



## آنالیز شکست برج های انتقال نیرو

احمد شوشتری<sup>۱</sup>، مصطفی صالحی احمدآباد<sup>۲</sup>، وهاب اسمعیلی<sup>۳</sup>، علیرضا نقوی ریابی<sup>۴</sup>

دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

[ashoosht@um.ac.ir](mailto:ashoosht@um.ac.ir)

### خلاصه

تخمین ظرفیت سازه های برج های انتقال نیرو به منظور ارزیابی دقیق خطوط انتقال و همچنین طراحی مناسب، ضروری می باشد. اما از آنجاکه طراحان براساس تحلیل های کشسان و بدون در نظر گرفتن اثرات خروج از مرکزیت بار در مقاطع نبشی و لغزش در اتصالات پیچی، این سازه ها را طراحی می کنند، درک رفتار واقعی این گونه سازه ها ضروری به نظر می رسد. از طرفی در تست های آزمایشگاهی در مقیاس واقعی مشاهده می شود که اختلاف زیاد در ظرفیت باربری و تغییر مکان های نهایی نمونه نسبت به آنچه که از تحلیل الاستیک به دست می آید، وجود دارد. در این مقاله مدل های عددی ارائه شده برای تحلیل دقیق برج های شبکه ای انتقال با اعضای نبشی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور از نرم افزار OpenSees برای انجام تحلیل ها استفاده شده است. برای بررسی رفتار اتصالات این گونه سازه ها، مدل استاتیکی مناسبی در نرم افزار وارد شده و از مدل تیرستون غیر خطی موجود در نرم افزار برای مدل سازی اجزای میله ای سازه استفاده شده است. به منظور بررسی صحت مدل سازی نیز نتایج اخذ شده از تحلیل عددی با آزمایش مقایسه گردید. نتایج تحلیل نشان می دهد، مدل هایی که اثر لغزش در اتصالات را در نظر نمی گیرند، رفتاری سخت تر با ظرفیت نهایی بیش تر را نشان می دهند و در نظر گرفتن لغزش در اتصالات پاسخ هایی بسیار مناسب و دقیق به دست خواهد داد.

کلمات کلیدی: برج های شبکه ای انتقال، OpenSees، لغزش اتصالات پیچی، اعضای نبشی، تحلیل غیرخطی

### ۱. مقدمه

برج های انتقال از عناصر حیاتی در خطوط انتقال هوایی می باشند. این عناصر، نقش مهمی در عملکرد سیستم های تولید برق ایفا می نمایند. این برج ها عمدتاً از اعضای با مقطع نبشی و با اتصالات پیچی ساخته می شوند. بنابراین بارگذاری این سازه ها با خروج از مرکزیت در محل اتصال همراه خواهد بود. تنوع اتصالات از دیدگاه های مختلف، تحلیل دقیق برج ها را به کمک روش های خطی کلاسیک با دشواری مواجه می سازد. افزون بر این به منظور ارزیابی قابلیت اطمینان خطوط انتقال و طراحی های مناسب جهت مهار برج ها، به ظرفیت نهایی آن ها نیاز بوده، بنابراین نمی توان از اثرات غیرخطی هندسی و مواد، همچنین لغزش در اتصالات چشم پوشی کرد. با این وجود بسیاری از برج های انتقال ساخته شده در سراسر دنیا بر پایه ی تئوری های الاستیک خطی و مدل های خرابی ایده آل محاسبه و اجرا شده اند.

آلبرمانی و همکاران [۱]، روش هایی برای مقاوم سازی برج های انتقال ارائه دادند و عملکرد آن ها را به صورت آزمایشگاهی و عددی مورد سنجش قرار دادند. یکی از این روش ها محدود کردن تغییر شکل های برون صفحه ای هر وجه برج، با افزودن یک دیافراگم می باشد. در سال ۱۹۹۶ میلادی، سانتاکومار و آلام [۲]، یک برج انتقال به ارتفاع ۳۴ متر و ظرفیت ۲۲۰ کیلوولت را تحت آزمایش قرار دادند. آنان دریافته اند که کماتش اعضای پایه ی برج و اعضای مقاطع پایینی، باعث شکست برج انتقال شده اند. آنان بر پایه ی نتایج آزمایش، کاهش حداکثر نسبت لاغری از ۱۵۰ به ۱۱۰ پیشنهاد نمودند. مومامورا و همکاران [۳] و او کامورا و همکاران [۴]، مشخصات دینامیکی برج های انتقال در مناطق کوهستانی را بر پایه ی داده های ارتعاشی ناشی از باد و همچنین بر پایه ی تحلیل عددی، مورد بررسی قرار دادند. در سال ۱۹۹۸ میلادی کیم و لی [۵]، یک برج انتقال به ارتفاع ۷۸ متر و ساخته شده از مقاطع لوله را تحت آزمایش قرار دادند. در سال ۲۰۰۷ میلادی، مون و همکاران [۶]، مدلی نیم مقیاس به منظور ارزیابی رفتار و مود شکست یک برج انتقال موجود تحت بار باد را تحت آزمایش قرار دادند. تحلیل عددی مقدماتی نیز به منظور ارزیابی پایداری و نیروی عضو نمونه تحت بار طراحی، انجام شد. آنان دریافته اند که کماتش موضعی

<sup>۱</sup> استادیار گروه مهندسی عمران  
<sup>۲،۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سازه  
<sup>۴</sup> دانشجوی دکتری سازه