



## بررسی زاویه میخ‌ها در جابجایی و ضریب اطمینان دیواره گود مهار شده توسط سیستم میخ‌کوبی در پروژه گودبرداری برج‌های دوقلو شهر کرد

سجاد بهادران باغبادرانی<sup>۱</sup>، البرز حاجیان نیا<sup>۲</sup>، مسعود میرمحمدصادقی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، اصفهان

۳- استادیار، مجتمع عالی آموزشی و پژوهشی صنعت آب و برق اصفهان

Bahadoran\_sajad@yahoo.com

### خلاصه

یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر تحلیل سیستم میخ‌کوبی، تأثیر زاویه میخ‌ها می‌باشد که در این مقاله سعی بر آن است که تأثیر زاویه میخ‌ها را بر روی جابجایی‌ها و ضریب اطمینان دیواره گود مهار شده با سیستم نیلینگ در پروژه گودبرداری برج‌های دوقلو شهر کرد، با نرم‌افزار اجزاءمحدود PLAXIS 2D بررسی کنیم. که نتایج نشان داد با افزایش زاویه میخ‌ها، افزایش جابجایی دیواره گود و افزایش ضریب اطمینان داریم.

کلمات کلیدی: میخ‌کوبی خاک، مدل‌سازی عددی، زاویه میخ‌ها، جابجایی دیواره گود، ضریب اطمینان.

### ۰۱ مقدمه

از جمله اهداف اصلی ایمن‌سازی دیواره‌های ترانشه یا گود با استفاده از سازه‌های نگهدارنده، می‌توان به جلوگیری از نشست، تغییر مکان‌های جانبی مخرب، حفظ جان انسان‌های خارج و داخل گود، حفظ اموال خارج و داخل ترانشه یا گود و نیز فراهم آوردن شرایط امن و مطمئن برای اجرای کار، اشاره نمود. با افزایش عمق گودبرداری، خطرات ناپایداری و گسیختگی جداره‌های گودبرداری، هزینه‌های پایدارسازی گود، تامین ایمنی و مدت اجرا به شدت افزایش پیدا می‌کند [۱]. روش میخ‌کوبی در سال ۱۹۶۰ میلادی برای اولین بار مورد بحث و بررسی قرار گرفت. اولین بار این سیستم پایدارسازی برای حفر تونلی در استرالیا در سال ۱۹۶۰ به کار گرفته شد. در این تونل برای پایدارسازی از آرماتور، تزریق دوغاب سیمان و شاتکریت استفاده شد [۲].

میخ‌گذاری خاک روشی است که با نصب تعداد زیادی عضو کششی نزدیک به هم در خاک، گودبرداری‌ها را پایدار می‌سازد که یکی از عوامل تأثیرگذار در جابجایی دیواره‌های گود زاویه میخ‌ها نسبت به افق می‌باشد، که در این مقاله به تأثیر زاویه میخ‌ها نسبت به افق پرداخته می‌شود.

### ۰۲ معرفی پروژه

پروژه گودبرداری برج‌های دوقلو شهر کرد که مساحت آن حدود ۷۰۰۰ مترمربع و محیط آن حدود ۲۹۴ متر در شهر کرد، خیابان شریعتی، شمال غربی میدان بسیج قرار گرفته است. در این پروژه گودبرداری تا عمق ۲۳ متر انجام شده و محل گودبرداری زمین مورد مطالعه از سمت شمال به خیابان باهنر، از سمت شرق به خیابان ۱۲ محرم و از سمت جنوب به بلوار شریعتی محدود شده است. که موقعیت

جغرافیایی آن در شکل شماره ۱ آورده شده است. در ضلع شمالی و شرقی و جنوبی با توجه به مجاورت خیابان، وقوع تغییر شکل بالای گود از اهمیت کمتری برخوردار بوده و لذا برای این اضلاع، سیستم میخ کوبی طراحی و اجرا شده است. در شکل شماره ۲ نمایی از پروژه آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی پروژه برج‌های دو قلو شهر کرد



شکل ۲- نمایی از ضلع جنوبی پروژه برج‌های دو قلو شهر کرد

با توجه به اطلاعات حاصل از گمانه‌های شناسایی ژئوتکنیکی، پارامترهای ژئوتکنیکی خاک محل به شرح جدول شماره ۱ در نظر گرفته شده است در پروژه از ۵ نیل ۱۸ متری، ۳ نیل ۱۵ متری، ۱ نیل ۱۲ متری و ۲ نیل ۹ متری در دیواره استفاده شده است و قطر حفاری، ۱۱۰ میلی متر و فاصله افقی نیل‌ها از یکدیگر، ۲ متر می‌باشد.

### جدول ۱- مشخصات لایه‌ی خاک

Depth (m)	Soil Type	$\phi$	C(Kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	E(Kg/cm <sup>2</sup> )	Bond Stress (kPa)
0 - 4.5	GC	38	0.1	20	650	250
4.5 - 11	SC	32	0.15	20	550	200
11 - 23	GC	38	0.15	20	1000	250

### ۳. فرآیند مدلسازی در نرم افزار PLAXIS 2D

ابتدا صحت سنجی مدل نرم افزار اجزاء محدود PLAXIS V8.20 موجود، با گود مدل شده در مرجع [۳] انجام شد و نتایج حاصل از نرم‌افزار موجود، اختلاف ناچیز با نتایج مقاله داشت، که بیان کننده صحت نرم‌افزار بکاررفته است. مرزهای مدل بایستی بگونه‌ای باشد که جریان پلاستیک را قطع نکند و محتمل‌ترین گوه گسیختگی تشکیل شود و در جواب‌ها تأثیرگذار نباشد با توجه به مسأله گودبرداری و اهمیت جابه‌جایی‌های دیواره گود، مدل خاک سخت‌شونده بکار می‌بریم [۳].

جهت مدلسازی میخ‌ها از المان Plate، که دارای صلیب خمشی و محوری می‌باشد (با در نظر گرفتن مدول الاستیسیته معادل E(eq) برای مقطع میلگرد و گروت) استفاده شده است [۴].

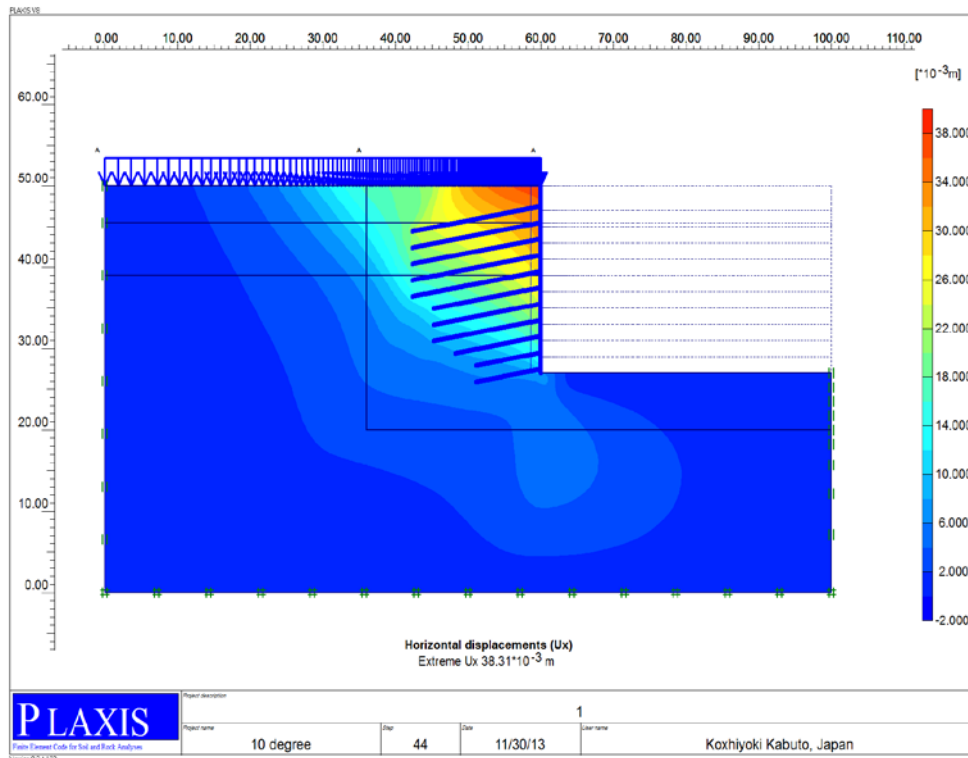
### ۴. سیستم میخ‌کوبی و تاریخچه

در روش میخ‌کوبی، میخ‌ها به عنوان عامل مسلح‌کننده برای مقابله با تغییر شکل به خاک کمک می‌کنند. در واقع همزمان با تغییر شکل خاک، سیستم میخ‌کوبی بکار رفته سبب توزیع نیرو در خاک شده و با تحمل نیروی کششی، سبب ایجاد حالت مقاوم در خاک می‌شود. یکی از اولین کاربردهای میخ‌گذاری در خاک به سال ۱۹۷۲ برای یک پروژه پهن‌سازی راه آهن نزدیک ویرسایلز فرانسه بود، که در آن یک شیب خاک‌برداری شده در ماسه توسط میخ‌گذاری در خاک تثبیت شد. به دلیل ارزان بودن این روش و با توجه به این که مراحل ساخت آن تندتر از سایر شیوه‌های متداوال انجام می‌گرفت، استفاده از میخ‌گذاری در خاک، در فرانسه و سایر نقاط اروپا افزایش یافت. در آلمان اولین استفاده از این روش در سال ۱۹۷۵ بود توسط دانشگاه کالسروهه و شرکت ساختمانی بایر بر عهده گرفته شد [۵].

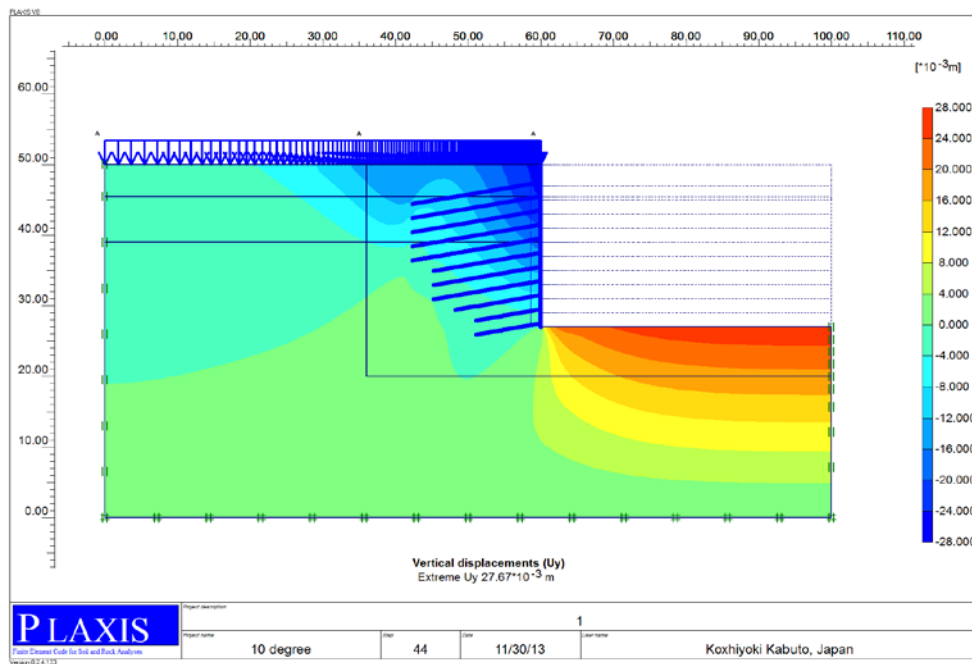
### ۵. نتایج تحلیل

در FHWA [۵] شیب کمتر از ۱۰ درجه برای میخ‌ها توصیه نشده است، زیرا احتمال تشکیل فضای خالی در دوغاب افزایش می‌یابد و همین مسأله باعث کاهش ظرفیت تحمل بار میخ‌ها می‌شود و محافظت در برابر فرسایش، توسط دوغاب کاهش می‌یابد. در این تحقیق به مدل کردن زوایای میخ ۱۰، ۱۵ و ۲۰ با نرم‌افزار المان محدود و مقایسه تغییر مکان‌های افقی و قائم و ضریب اطمینان با هم می‌پردازیم. شکل شماره ۳ و ۴ مربوط به حداکثر جابه‌جایی افقی و قائم با زاویه ۱۰ درجه میخ‌ها، شکل

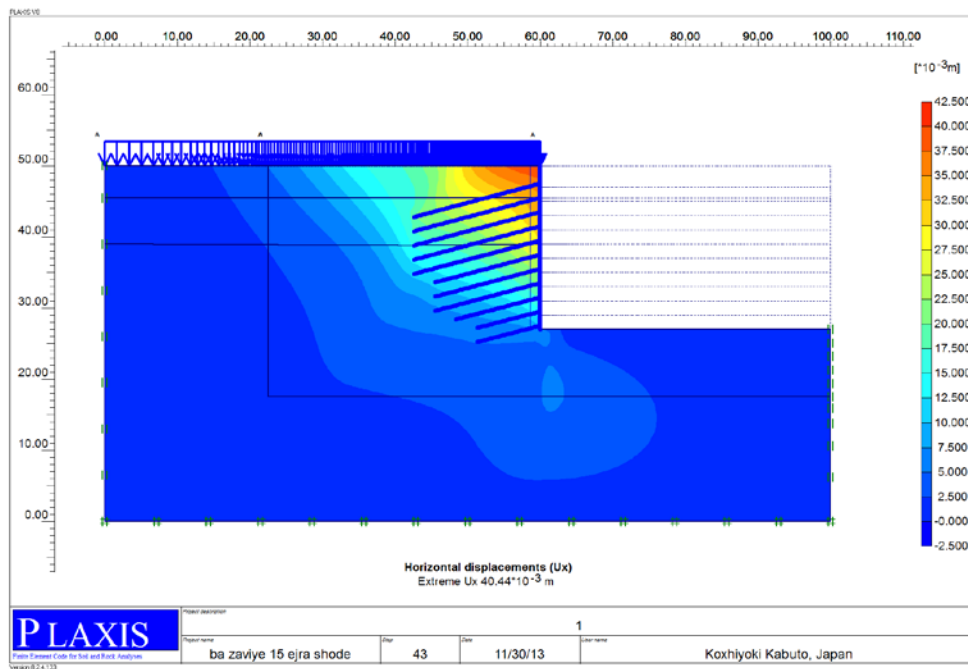
شماره ۵ و ۶ مربوط به حداکثر جابه‌جایی افقی و قائم با زاویه ۱۵ درجه میخ‌ها، شکل شماره ۷ و ۸ مربوط به حداکثر جابه‌جایی افقی و قائم با زاویه ۱۵ درجه میخ‌ها می‌باشد.



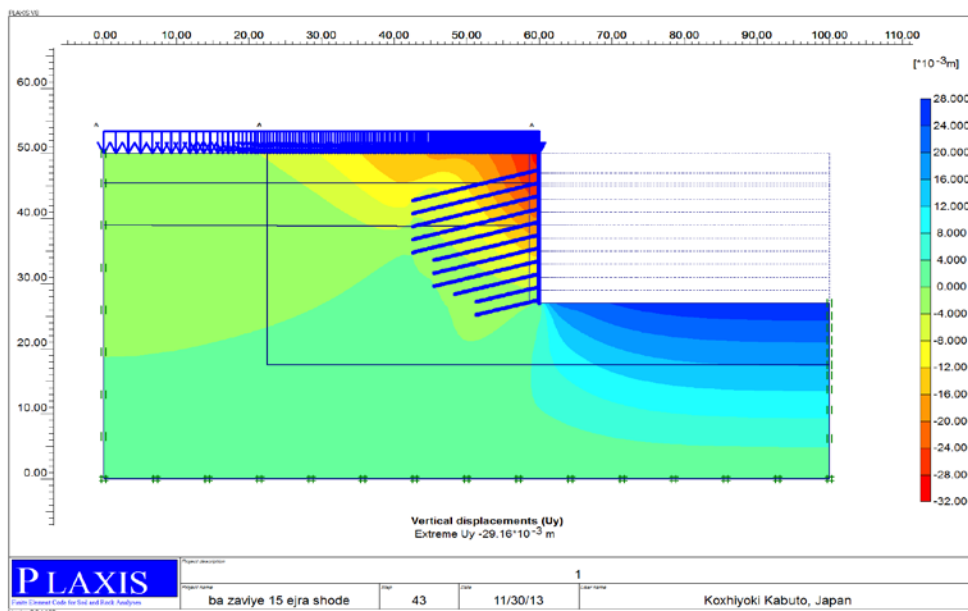
شکل ۳- حداکثر جابه‌جایی افقی با زاویه ۱۰ درجه میخ‌ها



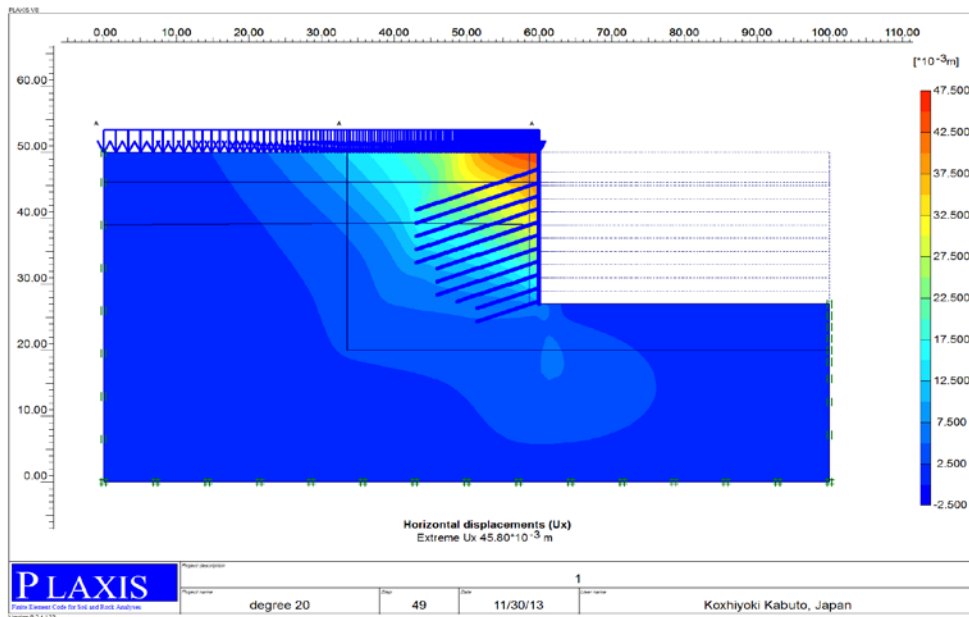
شکل ۴- حداکثر جابه‌جایی قائم با زاویه ۱۰ درجه میخ‌ها



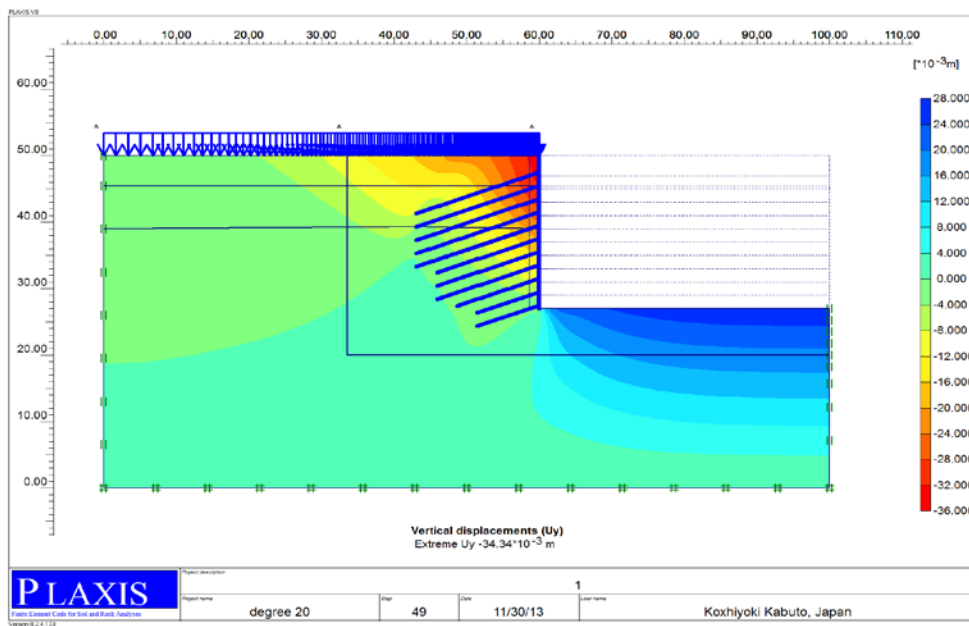
شکل ۵- حداکثر جابه‌جایی افقی با زاویه ۱۵ درجه میخ‌ها



شکل ۶- حداکثر جابه‌جایی قائم با زاویه ۱۵ درجه میخ‌ها



شکل ۷- حداکثر جابه‌جایی افقی با زاویه ۲۰ درجه میخ‌ها



شکل ۸- حداکثر جابه‌جایی قائم با زاویه ۲۰ درجه میخ‌ها

## ۶. نتیجه‌گیری

زاویه میخ‌ها نسبت به افق در سیستم میخ کوبی، یکی از پارامترهایی است که در جابه‌جایی دیواره گود اثرگذار است. در این تحقیق زاویه‌های در نظر گرفته شده برای میخ‌ها ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه می‌باشد زیرا شیب کمتر از ۱۰ مانع از این می‌شود که دوغاب تحت وزن ثقلی خود اطراف نیل قرار گیرد و احتمال تشکیل فضای خالی در دوغاب را افزایش می‌دهد و همین مسأله

باعث کاهش ظرفیت تحمل بار میخ‌ها می‌شود و محافظت در برابر فرسایش، توسط دوغاب کاهش می‌یابد و به همین دلیل مناسب نمی‌باشد.

نتایج حاصل از مدل‌های انجام شده نشان داد که با افزایش زاویه میخ‌ها نسبت به افق، تغییر مکان افقی و تغییر مکان قائم دیواره گود مهار شده با سیستم نیلینگ بیشتر می‌شود و از طرفی با افزایش زاویه میخ‌ها نسبت به افق، ضریب اطمینان بیشتر می‌شود که نتایج آنالیز در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول ۲- نتایج آنالیز

زاویه میخ‌ها (درجه)	حداکثر جابه‌جایی افقی (mm)	حداکثر جابه‌جایی قائم (mm)	ضریب اطمینان
۱۰	۳۸/۳۱	۲۷/۶۷	۱/۶۴
۱۵	۴۰/۴۴	۲۹/۱۶	۱/۷۰
۲۰	۴۵/۸۰	۳۴/۳۴	۱/۷۶

## ۷. قدردانی

با تشکر از شرکت مهندسین مشاوره ماندرو، بخاطر گزارش ژئوتکنیک انجام شده.

## مراجع

۱. بزاز، د. (۱۳۹۰)، " بررسی عددی تثبیت گودبرداری توسط سیستم ترکیبی میخ‌کوبی و انکر،" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه نجف‌آباد، اصفهان.
2. The Government of the Hong Kong special Administrative Region, (2008), "Guide to soil nail design and construction, Geotechnical Engineering Office," pp 16-20.
3. Singh, V. P. and Babu, G.L., (2010), "2D Numerical Simulations of Soil Nail Walls," Geotech Geol Eng.
4. Plaxis (2002), "Simulation of Soil Nail Structures using PLAXIS 2D," Plaxis Bulletin , No. 25, pages 16-21.
5. U.S.Department of Transportation., (2003), "Soil nail Walls," FHWA-IF-03-017 ,Federal Highway Administration.