



تحکیم خاک با استفاده از روش های **Anchor** و **Nailing** در پروژه مرکز

بین المللی مالی - اقتصادی مشهد IT

غلامرضا لشکری پور، محمد غفوری، نرجس قهرمانی*، افسانه مرآتی

گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی لایه های خاک، آزمایشات دانه بندی، هیدرومتری و حدود آتربگ بر روی نمونه های دست خورده در محل پروژه بین المللی مالی - اقتصادی مشهد انجام گرفته است. بر اساس نتایج این آزمایشات خاک محل براساس طبقه بندی یونیفاید از خاک های دانه درشت شامل SC-SM، GP-GC، SM-SW و GM-GC و خاک ریز دانه با نام CL و CL-ML تشکیل شده است.

در سایت مورد مطالعه، دو گمانه هر یک به عمق ۴۰ متر و یک گمانه به عمق ۷۰ متر (جمعاً ۱۵۰ متر) در مرحله اول و سه گمانه ۴۰ متری (جمعاً ۱۲۰ متر) در مرحله دوم حفر گردیده است. لازم به ذکر است که در مطالعات ژئوتکنیک قبلی ۳ گمانه به عمق کلی ۱۰۰ متر حفر شده و مطالعات اخیر به منظور تکمیل مطالعات قبلی می باشد. (جمعاً ۱۰ گمانه شناسایی به عمق جمعاً ۳۷۶.۵ متر در این سایت حفر گردیده است). علاوه بر آن ۸۰۰ گمانه با اعماق متفاوت (از ۶ متر تا ۲۸ متر) در ۶ ردیف، به منظور اجرای دیوار حائل در دیواره های بلوک های B, G, D حفر شد. همچنین تعداد ۳۲ گمانه (تا این مرحله از پروژه - تا امروز) در بلوک پشتی (بلوک F) در ۳ ردیف حفر شده است و حفاری ها هنوز ادامه دارد. با توجه به نتایج آزمایشات در این محدوده و ریزشی بودن خاک، برای حفظ پایداری دیواره ها و تحکیم مناسب (با توجه به عمق بالای گودبرداری) اجرای دیوار حائل با روش Nailing در ردیف اول گمانه ها و روش Anchor در بقیه ردیف های گودبرداری پیشنهاد و هم اکنون در حال تکمیل مراحل نهایی است.

کلمات کلیدی: تحکیم و پایداری خاک، دیوار حائل، Soil Nailing, Anchor

Soil nailing and Anchor methods used in international financial - economical center of Mashhad, IT

Lashkaripour, G. R., Ghafoori, M., Ghahremani, N., Merati, A.

Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Physical properties of soil layers, have been determined by carrying out grain size analysis, Hydrometry and Atterberg limits on undisturbed samples in IT project. based on the result of the tests, different soil types in this site are as follow SM-SC, GP-GC, SM-SW and GM-GC and the fine grain contain CL and CL-ML. in this project, two boreholes were drilled in the first part and three ones in the second part. Boreholes in the first part totally longs 150 m and in the second part longs 120 m. furthermore 800 boreholes with various depth (from 6m to 28m) have been drilled to perform retaining wall. According to studies, soil nailing is suggested for the first line and Anchor method is proposed for the lines to preserver the stability of walls and soil consolidation.

Keyword : consolidation and stability of soil, retaining walls, Soil nailing, Anchor

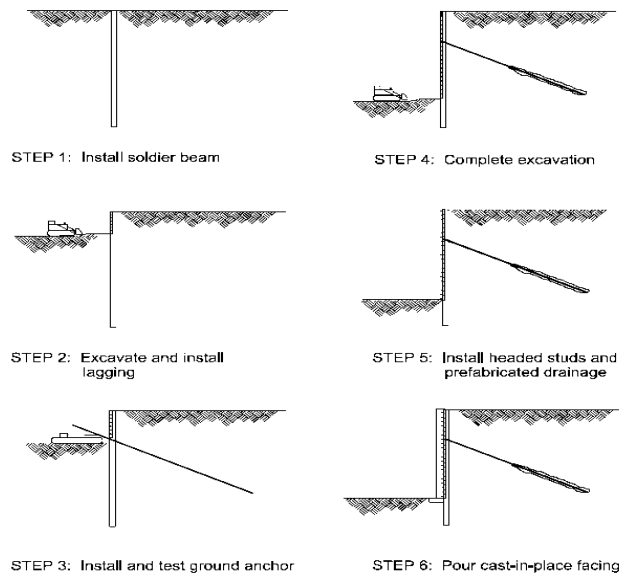
۱ مقدمه

اگرچه رومیان روش Soil nailing را از زمانی که شمع های چوبی را برای پایداری شیب دامنه ها بکار می بردند، مورد استفاده قرار دادند اما nailing به شکل امروزی برای اولین بار در فرانسه در سال ۱۹۷۲ و ایالت متحده آمریکا در سال ۱۹۶۷ معرفی شد nailing شامل تقویت زمین و بلوکی از خاک می باشد که باعث دوام آن بلوک می گردد. به طور ساده این فرایند شامل حفر دیواره، قرار دادن میل مهار در آن و در نهایت قرار دادن یک قاب فلزی و پیچ کردن میل مهار می باشد و در نهایت بتن پاشی تا به سطح تراز صافی صورت می گیرد. نمونه ای از آن در شکل ۱ آمده است (Federal Highway Administration, 1999).

۸۷۶

nailing در خاک های سفتی مانند شیل های پیش تحکیمی، سیلت های متراکم، ماسه و گراول های متراکم تا نیمه متراکم و تیل های سیمانی؛ انجام می شود و انجام آن در خاک های نرم چسبنده توصیه نمی شود. nailing برای پایدار کردن ناپایداری بزرگ، کاربرد ندارد اما برای نگهداری دیواره های کم عمق و صفحه ای بسیار موفق هستند. و در مقایسه با شمع ها و lagging اقتصادی تر است (Macnab, P. Eng, 2004). nailing یک روش حفاظتی برای خاک، بوسیله میله های فولادی می باشد (Satyendra Mittal and A.K. Biswas, 2006). nailing شبکه ای را پدید می آورد که منجر به ایجاد یک توده خاکی پایدار می شود. این توده پایدار مواد ناپایدار پشت خود را حفاظت می کند (Schnabel foundation company, 2009). در بحث دیوار های حائل، Nailing به عنوان نوعی از مهاربند ها بشمار می آید، و با نام میله مهار یا Tie back هم معروف می باشد (Das. B. M 1990). Soil Nailing امروزه در قسمت های زیادی از جهان برای پایداری درجای شیب ها و دیواره ها به طور گسترده استفاده می شود (C.R. Patra and P.K. Basudhar 2004).

بطور کلی Anchor شامل عناصر فولادی (میل ها یا رشته ها) و تزریق در گمانه های حفر شده می باشد، رشته ها بعدا تحت کشش قرار می گیرند، این کشش باعث ایجاد یک فشار جانبی یا عمودی می شود که مانع جابجایی دیوار حائل می شود. Anchor اغلب برای ساپورت اکتشافات، قسمتی از دیوار های حائل همیشگی و یا مانعی برای جلوگیری از Up-Lift فونداسیون ها بکار می رود. مثالا شرکت Rembco از Anchor برای پایداری دامنه ها و دیوار ها، ایجاد Tieback برای پل ها، پایداری سد ها و محکم نگهداشتن کف استفاده می کند (Rembco. Anchor, 2009).



شکل ۱- تصویر شماتیکی از مراحل انجام Nailing

۲ موقعیت و خصوصیات کلی پروژه

محدوده مورد مطالعه در طول جغرافیای ۳۳° و ۵۹° و عرض ۱۹° و ۳۶° شمالی واقع در ابتدای میدان جانباز (روبروی مجتمع تجاری پروما در شهر مشهد) است. در این پروژه ساختمان هایی با کاربری اداری و پارکینگ، در چندین بلوک احداث خواهد شد. بلوک D در ۵ طبقه، بلوک B در ۹ طبقه، بلوک C، در ۱۸ طبقه، بلوک F در ۷ طبقه و بلوک G در ۹ طبقه احداث خواهد شد. اسکلت ساختمان فولادی و سقف بلوک ها از نوع کامپوزیت است. به منظور کنترل نیروهای جانبی کلیه ساختمان از سیستم قاب های خمشی (Moment Frame) استفاده شده است. در مورد برج سازه علاوه بر قاب های خمشی، سه هسته برشی (Shear Wall) بتن آرمه نیز تواما نیروی جانبی را کنترل می کنند. تراز استقرار کف فونداسیون در بلوک های C, B, F, G بر اساس اعلام مشاور پروژه به ترتیب، $۸۰/۶۰$ ، $۲۰/۲۳$ ، $۵۰/۲۲$ ، $۱۳/۱۶$ متر پایین تر از تراز صفر گمانه ها می باشد. شالوده سازه از نوع گسترده با ابعاد ۲۷۰×۵۰ متر برای کلیه ساختمان ها اعلام شده است (شالوده گسترده بین ساختمان ها توسط درز از هم جدا می شوند). ارتفاع فونداسیون های سازه در بلوک های B و ۱۰۰ سانتیمتر و در بلوک C، ۱۵۰ سانتیمتر می باشد.



شکل ۲- تصویر ماهواره ای از محل اجرای پروژه (برگرفته از سایت Googleearth, 2009)

۳ زمین شناسی عمومی منطقه

دشت مشهد در شمال شرق ایران و در حد فاصل کوه های بینالود در جنوب و هزار مسجد در شمال، با امتداد شمال غرب و جنوب شرق واقع شده است. رودخانه های مهم حوضه آبریز مشهد علاوه بر کشف رود، شامل رودخانه های طرق، عارفی و رادکان است.

صفحه مشهد به سه محدوده متفاوت تقسیم می شود که از شمال به جنوب شامل: کپه داغ، مفصلی و بینالود است. از آنجایی که مشهد در بخش جنوبی محدوده مفصلی و حاشیه بینالود قرار دارد مختصری از زمین شناسی دو محدوده مذکور در زیر آورده شده است.

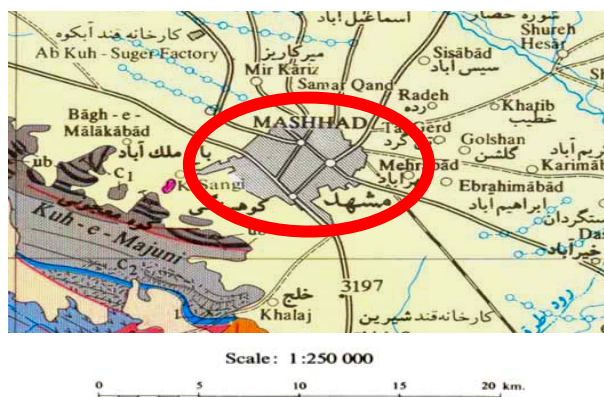
الف) بینالود: سلسله جبال است در جنوب دشت مشهد با امتداد تقریبی شرقی- غربی و با تحدبی به سمت شمال و شامل سنگ ها و رسوبات دوران های اول، دوم و سوم است که از دیدگاه ژئوتکنیکی در لبه شمال شرقی قطعه لیتوسفری ایران قرار گرفته است. این سلسله جبال یک نوار چین خورده و گسل خورده از نوع نازک پوسته ای که بدنبال تصادم صفحه ایران و توران تشکیل شده است.

ب) محدوده مفصلی: بین کپه داغ و بینالود واقع شده است و شامل سنگ های دگرگونی و مجموعه های فیولیتی است، که این مجموعه ها نوارهایی به طول ده ها Km با روند شمال غرب- جنوب شرق است. در همین راستا راندگی های مهمی وجود دارد که بازتابی از فعالیت شدید تکتونیکی حاکم بر محدوده است (افشار حرب، ۱۳۷۳).

۴ آبرفت های دشت مشهد

نهبته های رسوبی مرکز شهر مشهد که پروژه مورد بحث در آن قرار می گیرد، مربوط به مسیل هایی است که از ارتفاعات جنوبی و جنوب غربی سرچشمه گرفته و نهایتاً به کشف رود می ریزند. از جمله این مسیل ها کال خیام، چایش، اقبال را میتوان نام برد. با توجه به فاصله از ارتفاعات جنوبی و جنوب غربی رسوبات در مرکز شهر ریزدانه تر می باشند.

در بخش مرکزی تناوب سیلت، رس و ماسه را داریم. در حاشیه مسیل ها درصد ماسه بیشتر است ولی با دور شدن از مسیل ها درصد سیلت و رس افزایش می یابد. با توجه به جایجایی رودخانه ها بر روی دشت سیلابی در گذشته در مقطع عمقی ناهمگنی در بافت خاک ایجاد شده است (حافظی مقدس، ۱۳۸۶).



شکل ۳- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه (برگرفته از سایت سازمان زمین شناسی کشور ngdir

(2009)

۵ ساختار تکتونیکی

به طور کلی گسل های رانده و صفحات رورانده، عمده ترین ساخت های زمین شناسی ناحیه مشهد است. تقریباً تمام گسل های رانده، روند شمال غربی- جنوب شرقی دارند و سمت حرکت در لبه آنها از شمال و شمال غرب به سمت جنوب و جنوب شرقی است. چین ها تقریباً در تمامی انواع سنگ ها مشاهده می شود. چین های موجود در جنوب مشهد عمدتاً از نوع برگشته و خوابیده هستند و وجودشان با فعالیت گسل های تراستی و حرکت صفحات رورانده در ارتباط مستقیم بوده است.

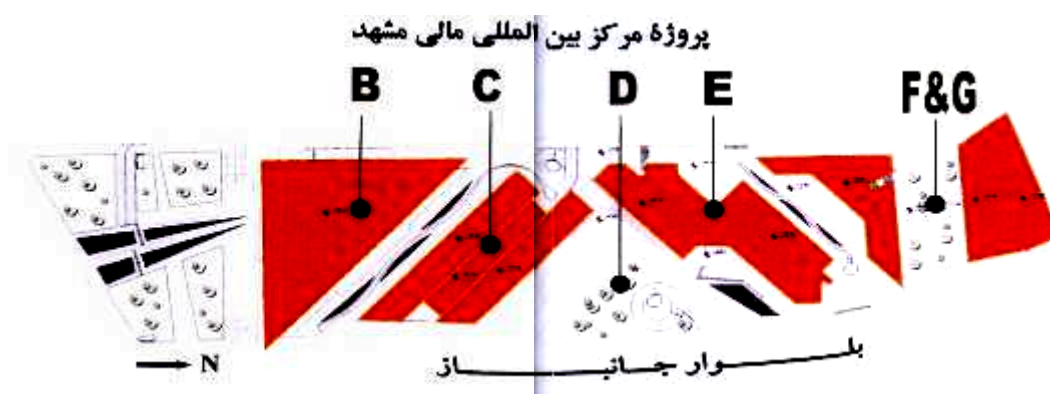
برگشتگی تمام آنها به سمت جنوب و جنوب غرب شیب سطح محوری آنها به سمت شمال و شمال شرق است. درزها نیز از ساخت های متداول در کلیه سنگ های رسوبی، آذرین و دگرگونی منطقه هستند و حاصل رفتار شکننده در برابر نیروهای وارد بر آنهاست (آقاناتی، ۱۳۸۳).

۶ حفاری و عملیات صحرائی

۱-۶ حفاری:

در سایت مورد مطالعه، دو گمانه شناسایی هر یک به عمق ۴۰ متر در بلوک G و یک گمانه به عمق ۷۰ متر بلوک B (جمعاً ۱۵۰ متر) حفر گردیده است. حفاری گمانه شماره ۱ در بلوک G به روش دورانی و با استفاده از دستگاه حفاری روتاری و سایر گمانه ها به روش ضربه ای و با دستگاه پرکاشن انجام شده است. علاوه بر این در مجاورت گمانه شماره ۴ (گمانه ۷۰ متری) یک گمانه دستی به عمق ۶/۵ متر جهت انجام آزمایش دانسیته خاک نیز حفر گردید. قابل ذکر است که در مطالعات ژئوتکنیک قبلی ۳ گمانه به عمق کلی ۱۰۰ متر در بلوک B حفر شده و مطالعات اخیر به منظور تکمیل مطالعات قبلی می باشد. گمانه های حفر شده در هر بلوک نسبت به هم اختلاف ارتفاع جزئی دارند. موقعیت کلی پروژه و بلوک ها در شکل زیر آمده است (مهندسین مشاور گنو ۱۳۸۷).

۸۷۹



شکل ۴- نمایش موقعیت بلوک های موجود در محدوده طرح

۷ نمونه برداری

به هنگام حفاری در هر تغییر لایه و یا با رعایت فواصل منظم ۳ متری نمونه های دست خورده (Disturbed) از بافت خاک اخذ و جهت انجام آزمایشات لازم فرستاده شد. در لایه هایی از خاک که بافت ریزدانه بود، ضمن اخذ نمونه های دست خورده، نمونه های دست نخورده (Undisturbed) نیز تهیه و پس از بسته بندی و گرفتن موم به آزمایشگاه فرستاده شد.

۸ آزمایشات صحرائی:

به منظور کسب اطلاعات اولیه از شرایط طبیعی خاک محل پروژه، آزمایش های ضربه ای نفوذ استاندارد (Standard Penetration Test) به هنگام حفاری انجام شد. این آزمایش بر اساس استاندارد (ASTM D1586) انجام گردید. از نتایج آزمایشات به عنوان معیاری برای سنجش تراکم و قوام خاک استفاده می گردد.

۹ سطح آب زیرزمینی:

در زمان حفاری (آذر ماه ۱۳۸۶) در عمق حدود ۵۶/۵ متری گمانه شماره ۴ به تراز آب زیرزمینی برخورد گردید. قابل ذکر است که در سایر گمانه های حفر شده به سطح آب زیرزمینی برخورد نشد.

۱۰ بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک

۱-۱۰ طبقه بندی خاک

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی لایه های خاک، آزمایشات دانه بندی، هیدرومتری و حدود روانی و خمیری بر روی نمونه های دست خورده انجام گرفته است. و نتایج آن نشان می دهد که خاک محل براساس طبقه بندی یونیفاید از خاک های دانه درشت با نام SC-SM، SM-SW، GP-GC، SC، SP-SM، GM-GC و خاک ریز دانه با نام گروه CL، ML و CL-ML تشکیل شده است. نتایج حاصل در جدول شماره ۱ آمده است. در زمان حفاری، آزمایشات ضربه نفوذ استاندارد (SPT) در اعماق مختلف انجام شده است. از نتایج اصلاح شده این آزمایش ها به عنوان معیاری جهت ارزیابی تراکم نسبی در خاک های دانه ای و تعیین قوام و سفتی در خاک های ریز دانه و در نهایت به عنوان نشانه ای از ظرفیت باربری خاک مورد استفاده قرار می گیرد. بر اساس نتایج آزمایشات صحرائی انجام شده، خاک زیر پی در محل گمانه های حفر شده را می توان به لحاظ تراکم و قوام طبقه بندی نمود. بر این اساس خاک درشت دانه زیر پی عمدتاً در گروه زمین های با تراکم متوسط تا متراکم و خاک ریز دانه آن در گروه زمین های خیلی سفت و سخت قرار می گیرد.

با بررسی های انجام شده و با توجه به نوع خاک به منظور پایدار نمودن گود برداری تعداد ۸۰۰ گمانه تحکیمی در دیواره های آن، در ۶ ردیف و با فاصله ۳ متر به صورت جانبی و ۳ متر به صورت عمودی از هم حفر گردید و در ردیف اول Nailing و در بقیه ردیف ها Anchor استفاده شد. بدین صورت پایداری گود برداری با موفقیت انجام گردید.

جدول ۱- طبقه بندی خاک در محدوده مورد مطالعه

ردیف	شماره نمونه	عمق نمونه (m)	گروه خاک	برش مستقیم		سه محوری		% شن	% ماسه	ذرات ریزتر از ۰/۰۷۵ mm	ذرات ریزتر از ۰/۰۰۲ mm
				برش تند	برش کند	UU	CD				
۱	+۷۶۰ ۱۰۹۷۵۹	۳/۵-۸	SM	$\phi=28$ $C=0/14$	---	---	---	۳۶	۴۸	۱۶	۲
۲	+۷۶۷ ۱۰۹۷۶۶	-۲۵ ۱۹	SW-SM	$\phi=35$ $C=0/17$	---	---	---	۴۳	۴۸	۹	کمتر از ۹
۳	۱۰۹۷۶۹	۳۱	CL-ML	$\phi=15$ $C=0/18$	---	---	---	۵	۳۴	۶۱	۱۲
۴	۲۲۵۲۸۴	۳/۵	CL-ML	$\phi=16$ $C=0/19$	---	---	---	۴	۲۶	۷۰	۸
۵	+۳۰۳ ۲۲۵۳۰۰	-۱۹ ۱۳/۵	SM	$\phi=31$ $C=0/22$	---	---	---	۱۷	۵۶	۲۷	۵
۶	+۳۲۰ ۲۲۵۳۲۹	-۳۲ ۲۸	SC-SM	$\phi=34$ $C=0/21$	---	---	---	۲۵	۵۳	۲۲	۵
۷	۲۲۵۳۱۹	۳۲/۵	CL-ML	$\phi=24$ $C=0/17$	---	---	---	۲	۲۵	۷۳	۱۶
۸	۱۰۹۷۵۱	-۳۶ ۳۳	SC-SM	$\phi=12$ $C=0/20$	---	---	---	۱۴	۴۷	۳۹	۶
۹	۱۰۹۷۸۶	-۵۵ ۵۲	CL-ML	* $\phi=28$ $C=0/25$	---	---	---	۰	۴۳	۵۷	۱۳

۱۱ برآورد ظرفیت باربری نهایی پی های گسترده

با توجه به نتایج مطالعات صحرایی و آزمایشات و با توجه به پارامترهای مقاومت برشی خاک، ظرفیت

باربری پی های گسترده از رابطه زیر بدست می آید:

$$qult = C.Nc.Sc + \gamma.Df.Nq.Sq + 0.5\gamma.B.N\gamma.S\gamma.Rb$$

$$Rb = 1 - 0.25 \log(B/2)$$

qult ظرفیت باربری نهایی پی

C چسبندگی خاک

B عرض پی

γ وزن واحد حجم طبیعی خاک

$Nc, Nq, N\gamma$ ضرایب ظرفیت باربری پی

Df عمق موثر مدفون پی

$Sc, Sq, S\gamma$ ضرایب شکل پی

Rb فاکتور کاهش دهنده اثر عرض پی گسترده

با در نظر گرفتن فاکتور ایمنی برابر ۳ ظرفیت باربری ایمنی پی (q) به شرح زیر است:

$$qs = \frac{qult}{S.F}$$

پارامتر های مورد استفاده برای پی هایی که گسترده مستقر در اعماق ۱۶/۲۰ الی ۲۳/۶۰ به شرح زیر است:

- زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) بر حسب درجه $\phi = 27$

- ضریب چسبندگی (C) بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع $c = 0.0$

- وزن واحد حجم طبیعی خاک (γ) بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب $\gamma = 1.85$

اثر سطح آب زیرزمینی: با توجه به استقرار سطح آب زیرزمینی در عمق حدود ۵۶/۵ متری نسبت به تراز صفر گمانه های حفر شده، مقدار γ در جمله آخر رابطه ظرفیت باربری با $\bar{\gamma}$ جایگزین می شود.

$$\bar{\gamma} = \gamma' + \frac{d}{B}(\gamma - \gamma')$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

d فاصله کف پی تا سطح آب زیرزمینی

B عرض پی

γ_{sat} وزن واحد حجم اشباع خاک

γ_w وزن واحد حجم آب

γ وزن واحد حجم طبیعی خاک

جدول ۲ - نتایج آزمایش تعیین وزن واحد حجم طبیعی خاک

درصد رطوبت $\%w$	خاک γ_d gr/cm^3	خاک γ gr/cm^3	عمق (m)	شماره گمانه	ردیف
۷	۱/۷۲	۱/۸۴	۵	۴	۱
۱۷	۱/۶۰	۱/۸۷	۵/۶	۴	۲

۸۸۲

توضیح ۱) ظرفیت باربری ایمن شالوده گسترده با ابعاد اعلام شده و مستقر در اعماق مذکور و در محل گمانه های حفر شده، حدود $5 kg/cm^2$ برآورد می گردد که لازم است مقدار فوق با نشست مجاز شالوده کنترل شود.

توضیح ۲) ظرفیت های باربری ارائه شده بر اساس محوری بودن بار و عدم خروج از مرکزیت آن است.

۱۲ تخمین نشست پی

با توجه به بافت ریزدانه خاک و درجه اشباع نسبتا بالا در برخی از لایه های خاک مورد مطالعه، نشست پی ترکیبی از دو نوع آنی و تحکیمی ($s = s_i + s_c$) خواهد بود که برای محاسبه آنها از روابط زیر استفاده شده است.

$$s_i = \frac{q'B}{E_s} (1 - \mu^2) I \omega \quad (1)$$

q' فشار خالص موثر بر حسب Kg/cm^2

μ ضریب پواسون خاک ۰/۲۵-۰/۳۵

s_i نشست آنی پی بر حسب سانتیمتر

B عرض پی بر حسب سانتیمتر

Es مدول الاستیسیته خاک ۲۵۰-۳۵۰ Kg/cm^2

I_{ω} ضریب تاثیر شکل برای شالوده گسترده به ابعاد ۲۷۰×۵۰ متر حدود ۱/۸۵

$$Sc = \frac{H\Delta e}{1 + e_0} \quad (2)$$

Sc نشست تحکیمی e تخلخل اولیه خاک

H ضخامت لایه تحت تاثیر بار Δe کاهش تخلخل خاک در اثر اعمال سربار

نشست تحکیمی خاک در دراز مدت روی می دهد و علت آن خروج آب از بین حفرات خاک می باشد و نشست آنی در زمان کوتاهی پس از احداث سازه یا همزمان با آن روی می دهد. در برآورد نشست از (net pressure) استفاده شده است. لذا هر گونه باری که بر تراز کف پی اعمال گردد باید جزء بار موثر در نشست محسوب شود.

توضیح ۱: بر اساس وزن سر بار برداشته شده از روی خاک (ارتفاع گودبرداری)، تا اعمال سر باری معادل $۲/۳۵ \text{ Kg/cm}^2$ برای شالوده مستقر در عمق ۱۳/۵ متری، $۲/۸۵ \text{ Kg/cm}^2$ برای شالوده مستقر در عمق ۱۶/۲۰ متری، $۴/۱ \text{ Kg/cm}^2$ برای شالوده مستقر در عمق ۲۲/۸۰ متری و $۴/۳ \text{ Kg/cm}^2$ برای شالوده مستقر در عمق ۲۳/۶۰ متری محل گمانه های حفر شده، هیچگونه نشستی در خاک زیر پی روی نخواهد داد.

توضیح ۲: با توجه به ظرفیت باربری (حدود ۵ Kg/cm^2) و در نظر گرفتن نشست مجاز حدود ۲ اینچ برای شالوده های گسترده با ابعاد ۲۷۰×۵۰ متر، سربارهای $۳/۱۰ \text{ Kg/cm}^2$ برای شالوده های مستقر در عمق ۱۶/۲۰ متری، $۴/۳۰ \text{ Kg/cm}^2$ برای شالوده های مستقر در عمق ۲۲/۸۰ متری و $۴/۵۰ \text{ Kg/cm}^2$ برای شالوده های مستقر در عمق ۲۳/۶۰ متری محل گمانه های حفر شده می تواند به عنوان ظرفیت باربری مجاز تلقی گردد.

توضیح ۳: محاسبه ظرفیت باربری و نشست براساس رطوبت طبیعی زمین در زمان حفاری انجام شده است. نشست آب و اشباع لایه های خاک زیر پی علاوه بر کاهش ظرفیت باربری بر مقدار نشست ها خواهد افزود. از این رو لازم است به نحو مقتضی از نشست آب به زیر پی ممانعت شود.

۱۳ ضرایب فشار جانبی خاک

بر اساس تئوری رانکین آزمایشات انجام شده، ضرایب فشار جانبی خاک به شرح زیر است:

$$Ka = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} = 0.35$$

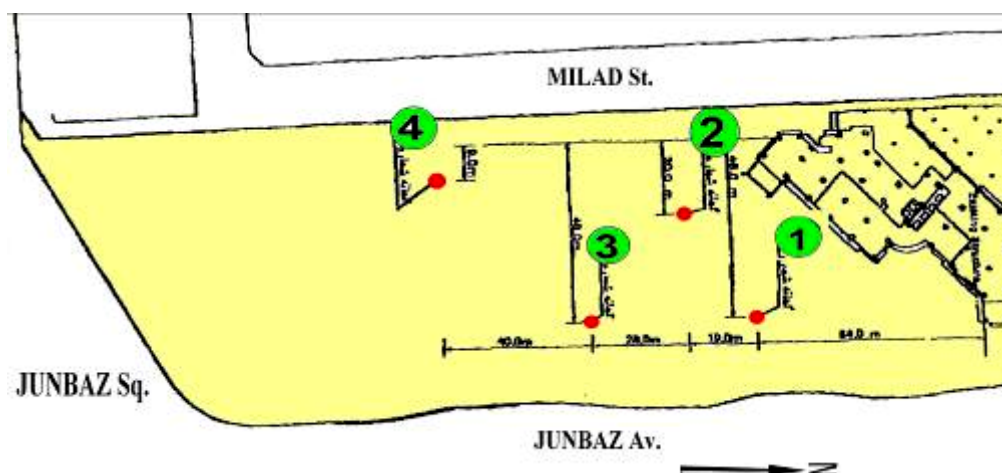
$$Kp = \frac{1}{Ka} = 2.88$$

$$K_0 = 1 - \sin \phi' = 0.52$$

در تئوری مذکور خاک پشت دیوار افقی فرض گردیده است و اصطکاک خاک و دیوار صرف نظر شده است. زاویه اصطکاک داخلی خاک جهت برآورد ضرایب فوق ۲۹ درجه گرفته شده است.

۱۴ نفوذپذیری خاک

در عمق ۲۳ متری گمانه های ۱، ۲ و ۴ آزمایش نفوذپذیری به روش آزمایشگاهی انجام شد. که نتایج آن در جدول ۳ نمایش داده شده است. شکل ۵ جانمایی گمانه های مورد نظر را نمایش می دهد.



شکل ۵ - جانمایی گمانه های مورد آزمایش نفوذپذیری

جدول ۳- نتایج آزمایش نفوذپذیری آزمایشگاهی (ارتفاع ثابت)

شماره نمونه	دانسیته تر gr/cm^3	دانسیته خشک gr/cm^3	درصد رطوبت $\%w$	نفوذپذیری cm/sec
۲۲۵۴۰۱	۲/۰۵	۱/۸۵	۱۰	۵/۷۴*۱۰
۲۲۵۳۱۱	۲/۰۵	۱/۹۰	۸	۱/۶۱۲*۱۰
۱۰۹۷۸۱	۱/۹۵	۱/۸۰	۸	۵/۰۳*۱۰

۸۸۴

۱۵ سیمان مصرفی در شالوده بتنی

با توجه به نتایج آزمایشات شیمیایی انجام شده بر روی خاک و آب محل پروژه که در جداول ۴ و ۵ آمده است و نیز پایین بودن سطح آب زیرزمینی تمهیدات خاصی به منظور استفاده از سیمان در تهیه بتن لازم نیست و به راحتی می توان از سیمان تیپ ۱ در تهیه بتن فونداسیون های سطحی و دیوار های حائل استفاده کرد.

۱۶ غلظت دوغاب

غلظت دوغاب سیمان بکار رفته در کل گمانه ها ثابت بوده و نسبت آن ۰/۴ بوده است. این نسبت یعنی اختلاط ۲۰۰ لیتر آب + ۵۰۰ کیلوگرم سیمان ایجاد شده است. لازم به ذکر است که این غلظت دوغاب دو ویژگی مهم دارد: ۱- آبخوری کمی دارد ۲- در هنگام کشش مقاومت خوبی دارد.

جدول ۴- نتایج آزمایشات شیمیایی خاک

گمانه	شماره نمونه	عمق نمونه	عدد PH	% کلوروها بر حسب Cl	% سولفات ها بر حسب SO3
۱	۱۰۹۷۵۸	۲-۳/۵	۷/۸۱	۰/۰۱	۰/۰۸
۱	۱۰۹۷۵۹	۳/۵-۶/۵	۸/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۹
۱	۱۰۹۷۶۰	۶/۵-۸	۸/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۹
۱	۱۰۹۷۶۱	۸-۹/۵	۸/۱۵	۰/۰۱	۰/۱۱
۱	۱۰۹۷۶۲	۹/۵-۱۱	۸/۲۱	۰/۰۱	۰/۰۸
۲	۲۲۵۲۸۷	۲-۴	۸/۲۳	۰/۰۱	۰/۱۱
۲	۲۲۵۲۸۸	۴-۷	۸/۴۱	۰/۰۱	۰/۱
۲	۲۲۵۲۸۹	۷-۸/۵	۸/۴۸	۰/۰۱	۰/۱
۲	۲۲۵۲۹۳	۸/۵-۱۰/۵	۸/۵۹	۰/۰۱	۰/۱۱
۲	۲۲۵۳۰۷	۱۰/۵-۱۲/۵	۸/۴۴	۰/۰۱	۰/۱
۲	۲۲۵۲۹۷	۱۲/۵-۱۹	۷/۹۲	۰/۰۱	۰/۱۱
۲	۲۲۵۳۰۹	۱۹-۲۲	۸/۵۶	۰/۰۱	۰/۱۱
۲	۲۲۵۳۱۱	۲۲-۲۵	۸/۳۶	۰/۰۱	۰/۱
۲	۲۲۵۳۱۴	۲۵-۲۸	۸/۴۷	۰/۰۱	۰/۰۹
۴	۱۰۹۷۴۲	۱۵-۱۸	۸/۱۰	۰/۰۱	۰/۱
۴	۱۰۹۷۴۳	۱۸-۲۰/۵	۸/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۸
۴	۱۰۹۷۴۷	۲۰/۵-۲۳/۵	۸/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۸
۴	۱۰۹۷۴۸	۲۳/۵-۲۶/۵	۸/۲۸	۰/۰۱	۰/۰۸
۴	۱۰۹۷۴۹	۲۶/۵-۳۰	۸/۴۰	۰/۰۱	۰/۰۹

جدول ۵- نتایج آزمایشات شیمیایی آب

شماره نمونه	PH	SO3 mgr/lit	SO4 mgr/lit	Cl mgr/lit	باقیمانده تبخیر در ۱۱۰°C میلی گرم در لیتر	مواد معلق mgr/lit
۱۰۹۷۳۹	۷/۲۷	۲۴۸	---	۴۰	---	---

۱۷ گمانه های تحکیمی

تعداد ۸۰۰ گمانه در اضلاع شمالی، شرقی و غربی بلوک های B,C,D حفر شد. این گمانه ها در ۶ ردیف و به عمق ۱۴ متر در ردیف بالایی و عمق ۲۸ متر در ۵ ردیف بعدی، با شیب ۱۰ درجه (با توجه به تجاری- مسکونی بودن منطقه، این شیب به گونه ای طراحی شد که برای ساختمان ها مجاور و تاسیسات زیرزمینی مشکلی ایجاد نشود) به سمت پایین حفر شد که به این ترتیب کل منطقه تحت پوشش تحکیم قرار گرفته است.

در دیواره جنوبی به علت وجود سر بار و استفاده کمتر عمق گمانه ها کمتر می باشد؛ در ردیف اول گمانه هایی با عمق ۶ متر و بقیه ردیف ها عمق ۱۴ متر دارند. ردیف اول کل مجموعه از روش Nailing استفاده شده است و در بقیه گمانه ها تحکیم پایدارتر و با روش Anchor انجام شده است.

تزریقی که در این پروژه انجام شده است مانند تمام کارهای ساختمانی تزریق ثقلی است، که در آن غلظت دوغاب ثابت است چون گمانه ها فقط جنبه تحکیمی دارند. نکته مهمی که ردیف اول گمانه ها رعایت می شود این است که میلگرد ها دقیقا در مرکز گمانه قرار گیرد، چون در غیر این صورت تحکیم به درستی صورت نگرفته و ریزش وجود دارد. نمونه ای از آن در شکل ۶ آمده است.

در ۵ ردیف بعدی که روش Anchor کار شده در هر گمانه تعداد ۴ عدد کابل به طول گمانه یعنی ۲۸ متر قرار می گیرد، که ۸ متر اول آن بدون پوشش است و بقیه آن دارای پوشش می باشد. حد جاری شدن این کابل ها حدود ۴ برابر میلگرد (حدود ۱۶۷۰۰) است، بعبارت دیگر مقاومت کششی آنها بسیار بالاست.

روش Anchor یک روش واپستنیده است یعنی با فشار بالای جک (تقریبا معادل ۶۰ تن نیرو وارد می شود) کشیده می شوند و با فشاری که در نتیجه این کشش ایجاد می شود، تحکیم خاک صورت می پذیرد. (توجیه این مسئله با قانون ساده استاتیکی در مورد اعضای دو سر نیرویی می باشد، که عملا کابل در حال کشش است درحالی که عکس العملی که به تکیه گاه، که همان خاک پشت آن است، وارد می شود به صورت فشارش عمل می کند) و باعث تحکیم و مقاوم سازی خاک می گردد.

در دیواره شمال پروژه، که برج فعلی قرار دارد، تحکیم به خاطر وجود ۵۰ عدد شمع (با قطر ۹۰ سانتیمتر و در عمق ۱۸ متری) که برای آن وجود دارد از پشت این شمع ها صورت می گیرد. برای جکینگ در دیواره های این پروژه از پت فلزی استفاده می شود، اما در این قسمت این پت های فلزی در پشت شمع ها قرار می گیرد. پت های فلزی بدین منظور هستند که در هنگام کشش، در اثر فشار دیواره اطراف گمانه ریزش نکرده و مراحل بدرستی انجام شود.



شکل ۶ - تصویر یکی از دیواره های گودبرداری، محل پت های فلزی و کابل های درون گمانه ها مشخص شده است

تحکیم انجام شده در این پروژه دارای دو مرحله ای است :

در مرحله اول، تحکیم اولیه و مش گذاری وجود داشته که به عمق ۳-۲ متر مش گذاری می شود و بتن پاشی یا (Shotcrete) انجام شده و در مرحله دوم یعنی تحکیم نهایی صورت می پذیرد. این نکته باید اشاره شود که در این پروژه به علت اینکه خاک پولکی بوده و در بسیاری از گمانه ها ریزش مشاهده می شد مراحل حفاری همراه با Casing صورت می گرفت. مراحل انجام پروژه در اشکال ۷ و ۸ مشاهده می شود.



a



b

شکل ۷ - تصاویر (a) مش گذاری اولیه، حفر گمانه و استفاده از Casing در آن (b) شیر کنترل سیستم تزریق



a



b

شکل ۸ - تصویر دیواره ی بلوک B گودبرداری و b دیواره بلوک F محل اجرای پروژه

۱۸ نتیجه گیری

نتایج این تحقیق بشرح زیر می باشد:

- خاک محل گمانه های حفر شده براساس طبقه بندی یونیفاید از خاک های دانه درشت با طبقه بندی SC-SM, SM-SW, GP-GC, SC, SP-SM و GM-GC و خاک ریز دانه با نام CL و CL-ML تشکیل شده است.
- در تئوری رانکین، خاک پشت دیوار افقی فرض گردیده است و از اصطکاک خاک و دیوار صرف نظر شده است. زاویه اصطکاک داخلی خاک جهت برآورد ضرایب فوق ۲۹ درجه گرفته شده است.
- با توجه به نتایج آزمایشات شیمیایی انجام شده بر روی خاک محل پروژه و نیز پایین بودن سطح آب زیرزمینی (در عمق ۵/۵ متری نسبت به تراز صفر گمانه ها) تمهیدات خاصی برای استفاده از سیمان در تهیه بتن لازم نیست و می توان از سیمان تیپ ۱ در بتن فونداسیون سطحی و دیوارهای حائل استفاده کرد.
- برای انجام مقاوم سازی و تحکیم در پروژه، ردیف اول کل مجموعه از روش Nailing استفاده شده است و در بقیه گمانه ها تحکیم پایدارتر و با روش Anchor انجام شده است.
- تعداد ۸۰۰ گمانه در ۶ ردیف، در دیواره های گود برداری به منظور اجرای Nailing و Anchor در بلوک های B, G, D حفر شد. همچنین تعداد ۳۲ گمانه (تا امروز) در بلوک پشتی (بلوک F) در ۳ ردیف حفر شده است.
- گمانه های تحکیمی در ردیف اول اضلاع شمالی، شرقی و غربی بلوک های B, C, D در ۶ ردیف و به عمق ۱۴ متر در ردیف بالایی و عمق ۲۸ متر در ۵ ردیف بعدی، با شیب ۱۰ درجه و در بلوک F در ردیف اول ۶ متر و در ردیف های بعدی ۱۴ متر با شیب ۱۰ درجه حفر گردید.
- ظرفیت باربری ایمن شالوده گسترده با ابعاد اعلام شده و مستقر در اعماق مذکور و در محل گمانه ها، حدود ۵ Kg/cm^2 برآورد میگردد که لازم است با نشست مجاز شالوده کنترل شود. این ظرفیت های باربری بر اساس محوری بودن بار و عدم خروج از مرکزیت آن است.

- محاسبه ظرفیت باربری و نشست براساس رطوبت طبیعی زمین در زمان حفاری انجام شده است. نشست آب و اشباع لایه های خاک زیر پی علاوه بر کاهش ظرفیت باربری بر مقدار نشست ها خواهد افزود. از این رو لازم است به نحو مقتضی از نشست آب به زیر پی ممانعت شود.
- غلظت دوغاب سیمان بکار رفته در کل گمانه ها ثابت بوده و نسبت آن $0/4$ بوده است.
- با توجه به آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ویرایش سوم، شهرستان مشهد و توابع آن جزء مناطق با خطر لرزه خیزی زیاد محسوب می شوند. لذا پیشنهاد می شود از نسبت شتاب مبنای طرح حداقل $A=0/3$ استفاده گردد. ضمناً زمین زیر پی باتوجه به گروه و ساختمان خاک و تراکم آن بیشترین تطابق را با گروه III طبقه بندی زمین مندرج در بند (۲-۳-۵) آیین نامه الذکر دارد.

۱۹ تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند تا از مدیریت محترم پروژه مرکز بین المللی مالی و اقتصادی مشهد جناب آقای مهندس بداخشان و شرکت بناگستران هشتم توس بخاطر همکاری صمیمانه جهت در اختیار گذاشتن اطلاعات مورد نیاز تشکر و قدردانی نمایند.

۲۰ منابع و مأخذ

- افشار حرب، علی، ۱۳۷۳، زمین شناسی کپه داغ، طرح تدوین کتب زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۲۷۵ صفحه
- آقائاتی، علی، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه
- حافظی مقدس، ناصر، دیماه ۱۳۸۶ - "گزارش مطالعات زمین شناسی مهندسی شهر مشهد، پروژه ریزپهنه بندی لرزه ای شهر مشهد"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت منطقه شمال شرق
- مهندسین مشاور گنو، اردیبهشت ماه ۱۳۸۷ "گزارش عملیات حفاری ژئوتکنیک و طرح پی"، پروژه ساختمان های مرکز بین المللی مالی و اقتصادی مشهد (IT)

- C.R.Patra and P.K.Basudhar ,(2005) ,"Optimum design of nailed soil slopes ",Geotechnical and Geological Engineering 23: 273-296
- Das,B.M.,(1990) "principles of foundation Engineering" , PWS- Kent ,Boston, Mass.
- Macnab , P.Eng ,(2004),"Earth Retention Systems Handbook" , MC Grow – Hill ,524page
- Satyendra Mittal , and A.K. Biswas ,(2006) ,"River bank erosion control by soil nailing" , Geotechnical and Geological Engineering 24: 1821-1833
- US .department of transportation, Federal Highway Administration, (1999),"Geotechnical Engineering Circular No.4, Ground Anchors and Anchor Systems, 304page
- Schnabel foundation company ,(2009) ,"Earth Retention systems and specialized foundations" - Schnabel Soil Nailing - Application.htm
- Rembco.com - Rock Anchors.htm(2009)