

از مراجعات وزارت علوم  
تایید شده است

بسم الله الرحمن الرحيم

۲۴ / ۱۰ / ۱۳۸۰

## بهبود یابی برجهای خنک کن بتنی تحت اثر نیروی زلزله

بوسیله

همایون سامانی

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی بعنوان بخشی از  
فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی عمران-سازه

از

دانشگاه شیراز

شیراز، ایران

015817

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: عالی

امضاء اعضای کمیته پایان نامه:

دکتر خجسته بخت، دانشیار مهندسی عمران (رئیس کمیته)..... ز. ط. ر.

دکتر ناصر طالب بیدختی، استادیار مهندسی عمران.....

دکتر محسن متین، استادیار مهندسی مکانیک.....

خردادماه ۱۳۷۲

۳۸۹۸۱

تقدیم به :

همسر و خانواده ام که مرا در تمامی مراحل زندگی یاری نموده اند.

## سپاسگزاری

اکنون که بیاری خداوند متعال نگارش این رساله پایان رسیده است لازم می دانم که از تلاشهای بیدریغ و همه جانبه استاد عزیز و گرامی جناب آقای دکتر خجسته بخت ، دانشیار محترم بخش مهندسی راه و ساختمان بخش مهندسی راه و ساختمان دانشگاه شیراز که هدایت این رساله را از ابتدا بر عهده داشته اند و در امر راهنمایی ، بررسی ، تکمیل و بثمررسانیدن آن متحمل زحمات زیادی شده اند و شکل گیری این رساله در طول تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد نتیجه زحمات ایشان بوده است، کمال تشکر را بنمایم. در این رابطه راهنمایی ها و نظارات ارزشمند دیگر اعضای محترم کمیته پایان نامه، آقایان دکتر طالب بیدختی، دکتر متین و همچنین جناب آقای دکتر رخشنده رو و دیگر اساتید محترم بخش مهندسی راه و ساختمان نیز از دیده دور نیست.

## چکیده

### بهینه یابی برجهای خنک کن بتنی تحت اثر نیروی زلزله

بوسیله

همایون سامانی

با توجه به افزایش ساخت نیروگاههای تولید برق، پالایشگاهها و کارخانجات صنعتی مختلف، تأمین یک سیستم سرمایشی مناسب و مقرون به صرفه یکی از اهداف مهم و قابل بررسی اینگونه پروژه ها است. یکی از راههای تأمین آن استفاده از برجهای خنک کن طبیعی است و با توجه به هزینه نسبتاً بالای ساخت و اجرا، متعاقباً مسئله بهینه یابی برج نیز مطرح می گردد. برای این منظور علاوه بر در نظر گرفتن ملاحظات ترمودینامیکی، ملاحظات سازه ای از قبیل مقاومت کافی، پایداری کلی، موضعی و امثال آن را نیز باید رعایت نمود.

هدف از نگارش این رساله، ارائه روشی برای بهینه یابی برجهای خنک کن طبیعی است. قیود سازه ای مانند محدودیت ضخامت، کنترل کمانش موضعی پوسته در نقاط مختلف ناشی از اندرکنش تنشهای بوجود آمده از ترکیب نیروی وزن و زلزله و کنترل کمانش پوسته در لبه فوقانی آن تحت اثر فشار باد نیز اعمال می گردد. بهینه یابی با توجه به ملاحظات ترمودینامیکی برج خنک کن، متغیرهای طراحی (ارتفاع ستون، ارتفاع پوسته و شعاع لبه تحتانی پوسته) را مرتباً تغییر داده و با آنالیز برج تحت اثر نیروی وزن و زلزله و اعمال قیود فوق الذکر، شکل بهینه پوسته و وزن بهینه آن را محاسبه می نماییم. حال با رسم متغیر  $H_{Total}$  (مجموع ارتفاع پوسته و نصف ارتفاع

ستونها) بر حسب  $\Gamma_b$  (شعاع لبه تحتانی پوسته) و رسم منحنی های میزان وزن، حداقل وزن و پارامترهای  $H_{total}$  و  $\Gamma_b$  نظیر آن را یافته و سایر پارامترهای هندسی برج خنک کن را بدست می آوریم. سپس با انجام بهینه یابی مجدد با روش مذکور مشخصات برج بهینه شده نهایی را محاسبه می کنیم.

در این رساله به منظور آنالیز برج خنک کن تحت اثر نیروی زلزله، برج خنک کن به صورت تیر طره تیموشنکو با المانهای حلقوی با تکیه گاهی شامل سه فنر افقی، عمودی و پیچشی در نظر گرفته شده است. روش محاسبه فرکانسهای طبیعی و مودهای ارتعاشی، روش ماتریس انتقال بوده و برای محاسبه بازتاب سازه تحت اثر نیروهای دینامیکی زلزله از روش طیف بازتاب طرح و روش ترکیب مودها و برای آنالیز برج خنک کن تحت اثر نیروی وزن از تئوری غشایی پوسته ها استفاده شده است.

ثابت‌های طراحی مسئله شامل نسبت ارتفاع گلوگاه به ارتفاع پوسته و زاویه شیب پایه و مقدار  $A^2H$  است. مقدار  $A^2H$  با استفاده از داده های ترمودینامیکی مسئله محاسبه شده است. قیود مسئله همانگونه که ذکر شد کلاً بر روی پروفیل ضخامت پوسته اعمال می شوند تا پروفیل بهینه ضخامت پوسته حاصل گردد

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
نه	فهرست جداول .....
هـ	فهرست اشکال .....
سیزده	فهرست علائم اختصاری .....
۱	فصل اول - مقدمه و آشنایی .....
۷	۱-۱- خلاصه ای راجع به آنالیز برجهای خنک کن تحت..... اثر نیروی زلزله
۹	۲-۱- خلاصه ای راجع به بهینه یابی برجهای خنک کن بتنی.....
۱۰	۳-۱- طراحی ترمودینامیکی برجهای خنک کن.....
۱۳	فصل دوم - مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه بهینه یابی .....
	برجهای خنک کن
۱۶	فصل سوم - بهینه یابی برج خنک کن - بیان مسئله.....
۱۹	فصل چهارم - آنالیز برج خنک کن تحت اثر نیروی زلزله .....
۱۹	۱-۴- مدلسازی برج خنک کن .....
۲۱	۲-۴- آنالیز ارتعاش آزاد برج خنک کن .....
۲۲	۳-۴- محاسبه فرکانسهای طبیعی و مودهای ارتعاش .....
۲۹	۴-۴- روش آنالیز برج خنک کن تحت اثر نیروی زلزله .....
۳۱	۵-۴- مدل رفتاری برج خنک کن .....

صفحه	عنوان
۳۵	۶-۴- محاسبه ماتریس سختی تکیه گاه و نیروهای داخلی ستونها.....
۴۲	فصل پنجم- آنالیز برج خنک کن تحت اثر نیروی وزن .....
۴۶	فصل ششم- فرضها ، ثابتها و متغیرهای طراحی .....
۴۸	فصل هفتم- قیدهای طراحی .....
۴۸	۱-۷- قیدهای هندسی .....
۴۸	۱-۱-۷- قید مربوط به حداقل ضخامت پوسته .....
۴۹	۲-۷- قیدهای رفتاری .....
۴۹	۱-۲-۷- قید مربوط به کنترل ضخامت پوسته در لبه .....
	فوقانی آن به منظور جلوگیری از کمانش موضعی
	لبه فوقانی پوسته ناشی از فشار باد
۵۲	۲-۲-۷- قید مربوط به کنترل ضخامت پوسته به .....
	منظور جلوگیری از کمانش موضعی ناشی از اندرکنش
	تنشهای حاصل از ترکیب نیروی وزن و زلزله
۵۴	فصل هشتم- طراحی ترمودینامیکی برج خنک کن .....
۶۲	فصل نهم- روش حل مسئله بهینه یابی .....
۶۲	۱-۹- محاسبه مشخصات هندسی برج خنک کن .....
۶۵	۲-۹- بهینه یابی برج خنک کن .....
۶۷	فصل دهم- شرح برنامه کامپیوتری .....
۷۰	۱-۱۰- نحوه وارد کردن اطلاعات .....
۷۱	۲-۱۰- فایل اطلاعات خروجی .....
۷۳	فصل یازدهم- مثالهای حل شده .....
۱۱۶	فصل دوازدهم- نتیجه گیری .....

صفحه	عنوان
۱۱۶	۱-۱۲- کنترل نتایج برنامه کامپیوتری .....
۱۱۷	۲-۱۲- تفسیر نتایج بدست آمده .....
۱۲۰	پیوست - لیست برنامه کامپیوتری بهینه یابی برجهای خنک کن بتنی
۱۵۷	مراجع .....

چکیده و صفحه عنوان به انگلیسی



## فهرست جداول

صفحه	جدول
۵۰	(۱-۷) مقدار ضریب توزیع فشار باد در روی دایره مداری .....
۵۱	(۲-۷) جدول محاسبه ضریب آشفستگی فشار باد .....

## فهرست اشکال

صفحه	شکل	
۲	(۱-۱)	قسمتهای مختلف یک سیستم باز .....
۳	(۲-۱)	قسمتهای مختلف یک سیستم بسته .....
۵	(۳-۱)	قسمتهای مختلف یک برج خنک کن .....
۲۰	(۱-۴)	مدل فضایی برج خنک کن .....
۲۱	(۲-۴)	مدل صفحه ای برج خنک کن .....
۳۱	(۳-۴)	مدل رفتاری برج خنک کن .....
۳۵	(۴-۴)	انواع مختلف ستونهای برج خنک کن .....
۳۶	(۴-۵-الف)	مختصات کلی تکیه گاه .....
۳۶	(۴-۵-ب)	مدلسازی تکیه گاه پوسته برج و جهت نیروها و تغییر مکانها .....
۳۷	(۴-۶-الف)	جهت مثبت نیروها و تغییر مکانها .....
۳۷	(۴-۶-ب)	جهت مختصات قراردادی سرستونها .....
۴۲	(۱-۵)	مشخصات هندسی یک برج خنک کن .....
۵۷	(۱-۸)	نمونه ای از مبدلهای حرارتی مورد استفاده در برجهای خنک کن ..
۵۸	(۲-۸)	نمونه ای از لوله های پره دار .....
۶۰	(۳-۸)	تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولد برای یک نمونه .....
		لوله پره دار
۶۳	(۱-۹)	پارامترهای هندسی یک برج خنک کن .....
۷۴	(۱-۱۱)	مشخصات هندسی برج خنک کن مثال (۱) .....

## شکل

## صفحه

- ۷۹ ..... (۲-۱۱) منحنیهای نصف النهاری برجهای بهینه شده مثال (۱)
- ۸۰ ..... (۳-۱۱) وزن برجهای بهینه شده مثال (۱)
- ۸۱ ..... (۴-۱۱) منحنیهای میزان وزن برجهای بهینه شده مثال (۱)
- ۸۲ ..... (۵-۱۱) منحنی نصف النهاری برج خنک کن اولیه و برج بهینه  
شده مثال (۱)
- ۸۳ ..... (۶-۱۱) مشخصات هندسی برج خنک کن مثال (۲)
- ۸۷ ..... (۷-۱۱) منحنیهای نصف النهاری برجهای بهینه شده مثال (۲)
- ۸۸ ..... (۸-۱۱) وزن برجهای بهینه شده مثال (۲)
- ۸۹ ..... (۹-۱۱) منحنیهای میزان وزن برجهای بهینه شده مثال (۲)
- ۹۰ ..... (۱۰-۱۱) منحنی نصف النهاری برج خنک کن اولیه و برج بهینه  
شده مثال (۲)
- ۹۱ ..... (۱۱-۱۱) مشخصات هندسی برج خنک کن مثال (۳)
- ۹۴ ..... (۱۲-۱۱) منحنیهای نصف النهاری برجهای بهینه شده مثال (۳)
- ۹۵ ..... (۱۳-۱۱) وزن برجهای بهینه شده مثال (۳)
- ۹۶ ..... (۱۴-۱۱) منحنیهای میزان وزن برجهای بهینه شده مثال (۳)
- ۹۷ ..... (۱۵-۱۱) منحنی نصف النهاری برج خنک کن اولیه و برج بهینه  
شده مثال (۳)
- ۹۸ ..... (۱۶-۱۱) مشخصات هندسی برج خنک کن مثال (۴)
- ۱۰۲ ..... (۱۷-۱۱) منحنیهای نصف النهاری برجهای بهینه شده مثال (۴)
- ۱۰۳ ..... (۱۸-۱۱) وزن برجهای بهینه شده مثال (۴)
- ۱۰۴ ..... (۱۹-۱۱) منحنیهای میزان وزن برجهای بهینه شده مثال (۴)
- ۱۰۵ ..... (۲۰-۱۱) منحنی نصف النهاری برج خنک کن اولیه و برج بهینه

شده مثال (۴)

- ۱۰۶ ..... (۲۱-۱۱) مشخصات هندسی برج خنک کن مثال (۵) ..... (۵)
- ۱۱۰ ..... (۲۲-۱۱) منحنیهای نصف النهاری برجهای بهینه شده مثال (۵) ..... (۵)
- ۱۱۱ ..... (۲۳-۱۱) وزن برجهای بهینه شده مثال (۵) ..... (۵)
- ۱۱۲ ..... (۲۴-۱۱) منحنیهای میزان وزن برجهای بهینه شده مثال (۵) ..... (۵)
- ۱۱۳ ..... (۲۵-۱۱) منحنی نصف النهاری برج خنک کن اولیه و برج بهینه ..... (۵)

شده مثال (۵)

- ۱۱۴ ..... (۲۶-۱۱) طیف بازتاب طرح نیروگاه فارس ..... (۵)
- ۱۱۵ ..... (۲۷-۱۱) مشخصات مبدل‌های حرارتی استفاده شده در مثالها ..... (۵)
- ۱۱۶ ..... (۱-۱۲) مقایسه تغییرات تنش نصف النهاری در ارتفاع برج محاسبه ..... (۵)

شده توسط برنامه کامپیوتری و برنامه SAP

- ۱۱۷ ..... (۲-۱۲) مقایسه تغییرات تنش برشی در ارتفاع برج محاسبه ..... (۵)

شده توسط برنامه کامپیوتری و برنامه SAP

- ۱۱۸ ..... (۳-۱۲) تغییرات وزن برج بر حسب زاویه شیب پایه ..... (۵)
- ۱۱۹ ..... (۴-۱۲) تغییرات وزن برج بر حسب نسبت ارتفاع گلوگاه به ارتفاع پوسته ..... (۵)

## فهرست علائم اختصاری

علامت	شرح
$w$	جابجایی جانبی المان در امتداد محور Z
$u$	جابجایی محوری هر المان
$\phi$	دوران انتهای هر المان
$Q$	نیروی برشی
$N$	نیروی محوری
$M$	لنگر خمشی
$[ ]$	بردار
$[V]$	بردار تغییر شکل
$[P]$	بردار نیروهای داخلی
$[Z_i]$	بردار حالت نقطه $i$
$[U]$	ماتریس میدان
$[U_F]$	ماتریس مشخص کننده اثرات تکیه گاه پوسته
$k_w$ و $k_\phi$ و $k_{w\phi}$	ضرائب سختی تکیه گاه پوسته
$\phi_n$	مودهای ارتعاش
$\eta$	مختصات مودها
$\zeta$	درصد میرایی
$Z_g$	شتاب پایه

علامت

شرح

$\mu(x)$	جرم واحد طول هر المان
$w_i(x)$	بردارهای مشخصه جابجایی
$q(x)$	نیروهای گسترده جانبی
$n_{11}$ و $n_{12}$	نیروهای داخلی هر المان
$\varepsilon$	زاویه شیب منحنی نصف النهاری با محور قائم
$\theta$	زاویه مداری
$r$	شعاع هر المان
$h$	ضخامت هر المان
$EI_Y$	سختی خمشی هر المان در جهت Y
$GA_S$	سختی برشی هر المان
$i_y$	شعاع ژیراسیون مقطع
$R$	شعاع افقی پوسته
$H$	ارتفاع پوسته
$\gamma_b$	ضریب اطمینان کمانش موضعی
$q_c$	فشار باد
$E$	مدول الاستیسیته
$t$	ضخامت پوسته
$r_t$	شعاع گلوگاه
$q_{10}$	فشار مبنای باد در ارتفاع ۱۰ متری
$V_{10}$	سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری
$C_z$	ضریب توزیع فشار باد در ارتفاع برج

علامت

شرح

$z$	ارتفاع از سطح زمین
$C_\theta$	ضریب توزیع فشار باد در امتداد مداری
$C_g$	ضریب اثرات آشفتگی در فشار باد و رزونانس
$\sigma_\theta, \sigma_\phi$	تنشهای شعاعی و نصف النهاری
$\sigma_{\theta c}, \sigma_{\phi c}$	تنشهای بحرانی کمانشی شعاعی و نصف النهاری
$v$	ضریب پواسون
$r_b$	شعاع لبه تحتانی پوسته
$H_t$	ارتفاع گلوگاه از لبه تحتانی
$G$	ظرفیت حرارتی نیروگاه
$C_p$	ظرفیت گرمایی ویژه
$m$	دبی وزنی آب یا هوا
$\Delta T$	تغییر درجه حرارت آب یا هوا
$Q$	دبی حجمی آب یا هوا
$\rho$	دانسیته آب یا هوا
$V_a$	سرعت هوا
$A_a$	سطح مقطع گذر جریان هوا
$\Delta\rho$	اختلاف دانسیته هوای داخل و خارج برج
$\rho_{2a}$	دانسیته هوای داخل برج
$g$	شتاب جاذبه زمین
$N$	ضریب افت فشار
$h_c$	ارتفاع ستونها