۱۳۷۸/۷/۱۲
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده عمران

طرح بهینه برجهای انتقال نیرو

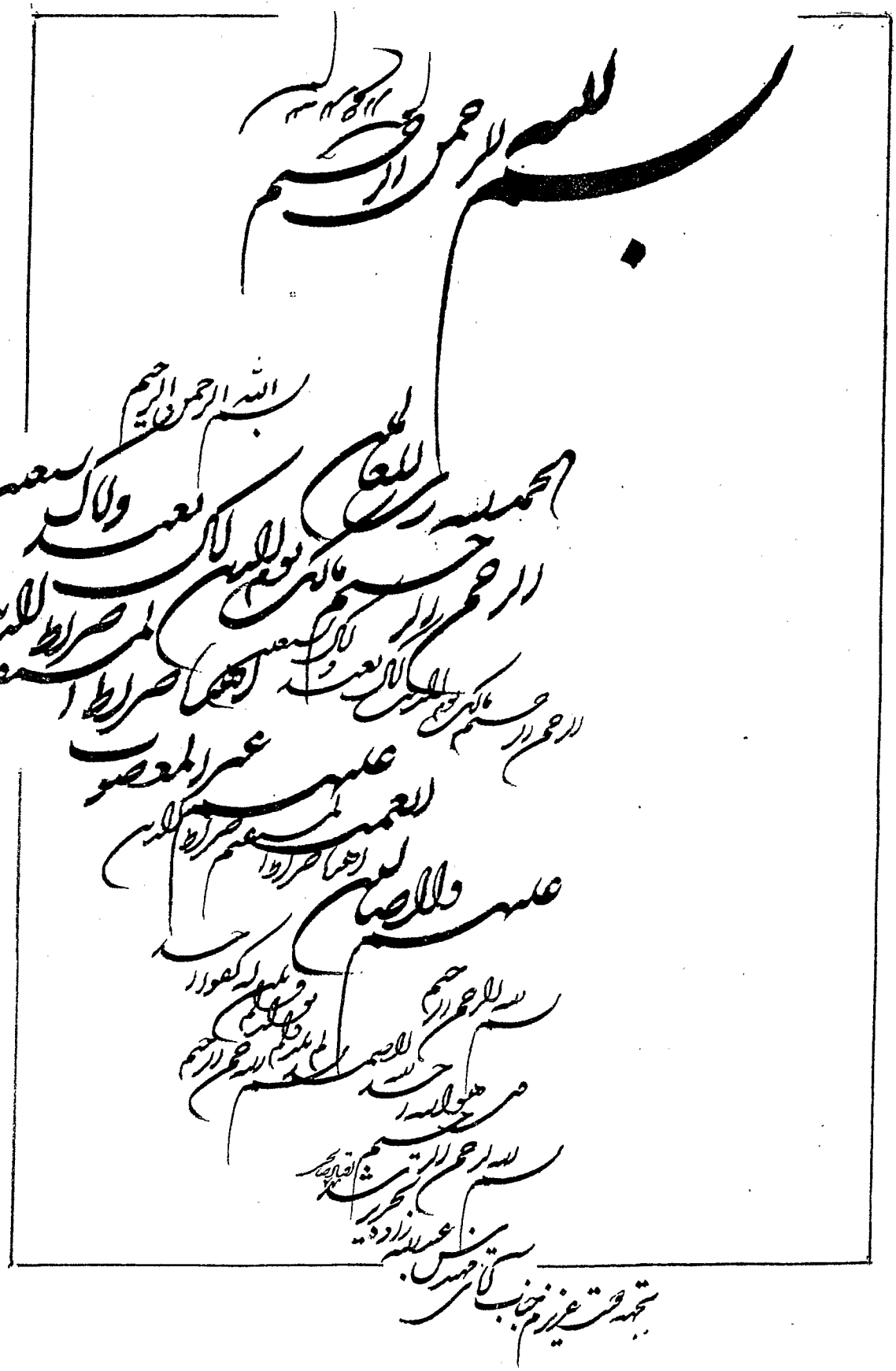
غلامرضا عبداله‌زاده

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته عمران - سازه

۱۰۴۲

استاد راهنما: دکتر رضا عباس‌نیا



با تقدیر و تشکر از زحمات

پدر و مادر بزرگوارم

و تقدیم به

همسر مهربانم

چکیده

گسترش روز افزون خطوط انتقال نیرو که دربرگیرندهٔ حجم بالائی از برجهای انتقال می‌باشد، اهمیت تحقیق و بررسی پیرامون برجهای انتقال را مشخص می‌نماید.به جهت هزینهٔ بالای استفاده از برجهای فولادی در خطوط انتقال نیرو، در این پروژه سعی شده است تا با جایگزینی بتن مسلح به جای فولاد در برجهای انتقال، از میزان هزینهٔ اجرای خطوط انتقال کاسته شود. لذا در این پروژه و جهت رسیدن به این هدف، به جای دو نوع برج انتقال فولادی خط ۶۳ کیلوولت، که شامل برج متشکله از نبشی برای دهانه طراحی ۳۰۰ متر و برج تلسکوپی برای دهانه طراحی ۱۵۰ متر می‌باشد، از برجهای بتنی به شکل استوانه‌های ناقص تو خالی که برای دو دهانه فوق الذکر در نظر گرفته شده‌اند، استفاده شده است. این برجهای بتنی پس از بررسی پایداری آنها تحت اثر نیروی وزن و سایر نیروهای وارد بر آنها، بر اساس آئین نامه ACI[1] طراحی شده‌اند .

پس از ارائه طرح اتصال قطعات پیش ساخته بتنی، این برجها بر اساس فهرست بهاء پایه سال ۷۷ برآورد هزینه شده و با برجهای فولادی موجود مقایسه شده‌اند که در مورد برج بتنی طرح شده برای دهانه حاکم ۱۵۰ متر، هزینهٔ برآورد شده حدود نصف هزینه تمام شده برج تلسکوپی موجود محاسبه شده است.

---

۱ – American Concrete institute

تقدیر و تشکر:

ضمن سپاس بیکران خداوند، برخود لازم می‌دانم از استاد محترم جناب آقای دکتر رضا عباس نیا که با ارائه راهنمایی‌های مدبرانه و دلسوزانه خود، نظارت و سرپرستی این پروژه را به عهده داشته‌اند، صمیمانه تشکر وقدردانی نمایم. همچنین از اعضای هیئت داوران به خاطر حضور در جلسه دفاعیه و فراهم نمودن امکان ارائه پر بار آن، صمیمانه تشکر نموده و سپاس خود را به حضورشان تقدیم می‌دارم.

در پایان از کلیه عزیزان مرکز تحقیقات نیرو (متن) و مهندسین مشاور نیرو که درجهت هر چه پر بارتر شدن این پروژه خالصانه همکاری نموده‌اند، کمال امتنان و تشکر را دارم.

شهریور ماه ۱۳۷۷

فهرست صفحه

چکیده ..... الف

فصل اول ۱

مقدمه ۱

فصل دوم ۵

اصطلاحات، مشخصات و بارگذاری خطوط انتقال ۵

۲ - ۱ - اصطلاحات خطوط انتقال ۶

۲ - ۱ - ۱ - برج آویزی ۶

۲ - ۱ - ۲ - برج زاویه ۶

۲ - ۱ - ۳ - برج کششی ۶

۲ - ۱ - ۴ - گوشواره (کراس آرم) ۶

۲ - ۱ - ۵ - مدار ۶

۲ - ۱ - ۶ - حداکثر شکم (فلش) ۶

۲ - ۱ - ۷ - دهانه (اسپن)باد ۷

۲ - ۱ - ۸ - دهانه (اسپن) وزن ۷

۲ - ۱ - ۹ - دهانه طراحی (دهانه حاکم) ۸

۲ - ۱ - ۱۰ - دهانه معادل ۸

۲ - ۲ - مشخصات خطوط انتقال ۹

۲ - ۲ - ۱ - ولتاژ خطوط ۹

۲ - ۲ - ۲ - هادی خطوط ۱۰

۲ - ۲ - ۳ - حداقل فاصلهٔ مجاز هادیها از زمین و سایر رساناها ۱۰

۲ - ۲ - ۴ - مقره (ایزولاتور) ۱۲

۲ - ۲ - ۵ - سیم زمین (سیم محافظ) ۱۴

۲ - ۲ - ۶ - معادله منحنی هادی ۱۶

۲ - ۲ - ۷ - معادله کشش هادی ۱۶

۲ - ۲ - ۸ - معادله تغییر وضعیت ۱۷

۲ - ۲ - ۹ - انحراف زنجیره مقره ۱۸

۲ - ۳ - بارگذاری خطوط انتقال ۲۰

۲ - ۳ - ۱ - مؤلفه‌های بارگذاری ۲۱

۲ - ۳ - ۱ - ۱ - بارهای قائم ۲۱

۲ - ۳ - ۱ - ۲ - بارهای جانبی ۲۲

فهرست صفحه

۲ - ۳ - ۱ - ۳ - بارهای طولی ۲۲
۲ - ۳ - ۲ - شرایط آب و هوائی و حالات بارگذاری ۲۳
۲ - ۳ - ۳ - ترکیبات بارگذاری ۲۳

فصل سوم ۲۷
پایداری برجهای بتنی ۲۷
۳ - ۱ - مقدمه ۲۸
۳ - ۲ - مشخصات برجها ۲۹
۳ - ۳ - بار بحرانی ۳۱
۳ - ۳ - ۱ - بار بحرانی برج تحت اثر نیروی گسترده وزن ۳۳
۳ - ۳ - ۲ -بار بحرانی برج تحت اثر نیروهای متمرکز ۳۶
۳ - ۳ - ۳ - باربحرانی برج بتنی تحت اثر توأم بارهای گسترده و متمرکز ۳۸
۳ - ۴ - بار بحرانی برج بلند بتنی ۳۹
۳ - ۵ - بار بحرانی برج کوتاه بتنی ۴۳

فصل چهارم ۴۷
طراحی برجهای بتنی ۴۷
۴ - ۱ - مقدمه ۴۸
۴ - ۲ - طرح برجها و گوشواره‌ها ۴۸
۴ - ۲ - ۱ - نیروی زلزله ۵۰
۴ - ۲ - ۲ - ترکیب بارگذاری و طرح آرماتورهای طولی و عرضی ۵۴
۴ - ۲ - ۳ - طراحی برجهای بلند ۵۸
۴ - ۲ - ۳ - ۱ - برج بلند نوع یک ۵۸
۴ - ۲ - ۳ - ۲ - برج بلند نوع دو ۶۰
۴ - ۲ - ۳ - ۳ -برج بلند نوع سه ۶۳
۴ - ۲ - ۳ - ۴ - برج بلند نوع چهار ۶۶
۴ - ۲ - ۴ - طراحی برجهای کوتاه ۶۶
۴ - ۲ - ۴ - ۱ - برج کوتاه نوع یک ۶۸
۴ - ۲ - ۴ - ۲ - برج کوتاه نوع دو ۶۸
۴ - ۲ - ۴ - ۳ - برج کوتاه نوع سه ۷۲
۴ - ۲ - ۴ - ۴ - برج کوتاه نوع چهار ۷۲
۴ - ۲ - ۴ - ۵ - برج کوتاه نوع پنج ۷۴

فهرست

صفحه

۴ - ۲ - ۴ - ۶ - برج کوتاه نوع شش ۷۴
۴ - ۲ - ۵ - طراحی گوشواره‌ها ۸۰
۴ - ۳ - اتصالات ۸۲
۴ - ۳ - ۱ - لهیدگی در لچکی: ۸۶
۴ - ۳ - ۲ - ضخامت ورق کف ۸۸
۴ - ۳ - ۳ - ارتفاع لچکی ۹۰
۴ - ۳ - ۴ - پیچ‌های اتصال ۹۲
۴ - ۳ - ۵ - طول مهاریها ۹۳
۴ - ۳ - ۶ - اتصال برج بلند نوع دو ۹۳
۴ - ۳ - ۷ - اتصالات برج کوتاه نوع یک ۹۴
۴ - ۳ - ۸ - اتصال گوشواره‌ها به بدنه برج ۹۴

فصل پنجم ۹۶
مقایسه اقتصادی برجها ۹۶
۵ - ۱ - مبنای مقایسه ۹۷
۵ - ۲ - مقایسه گوشواره‌های بتنی و فولادی ۹۸
۵ - ۳ - مقایسه برجهای بلند بتنی و فولادی ۹۸
۵ - ۴ - مقایسه برجهای کوتاه بتنی و فولادی ۱۰۲

فصل ششم ۱۰۶
نتایج و تحقیقات آتی ۱۰۶
۶ - ۱ - نتایج: ۱۰۷
۶ - ۲ - تحقیقات آتی ۱۰۸
پیوست الف ۱۱۰
آنالیز کامپیوتری برج بتنی ۱۱۰
فهرست مراجع ۱۱۵

فهرست جداول

جدول ۲ - ۱ - مشخصات سیم‌های هادی و زمین لینکس ۱۱
جدول ۲ - ۲ - مشخصات سیم‌های هادی و زمین هاوک ۱۱
جدول ۲ - ۳ - مشخصات سیم‌های هادی و زمین کاناری ۱۱
جدول ۲ - ۴ - مشخصات سیم‌های هادی و زمین کرلو ۱۲
جدول ۲ - ۵ - حداقل فاصلهٔ مجاز هادی از زمین به متر ۱۲
جدول ۲ - ۶ - حداقل فاصلهٔ مجاز هادی تا برج بر حسب متر ۱۲
جدول ۲ - ۷ - حداقل فاصلهٔ مجاز قائم بین هادیهای دو مدار مختلف بر روی یک برج
بر حسب متر ۱۳
جدول ۲ - ۸ - حداقل فاصلهٔ مجاز افقی بین هادیهای دو مدار مختلف با یک ولتاژ
واقع بر روی یک برج بر حسب متر ۱۳
جدول ۲ - ۹ - حداقل فاصلهٔ مجاز افقی بین هادیهای یک مدار بر روی یک برج
بر حسب متر ۱۳
جدول ۲ - ۱۰ - فاصله مجاز مقره تا بدنه برج در برجهای آویزی ۲۰
جدول ۲ - ۱۱ - فاصله مجاز جامپر تا بدنه برج در برجهای زاویه‌ای (شکل ۲-۹) ۲۰
جدول ۲ - ۱۲ - حالات مختلف بارگذاری در شرایط مختلف آب و هوایی ۲۴
جدول ۲ - ۱۳ - دهانه‌های حالت عادی و پارگی سیم بر حسب متر برای خط
۶۳ کیلو ولت ۲۵
جدول ۲ - ۱۴ - مؤلفه‌های کشش سیم‌وهادی بر حسب کیلوگرم برای خط ۶۳ کیلو ولت
با دهانه طراحی ۳۰۰ متر تحت بارگذاری سنگین ۲۵
جدول ۲ - ۱۵ - مؤلفه‌های کشش سیم‌وهادی بر حسب کیلوگرم برای خط ۶۳ کیلو ولت
با دهانه طراحی ۱۵۰متر تحت بارگذاری سنگین ۲۶
جدول ۳ - ۱ - تلاشهای انجام شده جهت تعیین برجهای پایدار بلند بتنی ۴۱
جدول ۳ - ۲ - برجهای پایدار بلند بتنی ۴۱
جدول ۳ - ۳ - تلاشهای انجام شده جهت تعیین برجهای پایدار کوتاه بتنی ۴۴
جدول ۳ - ۴ - برجهای پایدار کوتاه بتنی ۴۴
جدول ۳ - ۵ - تلاشهای انجام شده جهت تعیین گوشواره‌های پایدار ۴۶
جدول ۴ - ۱ - ضریب پریود ارتعاش برج (k) ۵۱
جدول ۴ - ۲ -نیروهای وارد بر مقاطع برج بلند نوع یک ۵۹
جدول ۴ - ۳ - طراحی مقطع K برج بلند نوع یک ۶۰
جدول ۴ - ۴ -نیروهای وارد بر مقاطع برج بلند نوع دو ۶۱
جدول ۴ - ۵ - طرح مقاطع برج بلند نوع دو ۶۲

فهرست جداول

صفحه

جدول ۴ - ۶ - نیروهای وارد بر مقاطع برج بلند نوع سه ۶۴
جدول ۴ - ۷ - طرح مقاطع برج بلند نوع سه ۶۵
جدول ۴ - ۸ - نیروهای وارد بر مقاطع برج بلند نوع چهار ۶۷
جدول ۴ - ۹ - طرح مقطع Kبرج بلند نوع چهار ۶۸
جدول ۴ - ۱۰ - نیروهای وارد بر مقاطع برج کوتاه نوع یک ۶۹
جدول ۴ - ۱۱ - طرح مقاطع برج کوتاه نوع یک ۷۰
جدول ۴ - ۱۲ - نیروهای وارد بر مقاطع برج کوتاه نوع دو ۷۱
جدول ۴ - ۱۳ - طرح مقطع H برج کوتاه نوع دو ۷۱
جدول ۴ - ۱۴ - نیروهای وارد بر مقاطع برج کوتاه نوع سه ۷۳
جدول ۴ - ۱۵ - طرح مقطع H برج کوتاه نوع سه ۷۳
جدول ۴ - ۱۶ - نیروهای وارد بر مقاطع برج کوتاه نوع چهار ۷۵
جدول ۴ - ۱۷ - طرح مقاطع برج کوتاه نوع چهار ۷۶
جدول ۴ - ۱۸ - نیروهای وارد بر مقاطع برج کوتاه نوع پنج ۷۷
جدول ۴ - ۱۹ - طرح مقاطع برج کوتاه نوع پنج ۷۸
جدول ۴ - ۲۰ - نیروهای وارد بر مقاطع برج کوتاه نوع شش ۷۹
جدول ۴ - ۲۱ - طرح مقطع H برج کوتاه نوع شش ۷۹
جدول ۴ - ۲۲ - نیروهای وارد بر انواع گوشواره‌های پایدار ۸۱
جدول ۴ - ۲۳ - طرح انواع گوشواره‌های پایدار ۸۱
جدول ۴ - ۲۴ - ضریب مؤثر در کمانش موضعی ۸۹
جدول ۴ - ۲۵ - قطعات مختلف اتصالات برج بلند نوع دو ۹۴
جدول ۴ - ۲۶ - قطعات مختلف اتصالات برج کوتاه نوع یک ۹۴
جدول ۴ - ۲۷ - قطعات مختلف اتصال گوشواره به بدنه برج ۹۵
جدول ۵ - ۱ - آیتم‌های مورد نیاز در برآورد اقتصادی برجها ۹۹
جدول ۵ - ۲ - برآورد هزینه ساخت گوشواره ۱۰۰
جدول ۵ - ۳ - برآورد هزینه ساخت برجهای بلند بتنی ۱۰۲
جدول ۵ - ۴ - برآورد هزینه ساخت برجهای کوتاه بتنی ۱۰۵

فهرست اشکال

شکل ۲ - ۱ - حداکثر شکم در هادی خطوط انتقال (f) ۷
شکل ۲ - ۲ - دهانه باد برجهای انتقال ($\frac{a+b}{۲}$) ۷
شکل ۲ - ۳ - دهانه وزن برجهای انتقال (c) ۷
شکل ۲ - ۴ - دهانه معادل برجهای انتقال ۸
شکل ۲ - ۵ - زاویه پوشش سیم زمین ۱۵
شکل ۲ - ۶ - معادله منحنی هادی ۱۶
شکل ۲ - ۷ - نیروهای وارد بر زنجیره مقره ۱۹
شکل ۲ - ۸ - نیروهای افقی وارد بر برج ۱۹
شکل ۲ - ۹ - فاصله مجاز جامپر تا بدنه برج ۲۰
شکل ۳ - ۱ - برج بتنی بلند خط ۶۳ کیلو ولت ۳۲
شکل ۳ - ۲ - برج بتنی کوتاه خط ۶۳ کیلو ولت ۳۲
شکل ۳ - ۳ - کمانش برج زیر اثر بارهای وارده ۳۵
شکل ۳ - ۴ - کمانش برج تحت اثر توأم بارهای متمرکز و گسترده ۳۹
شکل ۴ - ۱ - برج بتنی به شکل استوانهٔ ناقص توخالی ۵۰
شکل ۴ - ۲ - نمودار پله‌ای نیروی زلزله وارد بر برج بلند ۵۳
شکل ۴ - ۳ - نمودار پله‌ای نیروی زلزله وارد بر برج کوتاه ۵۳
شکل ۴ - ۴ - اتصال با جوش آرماتورهای طولی به ورقهای اتصال ۸۳
شکل ۴ - ۵ - تنشهای ایجاد شده در جوش اتصال آرماتور طولی به ورق اتصال ۸۴
شکل ۴ - ۶ - ورقها و لچکی‌های اتصال ۸۵
شکل ۴ - ۷ - هندسه قرارگیری هر لچکی در ورق کف ۸۷
شکل ۴ - ۸ - قطعه ورق کف تحت فشار ۸۹
شکل ۴ - ۹ - جفت ورق کف و لچکی‌های مابین آنها ۹۰
شکل ۴ - ۱۰ - اتصال گوشواره به بدنه برج ۹۵
شکل ۵ - ۱ - برج تلسکوپی خط ۶۳ کیلوولت ۱۰۱
شکل ۵ - ۲ - برج مشبک متشکله از نبشی در خط ۶۳ کیلوولت ۱۰۴

فهرست نمودار

نمودار ۳ - ۱ - تغییرات $\frac{q_u}{qcr}$ نسبت به قطر در برجهای بلند بتنی ۴۲

نمودار ۳ - ۲ - تغییرات $\frac{\overline{P_U}}{P'cr}$ نسبت به قطر در برجهای بلند بتنی ۴۲

نمودار ۳ - ۳ - تغییرات $\frac{q_u}{qcr}$ نسبت به قطر در برجهای کوتاه بتنی ۴۵

نمودار ۳ - ۴ - تغییرات $\frac{\overline{P_U}}{P'cr}$ نسبت به قطر در برجهای کوتاه بتنی ۴۵

نمودار ۴ - ۱ - تعیین مساحت و ممان اینرسی بخشی از دایره ۵۶

فصل اول

مقدمه

با گسترش روز افزون کاربرد وسایل الکتریکی که تمامی ابعاد زندگی انسان را در برگرفته‌اند، نیاز به انرژی الکتریکی به صورت امری حیاتی جلوه می‌کند. اگر چه در گذشته زندگی انسان به این انرژی وابسته نبوده است ، ولی پس از آنکه دراواسط دهه هجدهم میلادی این انرژی به صورت جریان مستقیم و با ولتاژ ضعیف تولید شد، تا حدودی اهمیت و ویژگیهای این انرژی مهم آشکارگردید. برای اولین بار در سال ۱۸۸۲ در اشتوتکارت نیروگاهی به وسیله آقای پی ریسنر[۱] تأسیس شد که قادر بود تنها روشنائی چند خانه را تامین کند و از همین زمان بود که مسئله انتقال این انرژی به محلهای مصرف به عرصه صنعت پا نهاد. [۲] با وجود آنکه در ابتدا انتقال این انرژی با توجه به پائین بودن ولتاژ و شدت جریان و مسافت کوتاه ما بین مرکز تولید و مصرف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار نبوده است، ولی امروزه با گسترش صنعت برق و تولید انرژی الکتریکی با ولتاژهای بسیار زیاد و با طولانی‌تر شدن مسافت ما بین مراکز تولید ومصرف، اهمیت این صنعت به روشنی آشکار می‌گردد.

در بخش انتقال این نیرو، برجها که وظیفهٔ حمل و هدایت هادیهای جریان از محل تولید به محلهای مصرف را بر عهده دارند، همانند سایر اجزاء این بخش از اهمیت خاصی برخوردارند. این برجها با ایجاد فاصلهٔ مجاز ما بین هادیهای خطوط انتقال و همچنین مابین این هادیها و زمین، امکان انتقال جریان با ولتاژهای مختلف در هادیها را فراهم‌می‌کنند. جهت انجام این وظیفه و تعیین شکل و ابعاد مناسب این برجها، عوامل و پارامترهای مختلفی وجود دارند که بخشی از آنها عبارتست از:

الف ـ عوامل مکانیکی:

۱- شرایط اقلیمی محیط که تعیین کنندهٔ نوع و مقدار بارگذاری وارد بر برج بوده و به سه دسته شرایط آب و هوائی سبک، متوسط و سنگین تقسیم بندی می‌شوندکه با سخت‌تر شدن شرایط آب و هوائی و بارگذاری وارد بر برج طبیعتاً نیاز به برج مستحکمتری می‌باشد.

۲- دهانه طراحی، که با افزایش آن نه تنها ارتفاع برج افزایش می‌یابد بلکه به دلیل افزایش طول دهانه بارگذاری، بر نیروهای وارد بر برج افزوده شده و نیاز به برج با استحکام بیشتری می‌باشد .

۳- شرایط توپوگرافی منطقه که بر ارتفاع و طول دهانه طراحی تأثیرگذاشته و در نتیجه ابعاد برج از آن تأثیر می‌پذیرد .

---

۱ – P.Reissner

ب - عوامل الکتریکی:

۱- ولتاژ اسمی خط که تعیین کنندهٔ نوع هادی و فاصله مابین هادیهاست که این امر به نوبهٔ خودبه ترتیب در میزان بارگذاری وارد بر برج و ارتفاع آن مؤثر است.

۲- تعداد مدارات گذرنده از هر برج که بر روی ارتفاع برج به طور مستقیم و بر روی بارگذاری وارد بر برج و در نتیجه استحکام برج به صورت غیر مستقیم موثر می‌باشد.

فولاد وگاهاً بتن مسلح تنها مصالحی هستند که برجهای انتقال نیرو را شکل می‌دهند. از میان برجها و پایه‌های خطوط انتقال تنها در خطوط توزیع نیرو با ولتاژ ۲۰KV است که معمولاً از بتن مسلح استفاده شده و تقریباً ما بقی برجهای خطوط انتقال از اقسام مختلف پروفیلهای فولادی و به شکل برج استاندارد متشکله از نبشی، برجهای تلسکوپی و در موارد نادر از برجهای میلگردی استفاده شده است. این برجها که از ماده پر ارزش فولاد شکل گرفته‌اند هزینه بسیار زیادی را بر خطوط انتقال نیرو تحمیل می‌نمایند. لذا جهت یافتن جایگزین مناسب و بهینه به جای فولاد، دراین پروژه بتن مسلح مورد تحقیق و بررسی قرار خواهد گرفت. اگر چه برج بتنی مسلح در مقایسه با برج فولادی دارای معایبی همچون هزینهٔ اضافی قالب بندی، عدم انعطاف پذیری در جداکردن و یا افزودن قطعه‌ای به یک برج بتنی سخت شده و وزن زیاد را داراست، ولی مزایائی نیز به همراه دارد که ذیلاً بر شمرده می‌شود:

۱- ضریب رسانائی الکتریکی آن در مقایسه با فولاد کمتر بوده و در نتیجه در انتخاب فواصل هوائی می‌توان به این نکته توجه داشت و فاصلهٔ مجاز تا بدنهٔ برج را کمتر و کوتاهتر درنظر گرفت.

۲- در مقابل آتش سوزی و حرارت زیاد مقاومت نسبتاً خوبی از خود نشان داده و سریعاً ذوب نشده و تخریب نمی‌گردد.

۳- تولید میلگردهای مصرفی در بتن مسلح در مقایسه با سایر پروفیلهای تشکیل دهندهٔ برجها آسانتر و سهلول وصولتر بوده و درواحد وزن از قیمت کمتری برخوردار می‌باشند.

۴- اگر چه هزینهٔ قالب بندی بخش مهمی از هزینه‌های تولید برجهای بتنی و سایر سازه‌های بتنی را تشکیل می‌دهد، ولی با بکار بردن قالبهای فلزی که به طور مکرر می‌توان از آنها استفاده کرد، این هزینه نیز تا حد زیادی کاهش می‌یابد.

۵- جهت کاهش زمان ساخت و نصب برجهای بتنی، این برجها به صورت قطعات پیش ساخته در کارخانه ساخته شده و درکارگاه در زمان نسبتاً کوتاهی بر روی یکدیگر نصب خواهند شد.