



دانشکده مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته ی مهندسی عمران
(مکانیک خاک و پی)

مطالعه ی آزمایشگاهی رفتار دینامیکی پی حلقوی روی ماسه
مسلح

توسط

احسان جواهری

استاد راهنما:

دکتر نادر هاتف

دی ماه 1390

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا

مطالعه آزمایشگاهی رفتار دینامیکی پی حلقوی روی ماسه مسلح

به وسیله ی :

احسان جواهری

پایان نامه

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی :

مهندسی عمران (خاک و پی)

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی شده توسط کمیته ی پایان نامه، با درجه ی : عالی

دکتر نادر هاتف، استاد بخش مهندسی راه، ساختمان و محیط زیست (رئیس کمیته).....
دکتر ارسلان قهرمانی، استاد بخش مهندسی راه، ساختمان و محیط زیست
دکتر قاسم حبیب آگهی، استاد بخش مهندسی راه، ساختمان و محیط زیست
دکتر مجتبی جهان اندیش، دانشیار بخش مهندسی راه، ساختمان و محیط زیست

دی ماه ۱۳۹۰

به نام خدا

اظہارنامہ

اینجانب احسان جواہری دانشجوی رشته ی مهندسی عمران گرایش خاک و پی دانشکده ی مهندسی اظہارمی کنم کہ این پایان نامہ حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی کہ از منابع دیگران استفادہ کردہ ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن رانوشته ام . همچنین اظہارمی کنم کہ تحقیق و موضوع پایان نامہ ام تکراری نیست و تعہد می نمایم کہ بدون مجوز دانشگاہ دستاوردهای آن را منتشرننمودہ و یا در اختیار غیر قرار ندهم . کلیہ حقوق این اثر مطابق با آیین نامہ مالکیت فکری و معنوی متعلق بہ دانشگاہ شیراز است .

نام و نام خانوادگی: احسان جواہری

تاریخ و امضا: 1390/10/10

سپاسگزاری

اکنون که این رساله به پایان رسیده است بر خود فرض می دانم که از استاد ارجمند جناب دکتر نادر هاتف که در طول این مسیر مرا بسیار یاری نمودند کمال تشکر را کنم. بی شک بدون حمایت های همه جانبه ایشان از ابتدا، به پایان رساندن این رساله میسر نبوده است. همچنین از خانواده عزیزم که در همه حال پشتیبانم بودند سپاسگزارم.

تقدیم به

پدر

و

مادر

عزیزم

چکیده

مطالعه ی آزمایشگاهی رفتار دینامیکی پی حلقوی روی ماسه مسلح

به کوشش

احسان جواهری

امروزه پی های حلقوی برای سازه هایی نظیر سیلو ها، مخازن نفتی و پی ماشین آلات صنعتی بسیار مورد استفاده قرار می گیرند. تحقیقاتی در زمینه ظرفیت باربری این نوع پی ها و نشست زیر آن تحت اثر بار استاتیکی انجام شده است. همچنین مطالعاتی در زمینه تاثیر استفاده از ژئوسینتتیک ها برای افزایش ظرفیت باربری انواع پی ها تحت اثر بار استاتیکی و کاهش نشست پی های سطحی تحت اثر بار دینامیکی در دسترس می باشد.

بدین سان بررسی مطالعه رفتار دینامیکی پی های حلقوی روی ماسه مسلح احساس می شد. برای تحقق این امر در مطالعه ی آزمایشگاهی از یک مدل پی حلقوی با نسبت قطر داخلی به خارجی $0/4$ با قطر خارجی 15 سانتیمتر استفاده شده است. برای درک بهتر رفتار این نوع پی، نتایج با پی دایره ای با همان قطر خارجی مقایسه شده است. سپس برای مطالعه بیشتر از برنامه المان محدود PLAXIS استفاده شده است. بار دینامیکی از نوع بار ضربه ای که بیشتر ماهیت بار ماشین آلات صنعتی می باشد، انتخاب شده است. تاثیر فرکانس و دامنه بار بر روی رفتار این نوع پی نیز بررسی شده است.

در این مطالعات مشاهده شد که درفرکانس های کم و در دامنه بارهای زیاد عملکرد پی حلقوی بهتر از پی دایره ای می باشد. همچنین مسلح کننده ها تاثیر بیشتری بر روی پی دایره ای نسبت به پی حلقوی دارند.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : مقدمه	
مقدمه	۲
فصل دوم : انواع مسلح کننده ها ، خصوصیات و کاربردهای آنها	
انواع مسلح کننده ها ، خصوصیات و کاربردهای آنها	۶
1-2- مقدمه	۶
1-1-2- ژئوسینتتیک ها و مواد تشکیل دهنده آنها	۷
1-1-1-2- پلیمر و خصوصیات ژئوسینتتیک	۸
2-1-1-2- انواع پلیمرهای استفاده شده در تهیه ژئوسینتتیک	۸
3-1-1-2- خصوصیات پلیمرهای استفاده شده در ژئوسینتتیک	۹
1-3-1-1-2- پدیده خزش در ژئوسینتتیک	۱۰
2-3-1-1-2- مقاومت کششی ژئوسینتتیک	۱۰
3-3-1-1-2- تعیین خصوصیات مقاومتی ژئوسینتتیک در دراز مدت	۱۱
4-3-1-1-2- خرابی های مکانیکی ژئوسینتتیک	۱۲
5-3-1-1-2- دوام شیمیایی و بیولوژیکی ژئوسینتتیک	۱۳
6-3-1-1-2- اندرکنش خاک و مسلح کننده	۱۴
7-3-1-1-2- مطابقت کرنش	۱۷
8-3-1-1-2- چگونه مسلح کننده ها خاک را مقاومتر می کنند؟	۱۸
9-3-1-1-2- ضرایب لغزش مستقیم	۲۰

- ۲۱.....10-3-1-1-2- ضریب پیوند (تأثیر تماس خاک با شبکه های مسلح کننده)
- ۲۳.....2-2- انواع ژئوسینتتیک ها
- ۲۴.....1-2-2- ژئوتکستایل (Geotextile)
- ۲۵.....1-1-2-2- ژئوتکستایل ها چیستند؟
- ۲۶.....2-1-2-2- ژئوتکستایل در مقایسه با سایر راهکارها
- ۲۷.....2-2-2- ژئوممبرین (Geomembrane)
- ۲۸.....3-2-2- ژئوگرید (Geogrid)
- ۲۹.....4-2-2- ژئونت Geonet
- ۳۰.....5-2-2- ژئوکامپوزیت Geocomposite
- ۳۱.....1-5-2-2- ژئوسینتتیکهای رسی (Geosynthetic Clay Liners)
- ۳۲.....2-5-2-2- GCL ها چیستند؟
- ۳۳.....3-5-2-2- هدایت هیدرولیکی
- ۳۳.....4-5-2-2- پایداری شیب ها
- ۳۴.....6-2-2- ژئوسینتتیک های هادی جریان الکتریکی (Electro Kinetic Geosynthetic)
- ۳۵.....3-2- افزایش ظرفیت باربری پی های سطحی روی خاک مسلح
- ۳۶.....1-3-2- موضوع تعیین ظرفیت باربری
- ۳۷.....2-3-2- شکلهای محتمل گسیختگی در پی های سطحی
- ۳۸.....1-2-3-2- گسیختگی روی اولین لایه مسلح کننده
- ۳۸.....2-2-3-2- گسیختگی مابین مسلح کننده ها
- ۳۹.....3-2-3-2- گسیختگی ناشی از سوراخ شدگی عمیق
- ۴۰.....4-2-3-2- گسیختگی ناشی از سوراخ شدگی

۴۱	..... مود بحران گسیختگی	2-3-3
فصل سوم : مروری بر تحقیقات گذشته		
۴۳	..... مروری بر تحقیقات گذشته	
۴۳	..... ظرفیت باربری	1-3-1
۴۳	..... مقدمه	1-1-3-1
۴۷	..... (Fisher, 1957) توسط فیشر انجام شده	1-3-2-2
۴۹	..... (Egorov, 1965) توسط ایگوروف	1-3-3-3
۵۲	..... (ohri et al. 1997) همکاری و اوهری	1-3-4-4
۵۲	..... (Hataf and Razavi, 2003) هاتف و رضوی	1-3-5-5
۵۳	..... تعیین ظرفیت باربری پی حلقوی در آزمایشگاه	1-3-5-1-1
۵۴	..... تعیین ظرفیت باربری پی حلقوی با استفاده از اجزای محدود	1-3-5-2-2
۵۵	..... تعیین ظرفیت باربری پی حلقوی با استفاده از رابطه نیمه تجربی	1-3-5-3-3
۵۷	..... تحقیقات تئوری و عددی	2-3-2
۵۷	..... (Ingold and Miller, 1982) مطالعات اینگولدومیلر	1-2-3-1
۶۰	..... (Dixit and Mandal, 1993) تحقیقات دیکسیت و مندال	1-2-3-2-2
۶۵	..... (Zhao et al., 1998) تحقیقات ژائو و همکاران	1-2-3-3-3
۷۱	..... (Kusuda and Yamamoto, 2001) تحقیقات کوسادا و یاماموتو	1-2-3-4-4
۷۴	..... (Huang and Menq, 1997) تحقیقات هوانگ و منک	1-2-3-5-5
۷۵	..... (بزرگ مقیاس) و صحرایی و صحرایی (بزرگ مقیاس)	3-3-3
۷۶	..... (Binquet and Lee, 1975) تحقیقات بینکویت و لی	1-3-3-1
۷۷	..... (Guido et al., 1985) تحقیقات گویدو و همکاران	1-3-3-2-2

- ۷۸.....-3-3-3 تحقیقات آکیموسورو و آکیمبولاده (Akinmusuru and Akinbolade,1998)
- ۷۹.....-4-3-3 تحقیقات لی و همکاران (Li et al,1991)
- ۷۹.....-5-3-3 تحقیقات عمر و همکاران (Omar et al.,1992)
- ۸۰.....-6-3-3 تحقیقات مندال و ساه (Mandal and Sah ,1992)
- ۸۱.....-7-3-3 مطالعات چادبورن (Chadbourne,1994)
- ۸۱.....-8-3-3 تحقیقات شین و همکاران (Shin et al. ,1993)
- ۸۲.....-9-3-3 تحقیقات یتیم اغلو و همکاران (Yatimoglu et al.,1994)
- ۸۳.....-10-3-3 تحقیقات آدامز و کالین (Adams and Collin,1997)
- ۸۴.....11-3-3 مطالعات پریسکو و همکاران (Prisco et al.,1998)
- ۸۴.....12-3-3 تحقیقات هاتف و بازیار (Hataf and Baziar,2001)
- ۸۵.....13-3-3 تحقیقات بوشهریان - هاتف (Boushehrian and Hataf ,2003)
- ۸۶.....14-3-3 تحقیقات چانگ و کاسکانت (Chaung and Cascante ,2006)
- ۸۶.....15-3-3 مصلی نژاد و همکاران (Mosallanezhad et al.,2007)
- ۸۷.....16-3-3 حاجیانی بوشهریان و هاتف (Boushehrian and Hataf ,2008)
- ۸۸.....4-3-4 اثر مقیاس
- ۸۸.....1-4-3 مقدمه
- ۸۹.....2-4-3 تحقیقات هوسل و ویلیامز (Housel and Viliamz,1929)
- ۹۰.....3-4-3 تحقیقات ژو و همکاران (Zhu et al.,2001)
- ۹۱.....4-4-3 تحقیقات سراتو ولوتنجر (Cerato and Lutengegger,2007)
- ۹۲.....5-3-5 مطالعات انجام شده بر رفتار پی ها تحت اثر بار دینامیکی
- ۹۳.....1-5-3 تحقیقات ریسنر (Reissner,1936)

- ۹۴..... (Queinlan and sung,1953) -2-5-3 تحقیقات کوینلن و سانگ
- ۹۵..... (Gobel et al.,1994) -3-5-3 مطالعات گوبل وهمکاران
- ۹۶..... (Puri et al.,1993) -4-5-3 مطالعات پیوری و همکاران
- ۹۷..... (Das and Shin ,1993) -5-5-3 تحقیقات داس و شین
- ۹۸..... (Shin et al.,2002) -6-5-3 تحقیقات شین وهمکاران
- ۹۹..... (Hafenus et al.,2006) -7-5-3 تحقیقات هافناوس وهمکاران
- ۱۰۰..... (Brown,Kwan and Thom,2007) -8-5-3 مطالعات براون و همکاران
- ۱۰۰..... (Hataf and Boushehrian,2010) -9-5-3 مطالعات هاتف و بوشهریان

فصل چهارم : روش تحقیق

- ۱۰۴..... روش تحقیق
- ۱۰۴..... 1-4- مقدمه
- ۱۰۵..... 2-4- روش تحقیق آزمایشگاهی
- ۱۰۶..... 1-2-4- خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مصالح مورد استفاده
- ۱۰۸..... 2-2-4- دستگاه آزمایش
- ۱۱۳..... 3-2-4- روند انجام آزمایش ها
- ۱۱۴..... 1-3-4- برنامه اجزای محدود Plaxis
- ۱۱۶..... 2-3-4- نحوه مدل کردن پی با نرم افزار اجزای محدود 2D PLAXIS
- ۱۱۸..... 3-3-4- روند اجرای برنامه PLAXIS 2D Dynamic

فصل پنجم : نتایج تحقیقات آزمایشگاهی

- ۱۲۰..... نتایج تحقیقات آزمایشگاهی
- ۱۲۰..... 1-5- مقدمه
- ۱۲۰..... 1-2-5- خاک غیر مسلح

- ۱۲۱.....2-2-5- خاک غیر مسلح - پی دایره ای
- ۱۲۲.....3-2-5- خاک غیر مسلح - پی حلقوی
- ۱۲۳.....4-2-5- خاک غیر مسلح- مقایسه پی حلقوی با پی دایره ای
- ۱۲۳.....3-5- خاک مسلح شده با ژئوگرید
- ۱۲۴.....1-3-5- خاک مسلح شده با یک لایه ژئوگرید
- ۱۲۵.....1-1-3-5- خاک مسلح شده با یک لایه ژئوگرید- پی دایره ای
- ۱۲۶.....2-1-3-5- خاک مسلح شده با یک لایه ژئوگرید- پی حلقوی
- ۱۲۶.....3-1-3-5- خاک مسلح شده با یک لایه ژئوگرید ،مقایسه پی دایره ای با پی حلقوی
- ۱۲۷.....2-3-5- خاک مسلح شده با دو لایه ژئوگرید
- ۱۲۷.....1-2-3-5- خاک مسلح شده با دو لایه ژئوگرید ، پی دایره ای
- ۱۲۸.....2-2-3-5- خاک مسلح شده با دو لایه ژئوگرید ، پی حلقوی
- ۱۲۹.....3-2-3-5- خاک مسلح شده با دو لایه ژئوگرید ،مقایسه پی دایره ای با پی حلقوی
- ۱۳۱.....3-3-5- خاک مسلح شده با سه لایه ژئوگرید
- ۱۳۲.....1-3-3-5- خاک مسلح شده با سه لایه ژئوگرید ، پی دایره ای
- ۱۳۲.....2-3-3-5- خاک مسلح شده با سه لایه ژئوگرید ، پی حلقوی
- ۱۳۳.....3-3-3-5- خاک مسلح شده با سه لایه ژئوگرید ، مقایسه پی دایره ای با پی حلقوی
- ۱۳۶.....4-3-5- خاک مسلح شده با چهار لایه ژئوگرید
- ۱۳۶.....1-4-3-5- خاک مسلح شده با چهار لایه ژئوگرید ، پی دایره ای
- ۱۳۷.....2-4-3-5- خاک مسلح شده با چهار لایه ژئوگرید ، پی حلقوی
- ۱۳۷.....3-4-3-5- خاک مسلح شده با چهار لایه ژئوگرید ، مقایسه پی دایره ای با پی حلقوی

فصل ششم : نتایج مطالعات عددی و مقایسه آن ها با نتایج آزمایشگاهی

- نتایج مطالعات عددی و مقایسه آن ها با نتایج آزمایشگاهی ۱۴۲
- 1-6- مطالعات عددی ۱۴۲
- 1-1-6- مقدمه ۱۴۲
- 2-6- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مطالعات عددی ۱۴۳
- 1-2-6- خاک غیر مسلح ۱۴۳
- 2-2-6- خاک مسلح شده با یک لایه ژئوگرید ۱۴۴
- 3-2-6- خاک مسلح شده با دو لایه ژئوگرید ۱۴۵
- 4-2-6- خاک مسلح شده با سه لایه ژئوگرید ۱۴۶
- 5-2-6- خاک مسلح شده با چهار لایه ژئوگرید ۱۴۷
- 3-6- نتایج آنالیز های عددی ۱۴۹
- 1-3-6- تاثیر تعداد مسلح کننده ها بر میزان نشست نهایی ۱۴۹
- 2-3-6- تاثیر نوع پی بر میزان نشست نهایی برای خاک غیر مسلح ۱۵۰
- 3-3-6- تاثیر نوع پی بر میزان نشست نهایی برای مسلح شده با ژئوگرید ۱۵۱
- 4-3-6- تاثیر دامنه بار بر میزان نشست ۱۵۴
- 5-3-6- تاثیر نوع پی بر میزان نشست برای دامنه بارهای مختلف ۱۵۶
- 6-3-6- تاثیر فرکانس بار بر میزان نشست ۱۵۹
- 7-3-6- تاثیر نوع پی بر میزان نشست برای فرکانس بارهای مختلف ۱۶۰
- 8-3-6- تاثیر سختی مسلح کننده ها بر میزان نشست نهایی ۱۶۳

فصل هفتم : نتیجه گیری و پیشنهادات

- نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۶۵
- 1-7- نتایج تحقیق آزمایشگاهی و عددی ۱۶۵

۱۶۸..... ۲-۷- پیشنهادها

۱۶۹..... فهرست منابع

۱۶۹..... الف- منابع فارسی

۱۷۰..... ب- مراجع انگلیسی

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
10.....	شکل 2-1. آزمایش خزش تحت بار دائمی بر روی ژئوسینتتیک ساخته شده از پلی استر (Jewell,1996)
11.....	شکل 2-2. نقاط گسیختگی و نقاط تسلیم در آزمایش مقاومت کششی ژئوسینتتیک (Jewell,1996) : (a) در میزان مقاومت کشیدگی ثابت ، (b) تحت اثر بار دائمی
12.....	شکل 2-3. خصوصیات گسیختگی - خزش برای یک ژئوسینتتیک (Jewell,1996)
13.....	شکل 2-4. تاثیر ضریب اطمینان fd بر روی مقاومت کششی ژئوسینتتیک (Jewell,1996)
14.....	شکل 2-5. تاثیر ضریب اطمینان fenv روی مقاومت کششی ژئوتکستایل (Jewell,1996)
15.....	شکل 2-6. اندرکنش بین خاک و مسلح کننده (Jewell,1996) (a) دیوار حائل مسلح ، (b) آزمایش بیرون کشیدگی ، (c) آزمایش برش مستقیم برای ژئوسینتتیک و (d) آزمایش برش مستقیم برای ژئوگرید
16.....	شکل 2-7. دستگاه آزمایش بیرون کشیدگی (Koerner,1996)
17.....	شکل 2-8. مکانیسم های درگیری ژئوگرید با خاک (Koerner,1999)
18.....	شکل 2-9. منحنی های مطابقت کرنش (Jewell,1996) (a) رفتار خاک ، (b) رفتار مسلح کننده (c) تعادل مورد نظر
19.....	شکل 2-10. مشاهده تاثیر مسلح کننده در آزمایش برش مستقیم (Jewell,1996)
21.....	شکل 2-11. تعریف ابعاد مسلح کننده (Jewell,1996)
22.....	شکل 2-12. پیوند بین خاک و مسلح کننده (Jewell,1996) (a) ساز و کار تنش های بسیج شده و (b) تعریف برای آنالیز (c) نمایش سه بعدی
24.....	شکل 2-13. ژئوتکستایل های بافته شده.....
25.....	شکل 2-14. چند نمونه مفید از ساز و کار غشایی ژئوتکستایل ها.....

- شکل 2-15. نمونه از ژئوممبرین ها..... 27
- شکل 2-16. نمونه از ژئوگریدهای تک محوری..... 28
- شکل 2-17. نمونه ای از ژئوگریدهای دو محوری 28
- شکل 2-18. نمونه ای از ژئونت ها..... 29
- شکل 2-19. نمونه ای از ژئوکامپوزیت ها..... 30
- شکل 2-20. افزایش مقاومت برشی و تماسی در اثر تحکیم..... 35
- الکتروسموزی با استفاده از EGK ، (Jones,2002)
- شکل 2-21. مکانیسم های احتمالی گسیختگی زیر پی مسلح شده با ژئوسنتتیک..... 39
- شکل 3-1. فرم عمومی منحنی های فشار - نشست 44
- برای پی واقع بر خاک مسلح نشده و مسلح شده
- شکل 3-2. ضرایب تاثیر برای نشست پی حلقوی انعطافپذیر (Fisher,1957)..... 48
- شکل 3-3. نشست زیر پی حلقوی و دایره ای..... 49
- شکل 3-4. توزیع تنش تماسی زیر پی حلقوی (Egorov,1957)..... 51
- شکل 3-5. مقایسه نتایج حاصل از نرم افزار NISA- II و آزمایشگاه برای..... 54
- مقادیر مختلف نسبت قطر داخلی به خارجی پی حلقوی (Hataf and Razavi,2003)
- شکل 3-6. مقطع پوش گسیختگی در نظر گرفته شده زیر پی حلقوی..... 55
- (Hataf and Razavi,2003)
- شکل 3-7. رس بهم فشرده مابین دو صفحه چسبیده..... 57
- شکل 3-8. نمای شماتیک از پی مدل شده..... 59
- شکل 3-9. دیاگرام نیرو برای پی روی خاک مسلح (Dixit & Mandal,1993)..... 62
- شکل 3-10. نواحی گسیختگی پی (a) مسلح شده و (b) مسلح نشده (Zhao et al.,1998)
- شکل 3-11. رابطه بین $k_1/\gamma B$ و $\Delta q/\gamma B$ (Zhao et al.,1998)..... 68
- شکل 3-12. رابطه بین N_f و زاویه اصطکاک داخلی خاک زیر پی (Zhao et al.,1998)..... 68
- شکل 3-13. رابطه بین X_{max}/B و $k_1/\gamma B$ (Zhao et al., 1998)..... 70

- شکل 3-14. رابطه بین L_v/B و $k_1/\gamma B$ (Zhao et al.,1998).....71
- شکل 3-15. محل کرنش های برشی حداکثر (Yamamoto & Kusuda,2001).....72
- شکل 3-16. گوه گسیختگی خاک در زیر پی (Yamamoto & Kusuda,2001).....73
- شکل 3-17. تغییرات زاویه گوه خاک با فشار اعمالی (Yamamoto & Kusuda,2001).....73
- شکل 3-18. مکانیسم گسیختگی خاک مسلح (Menq & Huang,1997).....42
- شکل 3-19. حالت های گسیختگی خاک زیر یک پی نواری سطحی.....77
(Binquet and Lee,1975)
- شکل 3-20. شکل شماتیک دستگاه آزمایش ظرفیت باربری (Yatimoglu et al.,1994).....82
- شکل 4-1. نمودار دانه بندی ماسه مورد نظر.....107
- شکل 4-2. نمایی از ژئوگرید به کار رفته.....108
- شکل 4-3. بار دینامیکی اعمالی به صورت نیم سینوسی روی پی دایره ای.....109
- شکل 4-4. نمایی از جعبه آزمایش.....111
- شکل 4-5. نمایی از محفظه نگهدارنده.....111
- شکل 4-6. نمایی از دستگاه دینامیکی مورد استفاده.....112
- شکل 4-7. نمایی از نحوه اندازه گیری نشست.....112
- شکل 5-1. تغییرات نشست بدون بعد در برابر زمان ، آزمایش سری Circle-Fg.....121
- شکل 5-2. تغییرات نشست بدون بعد در برابر زمان ، آزمایش سری Ring-fG.....121
- شکل 5-3. مقایسه تغییرات نشست بدون بعد در.....123
برابر زمان ، آزمایش سری Circle-fG و Ring-fG
- شکل 5-4. تغییرات نشست بدون بعد در برابر زمان ، آزمایش سری circle- 1G.....125
- شکل 5-5. تغییرات نشست بدون بعد در برابر زمان ، آزمایش سری ring-1G.....۱۲۶
- شکل 5-6. مقایسه تغییرات نشست بدون بعد در برابر زمان ،.....127
آزمایش سری circle-1G و ring-1G
- شکل 5-7. تغییرات نشست بدون بعد در برابر زمان ، آزمایش سری circle- 2G.....128
- شکل 5-8. تغییرات نشست بدون بعد در برابر زمان ، آزمایش سری ring- 2G.....129