طرح بهینه سیستم های ترکیبی میخکوبی و انکر مورد استفاده در پایدارسازی گودها

محمدحسن کرمی[۱]، علی حسنی نژاد[۲]، سحر رمضانی[۳]

۱-استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشگاه شاهد

۳-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

mkarami@shahed.ac.ir
a.hasaninejad@shahed.ac.ir
saharramezani90@yahoo.com

خلاصه

از جمله روشهای پایدارسازی گودها می توان به روش میخکوبی و انکر اشاره کرد. در سالهای اخیر استفاده از روش اقتصادی به نام روش ترکیبی میخکوبی و انکر مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Plaxis ابتدا به تحلیل عددی رفتار یک گود به عنوان مطالعه موردی، که دیواره آن توسط سیستم میخکوبی مهار شده است، پرداخته شد و تأثیر پارامتر زاویه میخها در پایداری گود بررسی شد. در ادامه دیواره همان گود به روشهای انکر و ترکیبی مدلسازی شد و رفتار آن در مقایسه با حالت مهارسازی با روش میخکوبی بررسی شد. در نهایت طرح سیستم میخکوبی و انکر با زاویه میخهای ۱۵ درجه با افق که یک ردیف انکر در بالای گود قرار گرفته باشد، به عنوان طرح بهینه ارائه گردید.

کلمات کلیدی: سیستم ترکیبی میخکوبی و انکر، پایدارسازی گود، طرح بهینه، مهارسازی گود، نرم افزار Plaxis

۱-مقدمه

در مناطق شهری بعلت رشد زیاد جمعیت نیاز به ساختمان‌های مرتفع می‌باشد. ساختمان‌های مرتفع مستلزم ایجاد طبقاتی در زیر سطح زمین هستند. به دلیل قیمت بالای زمین استفاده از فضاها بسیار مهم می‌باشد در نتیجه، نیاز به گودبرداری با شیب نزدیک به قائم مسئله بسیار پر اهمیتی است.انواع سیستم-های پایداری گود، مزایا و محدودیت‌های آنها بسته به وضعیت پروژه مورد ارزیابی قرار می گیرد. متناسب با شرایط محل، امکانات و عملکرد سیستم، روش پایدارسازی گود انتخاب می‌شود. دو روش دیوار میخ‌کوبی شده و مهار شده برای محدود کردن جابجایی گود و تاسیسات مجاور آن استفاده می‌شود. دیوار میخ‌کوبی با مهار شده تفاوت‌های بسیاری دارند که مهمترین آن نیروی پیش‌تنیدگی مهاری است که در میخ وجود ندارد و جابجایی گود را بخوبی محدود می‌کند[۱].

تحکیم خاک با استفاده از تحکیم خاک با استفاده از روش ترکیبی کابل های پیش تنیده و میخ کوبی نیز امکان پذیر است . در روش کابل های پیش تنیده خاک فشرده تر شده و مقاومت برشی خاک افزایش پیدا می کند، همچنین با تزریق کردن ملات و قرار دادن انکرهای بلند در منطقه مقاوم شیب، پتانسیل تحمل انکر ها در برابر تنش های وارده افزایش پیدا می کند. به بیان دیگر شیب در برابر نیروی بیشتر نیز پایداری خود را حفظ می کند و استفاده از انکرها می تواند تاثیر زیادی بر روی افزایش مقاومت شیب در برابر لغزش داشته باشد . استفاده از این روش باعث افزایش مدول الاستیسیته و کاهش ضریب پوآسون خاک می شود[۲].

۲–روش میخکوبی

میخ‌کوبی روش مسلح کردن درجای خاک می‌باشد که در طول دو دهه گذشته عمدتاً در فرانسه و آلمان برای سیستم نگهدارنده ترانشه‌ها و پایداری شیب‌ها استفاده شده است. مفهوم پایه‌ای میخ‌کوبی شامل مسلح کردن زمین توسط المان‌های غیرفعال و نزدیک هم، به منظور ایجاد سازه ثقلی منسجم می‌باشد و بدین وسیله مقاومت برشی کلی خاک محل افزایش می‌یابد و جابجایی آن محدود می‌شود. میخ‌کوبی شامل میله‌های فولادی و فلزی است که می‌تواند تنش‌های کششی، برشی و ممان خمشی را تحمل کند. مفهوم اساسی طراحی وابسته به انتقال نیروی مقاوم کششی تولید شده در میخ، ناشی از بسیج شدن اصطکاک (یا چسبندگی) در فصل مشترک است. در سیستم میخ‌کوبی، با کنار هم قرارگرفتن میخهای غیرفعال و ایجاد یک مصالح منسجم مرکب، مسلح کردن ایجاد می‌شود[۳].

۳– روش انکر (زمین مهار)

انکرها تاندون‌های پیش‌تنیده تزریق شده با سیمان هستند که در خاک و یا سنگ برای مهار و کنترل جابجایی المان‌های سازه‌ای مانند دیوار یا دال‌ها استفاده می‌شوند. مهاری‌ها در سوراخ‌های حفاری شده نصب می‌شوند و تا بار طراحی پیش‌تنیده می‌گردند تا نیروی مقاومت مورد نیاز را بسیج و از زمین به المان سازه‌ای منتقل کنند[۴]. سیستم انکراژ شامل اجزا زیر می باشد:

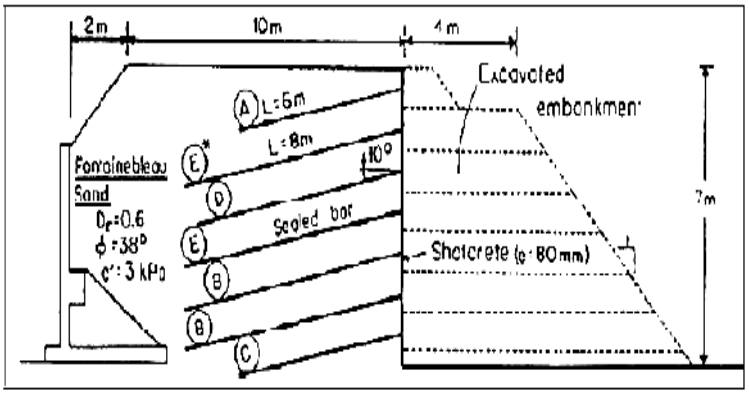
طول پیوستگی مهاری- که تاندون در حباب تزریق شده اولیه ثابت می‌شود و نیروی کششی را به خاک اطراف منتقل می‌کند. طول پیوستگی مهاری طوری طراحی می‌شود که ظرفیت بیرون‌کشش مورد نیاز را ایجاد کند.

طول بدون پیوستگی- که تاندون می‌تواند آزادانه تغییر شکل الاستیک دهد تا نیروی مقاوم را از طول پیوسته مهاری به المان سازه‌ای منتقل کند (یعنی دیواره، دال و ...) و طوری طراحی می‌شود که به لایه زیرین برسد یا داخل خاک هموژن قرار گیرد تا طول پیوستگی مهاری فراتر از توده خاک مستعد ناپایداری مجاور المان سازه‌ای قرار گیرد.

دوغاب مهاری- که همچنین دوغاب اولیه نیز نامیده می‌شود، عموماً مخلوط با پایه سیمان پرتلند یا رزین پلیمری است و برای انتقال نیروی مهاری به زمین استفاده می‌شود. تزریق دوغاب ثانویه در سوراخ حفاری شده می‌تواند پس از تنیدگی انجام شود تا محافظ خوردگی برای تاندون‌های بدون پوشش باشد[2].

۴–مدلسازی عددی

در این قسمت به منظور صحت سنجی، مدل سازی عددی اجزاء محدود با استفاده از نرم افزار Plaxis، برای آزمایش اجرا شده در مقیاس کامل در پروژه "CLOUTER" در سال ۱۹۸۶ انجام می شود(شکل ۱). این پروژه ۷m ارتفاع و ۷/۵m عرض دارد و در ادامه با تعیین زاویه بهینه اجرای میخکوبی به ارائه یک طرح بهینه برای سیستمهای ترکیبی میخکوبی و انکراز پرداخته شده است.



شکل ۱- مقطع هندسی دیوار میخکوبی شده در پروژه CLOUTERRE [5]

۴-۱- پارامترهای ژئوتکنیکی محل

در جدولهای ۱، ۲ و ۳ مشخصات خاک و شاتکریت و میخها آمده است:

جدول ۱- مشخصات خاکریز و خاک پی

		خاکریز	خاک پی
وزن مخصوص	γ	۶/۱۶ KN/m³	۱۷ KN/m³
مدول یانگ	E	۱/۳x10⁴Kpa	۴/۸x 10⁴Kpa
نسبت پوآسون	ν	۰/۳۹	۰/۳۷
چسبندگی	c	۳KPa	0 kPa
زاویه اصطکاک داخلی	φ	۳۸°	۳۶°

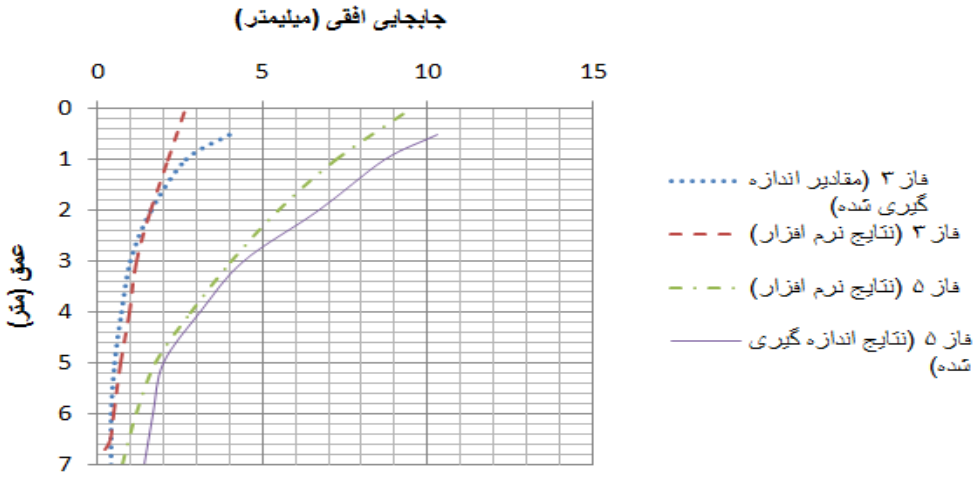
جدول ۲-مشخصات مصالح نمای شاتکریت

وزن مخصوص	γ	۲۴kN/m³
مدول یانگ	E	۲۵x10⁴kPa
سختی محوری	EA	۲x10⁴KN/m
سختی خمشی	EI	۶۷۱۰۶۶ kN m²/m
ضخامت شاتکریت	d	۰/۰۸ m
نسبت پوآسون	ν	۰/۰۲

جدول ۳- مشخصات میخ ها

		نوعA	نوعB	نوعC-E
ضخامت لوله	e	۱mm	۲mm	۱mm
قطر لوله	φ	۱۶mm	۳۰mm	۴۰mm
سختی محوری	EA	۵۷/۵x10⁴KN/m	۱/۶x10⁴KN/m	۸۸/۵x10⁴KN/m
سختی خمشی	EI	۳۹/۱۳kN m²/m	۱۴/۰۵kN m²/m	۳/۱۴kN m²/m
وزن	w	۰۷۲/۰KN/m/m	۰/۰۷۲KN/m/m	۰/۰۷۲KN/m/m
ضریب پواسون	ν	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲

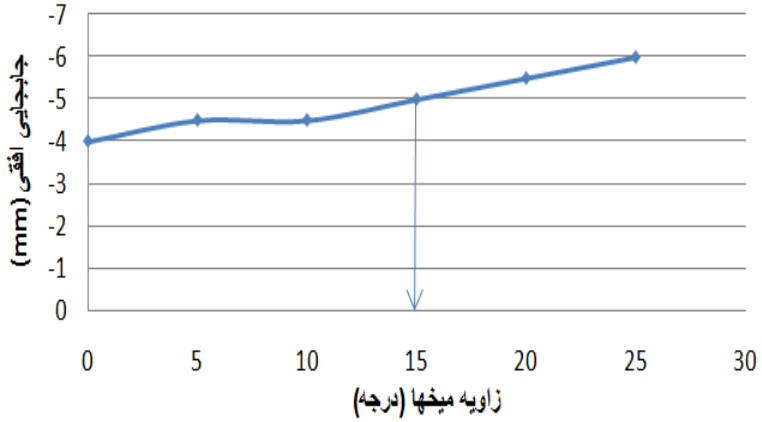
پس از مدلسازی گود مورد نظر به مشخصات فوق، مقایسه جابجایی های جانبی خاکریز در ۲m پشت نما، پس از ۳m و ۵m خاکبرداری (به ترتیب فاز ۳ و ۵) در شکل۲ آمده است که تطابق قابل قبولی را نشان می دهد.



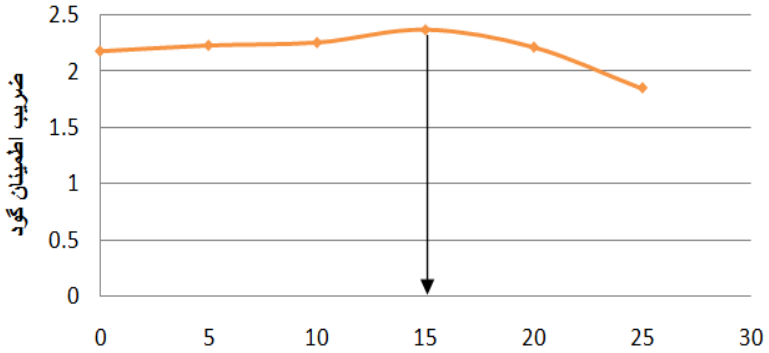
شکل۲- مقایسه جابجایی های جانبی محاسبه شده با نتایج اندازه گیری شده در خاکریز در ۲m پشت نما

۴-۲- تأثیر پارامتر زاویه میخها با افق بر پایداری گود

در این بخش به جهت بررسی اثر پارامتر زاویه میخها با افق بر پایداری گودها و تعیین یک زاویه بهینه برای میخها، زاویه میخها به مقادیر ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ تغییر داده شده و مقادیر جابجایی افقی و ضریب اطمینان متناظر با هر یک از این زوایا محاسبه و در نمودارهای ۳ و ۴ آورده شده است:



شکل۳- اثر تغییر زاویه میخها بر جابجایی افقی دیواره گود

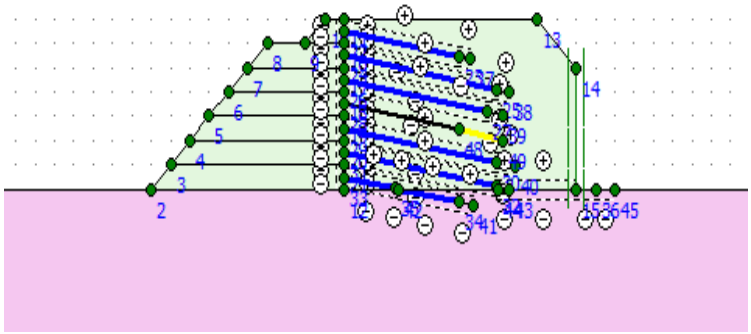


شکل٤- اثر تغییر زاویه میخها بر ضریب اطمینان گود

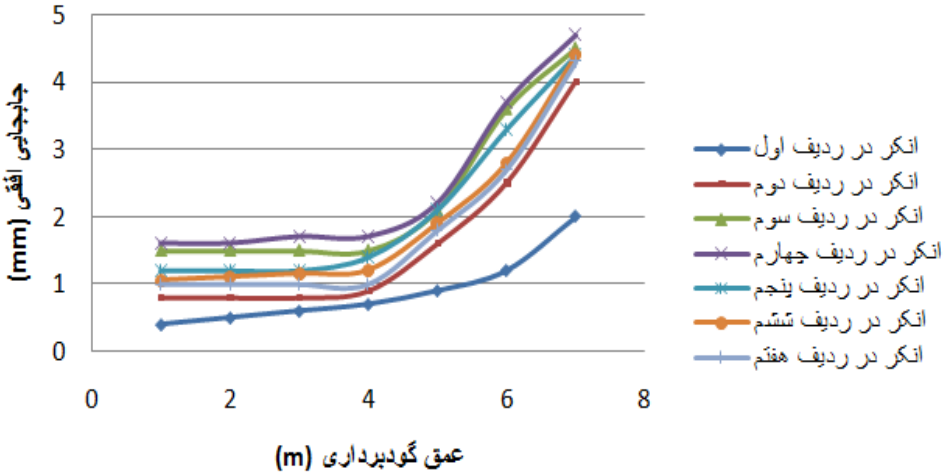
در شکل ۳ مشاهده می شود که با افزایش زاویه میخها مقدار جابجایی افقی دیواره گود افزایش می یابد. مطابق شکل ۴ بیشترین ضریب اطمینان هنگامی می باشد که میخها زاویه ۱۵ درجه نسبت به سطح افق داشته باشند و با افزایش زاویه از این مقدار از ضریب اطمینان کاسته می شود.

۴-۳- ترکیب بهینه نیلینگ و انکر

در ادامه گودی که در بخش قبل، مد نظر قرار گرفت مورد بررسی قرار می گیرد. هیچ یک از مشخصات خاک و شاتکریت تغییر داده نشده است اما زاویه میخها به مقدار بهینه خود یعنی ۱۵ درجه تغییر داده شد. جهت بررسی اثر ترکیب میخ و انکر در تثبیت گود، از بالا به سمت پایین گود به جای هر یک از میخها، انکر جایگزین شد. یعنی در هر تحلیل یکی از میخ ها با یک انکر جایگزین گردید(شکل ۵).

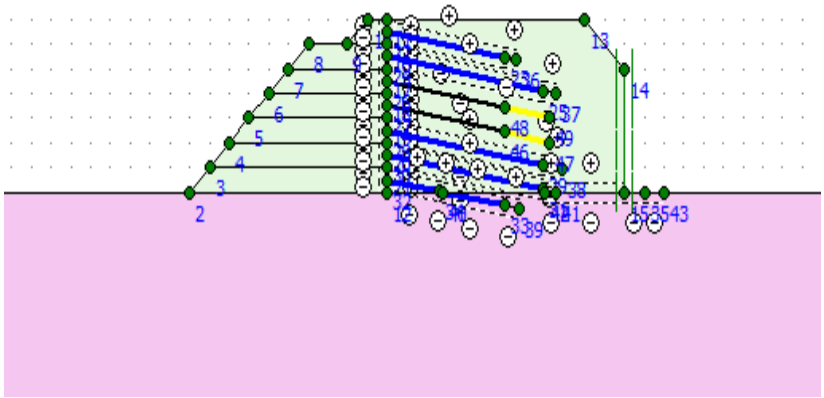


شکل ۵- ترکیب نیل و انکر(قرارگیری یک انکر در وسط)

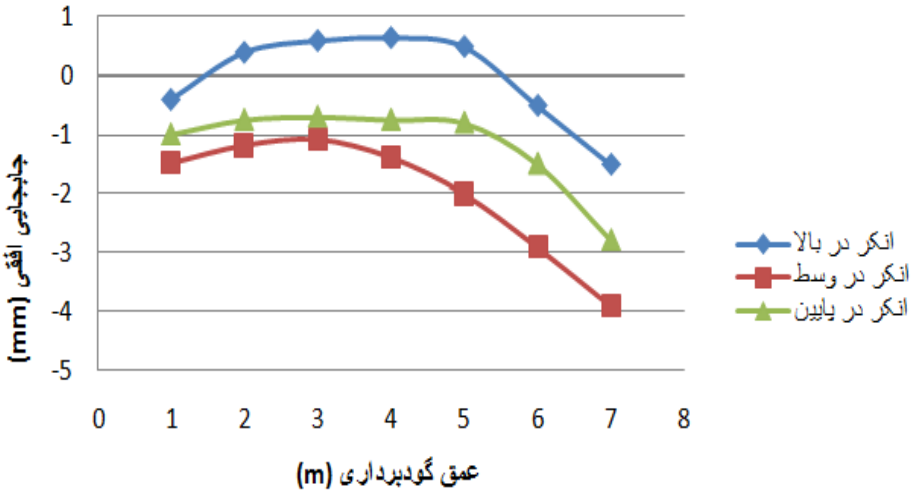


شکل ٦- تغییر شکل نهایی گود با اعمال یک انکر در ردیفهای متفاوت

همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می شود قرارگیری انکر در بالای گود باعث کاهش بیشتر جابجایی گود می شود. در ادامه برای بررسی تأثیر مکان قرار گیری انکر در یک جدار ترکیبی، جدار را به ۳ قسمت فوقانی، میانی و پائینی تقسیم نموده و ضریب اطمینان و جابجایی افقی جدار در هر مرحله محاسبه شد. در هر کدام از این بخشها به جای هر دو ردیق میخ در نقاط مختلف گود، انکر جایگزین شده تا بتوان به اثر استفاده ازتعداد مشخصی میخ و انکر در قسمتهای مختلف گود دست یافت.



شکل ۷- ترکیب نیل و انکر(قرارگیری دو انکر در وسط)



شکل ۸- تغییر شکل نهایی گود با اعمال دو ردیف انکر در نقاط مختلف گود

در شکل ۸، مقادیر جابجایی منفی به معنای جابجایی گود به سمت فضای داخل گود است و مقادیر مثبت به معنای جابجایی به سمت خاک می باشد.

شکل۹- مقادیر ضریب اطمینان در حالات مختلف قرار گیری انکر در دیواره گود

آنچه مشخص است، قرار گیری انکر در هر سه وضعیت مورد بحث، باعث افزایش ضریب اطمینان و کاهش جابجایی افقی جدار می گردد. همچنین با توجه به نتایج مدل سازی، همانگونه که در شکل ۹ مشاهده می شود، با افزایش تعداد انکر ها به دو ردیف مقدار جابجایی های افقی کاهش و ضرایب اطمینان افزایش می یابد. مشاهده می شود که بهترین مکان قرار گیری انکر، در قسمت بالای جدار می باشد که در این ناحیه با افزایش انکرها به دو عدد، جابجایی افقی گود به میزان تقریباً ۰.۵ میلیمتر کاهش می یابد.

۵- نتیجه گیری

۱- با افزایش زاویه میخها مقدار جابجایی افقی دیواره گود افزایش می یابد. بیشترین ضریب اطمینان هنگامی می باشد که میخها زاویه ۱۵ درجه نسبت به سطح افق داشته باشند و با افزایش زاویه از این مقدار از ضریب اطمینان کاسته می‌شود.

۲- با بررسی اثر ترکیب میخ و انکر در تثبیت گود، ملاحظه شد با افزایش تعداد انکر ها، مقدار جابجایی های افقی کاهش و ضرایب اطمینان افزایش می‌یابد.

۳- مشاهده می شود که بهترین مکان قرار گیری انکر، در قسمت بالای جدار گود می باشد که در این ناحیه با افزایش انکرها، جابجایی افقی گود به طور محسوسی کاهش می یابد.

۴- افزایش انکر از یک ردیف به دو ردیف منجر به کاهش مقادیر جابجایی افقی گود به مقدار ناچیزی (نیم میلیمتر) می‌شود، اما افزایش ضریب اطمینان محسوس تر می‌باشد.

مراجع

۱- اشرفی،ح.(۱۳۷۵)." اصول و مبانی گودبرداری و سازه های نگهبان" دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.

2- Yang Qun,Deng Ronggui,Xie Li, (2007), Study on multilayer prestressed anchor reinforcement technique in deep foundation pit, Subgrade Engineering, pp.72-74.

3- Byrne, R.J., et al. Manual for design and construction monitoring of soil nail wall. U.S. department of transportation: FHWA-SA-96-069R, Nov. 1996.

4- Fang, Hsai-Yang. Foundation engineering handbook. 2th ed. New Delhi: CBS, 2001.

5- Fan, C.C., and Luo, J.H., "Numerical study on the optimum layout of soil-nailed slopes," J. Computers and Geotechnics, Vol. 35, PP. 585-599, 2008.

6- O'Rourke, T.D., O'Donnell, C.J., "Deep Rotational Stability of Nailing Excavation in Clay", J. Geotechnical and Geoenvironmental Eng, Vol. 123, No. 6, June, 1997, PP 506-515.

7- McManus, K.J., "Earthquake resistant design of tied-back retaining structures", 2009 NZSEE Conference, Paper number 49, 2009.

8- اشکان بقایی. "بررسی اثر انفجار بر گود پایدار شده به روش میخکوبی" دانشگاه صنعتی امیرکبیر، اولین کنفرانس پدافند غیرعامل و سازه های مقاوم، اسفندماه ۱۳۸۹.