

ارزیابی رفتار سازه ای پایه های بتنی شبکه توزیع برق

مهران زینلیان^{۱*}، مهرداد زمانی خوراسگانی^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، ایران

چکیده

خطوط شبکه توزیع برق یکی از مراحل رسیدن برق از تولید کننده به مصرف کننده می باشد که طراحی اصولی آن، موجب پایداری شبکه و جلوگیری از تحمیل هزینه های اضافه می شود. یکی از پرکاربردترین اجزاء شبکه توزیع برق، پایه های بتنی H شکل می باشد که عملکرد مطلوب سازه ای آنها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این مقاله، ضمن ارائه و بررسی نتایج آزمایش در مقیاس واقعی بر روی پایه های متداول مورد استفاده در شبکه های توزیع برق (پایه ۱۲ متری با قدرت اسمی ۴۰۰ کیلوگرم)، به بررسی عددی آن با استفاده از برنامه ی اجزای محدود آباکوس پرداخته شده است و نحوه شکست و ضریب رفتار لرزه ای در آن مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور ایجاد شرایط واقعی برای بتن پایه از روش پلاستیسیت بتن خسارت دیده و از قید مدفون سازی نیز جهت ارتباط بتن و میلگرد استفاده شده است. مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی، بیانگر انطباق مناسب مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی است. نتایج بررسیهای صورت گرفته، نشانگر ظرفیت بالاتر پایه های موجود از ظرفیت ارائه شده در آیین نامه ایران می باشد. ضریب رفتار بدست آمده نیز، بیانگر شکل پذیری مناسب این پایه ها بوده و نشان می دهد که مقادیر توصیه شده توسط آیین نامه می تواند بصورت قابل ملاحظه ای افزایش یابند؛ این موضوع، می تواند باعث استفاده از پایه های با ظرفیت کمتر شود که در نهایت کاهش هزینه های احداث شبکه های توزیع برق کشور را در پی خواهد داشت.

کلمات کلیدی: شبکه توزیع برق، پایه های بتنی، اجزا محدود، ضریب رفتار.

*نویسنده مسئول: مهران زینلیان

پست الکترونیکی: m.zeynalian@eng.ui.ac.ir

DOI: 10.22065/jsce.2017.44439

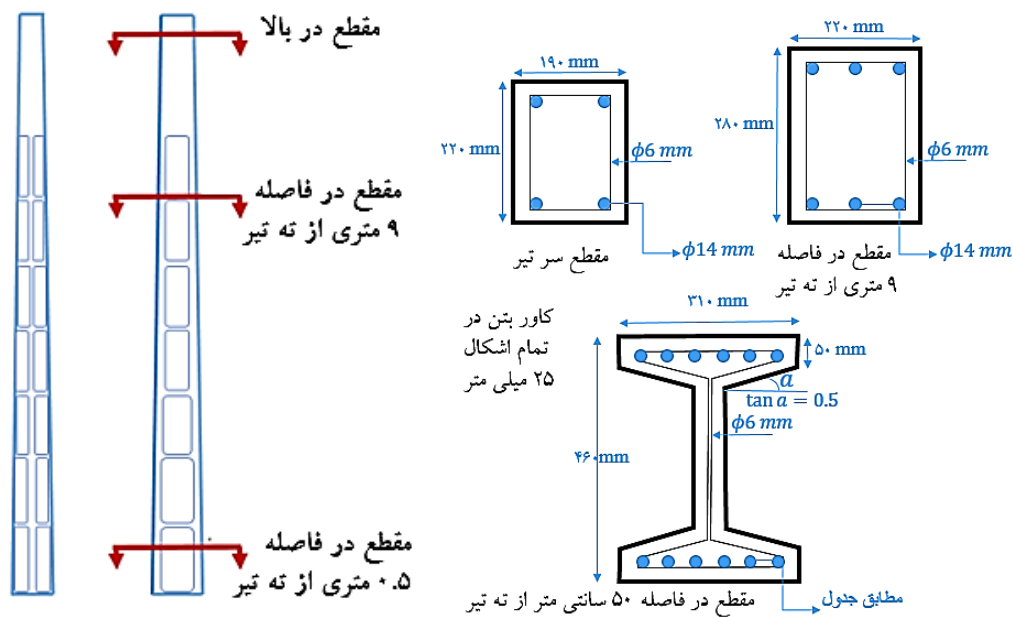
شناسه دیجیتال

<http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.44439>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۲۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۰

۱- مقدمه

یکی از اعضای موثر در شبکه توزیع برق کشور، پایه های نگهدارنده سیمهای انتقال برق می باشند که غالباً در کشور ایران از نوع بتنی H شکل مورد استفاده قرار می گیرند. ساخت پایه های بتنی توسط شرکت های تایید صلاحیت شده از سوی مراجع ذیصلاح انجام می گیرد. ساخت پایه های H شکل بر اساس دستورالعمل منتشر شده از سوی توانیر با نام "الزامات و معیارهای ارزیابی فنی پایه های بتنی مسلح چهار گوش" [۱] انجام می گیرد. تیرهای H شکل مطابق شکل ۱ بر اساس ارتفاع تیر و نیروی قابل تحمل در بالای تیر که به صورت افقی به آن وارد می شود (قدرت اسمی)، دسته بندی می شوند. به عنوان مثال تیر ۱۲ نوع ۴۰۰، تیری به طول ۱۲ متر و قدرت اسمی ۴۰۰ کیلوگرم می باشد. این تیر بنا بر استاندارد می بایست تا نیروی ۴۰۰ کیلوگرم در حد الاستیک باقی بماند و هیچ گونه ترکی در آن مشاهده نشود و مقاومت نهایی ۱۲۰۰ کیلوگرم را از خود نشان دهد؛ و به هیچ وجه تا رسیدن به این نیرو دچار شکست نشود. در شکل ۱ و جدول ۱ مشخصات لازم برای ساخت این پایه ارائه می شود.



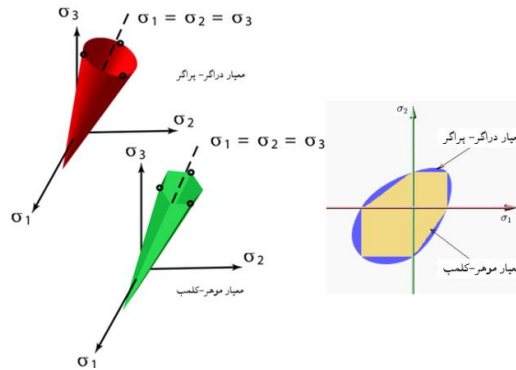
شکل ۱: آرایش آرماتور ها برای پایه ۴۰۰-۱۲ [۱].

جدول ۱: مشخصات و الگوی آرماتور گذاری پایه [۱]

ردیف	عنوان	مقدار	ردیف	عنوان	مقدار
۱	نام پایه بتنی	۴۰۰-۱۲			
۲	ابعاد سر پایه- سانتی متر	۲۲*۱۹			
۳	ابعاد ته پایه- سانتی متر	۴۶*۳۱	۹	الگوی آرماتور گذاری	
۴	وزن میلگرد آجدار-کیلوگرم	۱۴۰			
۵	وزن میلگرد ساده-کیلوگرم	۱۴,۴۸			
۶	حجم بتن-متر مکعب	۰,۶۵	۱۰	c	m۷,۵ Lφ۱۴
۷	a	m۱۲ Lφ۱۶	۱۱	d	m۵,۵ Lφ۱۴
۸	b	m۹,۵ Lφ۱۴	۱۲	e	m۴,۵ L φ۱۴

این پایه پس از ساخت، مطابق استاندارد مورد آزمایش کشش پایه قرار می‌گیرد. این آزمایش به این صورت است که به اندازه ۱۴ درصد ارتفاع کلی تیر از انتها بسته و گیردار می‌شود و باری در فاصله ۶۰ سانتی متری از راس پایه به صورت افزایشی به پایه اعمال می‌شود تا نهایتاً پایه دچار گسیختگی شده و مقاومت خود را از دست دهد. در صورتی که پایه بتواند حداقل‌های آیین‌نامه‌ای از نظر مقاومت و تغییر مکان را ارضا نماید، به عنوان پایه قابل قبول تلقی شده و استفاده از آن در شبکه توزیع برق مجاز می‌باشد. در این تحقیق تعداد سه نمونه از پایه بتنی ۱۲ متری با مقاومت ۴۰۰ کیلوگرم مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج آن در بخش ۲ مقاله ارائه شده است. به منظور مطالعه این نوع پایه‌ها، مدل سازی اجزا محدود توسط نرم افزار آباکوس نیز انجام شده است. با توجه به این که بتن مسلح یکی از پیچیده‌ترین مصالح برای مدل سازی در نرم افزارهای اجزا محدود می‌باشد، لذا تعریف درست مصالح در مدل سازی اجزا محدود در رفتار الاستیک و پلاستیک در قسمت‌های فشاری و کششی می‌تواند اثرات زیادی بر جواب‌ها و نتایج نهایی داشته باشد.

در تعریف مشخصات مصالح پلاستیک برای بتن در نرم افزار آباکوس از مدل پلاستیسیته تخریب شده بتن^۱ (این مدل برخلاف سایر مدل های ترک پخشی^۲ و شکست ترد^۳ تنها مدلی است که در هر دو تحلیل استاتیکی و دینامیکی قابل استفاده است [۲]) استفاده می‌شود. این مدل در این نرم افزار، از فرضیه اصلاح شده دراکر-پراگر^۴ استفاده می‌نماید [۳]. فضای گسیختگی دراکر-پراگر در شکل ۲ مشاهده می‌شود. نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی انجام شده توسط آهنی و همکاران [۴] نشان داده است که دقت مدل خسارت بتن در مدل سازی رفتار بتن به مقدار قابل توجهی بیشتر از مدل ترک پخشی می‌باشد.



شکل ۲: فضای گسیختگی سه محوری در معیارهای گسیختگی دراکر-پراگر و موهر-کلمب [۵].

پارامترهای موثر در مدل پلاستیسیته بتن خسارت دیده به صورت زیر تعریف می‌شود:

۱- زاویه اتساع^۵ رابطه (۱) رابطه بین کرنش حجمی و برش کرنشی را بیان می‌کند. زاویه اتساع، از زاویه اصطکاک داخلی بتن بیشتر در نظر گرفته می‌شود [۶].

$$(1) \quad \psi = -(\delta \epsilon_v) / (\delta \gamma)$$

۲- پتانسیل خروج از مرکزیت پلاستیک؟ عدد کوچک مثبتی است که برابر نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری بتن می‌باشد

[۲]

۳- f_{b0}/f_c : نسبت مقاومت فشاری دو محوره بتن به مقاومت فشاری تک محوره می‌باشد [۲].

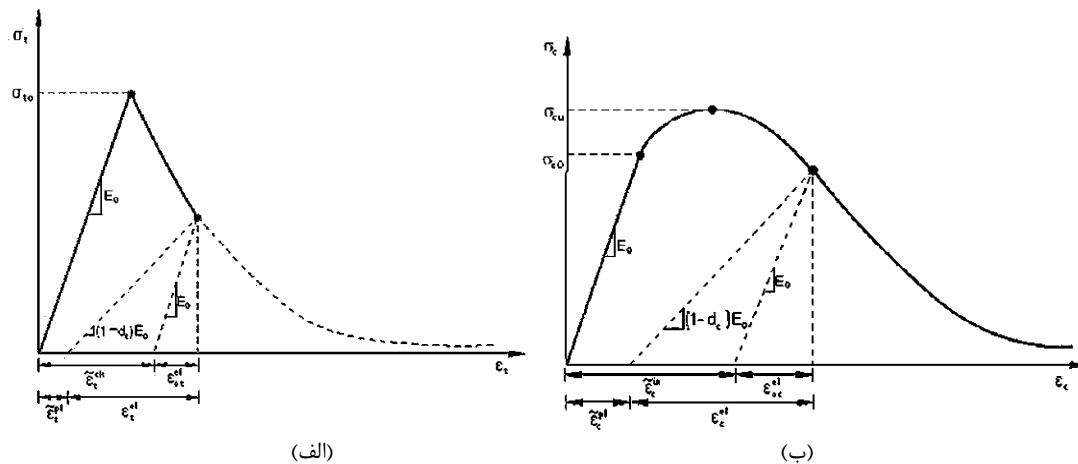
1 Concrete damaged plasticity (CDP)
2 Smeared cracking
3 Brittle cracking
4 Drucker-Prager
5 Dilation Angle
6 Eccentricity

۴-K: ضریبی که به صورت پیش فرض ۰,۶۶۷ برای بتن در نظر گرفته می‌شود [۷]. پارامتر ویسکوزیته^۷ پارامتری که به صورت پیش فرض برابر ۰,۰۰ در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۲ مقادیر پیش فرض مدل CDP تحت تنش سه محوره ارائه شده است.

جدول ۲: مقادیر پیش فرض مدل CDP [۳]

مقدار	نام پارامتر
۳۶	زاویه اتساع
۰,۱	خروج از مرکزیت
۱,۱۶	$fb0/fc$
۰,۶۶۷	K
۰	پارامتر ویسکوزیته

۵- نمودار تنش کرنش کششی بتن، مانند شکل ۳-الف با استفاده از روابط پس خرابی بتن در معرض کشش بدست می‌آید. برای تعیین این نمودار بایستی پارامترهای E_0 ، σ_t ، $\tilde{\epsilon}_t^{ck}$ و d_t را که به ترتیب بیانگر مدول الاستیسیته، مقاومت کششی، کرنش شکست^۸ و پارامتر خرابی^۹ می‌باشد، را مشخص نمود. نمودار تنش کرنش فشاری بتن مانند شکل ۳-ب می‌باشد. لذا ابتدا بایستی پارامترهای σ_c ، $\tilde{\epsilon}_c^{in}$ ، dc را که به ترتیب بیان گر حداکثر تنش فشاری کرنش غیر الاستیک^{۱۰} و پارامتر خرابی بتن می‌باشد، تعیین شود.



شکل ۳: تعریف کرنش‌های بعد از ترک خوردگی در نمودار تنش-کرنش کششی (الف) و تنش-کرنش فشاری (ب) تک محوره بتن [۸].

۲- آزمایش کشش پایه

برای آزمایش پایه های برق، بر اساس استاندارد مطابق شکل ۴ عمل می‌شود. به این صورت که انتهای پایه به میزان ۰/۱۴ طول تیر (۱/۶۸ متر) داخل دیواره سکوی بتنی قرار می‌گیرد. در این آزمایش نیروی وارده در هر مرحله با اضافه کردن ۲۵ درصد از مقاومت نرمال قبلی به تیر وارد می‌شود و در هر نوبت تغییر مکان راس تیر و همچنین تعداد و محل ترک‌ها یادداشت می‌گردد. این عمل آن قدر ادامه می‌یابد تا سر پایه بدون تحمل نیروی اضافه دیگری به تغییر مکان ادامه دهد و به عبارت دیگر به حد گسیختگی برسد. لازم به ذکر است

7 Viscosity Parameter

8 Cracking strain

9 Damage parameter

10 Inelastic strains

آزمایش پایه حول محور قوی انجام می‌گردد. آزمایش کشش پایه در سه سطح مقاومت نرمال، مقاومت مرحله ارتجاعی و مقاومت نهایی انجام می‌گردد.

۱- تیر در صورتی آزمایش را در سطح مقاومت نرمال (۴۰۰ کیلوگرم) با موفقیت به پایان رسانیده که:

الف- در این مرحله، ترکی در پایه مشاهده نگردد.

ب- تغییر مکان راس تیر متناسب و یکنواخت باشد.

ج- پس از حذف نیروی مجاز، راس تیر تقریباً به حال اول بازگردد و به جز ترک های مویی هیچ گونه ترک مشاهده نگردد.

۲- تیر در صورتی آزمایش را در سطح مقاومت مرحله ارتجاعی (۶۰۰ کیلوگرم) با موفقیت به پایان رسانده که:

الف- در صورت ایجاد ترک در مقابل ازدیاد نیرو، این ترک ها در موقع بازگشت نیرو تا حد مقاومت نرمال کاملاً بسته شوند.

ب- تغییر مکان راس پایه در مراحل فوق، متناسب با نیروی وارده باشد.

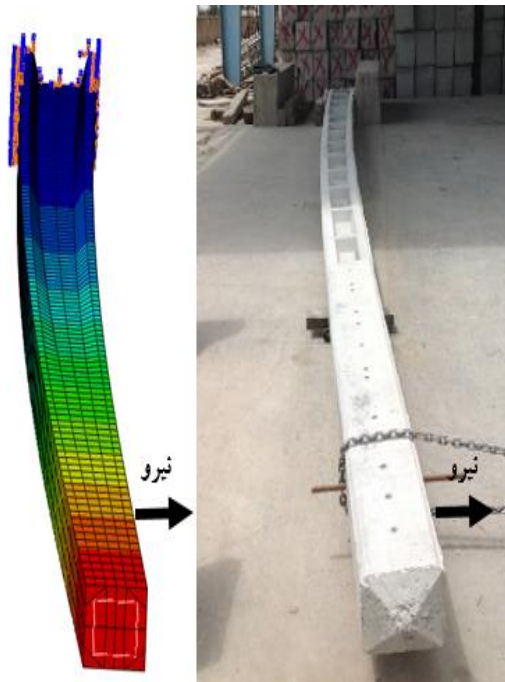
۳- تیر در صورتی آزمایش را در سطح نهایی با موفقیت به پایان رسانده که حداکثر نیرویی که پایه تحمل (مقاومت نهایی) خواهد

کرد بالاتر از سه برابر نیروی مجاز تیر باشد. به عبارتی برای پایه ۴۰۰-۱۲، پایه تا ۱۲۰۰ کیلوگرم نیرو به حد گسیختگی نرسد.

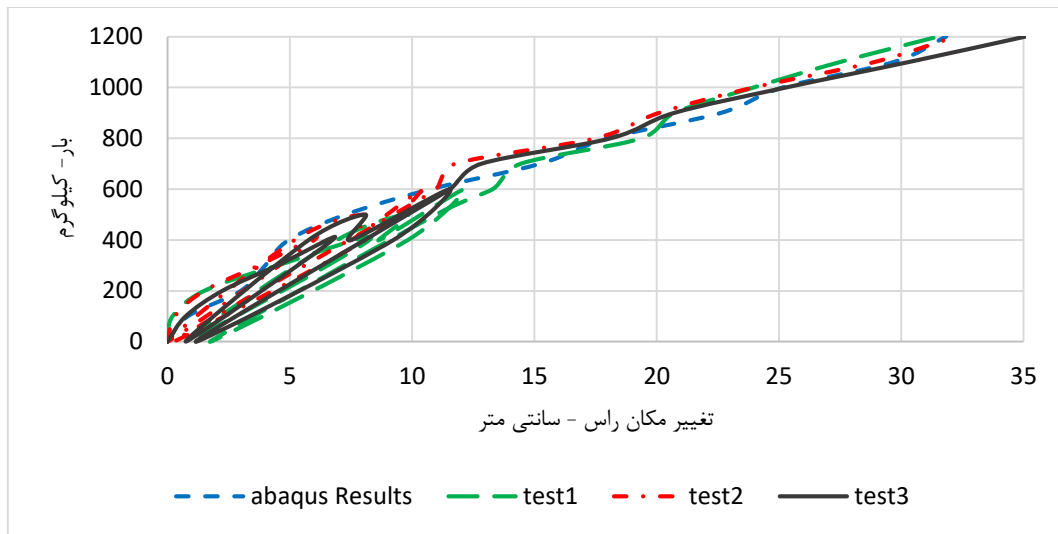
در این تحقیق، ۳ تیر بتنی واقعی ۱۲ متری در محل شرکت کوشش برق اصفهان مورد آزمایش قرار گرفت. تصویر آزمایش انجام

شده به همراه نمونه عددی ساخته شده در شکل ۵ ارائه شده است. لازم به ذکر است مقاومت نهایی پایه ها در آزمایش اول، دوم و سوم به

ترتیب ۱۸۳۰، ۱۹۰۰ و ۱۷۵۰ کیلوگرم می‌باشد.



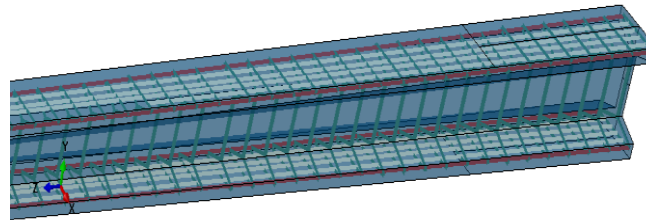
شکل ۴: روش انجام آزمایش کشش بر روی پایه.



شکل ۵: نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از تحلیل عددی.

۳- مدل سازی پایه ها با بتن خسارت دیده

مدل سازی بتن در محیط سه بعدی نرم افزار به صورت صلب^{۱۱} با قابلیت شکل پذیری^{۱۲} انجام می شود. مدل سازی میلگرد در محیط نرم افزار به صورت سیمی^{۱۳} با قابلیت شکل پذیری انجام می شود. خواص الاستیک ماده شامل ضریب پواسون و مدول الاستیسیته می باشد که این مشخصات بر اساس مبحث ۹ مقررات ملی ساختمان ایران [۹] برای بتن و میلگرد به صورت جداگانه به نرم افزار معرفی می گردد. بعد از قرار دادن میلگرد در بتن مطابق شکل ۶ از قید ناحیه مدفون شده^{۱۴} جهت ارتباط بین بتن و میلگرد در نرم افزار استفاده می شود. شرایط مرزی مشابه نمونه آزمایشگاهی مرجع به مدل معرفی می گردد. در این راستا، ۱/۶۸ متر (۱۴٪ طول تیر) از قسمت ابتدایی تیر گیردار در نظر گرفته می شود و در ۶۰ سانتی متری بالای تیر، باری به صورت افزایشنده به پایه اعمال می گردد.

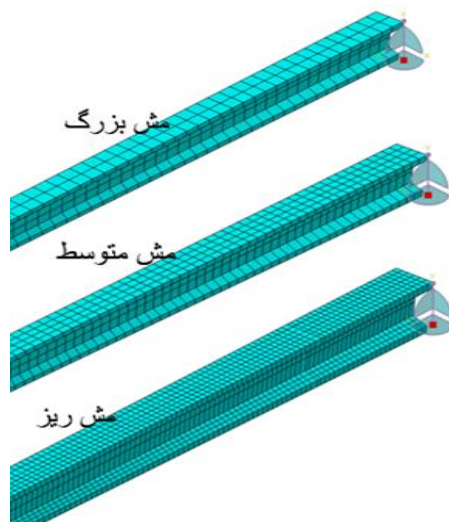


شکل ۶: قرار دادن میلگردهای طولی و عرضی داخل بتن.

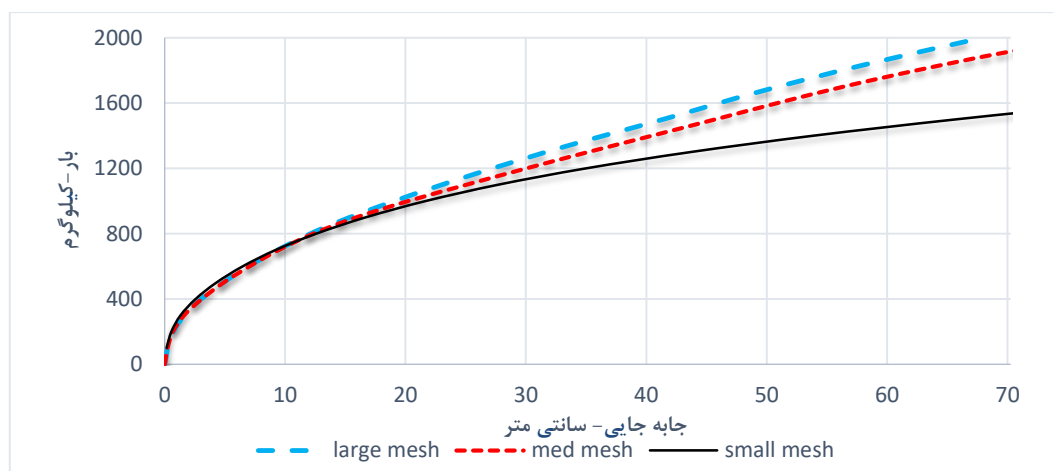
با توجه به اهمیت مش ریزی در پایه ها، سه اندازه مش تعریف می شود. مش ریزی بر روی حجم بتن با اندازه های تقریبی ۰/۰۵^{۱۵}، ۰/۱ و ۰/۱۵ متر مطابق شکل ۷ در نرم افزار گردید. از mass scaling در تحلیل صریح^{۱۶} برای به وجود آوردن شرایط شبه استاتیکی و بازده محاسباتی نتایج استفاده شد. استفاده از این روش برای تحلیل های دینامیکی با المان های کوچک موجب کنترل پایداری و ثبات بازه های زمانی می شود [۷].

11 Solid
12 Deformable
13 Wire
14 Embedded region constraints
15 Approximate element size
16 Explicit

نمودار بار- تغییر مکان برای سه مدل مش ریزی در شکل ۸ ارائه می‌شود. خروجی های نرم افزار در شکل ۸ نشان می‌دهد در قسمت خطی نمودار، سه حالت مش ریزی با هم تطابق زیادی داشته و می‌توان تا حدود نیروی ۱۰۰۰ کیلوگرم از دقت جواب‌ها اطمینان حاصل کرد. از نیروی ۸۰۰ کیلوگرم به بالا سه منحنی از هم تفکیک می‌شوند؛ لذا از این نیرو به بعد امکان ایجاد خطا وجود دارد. استفاده از مش متوسط به دو دلیل قابل توجیه است: ۱- نیروهای وارد بر یک پایه توزیع برق در شرایط سرویس و معمول، غالباً به مقدار ۸۰۰ کیلوگرم نمی‌رسد. ۲- سرعت تحلیل با مش ریز برای تک پایه بسیار زمان بر می‌باشد.



شکل ۷: مش ریزی بتن-مش ریز (۰/۰۵)، مش متوسط (۰/۱) و مش بزرگ (۰/۱۵) متر.

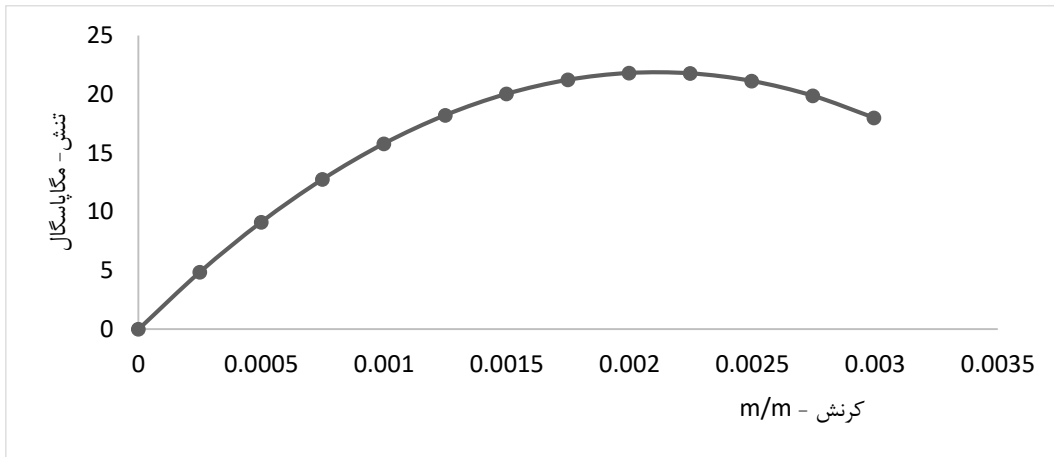


شکل ۸: نتایج بار-تغییر مکان برای سه نوع مش.

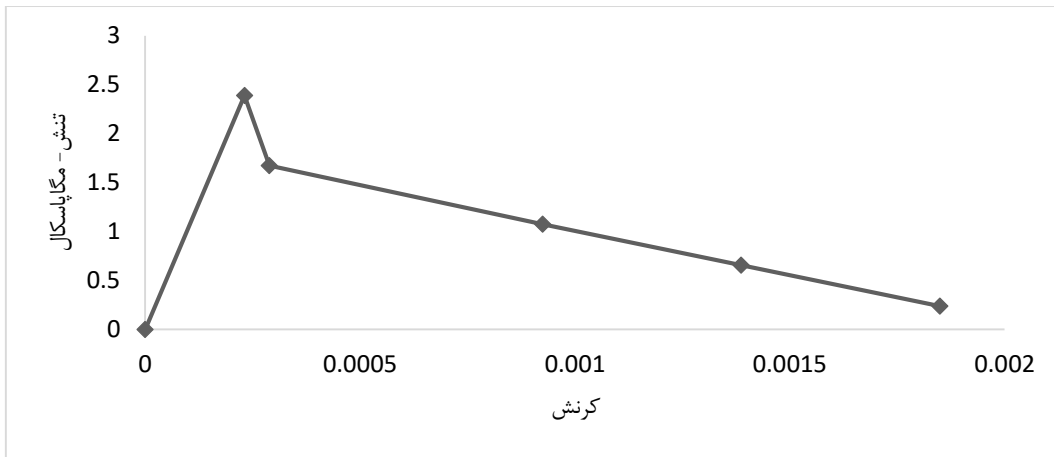
مدل خسارت دیده بتن تکنیکی است که قابلیت نشان دادن رفتار غیر خطی و خصوصیات خرابی مواد شبه ترد همانند بتن را دارد. در این مدل می‌توان محل‌های مفاصل پلاستیک و حدود شکل ترک‌ها را مشخص نمود. به این منظور پارامترهای پیش فرض مطابق جدول ۲ به نرم افزار معرفی می‌شود. برای معرفی خصوصیات پلاستیک دیگر بتن در منحنی تنش کرنش کششی و فشاری از شکل‌های ۹ و ۱۰ استفاده می‌شود. برای منحنی تنش کرنش فشاری بتن از روابط پیشنهادی هاگنستاد^۷ استفاده گردید. برای منحنی تنش کرنش کششی بتن از مرجع [۱۰] استفاده می‌گردد. برای تعریف مشخصات پلاستیک بتن، برای هر تنش و کرنش می‌بایست پارامترهای نظیر شکل ۳ را به دست آورد. خروجی های نرم افزار مطابق شکل ۱۱ برای سه نیروی ۴۰۰، ۶۰۰ و ۱۲۰۰ کیلوگرم ارائه می‌شود. در نتایج آزمایشگاهی تا نیروی

17 Eivind Hognestad, 1951

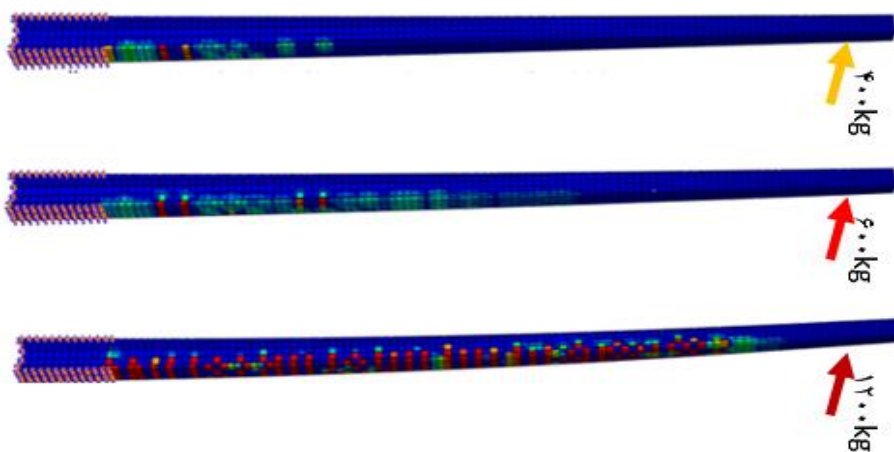
۴۰۰ کیلوگرم هیچ گونه ترک عرضی رخ نمی‌دهد که در شکل مذکور نیز هیچ گونه ترکی تا نیروی ۴۰۰ کیلوگرم رخ نمی‌دهد. برای حد نهایی نیرو، چندین خسارت و ترک وجود دارد، که مشاهدات آزمایشگاهی و نتایج عددی نیز این موضوع را تایید می‌نمایند.



شکل ۹: نمودار تنش کرنش فشاری بتن استفاده شده در نرم افزار.

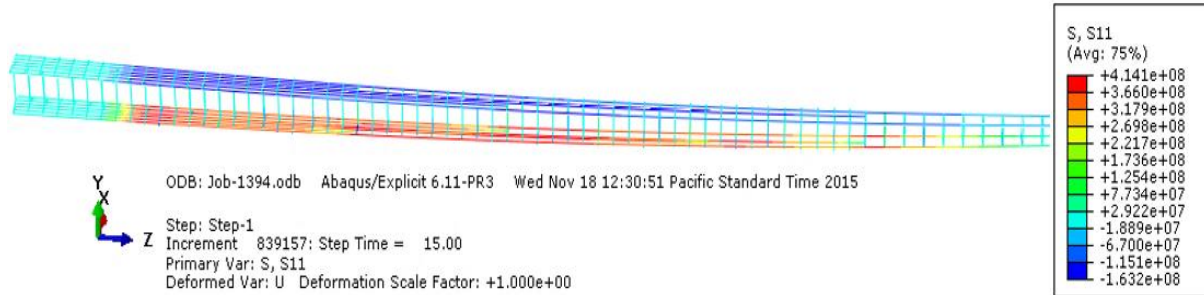


شکل ۱۰: نمودار تنش کرنش کششی بتن استفاده شده در نرم افزار.



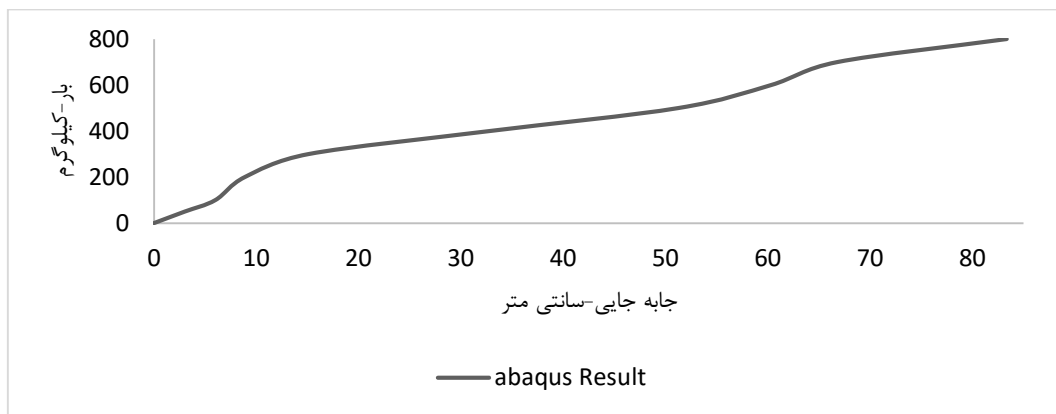
شکل ۱۱: خسارت کششی به ترتیب در نیروهای مقاومت نرمال، ارتجاعی و نهایی.

در شکل ۱۲ تنش های به وجود آمده در میلگرد های پایه در لحظه اعمال ۱۵۰۰ کیلوگرم نیرو مشاهده می شود. در این نیرو تنش در میلگرد ها از تنش تسلیم میلگرد بیشتر است که بیانگر شروع شکست پایه است. این موضوع نشان می دهد که پایه، مقداری بیشتر از مقاومت نهایی ارائه شده در استاندارد های توانیر را می تواند تحمل کند.

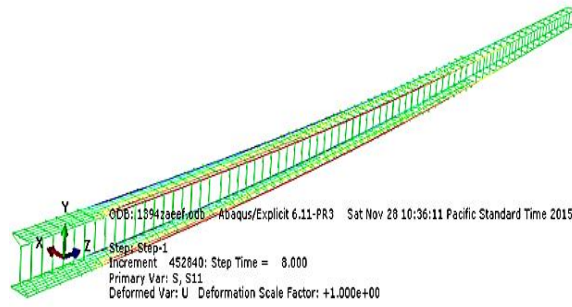


شکل ۱۲: تنش های به وجود آمده در میلگرد های پایه ۴۰۰-۱۲ در نیروی ۱۵۰۰ کیلوگرم.

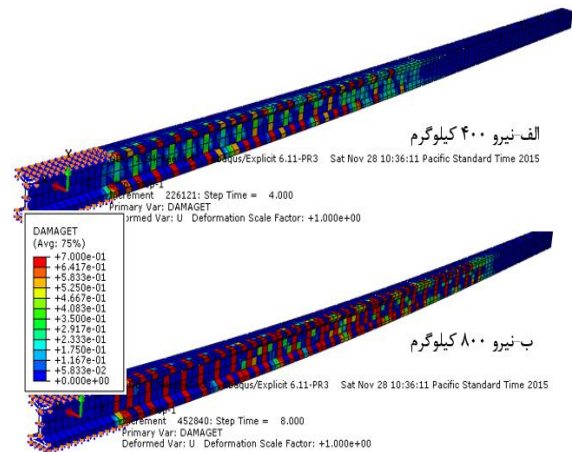
یک پایه می تواند تحت خمش دو محوره قرار گیرد؛ در آن صورت بررسی پایه حول محور ضعیف ضروری می نماید. به این منظور بار به میزان ۹۰ درجه در صفحه افق تغییر جهت داده شد و نتایج حاصله بررسی شد. در شکل ۱۳ منحنی بار-جابجایی برای بارگذاری در جهت محور ضعیف ارائه می شود. در این شکل تا نیروی حدود ۳۰۰ کیلوگرم پایه رفتار الاستیک و ارتجاعی دارد و از نیروی ۳۰۰ به بالا شاهد یک سخت شدگی به دلیل حضور میلگرد می باشد و تا نیروی ۸۰۰ کیلوگرم میزان جابجایی به ۸۰ سانتی متر می رسد. در شکل ۱۴ مشاهده می شود در نیروی حدود ۸۰۰ کیلوگرم، میلگردها به حد جاری شدن می رسند. در شکل ۱۵-الف میزان خرابی بتن در نیروی ۴۰۰ کیلوگرم و در شکل ۱۵-ب میزان خرابی در نیروی ۸۰۰ کیلوگرم ارائه شده است. از این اشکال می توان متوجه شد که پایه در نیروی ۴۰۰ کیلوگرم مستعد ایجاد ترک های زیادی است و در حدود نیروی ۸۰۰ کیلوگرم که میلگردهای پایه جاری می شوند، ترک ها رشد کرده و زیادتر می شود و تغییر شکل پایه ناگهان افزایش می یابد؛ از این نیرو به بعد شکست پایه محتمل است. در نهایت در صورتی که پایه در خط انتقال نیرو، به صورت گوشه استفاده می شود، می بایست جهت پایه متناسب با نیروی برآیند در خط باشد.



شکل ۱۳: منحنی بار-جابجایی حول محور ضعیف.



شکل ۱۴: تنش در میلگرد های پایه در نیروی ۸۰۰ کیلوگرم.

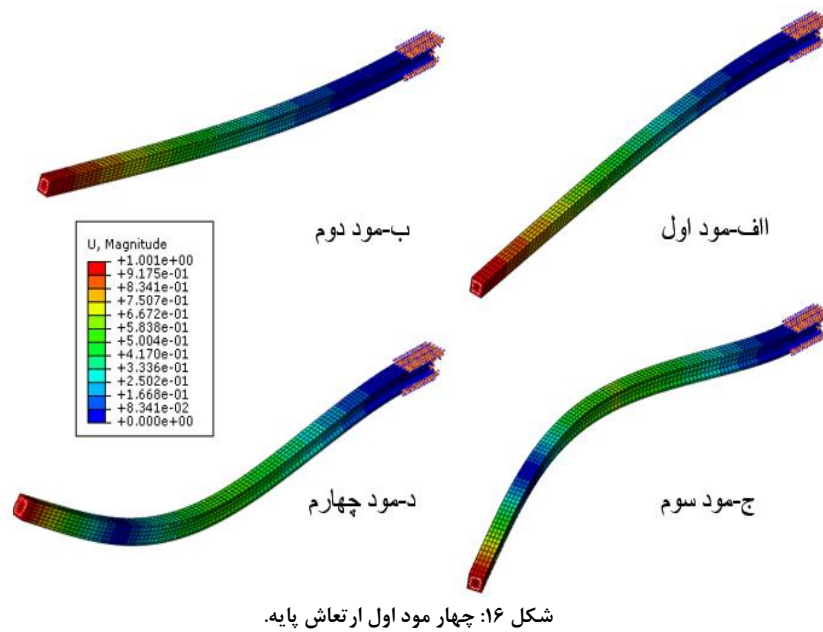


شکل ۱۵: میزان خسارت و محل های تقریبی تشکیل مفاصل پلاستیک در نیروهای ۴۰۰ و ۸۰۰ کیلوگرم.

بمنظور بررسی بیشتر عملکرد پایه های بتنی، چهار مود اول به همراه فرکانس و زمان تناوب طبیعی پایه ها مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. نتایج این بررسی در شکل ۱۶ و جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: فرکانس و زمان تناوب پایه ۴۰۰-۱۲ حاصل از نرم افزار آباکوس

	مود اول	مود دوم	مود سوم	مود چهارم
فرکانس	۱,۲۳۸۸	۲,۵۳۹۱	۶,۷۲۵۲	۱۱,۷۹۹
زمان تناوب	۰,۸۰۷	۰,۳۹۴	۰,۱۴۸۷	۰,۰۸۵



شکل ۱۶: چهار مود اول ارتعاش پایه.

۴- محاسبه ضریب رفتار پایه

به طور کلی ضریب رفتار سازه در روش مقاومت نهایی، از دو جزء اصلی شامل ضریب کاهش ناشی از شکل پذیری (R_d) و مقاومت افزون (Ω) به شرح زیر تشکیل می شود:

$$R = R_d * \Omega \quad (2)$$

آیین نامه ۲۸۰۰ [۱۱] برای پایه ها بتنی طره ای، مقدار ضریب رفتار ۳ را پیشنهاد می کند. به منظور محاسبه ضریب رفتار از روابط نیومارک و هال^[۱۲] مطابق رابطه (۳) جهت محاسبه ضریب کاهش شکل پذیری استفاده می شود. پس از آن از روابط (۲)، (۴) و (۵) ضریب رفتار تعیین می شود. بدین منظور مساحت زیر منحنی بار جابه جایی ارائه شده در شکل ۱۷، با مساحت زیر دو خط AB و BC برابر قرار داده می شود. در همین حال خط AB می بایست منحنی غیر خطی را در ۰/۶ طول خود قطع کند. این خطوط با استفاده از روش سعی و خطا به دست آورده می شوند. [۱۳]

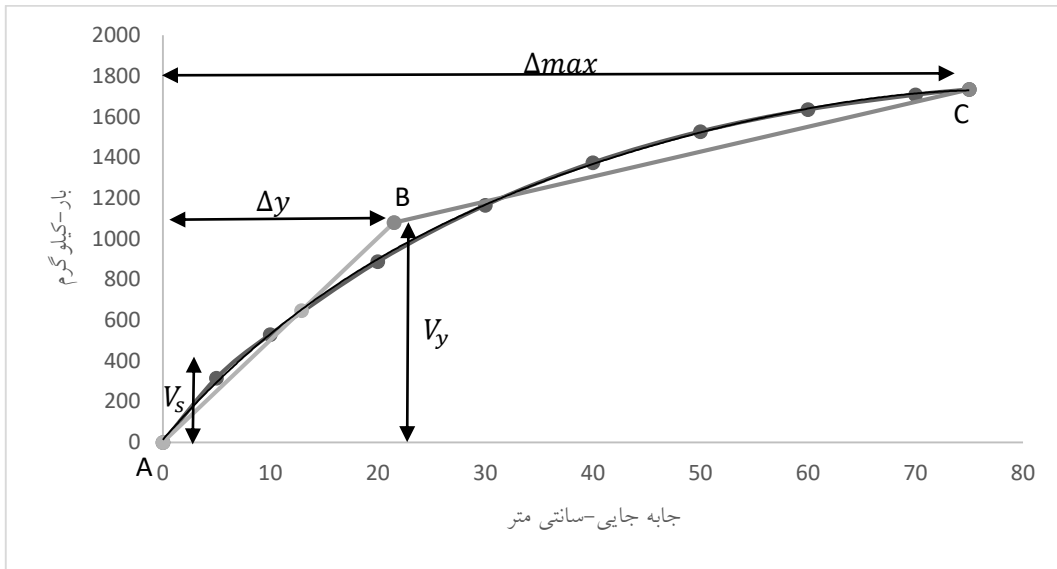
$$R_d = \begin{cases} \mu & T > 0.5 \\ \sqrt{2\mu - 1} & 0.1 < T < 0.5 \\ 1 & T < 0.03 \end{cases} \quad (3)$$

$$\Omega = V_y / V_s \quad (4)$$

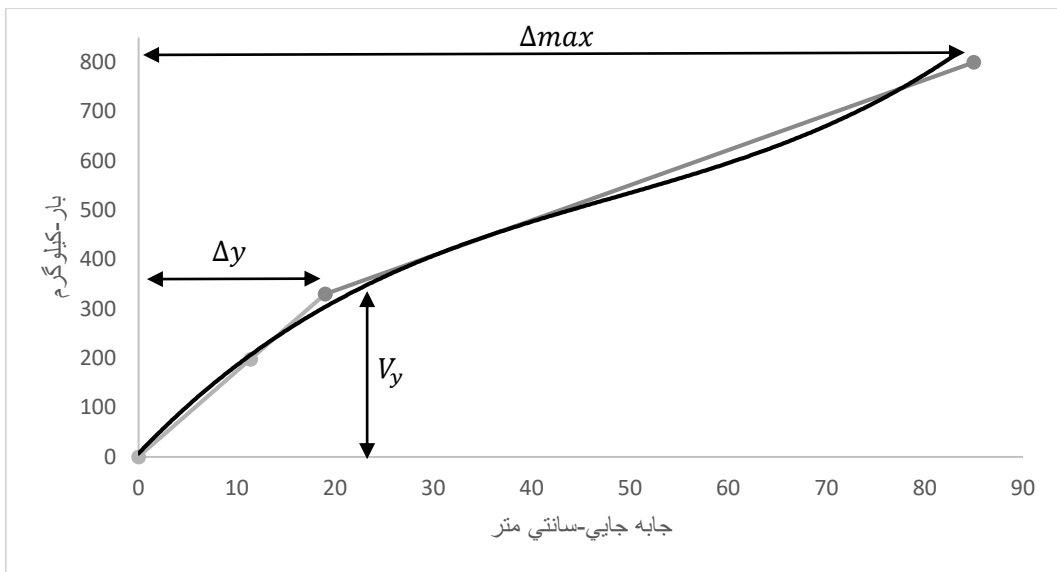
$$\mu = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_y} \quad (5)$$

در روابط فوق Ω و μ به ترتیب ضرایب مقاومت افزون و شکل پذیری می باشند. V_s نیروی لازم برای تشکیل اولین مفصل پلاستیک می باشد که همان طور که قبلا بیان شد مقدار آن برای پایه بتنی مورد مطالعه در این مقاله ۴۰۰ کیلوگرم می باشد. سایر پارامترها در شکل ۱۷ مشاهده می گردد. با جایگذاری پارامترها در روابط فوق، ضریب رفتار (R) تعیین می گردد. با توجه به زمان تناوب ۰/۳۹۴ که در جدول ۳ برای جابه جایی حول محور قوی ارائه شده است، لذا مقدار R در حدود ۶/۶ تخمین زده می شود. به همین ترتیب برای منحنی بار جابه جایی حول محور ضعیف مطابق شکل ۱۸ مقدار ضریب رفتار برابر ۷/۱ برآورد می گردد. این ضرایب رفتار، نشانگر شکل پذیری مناسب

این نوع پایه ها می باشد که منجر به تحمل نیروهای بیشتر از حدود ارائه شده در آیین نامه های ایران (توانیر) می گردد. این موضوع که پایه ها نیروهایی فراتر از نیروهای ارائه شده در آیین نامه را می تواند تحمل کند، در آزمایشات کشش پایه نیز مشاهده می شود.



شکل ۱۸: منحنی بار جابه جایی پایه حول محور قوی.



شکل ۱۹: منحنی بار جابه جایی پایه حول محور ضعیف.

۵- خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله ضمن ارائه نتایج آزمایش کشش بر روی نمونه های واقعی پایه های بتنی ۱۲ متری با قدرت اسمی ۴۰۰ مورد استفاده در شبکه توزیع برق، به بررسی روش عددی بتن خسارت دیده و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی پرداخته شده است. علاوه بر آن با استفاده از نرم افزار آباکوس، رفتار عددی این نوع پایه مورد مطالعه قرار گرفته است. با بررسی نتایج بدست آمده مشخص گردید که مطالعات عددی و نتایج آزمایشگاهی انطباق بسیار خوبی با هم داشتند. در ادامه ضریب رفتار لرزه ای پایه حول دو محور قوی و ضعیف نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. این ضریب نشانگر شکل پذیری مناسب این پایه و قابلیت این پایه ها برای نشان دادن رفتار غیرخطی از خود به میزان قابل توجهی، می باشند. همچنین مقادیر بدست آمده برای ضریب رفتار سازه پایه ها، نشان می دهد که مقادیر توصیه شده آیین نامه محافظه کارانه بوده و

امکان ارتقاء آن برای پایه های بتنی شبکه فوق توزیع تا حدود ۶ قابل بررسی می باشد که در اینصورت، باعث صرفه جویی بیشتر در توسعه و احداث شبکه های توزیع برق خواهد بود.

سیاسگزاری

نویسندگان این مقاله از شرکت توزیع برق استان اصفهان و همچنین شرکت کوشش برق بدلیل انجام حمایت های مادی و معنوی خود برای انجام این تحقیق، کمال تشکر و قدردانی را می نمایند.

مراجع

- [1] Iran Power Generation, Transmission and Distribution Company (Tavanir). (2011). Technical Requirements and Evaluation Criteria for Square Reinforced Concrete Poles. Tehran: Tavanir, 39.
- [2] Mosavi, M. et al. (2013). Determination of Parameters of Plastic Damage Model for Concrete in Numerical Modeling of Reinforced Concrete Frame. In: 7th national congress on civil engineering. Zahedan, Iran.
- [3] Kmiecik, P. and Kaminski, M. (2011). Modelling of Reinforced Concrete Structures and Composite Structures with Concrete Strength Degradation Taken into Consideration. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 11(3), 623-636.
- [4] Ahani, A. et al. (2012). Comparison between the Concrete Damage Plasticity and Concrete Smeared Crack in the modelling of reinforced concrete frame with masonry infill. In: 2nd national conference on Structure, Earthquake and Geotechnics. Babolsar, Iran.
- [5] Geological Society Publications Online. Available at: <http://sp.lyellcollection.org/content/282/1/457/F2.expansion> [Accessed 23 Des. 2016].
- [6] Mameghani, M. et al. (2013). Study of Plasticity Parameters in Numerical Cracks Concrete Modeling. In: International Conference on civil engineering, architecture & urban sustainable development. Tabriz, Iran.
- [7] Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc. (2012). Abaqus Theory and User's Manual.
- [8] Simulia. Concrete Damaged Plasticity. Abaqus Analysis User's Manual.
- [9] Iran National Building Regulations. (2014). Design and construction of reinforced concrete (No. 9).
- [10] Shim, W. and Vecchio, F.J. (2004). Experimental and Analytical Examination of Classic Concrete Beam Tests. Structural engineering, 130, 460-469.
- [11] Permanent Committee for Revising the Iranian Code of practice for Seismic Resistant Design of Building., (2015). Iranian code of practice for seismic resistant Design of Building (Standard No. 2800).
- [12] Zeynalian, M. and H. R. Ronagh. (2012). A Numerical Study on Seismic Performance of Strap-Braced Cold-Formed Steel Shear Walls. Thin-Walled Structures, 60, 229-23.
- [13] FEMA-450 (2003). NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures - Part 1 Provisions. USA: Building Seismic Safety Council.