

ارزیابی عملکرد شبکه توزیع برق در اثر زلزله سال ۱۳۹۲ بوشهر

علی اصغر ذکاوتی

کارشناس ارشد عمران، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
azekavati@nri.ac.ir

محمد علی جعفری

دکترای عمران، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
mjafari@nri.ac.ir

علیرضا رهنورد

کارشناس ارشد عمران، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
arahnavard@nri.ac.ir

کلید واژه‌ها: شبکه توزیع، ارزیابی لرزه ای، زلزله بوشهر، پست هوایی توزیع، پایه بتنی

چکیده

در تاریخ ۲۰ فروردین ماه ۱۳۹۲ زلزله ای با بزرگای ۶/۲ ریشتر، شهرستان دشتی استان بوشهر را لرزاند که در پی آن شبکه توزیع برق خسارات و آسیب های مختلفی دید. در این مقاله علاوه بر بررسی مشخصات زلزله به ارزیابی فنی خسارات و آسیب های وارده بر مولفه های مهم شبکه توزیع برق منطقه پرداخته و علل آسیب پذیری لرزه ای آنها شرح داده می شود. پایه های بتنی و پست هوایی شبکه توزیع از جمله مولفه های اساسی شبکه توزیع بوده که در این مقاله پس از بررسی آسیب های وارده بر آنها، رفتار هریک از دو مولفه توسط روشهای تحلیلی در نرم افزار SAP2000 مورد ارزیابی قرار گرفته و عملکرد آنها با توجه به مفاهیم بکار رفته در دستورالعمل مرتبط (توانیر ۱۳۹۱) مورد بررسی قرار میگیرد. نتایج نشان میدهد پایه های بتنی و پست های هوایی در صورت عدم رعایت ضوابط دستورالعمل های ابلاغ شده و لحاظ نکردن شرایط خاص محیطی، بارگذاری و نحوه صحیح اجرا آسیب پذیر بوده و نیاز به بهسازی دارد که برخی از راهکارهای پیشنهادی در این مقاله ارائه گردیده است.

مقدمه

روز سه شنبه ۲۰ فروردین ماه ۱۳۹۲ در ساعت ۱۶ و ۲۲ دقیقه و ۵۰ ثانیه بعد از ظهر به وقت محلی، زمین لرزه ای در شهرستان دشتی استان بوشهر به وقوع پیوسته و محدوده ای شامل شهرهای شنبه، کاکي، خورموج و تعدادی از روستاهای واقع در آن منطقه را تحت تأثیر قرار داد. به گزارش وب سایت پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله IIEES بزرگای زلزله مذکور برابر ۶/۲ در مقیاس امواج محلی ML و برابر ۶/۳ در مقیاس گشتاور لرزه ای MW (به گزارش مرکز لرزه نگاری سازمان زمین شناسی آمریکا USGS) گزارش شده است. شبکه لرزه نگاری باند پهن پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، مختصات رومرکز^۱ این زلزله را ۵۱/۵۹ درجه طول جغرافیایی و ۲۸/۴۸ درجه عرض جغرافیایی و عمق آن را ۲۰ کیلومتر از سطح زمین گزارش نموده است. سایر مراکز لرزه نگاری نیز مختصات کم و بیش مشابهی (با اختلاف فاصله تا حداکثر ۱۰ کیلومتر) را برای رومرکز زلزله اعلام نموده اند.

به گزارش مرکز لرزه نگاری کشوری وابسته به دانشگاه تهران، این زلزله در عمق دوازده کیلومتری زمین رخ داده است. بر پایه اطلاعات ثبت شده در بانک داده بر خط مرکز لرزه نگاری کشوری، نزدیک ۲۵ دقیقه پس از وقوع زمین لرزه نخست، زمین لرزه ای به بزرگی ۴/۲ ریشتر شهرستان خورموج را لرزاند. با گذشت نزدیک صد دقیقه از وقوع زلزله (تا ساعت ۱۸) پس لرزه ها همچنان ادامه داشت و بزرگترین آنها دارای بزرگای ۵/۳ در مقیاس امواج محلی بوده است.

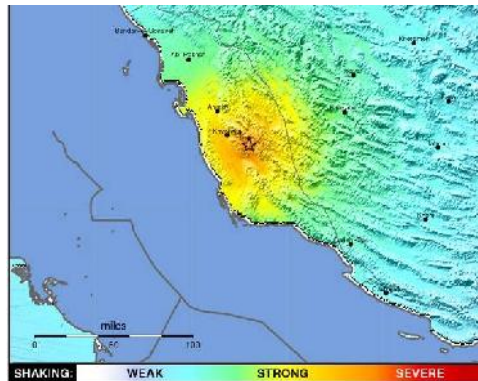
¹ Epicenter



بر اساس نقشه های خطوط هم شدت و هم شتاب ارائه شده توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله که در اشکال زیر نشان داده شده اند، حداکثر شدت زلزله برابر VII در مقیاس مرکالی اصلاح شده و حداکثر شتاب زمین (PGA) برابر $0.25g$ در محدوده شهر شنبه واقع میباشند. وضعیت تخریبی شهر شنبه زیاد بوده بطوریکه سیستم آبرسانی و برق منطقه ای شنبه بر اثر زلزله قطع شده بود. شکل ۲ خطوط هم شتاب در زلزله دشتی استان بوشهر را نشان می دهد.



شکل ۲: خطوط هم شتاب در زلزله دشتی در استان بوشهر (IIEES)



شکل ۱: موقعیت رومرکز زلزله دشتی در استان بوشهر (IIEES)

در این مقاله با توجه به بازدید بعمل آمده، آسیب ها و خسارات وارده بر مولفه های مهم شبکه توزیع برق استان بوشهر در اثر زلزله بررسی و علل آسیب پذیری آنها با توجه به مفاهیم بکار رفته در دستورالعمل (توانیر، ۱۳۹۱) تهیه شده توسط پژوهشگاه نیرو شرح داده می شود.

عمده خسارات وارد بر شبکه توزیع

شهر شنبه و روستاهای تابع آن در بخش شنبه و طسوج بشدت تخریب شده بودند. اکثر ساختمانهای این نواحی به لحاظ بافت کوهستانی از جنس سنگ با ملات گچ و خاک بوده که به هیچ عنوان مقاومت کافی در مقابل زلزله را نداشته و کاملاً تخریب شده بودند. برخی از پست های هوایی واژگون و تعدادی از پایه های بتنی شکسته شده بودند. در آغاز عملیات ایمن سازی منطقه توسط مسئولین مربوطه، انشعاب های مشترکین و سیستم روشنایی معابر اصلاح، تجهیزات تخریب شده جمع آوری، پایه های شکسته تعویض و پست های هوایی نصب گردیده بودند. شهر کاکي نسبت به دیگر مناطق به لحاظ بافت ساختمانی بهتر (قاب خمشی بتنی) و شدت زلزله کمتر (۶ مرکالی) نسبت به شنبه (۷ مرکالی) آسیب کمتری دیده بود.

با توجه به بررسی ها و گزارشهای موجود خلاصه خسارات وارده به تاسیسات برقی شهرستان دشتی به شرح ذیل می باشد:

- خسارت ۳۰ تا ۱۰۰ درصد ۱۳۰ کیلومتر شبکه فشار متوسط هوایی
- ۳۰ دستگاه پست های هوایی واژگون شده با خرابی ۱۰۰ درصد
- ۶۰ دستگاه پست هوایی با خسارت کمتر از ۵۰ درصد
- خسارت ۳۰ تا ۱۰۰ درصد ۷۵ کیلومتر از شبکه های فشار ضعیف و تاسیسات روشنایی
- خسارت ۱۰۰ درصد به ۱۲۰۰ انشعاب مشترکین برق
- خسارت کمتر از ۵۰ درصد به ۱۸۰۰ انشعاب مشترکین برق

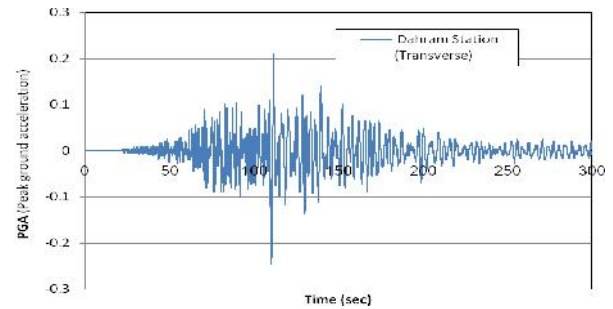
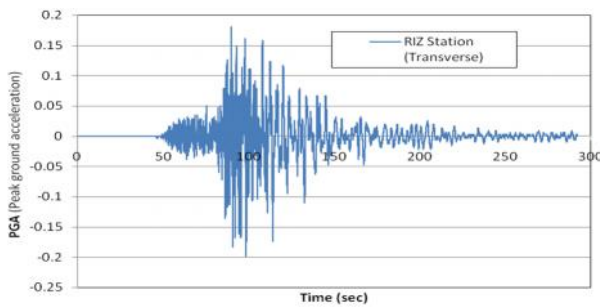
مشخصات شتابنگاشت های مورد استفاده

در این زلزله بیشترین آسیب های جدی مربوط به دو مولفه پایه های بتنی شبکه توزیع و پست های هوایی در محدوده شهر شنبه و روستاهای اطراف آن (درویشی، چاهگاه و اسلام آباد) می باشد.

لذا جهت تحلیل و بررسی آسیب های وارده، مشخصات شتابنگاشتهای زلزله بوشهر که در ۷ ایستگاه ثبت گردیده بود در نرم افزار SAP2000 تعریف شده و مولفه های مربوطه پس از مدلسازی تحت آنالیز دینامیکی غیر خطی مورد بررسی قرار گرفتند. مشخصات ایستگاههای مذکور و دو نمونه از شتابنگاشتهای ثبت شده در جدول ۱ و شکل ۳ نمایش داده شده اند. لازم به ذکر است با توجه به اینکه حداکثر شتاب ثبت شده زمین (PGA) در این زلزله برابر $0.25g$ بوده کلیه شتابنگاشتهای مربوطه به این مقدار مقیاس شده اند.

جدول ۱: مشخصات ایستگاههای ثبت شده (وب سایت مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی)

نام ایستگاه	فاصله از رومرکز زلزله (کیلومتر)	مدت زمان جنبش نیرومند زمین (ثانیه)
علی حسینی	۴۶	۷۶/۸
بردخون	۴۷	۷۹/۲
دهرام	۷۰	۷۹/۹۵
فاریاب	۴۹	۶۴/۰
خورموج	۳۱	۶۶/۵۶
ریز	۶۶	۷۲/۹۶
رستمی	۵۱	۷۹/۹۵



شکل ۳: دو نمونه شتابنگاست ثبت شده مربوط به ایستگاههای دهرام (راست) و ریز از توابع بوشهر (چپ)

ارزیابی پایه های بتنی شبکه توزیع

در داخل شهر شنبه دو نوع پایه H شکل و پایه های گرد پیش تنیده وجود داشت. اغلب آسیب ها مربوط به پایه های H شکل از نوع ۱۲-۴۰۰ و ۱۲-۶۰۰ بوده که نسبت به دیگر انواع رده ها تعداد بیشتری را شامل می شدند. با توجه به بررسی صورت گرفته رایج ترین عوامل خرابی مشاهده شده شامل موارد ذیل می باشد:

- (۱) استفاده از پایه های بتنی با رده مقاومتی پایین و نامتناسب با بارهای موجود
- (۲) خوردگی شدید میلگردها و کیفیت نامناسب بتن پایه ها
- (۳) بستر ضعیف و تکیه گاه نامناسب پایه های بتنی
- (۴) فروریختن ساختمانهای مجاور

• ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای پایه بتنی با استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی

جهت ارزیابی وضعیت پایه های بتنی در اثر زلزله یک نمونه پایه بتنی رده ۱۲-۴۰۰ از سکشن^۱ شبکه ۲۰ کیلو ولت شنبه-درویشی که در اثر زلزله بصورت سلسه وار^۲ تخریب شده بودند (شکل ۴) در نرم افزار SAP2000 مدل سازی گردید، سپس بارهای ناشی از کابل های توزیع برق بروی آن اعمال گردیده و تحت اثر شتابنگاشتهای زلزله ثبت شده، آنالیز دینامیکی غیر خطی گردید. همچنین انتهای پایه به اندازه عمق دفن استاندارد با استفاده از فنرهای جانبی (مدل خاک اطراف پایه) مقید گردید.

شکل ۴ خرابی پایه های فوق در اثر زلزله را نشان میدهد.

یک پایه بتنی رده ۱۲-۴۰۰ دارای ارتفاع ۱۲ متر بوده و مقاومت اسمی آن ۴۰۰ کیلوگرم می باشد (نشریه ۳۷۴ و توانیر، ۱۳۹۰) که باتوجه به خصوصیات خود توانایی تحمل ۱۲۰۰ کیلوگرم نیرو را در شرایط نهایی خواهد داشت. در این راستا ظرفیت خمشی بحرانی مقطع در راستای محور قوی و ضعیف توسط روابط معمول محاسبه شده و در قالب مفصل پلاستیک^۳ خمشی به عنوان مود خرابی غالب به نرم افزار معرفی گردید. پایه بتنی فوق در ناحیه بحرانی دارای ظرفیت خمشی ۱۱۵۲۰ کیلوگرم-متر در راستای محور قوی و ۵۷۶۰ کیلوگرم-متر در راستای محور ضعیف است.

¹ Section

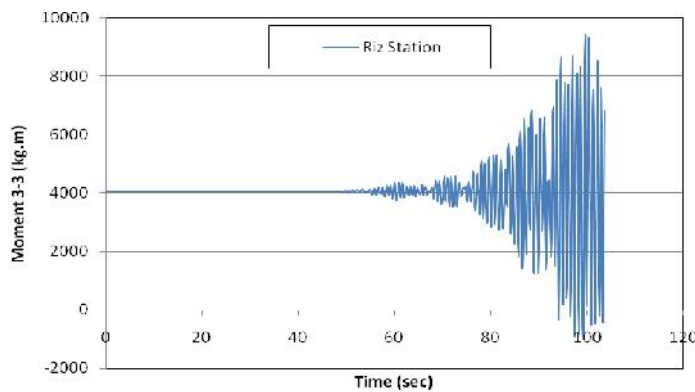
² Cascading

³ Plastic hinge





شکل ۴: وضعیت پایه بتنی ۴۰۰-۱۲ تخریب شده بر اثر زلزله بعد از نصب پایه های جدید



شکل ۵: تشکیل مفصل پلاستیک در ناحیه بحرانی پایه بتنی (راست) و نمودار تاریخچه زمانی لنگر خمشی حول محور قوی (چپ)

جدول ۲: مقادیر لنگر خمشی پایه بتنی رده ۴۰۰-۱۲ در ناحیه بحرانی

ایستگاه ثابت شناپنگاشت	حداکثر لنگر (کیلوگرم-متر)	
	محور قوی (M3-3)	محور ضعیف (M2-2)
علی حسینی	۹۲۰۵	۵۷۲۷
بردخون	۸۶۰۹	۵۵۴۷
دهرام	۷۹۹۰	۵۶۹۴
فاریاب	۱۱۳۲۵	۳۲۷۷
خورموج	۱۱۴۵۹	۴۲۶۳
ریز	۹۷۶۱	۵۷۵۵
رستمی	۱۱۴۳۷	۴۲۰۶

با توجه به شکل ۵ و جدول ۲ مشاهده می شود در همه شناپنگاشت های تعریف شده، پایه بتنی در ناحیه بحرانی دچار مود خرابی خمشی شده و مفصل پلاستیک در ناحیه تحتانی تشکیل می گردد.

- ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای پایه بتنی با استفاده از منحنی های ظرفیت پایه های بتنی

یک روش نسبتاً ساده و کاربردی در برآورد آسیب پذیری لرزه ای پایه های بتنی استفاده از منحنی های ظرفیت لرزه ای است در این روش نسبت های نیاز به ظرفیت لرزه ای عضو (DCR) تهیه می شود. با استناد به نتایج منحنی های ظرفیت لرزه ای انواع پایه های بتنی متداول در

خطوط توزیع هوایی در مقاله مرجع (Zekavati et al., 2013) و دستورالعمل (توانیر، ۱۳۹۱) میتوان عملکرد این نوع مولفه ها با توجه به نوع منطقه و دیگر پارامترهای اساسی تعیین نمود.

این منحنی های با پیش فرض انجام بازدیدهای دوره ای و اطمینان از سالم بودن پایه بتنی تهیه گردیده و متناسب با نوع زمین، نوع پایه و لرزه خیزی منطقه، آسیب پذیری آنرا مورد بررسی قرار می دهد. استفاده از این منحنی ها برای استقرار پایه های جدید و جایگزینی آن با پایه پایه های مسئله ساز بسیار کاربردی است. عملکرد اینگونه منحنی ها بدین گونه است که اگر نقطه مورد نظر بالاتر از منحنی مربوطه قرار گیرد مولفه مربوطه آسیب پذیر است.

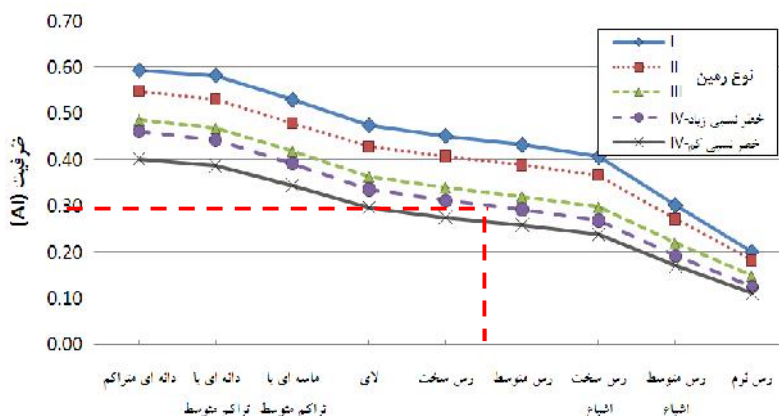
در این بخش از مقاله طرح جایگزین پایه های بتنی بخشی از سکشن شبکه ۲۰ کیلو ولت مسیر شنبه-درویشی که در اثر زلزله بصورت سلسه وار تخریب شده بودند و نمونه ای از آن در بخش قبل ارزیابی گردید با روش فوق مورد بررسی قرار گرفته است:

- نوع پایه جایگزین: ۱۲-۶۰۰
- موقعیت قرارگیری در خط توزیع: زاویه
- ضریب اهمیت پایه بتنی (I): ۱/۲
- شتاب مبنای طرح (A): ۰/۲۵ (بوشهر)
- نوع زمین: III
- نوع خاک اطراف پایه: رس متوسط

لازم به یادآوری است شتاب مبنای طرح (A) و نوع زمین بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ (۱۳۸۴) تعیین می شود.

$$AI = 0.25 \times 1.2 = 0.3$$

(۱)



شکل ۶: نمودار ظرفیت لرزه ای پایه بتنی ۱۲ متری کششی

همانطور که از رابطه ۱ و شکل ۶ مشاهده میشود با توجه به اینکه نقطه مورد نظر پایینتر از منحنی متناظر با نوع زمین مشخص شده (III) قرار گرفته است، پایه بتنی فوق غیر آسیب پذیر خواهد بود و به عنوان گزینه ای جهت جایگزین کردن پایه های تخریب شده مناسب است.

ارزیابی پستهای هوایی توزیع

پستهای هوایی (و بخصوص ترانسفورماتورهای آنها) یکی از اجزای آسیب پذیر شبکه توزیع بوده و موارد متعددی از خسارات وارد بر آنها در زلزله های گذشته مشاهده و گزارش شده اند. رایجترین حالت خرابی در پستهای هوایی، سقوط یا کج شدن ترانسفورماتور در جای خود است. این حالت خرابی عمدتاً بدلیل فقدان یا ناکافی بودن مهارها و ضعف اتصالات ترانس به پایه ها ایجاد میشود. در بسیاری از مناطق کشور، سکوه های نگهدارنده ترانسهای هوایی فاقد مهارهای ضربدری بوده و توان تحمل نیروهای جانبی را ندارند.

در زلزله بوشهر چندین مورد کج شدگی و سقوط ترانسفورماتور پستهای هوایی در شهر شنبه مشاهده گردید که نمونه ای از آن در شکل ۷ و ۸ قابل رویت است. اشکال مذکور ترانسفورماتوری را نشان میدهد که بدلیل گسیختگی اتصال میان ناودانیهای بلند و کوتاه سکوی تکیه گاهی بطور کامل سقوط کرده است.





شکل ۸: تغییر شکل بال ناودانی کوتاه ناشی از گسیختگی ناودانی بلند



شکل ۷: ترانسفورماتور واژگون شده در اثر زلزله بوشهر

• ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای پست هوایی با استفاده از تحلیل دینامیکی غیر خطی

یک نقطه ضعف بسیار مهم در اتصالات ترانسفورماتورهای هوایی، در محل اتصال سکوی زیر ترانسفورماتور به پایه های بتنی پست (اتصال ناودانیهای کوتاه به پایه های بتنی) می باشد. این اتصالات معمولاً بدون نصب تسمه یا نبشی مهاری اجرا میگردند که در این حالت امکان لغزش آنها روی تیر بتنی و در نتیجه آن، دوران کل مجموعه ترانسفورماتور و سکوی زیر آن وجود دارد. عبارت دیگر در صورت عدم وجود مهار مناسب سکوی ترانس به پایه و یا کافی نبودن آن، انتقال نیروی جانبی زلزله از ترانسفورماتور به زمین تنها از طریق اتکای اصطکاکی ناودانیهای سکو به پایه های پست بوده و در نتیجه، دوران ترانس نسبت به پایه های پست در هنگام زلزله بسیار محتمل خواهد بود.

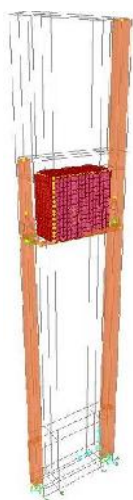
در این بخش، اهمیت وجود مهار جانبی (تسمه یا نبشی های مهاری) در پایداری جانبی ترانسفورماتور و سیستم نگهدارنده آن در برابر زلزله، با استفاده از تحلیل لرزه ای دینامیکی غیر خطی یک نمونه پست هوایی نشان داده شده است. بدین منظور یک نمونه پست هوایی در دو حالت با و بدون مهار سکوی نگهدارنده ترانس، تحت شتاب نگاشتهای دو مؤلفه ای ثبت شده در ۵ ایستگاه مختلف در اطراف رومرکز زلزله تحلیل شده و پاسخ آن مورد بررسی قرار گرفته است. پست مورد بررسی یک پست با ظرفیت 400 Kva بوده و وزن ترانسفورماتور آن در حدود ۱/۴۵ تن می باشد. پایه های پست نیز بصورت دو پایه ۹ و ۱۲ متری با مشخصات استاندارد در نظر گرفته شده اند. شایان ذکر است که در این تحلیل، هدف تنها بررسی آسیب پذیری و پاسخ لرزه ای سکوی نگهدارنده ترانس بوده و بنابراین حالات خرابی سایر اجزای پست (مانند پایه ها) مورد نظر نمی باشند. برای مدلسازی و تحلیل پست از نرم افزار SAP2000 استفاده شده است. مدل تحلیلی سازه پست در دو حالت مورد نظر در شکل های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است. ترانسفورماتور پست با استفاده از المانهای پوسته ای مدل شده و وزن آن نیز بصورت بار ثقلی بر آن اعمال شده است. پایه ها و سکوی نگهدارنده ترانس نیز با استفاده از المانهای تیر مدل شده اند. انتهای پایه های پست به اندازه عمق دفن استاندارد با استفاده از فنرهای جانبی (مدل خاک اطراف پایه) مقید شده است.

در اغلب پستهای هوایی، اتصال سکوی ترانس به پایه های بتنی با استفاده از اتکای ناودانیهای کوتاه سکو به پایه ها توسط دو پیچ واقع در دوطرف پایه صورت می گیرد. در این شرایط مقاومت اتصال عمدتاً توسط اصطکاک میان ناودانیها و پایه پست تأمین میشود که این اتصال در مدل تحلیلی با استفاده از یک المان لینک غیرخطی با مدل پلاستیک ون که مدل مناسبی برای لحاظ کردن اصطکاک است، در نظر گرفته شده است (Vasehi Amiri et al, 2008). برای لینک مذکور، درجه آزادی غیرخطی در راستای پیچش سکوی ترانس تعریف شده که مقاومت تسلیم معادل آن نیز برابر مقاومت پیچشی اتصال سکو به پایه ها می باشد.

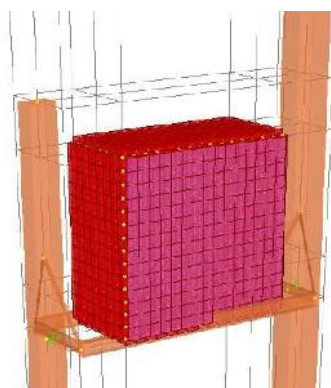
با توجه به تنوع نحوه اجرا و وابستگی شدید نیروی اصطکاک به آن، برآورد مقاومت پیچشی اتصال بسیار مشکل بوده و نیاز به اتخاذ فرضیات ساده کننده دارد. در اینجا با فرض اینکه اتصال مذکور از نوع متداول در پستهای هوایی منطقه بوده و پیچهای آن تا حد توان متوسط انسان سفت شده باشند، مقاومت پیچشی اتصال با استفاده از رابطه ساده شده زیر قابل محاسبه است :

$$T_R = 0.5 \sim Nb$$

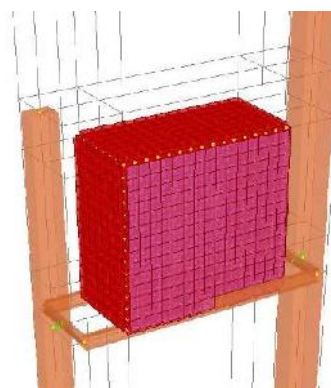
که در رابطه فوق، \sim و N و b به ترتیب ضریب اصطکاک بتن و فولاد، نیروی عمود بر سطح تماس حاصل از پیچهای سفت شده و عرض پایه در محل اتصال میباشد. بر این اساس، مقدار مقاومت پیچشی اتصال (T_R) برابر حدود ۳ کیلونیوتن - متر برآورد شده است. مهار سکو به پایه ها نیز از جنس تسمه فولادی بوده و در مدل دارای مهار، با استفاده از المان محوری فقط کششی با حد مقاومت کششی تسلیم آن، در نظر گرفته شده است.



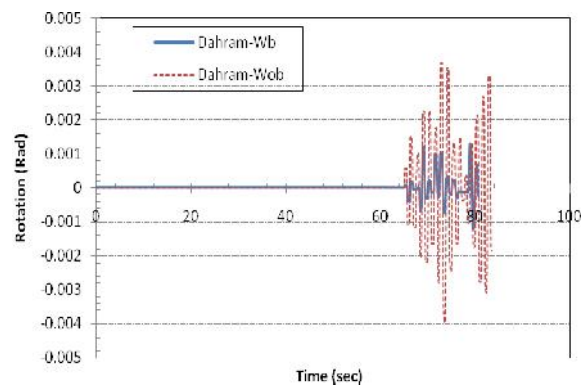
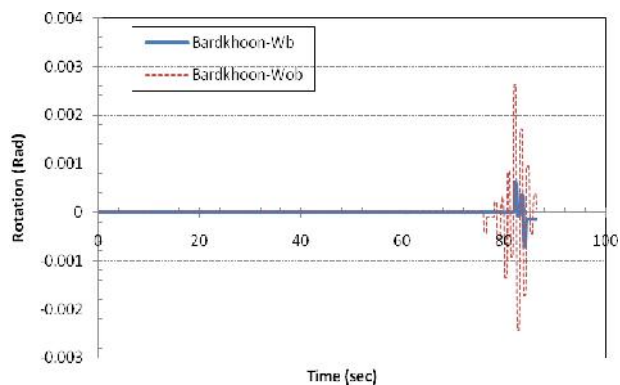
شکل ۱۰: مدل تحلیلی پست هوایی دارای مهار سکوی ترانس



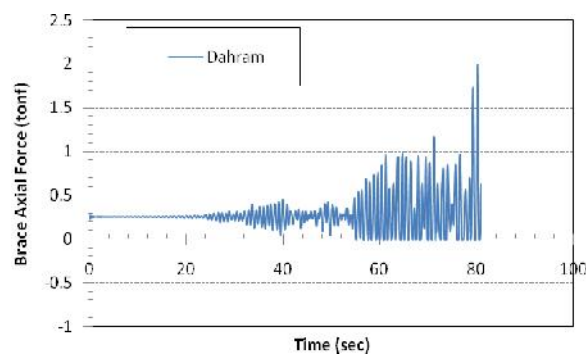
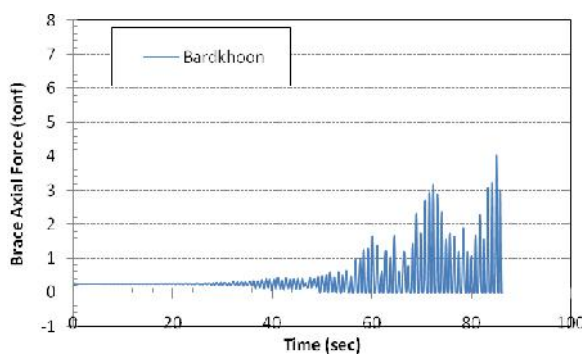
شکل ۹: مدل تحلیلی پست هوایی فاقد مهار سکوی ترانس



تاریخچه زمانی پاسخ دوران ترانس و سکوی آن حول محور اتصال سکو به پایه ها (دوران المان لینک در مدل)، تحت اثر شتاب نگاشت ثبت شده در ایستگاه های مختلف در شکل ۱۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است نمودار خط ساده بیانگر وضعیت دوران ترانس و سکوی آن در صورت داشتن مهار است و نمودار نقطه چین نمایانگر عدم استفاده از مهار سکو است. همانطور که در شکل قابل مشاهده است، دوران سکوی ترانس در حالت عدم مهار بطور قابل ملاحظه ای بزرگتر از حالتی است که سکو با تسمه های فولادی به پایه ها مهار شده است. توجه به این نکته نیز لازم است که در مدل اصطکاک مورد استفاده در تحلیلها، فرض بر ثابت ماندن ضریب اصطکاک و نیروی کشش پیچها در طول اعمال زلزله است که در شرایط واقعی فرض صحیحی نبوده و دوران ترانس در عمل بیشتر از میزان پیش بینی شده در مدل تحلیلی خواهد بود. شکل ۱۲ نیز تاریخچه زمانی نیروی محوری در تسمه مهار سکو را تحت همان شتاب نگاشت ها نشان می دهد. با توجه به مقاومت تسلیم کششی حدود ۷۰ کیلونیوتن برای تسمه مورد نظر، مشاهده می شود که تسمه مهار در اثر زلزله تسلیم نشده و خطی باقی می ماند.



شکل ۱۱: تاریخچه زمانی دوران سکوی ترانس در مدل های تحلیلی (در دو حالت استفاده و عدم استفاده از مهار سکو)



شکل ۱۲: تاریخچه زمانی نیروی کششی تسمه مهار سکو در مدل تحلیلی دارای مهار

بنابراین ملاحظه میشود که در صورت عدم استفاده از تسمه مهار در اتصال سکوی ترانس به پایه ها، رسیدن نیروی وارد بر اتصال به حد مقاومت آن و در نتیجه، شکست پیوند اصطکاکی موجود در اتصال و در نهایت، دوران یا سقوط ترانس کاملاً محتمل خواهد بود. این نتیجه با میزان خسارات مشاهده شده در ترانسفورماتورهای توزیع هوایی در زلزله های مختلف کشور نیز همخوانی دارد. بر این اساس، تسمه مهار نقش قابل توجهی در کاهش آسیب پذیری لرزه ای ترانسهای پستهای هوایی داشته و استفاده از آن کاملاً ضروری است.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این بررسی بطور خلاصه شامل موارد ذیل است:

- (۱) از عوامل مختلف شکست، واژگونی و آسیب دیدگی جدی پایه های بتنی که در منطقه زلزله زده مشاهده شد می توان به مواد ذیل اشاره نمود:
 - استفاده از پایه های بتنی با رده مقاومتی پایین و نامتناسب با بارهای موجود
 - خوردگی شدید میلگردها و کیفیت نامناسب بتن پایه ها
 - بستر ضعیف و تکیه گاه نامناسب پایه های بتنی
 - فروریختن ساختمانهای مجاور
- (۲) برای تامین سختی کافی جهت کنترل تغییر مکان، باید بستر و تکیه گاه مناسب در هنگام اجرای پایه بتنی مطابق دستورالعمل نشریه ۳۷۴ اجرا گردد.
- (۳) استفاده از منحنی های ظرفیت لرزه ای مطابق مفاهیم دستورالعمل ارزیابی و بهسازی شبکه توزیع جهت اطمینان از کفایت پایه های جایگزین شده می تواند بسیار کاربردی باشد
- (۴) رایجترین حالت خرابی در پستهای هوایی، سقوط یا کج شدن ترانسفورماتور در جای خود است. این حالت خرابی عمدتاً بدلیل فقدان یا ناکافی بودن مهارها و ضعف اتصالات ترانس به پایه ها ایجاد میشود. گسیختگی اتصال میان ناودانیهای بلند و کوتاه سکوی تکیه گاهی از دلایل سقوط ترانس هوایی شهر شنبه بود.
- (۵) استفاده از مهار ضربدری و اتصالات مناسب جهت نگهداشتن ترانس در برابر تغییر مکان و شتابهای ناشی از زلزله روشی مناسب و مقرون به صرفه جهت جلوگیری از خسارات حاصل از زلزله در ترانسفورماتورهای هوایی است.

مراجع

آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (۱۳۸۴) استاندارد ۸۴-۲۸۰۰، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم

توانیر (۱۳۹۱) دستورالعمل ارزیابی آسیب پذیری و بهسازی لرزه ای شبکه های توزیع برق شهری

توانیر (۱۳۹۰) دستورالعمل تعیین الزامات، معیارهای ارزیابی فنی و آزمون پایه های بتنی مسلح چهار گوش

نشریه ۳۷۴، "مشخصات فنی عمومی و اجرایی خطوط توزیع برق هوایی و کابلی فشار متوسط و فشار ضعیف"، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور فنی، دفتر استانداردها

وبسایت "پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله" www.iiess.ac.ir

وبسایت "مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی" www.bhrc.ac.ir

Vaseghi Amiri, Naghipoor M and Jalali SG (2008) PERFORMANCE OF ROTATIONAL FRICTION DAMPER (RFD) IN STEEL FRAMES, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* October 12-17, Beijing, China

Zekavati A, Jafari MA, Rahnavard A, Yavartalab A and Samadi M (2013) DEVELOPMENT OF SEISMIC CAPACITY CURVE (S.C.C.) FOR POWER DISTRIBUTION CONCRETE POLES, *CIRE2013, 22nd International Conference on Electricity Distribution Stockholm*, 10-13

