک موجود در پای دیواره در تاریخ ۹۳/۰۹/۰۵

یکی دیگر از پارامتر های موثر در مقدار جابجایی و نشست دیواره، عمق گودبرداری می باشد. همانگونه که در شکل های ۶ تا ۹ مشاهده می شود، در مدت زمان ۴ ماه به طور کلی نشست و جابجایی دیواره جنوبی با توجه به عمق گودبرداری افزایش می یابد و در هر ماه نیز مقادیر آن با توجه به روند پانل برداری متغییر است. برای مثال برای اپوک دوم در تاریخ ۹۳/۰۷/۰۲ در موقعیت تارگت ۵۳۵۷۶۰ با عمق ۱۷ متر مقدار جابجایی ۵ میلیمتر و در موقعیت ۵۳۵۸۵۰ با عمق ۱۲ متر مقدار جابجایی ۳ میلیمتر می باشد.

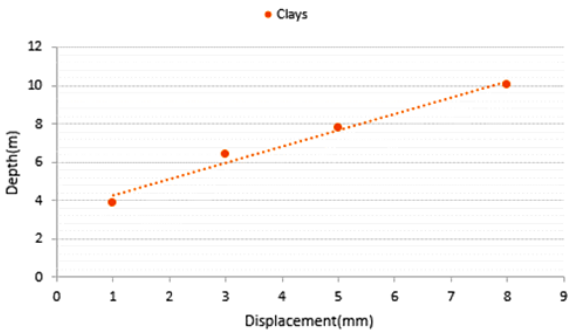
در شکل ۱۰ با توجه به مطالعات ژئوتکنیک، جنس خاک در لایه های مختلف دیواره جنوبی مشخص گردیده و با توجه به مقادیر جابجایی در گزارش های پایش و پارامتر های مقاومتی خاک، محدوده های مورد نظر مورد بررسی قرار می گیرد طی بررسی گزارش های پایش و آنالیز های جابجایی و نوع خاک دیواره جنوبی، با توجه به جدول ۱، در بازه زمانی ۹۳/۰۶/۰۵ الی ۹۳/۰۹/۰۵ در موقعیت ۵۳۵۷۴۰ مشاهده می گردد که میزان جابجایی قائم از حداکثر مقدار ۲ میلیمتر در تراز خاکبرداری ۱۴۲۴ به مقدار ۱۲ میلیمتر در تراز ارتفاعی خاکبرداری ۱۴۱۷/۷۰ افزایش یافته است.



شکل۱۰- بردارجابجایی دیواره جنوبی با توجه به نوع خاک

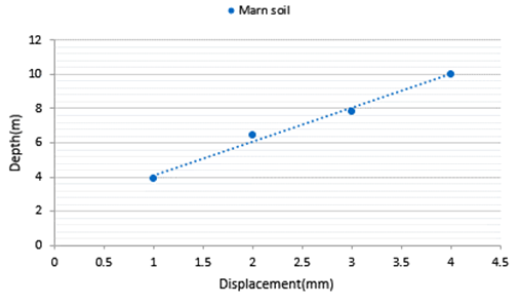
در تفسیر اطلاعات فوق می توان دریافت، با پانل برداری به ارتفاع ۶/۳۰ متر، ۱۰ میلیمتر نشست رخ داده است. در تراز ۶/۳۰ متر وجود خاک دستی در این محدوده توجیحی برای وجود بیشترین مقدار جابجایی و نشست در این موقعیت می باشد. حال آنکه در تارگت موقعیت ۵۳۵۸۱۰ با تغییر جنس خاک به رس متراکم و مارن و همچنین افزایش ضریب مقاومت خاک[۱]، جابجایی به حداقل میزان خود یعنی ۱ میلیمتر در تراز ۱۴۲۴ و تغییر آن بر اثر پانل برداری، جابجایی به مقدار ۳ میلیمتر در تراز ارتفاعی ۱۴۱۷/۷۰ رسیده است.

با توجه به نوع خاک در محدوده های مورد نظر و بررسی های جابجایی گودبرداری نسبت به عمق آن، مدل تغییرات جابجایی نسبت به پارامتر عمق در محدوده خاک های رس، مارن و خاک دستی به صورت تفکیک شده طبق نمودارهای شکل ۱۱ تا ۱۳ به دست آمده است.

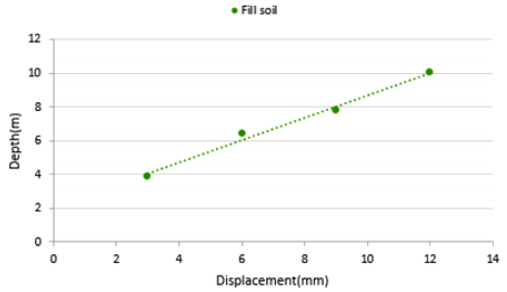


شکل۱۱- نمودار تغیرات جابجایی در خاک رس

۱ Soil resistance coefficient



شکل۱۲- نمودار تغیرات جابجایی در خاک مارن



شکل۱۳- نمودار تغیرات جابجایی در خاک دستی

همانگونه که مشاهده می شود، محدوده خاک دستی با عمق ۱۰ متر بیشترین جابجایی را به خود اختصاص داده و روند جابجایی آن با شیب تند تری افزایش می یابد.

طبق آیین نامه بزرگراه‌های آمریکا[1] (FHWA) حداکثر مقدار میانگین تقریبی جابجایی و نشست دیواره ای تحکیم شده توسط مهاری‌ها[2] در بازه ۰/۵ تا ۰/۲ درصد ارتفاع دیواره گودبرداری می باشد [۷]. لذا در دیواره جنوبی با ارتفاع آزاد ۲۰ متر و میزان تراکم انکر ها برابر طرح ۲/۱۹ میلیمتر بر متر مربع، مقدار متوسط جابجایی و نشست ۱۰ سانتیمتر است. با توجه به مطالعات ژئوتکنیکی عمده جنس خاک آن رس متراکم و مارن می باشد. حال آنکه حداکثر جابجایی و نشست این دیواره برابر مشاهدات مانیتورینگ تا اتمام پانل برداری در محدوده خاک دستی 1.2 سانتیمتر مشاهده گردیده است که بیانگـــر ضریب اطمینان بالای طرح می باشد.

۳-۲- دیواره غربی

در دیواره غربی گودبرداری، به علت نوع خاک این محدوده(که عمده آن خاک دستی می باشد) شمع های درجا بتنی با فواصل یک متر از یکدیگر و عمق گیرداری ۶ متر طراحی گردیده است (شکل۱۴). طی بررسی گزارش های پایش تا عمق ۲۰ متر، مقادیر جابجایی و نشست نقاط نشانه این دیواره طبق جدول ۲ به دست آمده است. همانگونه که در این جدول مشاهده می نماییم، با وجود عمق۲۰ متری دیواره غربی تحکیم شده توسط شمع های بتنی درجا، جابجایی و نشست دیواره علی رغم اینکه نوع خاک این محدوده ،کاملا دستی وسست است، بسیار ناچیز و نزدیک به صفر می باشد. لذا اجرای شمع های درجای بتنی یکی از گزینه های اصلی در تحکیم خاک های دستی و دارای شاخص های مقاومتی پایین می‌باشد.

شکل۱۴- پایدارسازی دیواره غربی توسط شمع های بتنی درجا

جدول۲- مقادیر جابجایی و عمق دیواره غربی در مدت زمان ۲ ماه

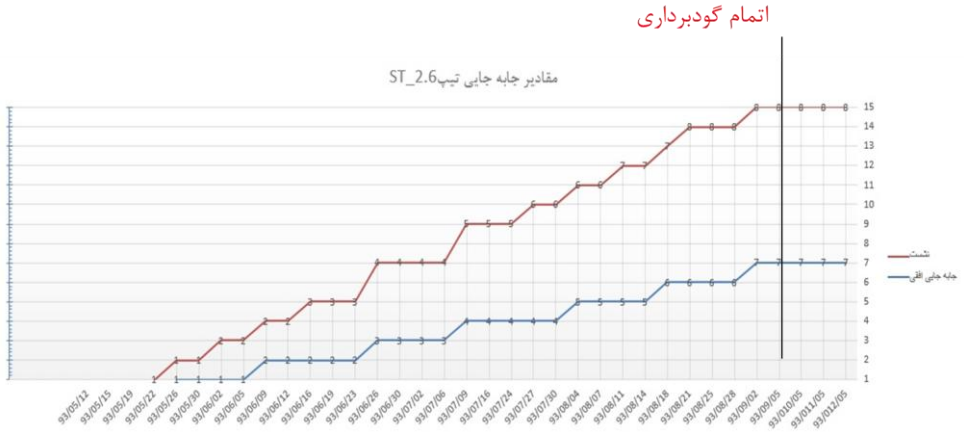
نام نقاط نشانه	WT_1.2	WT_1.2	WT_1.3	WT_1.4	WT_2.1	WT_2.2	WT_2.3	WT_2.4
عمق گودبرداری(M)	20.20	19.30	18.27	18.04	16.03	15.48	8.75	7.13
جابجایی(MM)	1	1	1	0	0	0	0	0
نشست (MM)	0	0	0	0	0	0	0	0

۴- نتیجه گیری

همانگونه که مشخص گردید با استفاده از مانیتورینگ به روش نقشه‌برداری توانستیم مقادیر جابجایی دیواره گودبرداری را بادقت بسیار بالا محاسبه و سپس این جابجایی ها را با کمک مهندسان ژئوتکنیک تفسیر نماییم.

با توجه به شکل ۱۵، طی پایش دیواره گودبرداری مشخص گردید این روند پس از اتمام پایدارسازی متوقف گردیده و بسیار نامحسوس می باشد. لذا می توان دریافت خاکی که دارای پارامتر های مقاومتی از قبیل چسبندگی[3] و از زاویه اصطکاک داخلی[4] بیشتری برخوردار باشد، آنگاه روند پیشرفت جابجایی و نشست کمتری خواهد داشت [۷و۸].

۱ Federal Highway Administration
۲ Maximum lateral wall movement for anchor wall
۳ Cohesion
۴ Angle of internal friction



شکل۱۵- تغیرات جابجایی دیواره گود نسبت به زمان

مراجع

[۱] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۲)، "مقررارت ملی ساختمان، مبحث هفتم: خاک و پی". نشر توسعه ایران، ۱۰۹ صفحه.

[۲] رستمی سید قاسم و حمید مهرابی (۱۳۹۳)، " بررسی دقت تعیین موقعیت با زاویه مایل، مطالعه خاص: آنالیز اولیه مشاهدات تغییر شکل سازه تکیه امیر چخماق یزد"، مجموعه مقالات همایش ملی ژئوماتیک ۹۳، سازمان نقشه برداری کشور.

[۳] رستمی سید قاسم (۱۳۹۱)، " گزارش نهایی خدمات عملیات مانیتورینگ تکیه امیر چقماق" کتابخانه اسناد و مدارک، سازمان میراث فرهنگی و گردشگری استان یزد.

[۴] سازمان نقشه برداری کشور و سازمان مدیریت و برنامه ریزی (۱۳۸۶)، "دستور العمل همسان نقشه برداری، جلد پنجم: میکروژئودزی" دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

[5] Cooper.M.A.R (1987):"Control surveys in civil Engineering". Department of civil engineering the city university london.

[6] De Vos L, G. Van Alboom, K. Haelterman (2013): "Comparison of monitoring techniques for measuring deformations in an excavation". Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris.

[7] Gue S.S, Y.C.tan (1998): "Design and construction consideration for deep excavation". SSP Geotechnics Stn Bhn.

[8] Korff M (2009): "Deformations and damage to buildings adjacent to deep excavations in soft soils". 1001307-004-GEO-0002, Version 02, 26 November 2009