



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



۱۳۸۶ / ۱۱ / ۲۵

۴۴۷۹



دانشگاه سوادکوه

دانشگاه زنجان  
دانشکده مهندسی

پایان نامه  
جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی سازه

عنوان:

پاسخ ساختمان های بلند مستطیلی در برابر نیروهای  
دینامیکی باد

اساتید راهنما:

دکتر سیدهاشم موسوی  
دکتر هوشیار ایمانی کله سر

استاد مشاور:

دکتر علی جعفروند

پژوهشگر:

افشین ناصری

۲۵ / ۱۱ / ۱۳۸۶

آبان ماه ۱۳۸۶

۴۶۶۶۹

کتابخانه اطلاعات زبان علمی زنجان  
تاسیس ۱۳۸۰

شماره: ۳۰۲/۱۷۴۶۳

تاریخ: ۸۹/۸/۲۰

پوسته:

پسته عالی



### موردنامه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته: هسپان - سان

آقای اذهرن نامیری

تمت به عنوان: پاسخ ساختمانهای بلند مستطیلی در برابر نیروهای دینامیکی باد

که در تاریخ ۸۶/۸/۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه زنجان برگزار گردید به شرح زیر است:

مردود

دفاع مجدد

تاریخ: ۱۹/۱۵

محل: عالی

قبول (با درجه)

۱. عالی (۱۸-۶۰)

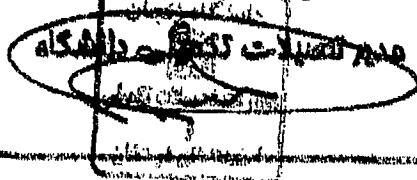
۲. بسیار خوب (۱۶-۱۷/۹۹)

۳. خوب (۱۲-۱۵/۹۹)

۴. قابل قبول (۱۲-۱۳/۹۹)

ردیف	حضور هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱	استاد راهنما	دکتر هوشیار ایچانی	استادیار	
۲	استاد راهنما	دکتر سیدهاشم موسوی	استادیار	
۳	استاد مشاور	دکتر علی جعفروند	استادیار	
۴	استاد ممتحن	دکتر فریدون رضایی	استادیار	
۵	استاد ممتحن	دکتر پیام اشتری	استادیار	
۶	نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر پیام اشتری	استادیار	

دکتر محمدحسین اشرفی



## تقدیر و تشکر

سپاس خدا را که سخنوران در ستودن او بمانند و شمارگران شمردن، نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. خدایی که پای اندیشه تیزگام در راه شناسایی او لنگ است و سرفکرت ژرف رو به دریای معرفتش بر سنگ.

بر خود واجب می دانم که از عنایات و زحمات تنی چند از اساتید فرهیخته که منت پذیر ایشان بوده و در طول تحصیل از راهنمایی های خالصانه ی آنان بهره گرفته ام، صمیمانه سپاسگزاری نمایم. به ویژه، از اساتید ارجمند جناب آقایان دکتر هوشیار ایمانی کله سر و دکتر سید هاشم موسوی که در تدوین این رساله از راهنمایی های عالمانه ی ایشان استفاده نموده ام و همچنین از جناب آقای دکتر علی جعفروند که زحمت مشاوره ی این رساله را تقبل نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از خانواده ی عزیزم و کلیه دوستانی که از سر لطف مرا مورد محبت قرار داده و همواره مشوق بنده بوده اند و از آقایان مهندسین نادر بهشتی، فرهاد احدی عالی، مهدی ودودی، اسلام دوستدار و فرید صالحی عالی که در تدوین این رساله بنده را یاری نموده اند و نیز از محبت های بی دریغ و دلسوزانه ی همسرم که در تمامی مراحل زندگی و تحصیل یار و یاورم بوده است، تشکر می نمایم.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
علائم و سمبل ها	۱
چکیده	۵
فصل اول: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- ضرورت مطالعه	۳
۳-۱- اهداف و موضوعات مورد مطالعه	۴
فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی	۵
۱-۱- مقدمه	۶
۲-۲- مروری بر گذشته	۶
۱-۲-۲- تاریخچه مهندسی باد	۶
۳-۲- انواع سازه ها	۱۱
۴-۲- پاسخ ساختمان های بلند	۱۲
۱-۴-۲- پاسخ ساختمانهای بلند در امتداد وزش باد	۱۲
۲-۴-۲- پاسخ ساختمانهای بلند در جهت عمود بر باد	۱۴
۳-۴-۲- پاسخ پیچشی ساختمانهای بلند	۲۱
۵-۲- آثار اندرکنش (همجواری)	۲۷
فصل سوم: بررسی پارامترهای لازم باد و ساختمان برای محاسبه پاسخ ساختمان های بلند در برابر نیروهای باد	۳۱
۱-۲-۳- تعریف ساختمان بلند	۳۲
۳-۱-۳- تاریخچه ساختمان های بلند	۳۳
۲-۳- لزوم آشنایی مهندس طراح با مطالعات جوی	۳۷
۱-۲-۳- مقدمه	۳۷
۲-۲-۳- پدیده باد	۳۷
۳-۲-۳- تقسیم بندی زمین در مطالعات جوی	۳۸
۴-۲-۳- تغییرات سرعت میانگین باد با ارتفاع از سطح زمین	۳۹
۱-۴-۲-۳- تغییرات سرعت باد در زمین های دارای نا همواری های یکنواخت	۳۹
۲-۴-۲-۳- بستگی سرعت های باد در بافتهای مختلف زمین	۴۱
۳-۴-۲-۳- ارتباط سرعت میانگین باد با زمان میانگین گیری	۴۲

۴۴	..... شدت آشفته‌گی (تلاطم)..... ۵-۲-۳
۴۵	..... مفهوم تلاطم..... ۶-۲-۳
۴۶	..... سرعت تند باد و ضریب تندباد..... ۷-۲-۳
۴۷	..... ضریب تند باد در استاندارد ANSI A58.1-1982..... ۱-۷-۲-۳
۴۸	..... احتمالات در وقوع باد..... ۸-۲-۳
۵۰	..... ضرورت طراحی برای نیروهای جانبی در ساختمان‌های بلند..... ۳-۳
۵۱	..... پایداری ساختمان..... ۴-۳
۵۱	..... لنگر واژگونی..... ۱-۴-۳
۵۱	..... نسبت ارتفاع به عرض..... ۲-۴-۳
۵۲	..... اثر $P-\Delta$ ..... ۳-۴-۳
۵۲	..... تغییر مکان جانبی..... ۵-۳
۵۳	..... واکنش روانی انسان به ارتعاش سازه‌ها..... ۶-۳
<b>۵۶</b>	<b>..... فصل چهارم: پدیده‌های آیروداستیکی.....</b>
۵۷	..... نیروهای حاصل از جریان هوا در اطراف اجسام هواپند..... ۱-۴
۵۸	..... خصوصیات جریان متوسط..... ۲-۴
۵۸	..... خصوصیات جریان نوسانی..... ۳-۴
۶۱	..... پدیده جریان‌های گردابه..... ۴-۴
۶۲	..... طبیعت دینامیکی اندرکنش باد و سازه..... ۵-۴
۶۳	..... نیروهای آیروداستیک..... ۶-۴
۶۴	..... پدیده تازش..... ۱-۶-۴
۶۶	..... قفل شدگی..... ۲-۶-۴
<b>۶۹</b>	<b>..... فصل پنجم: پاسخ ساختمان‌های بلند در برابر اثر باد.....</b>
۷۰	..... مقدمه..... ۱-۵
۷۲	..... پاسخ ساختمان‌های بلند در امتداد باد..... ۲-۵
۷۲	..... روش ضریب تندباد داونپورت..... ۱-۲-۵
۷۴	..... تعیین جابجایی میانگین (استاتیکی)..... ۱-۱-۲-۵
۷۵	..... تعیین جابجایی پیشینه (دینامیکی)..... ۲-۱-۲-۴
۷۹	..... تعیین شتاب پیشینه..... ۳-۱-۲-۵
۸۴	..... پاسخ ساختمان‌های بلند در جهت عمود بر امتداد باد..... ۳-۵
۸۶	..... تعیین پاسخ عرضی ساختمان‌های بلند با استفاده از طیف نیرو..... ۱-۳-۵
۸۷	..... محاسبه توابع تبدیل طیف سرعت به نیرو..... ۲-۳-۵

- ۳-۳-۵- اثر ابعاد سازه ..... ۸۹
- ۳-۳-۵ - محاسبه تابع تبدیل چگالی طیفی نیرو به تغییر مکان ..... ۹۰
- ۵-۳-۵- تعیین شتاب پیشینه عرضی ساختمان‌های بلند ..... ۹۳
- فصل ششم: بررسی آثار همجواری بر روی پاسخ ساختمانهای بلند ..... ۱۰۲**
- ۱-۶- مدل‌های مورد استفاده برای بررسی آثار همجواری ساختمانهای بلند در تونل باد ..... ۱۰۳
- ۱-۱-۶- مدل آیرودلاستیک ..... ۱۰۳
- ۲-۱-۶- مدل‌های صلب ..... ۱۰۶
- ۲-۶- تشریح روند انجام کار ..... ۱۰۶
- ۱-۲-۶- پاسخ عرضی ساختمانهای بلند با در نظر گرفتن آثار همجواری ..... ۱۰۶
- ۳-۶- بررسی آثار ساختمان مجاور بر روی طیف نیروی عرضی ساختمان اصلی ..... ۱۰۹
- ۱-۳-۶- طیف نیروی عرضی بی بعد مدل آیرودلاستیک با همجواری مدل M1 ..... ۱۰۹
- ۲-۳-۶- طیف نیروی عرضی بی بعد مدل آیرودلاستیک با همجواری مدل M2 ..... ۱۱۰
- ۳-۳-۶- طیف نیروی عرضی بی بعد مدل آیرودلاستیک با همجواری مدل M3 ..... ۱۱۲
- ۴-۶- بررسی آثار ساختمان مجاور بر روی تغییر مکان عرضی ساختمان اصلی ..... ۱۱۳
- ۱-۴-۶- ضرایب اندرکنش برای مدل آیرودلاستیک با همجواری مدل M1 ..... ۱۱۳
- ۳-۴-۶- ضرایب اندرکنش برای مدل آیرودلاستیک با همجواری مدل M3 ..... ۱۱۶
- فصل هفتم: بررسی پاسخ‌های دینامیکی ساختمان‌های بلند مستطیلی شکل در ابعاد مختلف ... ۱۳۲**
- ۱-۷- مشخصات فیزیکی و دینامیکی نمونه ساختمان‌های بلند ..... ۱۳۳
- ۱-۱-۷- مشخصات فیزیکی نمونه ساختمان‌های مورد بحث ..... ۱۳۳
- ۲-۱-۷- مشخصات دینامیکی (شرایط جوی و تقسیم بندی زمین) برای نمونه ساختمان‌های مورد بحث ..... ۱۳۴
- ۲-۷- تعیین پاسخ‌های نمونه ساختمان‌های مورد بحث در برابر نیروهای باد ..... ۱۳۵
- ۳-۷- اثر تغییرات پارامتر  $\alpha$  بر روی پاسخ‌های ساختمانهای بلند ..... ۱۶۰
- ۱-۳-۷- اثر تغییرات پارامتر  $\alpha$  بر روی پاسخ‌های طولی در حالت LAB ..... ۱۶۰
- ۲-۳-۷- اثر تغییرات پارامتر  $\alpha$  بر روی پاسخ‌های طولی در حالت SAB ..... ۱۶۰
- ۳-۳-۷- اثر تغییرات پارامتر  $\alpha$  بر روی پاسخ‌های عرضی در حالت LAB ..... ۱۶۰
- ۴-۳-۷- اثر تغییرات پارامتر  $\alpha$  بر روی پاسخ‌های عرضی در حالت SAB ..... ۱۶۰
- ۴-۷- بررسی قابلیت استفاده از طیف‌های مربوط به ساختمان با نسبت ابعاد مشخص برای سایر ساختمان‌ها ..... ۱۶۲
- ۵-۷- اثر تغییرات ارتفاع ساختمان با پلان ثابت بر روی پاسخ‌های ساختمان‌های بلند ..... ۱۶۴
- ۱-۵-۷- اثر تغییرات ارتفاع ساختمان با پلان ثابت بر روی پاسخ‌های طولی ..... ۱۶۴
- ۲-۵-۷- اثر تغییرات ارتفاع ساختمان با پلان ثابت بر روی پاسخ‌های عرضی ..... ۱۶۶
- ۶-۷- اثر تغییرات پلان ساختمان با ارتفاع ثابت بر روی پاسخ‌های ساختمانهای بلند ..... ۱۷۰
- ۱-۶-۷- اثر تغییرات پلان ساختمان با ارتفاع ثابت بر روی پاسخ‌های طولی ساختمان‌های بلند ... ۱۷۰

۱۷۰	۷-۶-۲- اثر تغییرات پلان ساختمان با ارتفاع ثابت بر روی پاسخ‌های عرضی ساختمان‌های بلند ..
۱۷۳	۷-۷- مقایسه پاسخ‌های طولی و عرضی ساختمان‌های بلند در برابر نیروی باد.....
۱۷۴	۷-۸- آرایه طیف نیروی عرضی بی بعد ساندرز به صورت کاربردی تر .....
۱۷۷	<b>فصل هشتم: نتیجه گیری و پیشنهادات .....</b>
۱۸۱	<b>منابع و مراجع: .....</b>



## فهرست جداول و اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۲-۱- تصویری از برج خنک کننده تخریب شده نیروگاه پل فری در اثر تداخل (۱۹۶۵)..... ۱۰
- شکل (۴-۲)- تغییر جذر میانگین مربعات ممان پیچشی پایه ساختمان ( $T_r$ ) برای سرعت‌های کاهش یافته مختلف ( $U_r$ )..... ۲۷
- شکل (۳-۳) منحنی آسایش انسان ..... ۵۵
- شکل ۱-۴- خصوصیات جریان هوا در اطراف یک ساختمان (مقطع پلان ساختمان) ..... ۵۷
- شکل ۲-۴- طبیعت گردابه‌ها در جریان آرام، جریان آشفته و جریان آشفته همراه با حرکت جسم ..... ۶۰
- شکل ۳-۴- جریان دو بعدی ساده شده باد ..... ۶۱
- شکل ۴-۴- نسبت بین نیروهای پسا و برا در یک جسم هواپند ..... ۶۴
- شکل ۵-۴- زاویه مؤثر برخورد باد با یک جسم نوسان کننده هواپند ..... ۶۵
- شکل ۷-۴- تعیین فرکانس ریزش گردبادی با سرعت باد در سازه الاستیک ..... ۶۷
- شکل ۸-۴- ارتعاشات عمود بر جهت امتداد باد ..... ۶۸
- شکل (۱-۵) - پاسخ ساختمان بلند در امتداد باد ..... ۷۲
- شکل (۲-۵) - تغییر مکان دینامیکی و استاتیکی یک جسم نوسان کننده ..... ۷۳
- شکل (۳-۵) - پاسخ ساختمان بلند در جهت عمود بر امتداد وزش باد ..... ۸۵
- شکل ۴-۵- ضریب امپدانس آئرو دینامیکی برای یک صفحه مربع شکل در جریان آشفته ..... ۸۹
- شکل ۵-۵- سیستم یک درجه آزادی ..... ۹۱
- شکل (۶-۵)- نمودار تعیین ضریب دراگ  $C_D$  بر حسب  $h/b$  و  $d/b$  ..... ۹۵
- شکل ۷-۵- طیف نیروی عرضی ساندرز برای پلان مربعی شکل ..... ۹۶
- شکل ۸-۵- طیف نیروی عرضی ساندرز در حالت ( $LAB$ ) و ( $SAB$ ) ..... ۹۷
- شکل ۹-۵- طیف نیروی عرضی ساندرز در حالت ( $SAB$ ) (۶:۲:۱) ..... ۹۸
- شکل ۱۰-۵- طیف نیروی عرضی ساندرز در حالت ( $LAB$ ) (۶:۲:۱) ..... ۹۸
- شکل ۱۱-۵- طیف نیروی عرضی کریم در حالت ( $LAB$ ) (۶:۱:۱) ..... ۹۹
- شکل ۱۲-۵- طیف نیروی عرضی ایمانی در حالت ( $LAB$ ) (۱۲:۲:۱) ..... ۱۰۰

- شکل ۵-۱۳ - طیف نیروی عرضی ایمانی در حالت (SAB) (۱۲:۲:۱) ..... ۱۰۱
- شکل ۶-۱ - نمایی از مدل آبروالاستیک ..... ۱۰۵
- شکل ۶-۲ - نحوه قرارگیری ساختمان اصلی و ساختمان مجاور ..... ۱۰۷
- شکل ۶-۳ - تغییرات  $H^2(n)$  با  $n/n_0$  برای  $\xi = 2\%$  ..... ۱۰۸
- شکل ۶-۴ - طیف نیروی عرضی برای سرعت کاهش یافته  $R_V = 6.41$  ..... ۱۱۸
- شکل ۶-۵ - طیف نیروی عرضی برای سرعت کاهش یافته  $R_V = 8.7$  ..... ۱۱۹
- شکل ۶-۶ - طیف نیروی عرضی برای سرعت کاهش یافته  $R_V = 10.93$  ..... ۱۲۰
- شکل ۶-۷ - طیف نیروی عرضی برای سرعت کاهش یافته  $R_V = 13.4$  ..... ۱۲۱
- شکل ۶-۸ - طیف نیروی عرضی برای سرعت کاهش یافته  $R_V = 15.48$  ..... ۱۲۲
- شکل ۶-۹ - طیف نیروی عرضی برای سرعت کاهش یافته  $R_V = 16.8$  ..... ۱۲۳
- شکل ۶-۱۰ - طیف نیروی عرضی برای سرعت کاهش یافته  $R_V = 17.7$  ..... ۱۲۴
- شکل ۶-۱۱ - خطوط میزان ضرایب اندرکنش در سرعت کاهش یافته  $R_V = 6.41$  ..... ۱۲۵
- شکل ۶-۱۲ - خطوط میزان ضرایب اندرکنش در سرعت کاهش یافته  $R_V = 8.7$  ..... ۱۲۶
- شکل ۶-۱۳ - خطوط میزان ضرایب اندرکنش در سرعت کاهش یافته  $R_V = 10.93$  ..... ۱۲۷
- شکل ۶-۱۴ - خطوط میزان ضرایب اندرکنش در سرعت کاهش یافته  $R_V = 13.4$  ..... ۱۲۸
- شکل ۶-۱۵ - خطوط میزان ضرایب اندرکنش در سرعت کاهش یافته  $R_V = 15.48$  ..... ۱۲۹
- شکل ۶-۱۶ - خطوط میزان ضرایب اندرکنش در سرعت کاهش یافته  $R_V = 16.8$  ..... ۱۳۰
- شکل ۶-۱۷ - خطوط میزان ضرایب اندرکنش در سرعت کاهش یافته  $R_V = 17.7$  ..... ۱۳۱
- شکل ۷-۲۵ - مقایسه تغییر مکان حاصل از طیف ایمانی و ساندرز برای نمونه ساختمان (LAB) L2 ..... ۱۶۲
- شکل ۷-۲۶ - مقایسه تغییر مکان حاصل از طیف ایمانی و ساندرز برای نمونه ساختمان (SAB) S2 ..... ۱۶۴
- شکل ۷-۳۲ - مقایسه تغییر مکان های حداکثر طولی و عرضی برای نمونه ساختمان به ابعاد  $۲۵ \times ۵۰ \times ۴۰۰$  در دو حالت SAB و LAB ..... ۱۷۴
- شکل ۷-۳۳ - شکل جدیدی از طیف عرضی بی بعد ساندرز در حالت LAB برای محاسبه  $\frac{nS_F(n)}{(0.5\rho_a\bar{U}^2bh)^2}$  به ازای  $\alpha$  های مختلف ..... ۱۷۵
- شکل ۷-۳۴ - شکل جدیدی از طیف عرضی بی بعد ساندرز در حالت SAB برای محاسبه  $\frac{nS_F(n)}{(0.5\rho_a\bar{U}^2bh)^2}$  به ازای  $\alpha$  های مختلف ..... ۱۷۶

- نمودار (۱-۵) - ضریب تغییرات سرعت بر حسب نواحی بادگیری ..... ۸۲
- نمودار (۲-۵) - تغییرات ضریب اوج باد با نرخ متوسط نوسانات ..... ۸۳
- نمودار (۳-۵) - تغییرات ضریب تلاطم محیط با ابعاد سازه ..... ۸۳
- نمودار (۴-۵) - تغییرات ضریب کاهش ابعاد با فرکانس کاهش یافته ..... ۸۴
- نمودار (۵-۵) - تغییرات انرژی اوج باد با عکس طول موج ..... ۸۴
- جدول شماره (۱-۳) - فهرست بلندترین ساختمان‌های جهان در سال ۱۹۲۰ میلادی ..... ۳۴
- جدول (۱-۳) - مقادیر مربوط به طول ناهمواری ( $Z_0$ ) ..... ۴۰
- جدول (۲-۳) - مقادیر مربوط به ضریب توانی ( $\alpha$ ) ..... ۴۰
- جدول (۳-۳) - مقدار ضریب بازدارنده برای بافتهای مختلف زمین ..... ۴۱
- جدول (۴-۳) - نسبت  $U_1$  بر  $U$  بر حسب مدت زمان میانگین گیری  $t$  ثانیه ..... ۴۴
- جدول (۵-۳) - مقادیر  $\beta$  برای گروه‌های مختلف زمین ..... ۴۴
- جدول (۶-۳) - مقادیر فاکتور ضریب سطح ( $D_0$ ) و ضریب  $\alpha$  ..... ۴۸
- جدول (۷-۳) - حدود راحتی پیشنهادی چانگ ..... ۵۵
- جدول ۱-۶ - خلاصه پارامترهای مقیاس بندی بین مدل و پروتوتیپ ..... ۱۰۴
- جدول ۲-۶ - روند تغییرات مقادیر ماکزیمم طیف نیروی عرضی در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M1 در بالادست جریان
- جدول ۲-۶ - روند تغییرات مقادیر ماکزیمم طیف نیروی عرضی در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M1 در بالادست جریان ..... ۱۰۹
- جدول ۳-۶ - روند تغییرات مقادیر ماکزیمم طیف نیروی عرضی در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M1 در پایین دست جریان ..... ۱۱۰
- جدول ۴-۶ - روند تغییرات مقادیر ماکزیمم طیف نیروی عرضی در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M2 در بالادست جریان ..... ۱۱۱
- جدول ۵-۶ - روند تغییرات مقادیر ماکزیمم طیف نیروی عرضی در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M2 در پایین دست جریان ..... ۱۱۱
- جدول ۶-۶ - روند تغییرات مقادیر ماکزیمم طیف نیروی عرضی در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M3 در بالادست جریان ..... ۱۱۲

- جدول ۶-۷- روند تغییرات مقادیر ماکزیمم طیف نیروی عرضی در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M3 در پایین دست جریان ..... ۱۱۳
- جدول ۶-۸- روند تغییرات مقادیر ماکزیمم ضرایب‌اندرکنش در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M1 در بالادست جریان ..... ۱۱۴
- جدول ۶-۹- روند تغییرات مقادیر ماکزیمم ضرایب‌اندرکنش در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M1 در پایین دست جریان ..... ۱۱۴
- جدول ۶-۱۰- روند تغییرات مقادیر ماکزیمم ضرایب‌اندرکنش در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M2 در بالادست جریان ..... ۱۱۵
- جدول ۶-۱۱- روند تغییرات مقادیر ماکزیمم ضرایب‌اندرکنش در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M2 در پایین دست جریان ..... ۱۱۶
- جدول ۶-۱۲- روند تغییرات مقادیر ماکزیمم ضرایب‌اندرکنش در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M3 در بالادست جریان ..... ۱۱۷
- جدول ۶-۱۳- روند تغییرات مقادیر ماکزیمم ضرایب‌اندرکنش در سرعت‌های کاهش یافته مختلف، با همجواری مدل M3 در پایین دست جریان ..... ۱۱۷
- جدول ۷-۱- مشخصات فیزیکی ساختمان‌های بلندی که به طور نمونه پاسخ‌های آن‌ها در برابر نیروی باد در حالت (LAB) بررسی شده است ..... ۱۳۳
- جدول ۷-۲- مشخصات فیزیکی ساختمان‌های بلندی که به طور نمونه پاسخ‌های آن‌ها در برابر نیروی باد در حالت (SAB) بررسی شده است ..... ۱۳۴
- جدول ۷-۳- مقادیر مربوط به طول ناهمواری بر اساس ضریب توانی ..... ۱۳۵

## چکیده :

در قرن گذشته، پیشرفت روش های تحلیل و طراحی سازه ها، فن آوری های نوین ساختمان سازی و تولید مصالح سبک و مقاومت بالا، باعث بهبود و توسعه در ساخت ساختمان های بلند شده است. سازه های بلند که با فن آوری های جدید ساختمانی به خصوص روش های سبک سازی ساخته می شوند اغلب دارای انعطاف پذیری زیاد، میرایی کم و وزنی سبک می باشند. از این رو با در نظر گرفتن سه عامل یاد شده ممکن است فرکانس (تواتر) ارتعاش طبیعی سازه نزدیک به فرکانس گردبادهای پشت ساختمان شود و پدیده تشدید (رنانس) اتفاق افتد. بنابراین ارتعاش ساختمان های بلند تحت اثر باد مسأله مهم برای مهندسان سازه شده است.

پاسخ ساختمان های بلند در برابر باد به تعدادی پارامتر از جمله مشخصات طبیعی باد، محیط اطراف، ابعاد ساختمان، شکل، موقعیت و خواص دینامیکی آن (جرم، میرایی، سختی) وابسته می باشد. همچنین قرار گرفتن ساختمان ها در کنار یکدیگر و شکل ظاهری سازه موجب به وجود آمدن جریان های متلاطم و مسایل آیرودینامیکی پیچیده ای می شود که می تواند در تحلیل سازه سهم بسزایی داشته باشد. اگر اثر ساختمان های مجاور بر یکدیگر نیز در تحلیل سازه در نظر گرفته شود مسأله باز هم پیچیده تر خواهد شد.

در این تحقیق، پاسخ های طولی (در برابر امتداد باد) و عرضی (در جهت عمود بر امتداد باد) ساختمان های بلند با پلان مستطیلی شکل به صورت تنها بررسی گردیده و سپس پاسخ های عرضی با در نظر گرفتن آثار همجواری مورد بررسی قرار گرفته است. در ساختمان های بلند تنها، اثر تغییرات پارامترهای  $\alpha$ ،  $h$ ،  $\frac{b}{d}$  بر پاسخ های طولی و عرضی ساختمان بررسی شده است. برای بررسی آثار همجواری، با استفاده از سه مدل صلب با نسبت های ابعادی مختلف، پاسخ عرضی مدل آیرولاستیک یک ساختمان مستطیلی شکل با ارتفاع ۳۰۰ متر و با ابعاد پلان ۲۵×۵۰ متر (نسبت ابعاد ۱×۲×۱) مورد مطالعه قرار گرفته و طیف نیروی عرضی بی بعد برای مدل مذکور رسم گردیده است.

در این تحقیق با مقایسه بین پاسخ های طولی و عرضی ساختمان های بلند به صورت تنها، این نتیجه به دست آمده که در بسیاری از موارد، معیار اصلی در طراحی ساختمان های بلند، پاسخ عمود بر جهت باد (پاسخ عرضی) می باشد. برای همه ساختمان های بلند با نسبت ابعاد خاص انجام آزمایش تونل باد الزامی بوده و برای طراحی نهایی ساختمان های بلند باید از طیف نیروی عرضی به دست آمده از آزمایش تونل باد همان ساختمان استفاده نمود. بررسی آثار همجواری ساختمان ها مشخص نمود که برای هر ساختمان با افزایش نسبت ابعاد ساختمان مجاور مقادیر طیف نیروی عرضی و ضرایب همجواری کاهش می یابد. همچنین مقادیر حداکثر طیف نیروی عرضی و ضرایب همجواری نیز با افزایش سرعت کاهش یافته، کاهش نشان می دهد.

# فصل اول

## کلیات

تحت تاثیر بارهای دینامیکی باد، ساختمان‌های بلند دارای سه حالت نوسان همزمان در امتداد وزش باد، عمود بر وزش باد و پیچشی می‌باشند. حرکت در امتداد باد در درجه اول از نوسانات فشار در وجوه رو به باد و پشت به باد نتیجه می‌شود که حداقل در دامنه فرکانس‌های پایین عموماً تابع نوسانات جریان نزدیک شونده می‌باشد.

حرکت در امتداد عمود بر وزش باد، بوسیله نوسانات فشار روی وجوه کناری که از نوسانات در لایه برشی جداکننده و جریان منطقه پشت به وجود می‌آید، بیان می‌شود.

آثار پیچشی ناشی از باد، از عدم تعادل در توزیع فشار لحظه ایی روی ساختمان به وجود می‌آید. آثار بار باد ناشی از کوپل نیروها (اینرسی) در ساختمان‌های نامتقارن بیشتر تشدید می‌شود.

تمایلات مدرن به سوی اشکال غیر مرسوم ساختمانی با هندسه خارجی پیچیده، منجر به ایجاد ساختمان‌هایی شده است که از لحاظ دینامیکی حساسیت بیشتری به بارهای پیچشی ناشی از فشار نامتقارن باد، و کوپل‌های استاتیکی و یا دینامیکی داشته باشند. نسبت تغییر مکان و شتاب در نزدیکی گوشه‌های ساختمان در طبقات بالا به مرکز، می‌تواند افزایش قابل توجهی به علت آثار پیچشی پیدا کند که این افزایش تغییر مکان و شتاب باعث افزایش تنش در ستون‌های خارجی شده و مهمتر این که باعث ناراحتی ساکنین ساختمان خواهد شد.

ساختمان‌های بلند مدرن، طوری طراحی شده‌اند که شرایط تغییر مکان افقی، استاتیکی را ارضاء می‌کنند. ولی با این وجود هنوز ممکن است در طول وزش طوفان نوسانات زیادی داشته باشند. میزان این نوسانات ممکن است که در خرابی سازه به حد کافی اهمیت نداشته باشد ولی ممکن است آثار جسمی و روانی نامطلوب بر روی ساکنین آن داشته باشد.

راحتی انسان نیازمند اهمیت دادن به حساسیت بیودینامیک او نسبت به حرکت می‌باشد. این حساسیت با افزایش آگاهی انسان نسبت به حرکت ساختمان، در اثر دیدن حرکات ساختمانی به اطراف بیشتر می‌شود. یک شرط اصلی برای خدمت‌پذیری، ارزیابی صحیح از حرکت ساختمان می‌باشد. چنین ارزیابی مطمئن می‌کند که کاربری ساختمان تحت بارهای معمولی حفظ شود.

## ۱-۲- ضرورت مطالعه

بارهای باد و آثار آن روی ساختمان‌ها، احتیاج به مطالعه در جزئیات زیادی دارد. یک برآورد پایین از اثر باد روی یک سازه ممکن است منجر به شکست آن شود در حالی که یک برآورد دست بالا منجر به یک طراحی غیر اقتصادی خواهد گردید. برآورد بارگذاری باد بر روی سازه‌ها، توسط آیین نامه‌ها ارائه شده، که این برآوردها خود بر پایه تست‌های تونل باد روی مدل‌های تک در بافت‌های مختلف، تهیه شده‌اند. در طول قرن گذشته، روش‌های تحلیلی مختلفی برای برآورد پاسخ ساختمان‌های بلند تنها در امتداد باد، به وجود آمده‌اند. به هر حال، هنوز پارامترهای دیگری در برآورد پاسخ ساختمان‌های بلند وجود دارد که در نظر گرفته نشده‌اند، از قبیل:

(۱) توسعه طیف نیروی بی بعد برای پاسخ عرضی ساختمان‌های مستطیلی شکل بلند در بافت‌های مختلف با در نظر گرفتن اثر میرایی‌های مختلف.

(۲) اثر زاویه برخورد باد روی پاسخ ساختمان در جهات اصلی به وسیله مدل‌های آیروالاستیک.

(۳) شکل و ابعاد ساختمان در پلان و اثر آن روی پاسخ ساختمان در برابر باد.

(۴) اثر مشخصات آشفتگی در جریان نزدیک شونده، از قبیل شدت و طول آشفتگی در روی پاسخ ساختمان‌های بلند.

(۵) بررسی پدیده قفل شدگی در ساختمان‌های مستطیلی بلند.

(۶) بررسی پدیده تاخت یا تازش در ساختمان‌های مستطیلی بلند.

بیشتر روش‌های موجود برای محاسبه پاسخ ساختمان‌ها در برابر باد منحصر به حرکت ساختمان در امتداد باد می‌باشد در حالی که پاسخ ساختمان‌های بلند در جهت عمود بر باد گاهی می‌تواند بزرگتر از پاسخ آن در جهت امتداد باد باشد. در تعدادی از مدل‌های مورد مطالعه نوسانات پاسخ در جهت عمود بر باد بزرگتر از پاسخ کل در امتداد باد به دست آمده است. برای برآورد پاسخ ساختمان در جهت عمود بر باد، هنوز روش مدونی ارائه نشده است. این امر احتمالاً ناشی از این حقیقت است که حرکت در جهت عمود بر باد در ساختمان‌ها خیلی پیچیده است و این به دلیل ترکیب و برهم کنش میان سه پدیده زیر می‌باشد:



- (۱) ماهیت ناپایدار جریان نزدیک شونده که هم از نظر سرعت وهم از نظر جهت، تابع تضادفی از زمان می‌باشد.
- (۲) نوسانات منطقه پشت، که ماهیت ناپایداری دارند.
- (۳) نیروهای آیرودینامیک که با حرکت سازه ارتباط دارند.

### ۱-۳-اهداف و موضوعات مورد مطالعه

اهداف و موضوعات مورد مطالعه به قرار زیر می‌باشد:

- (۱) استخراج طیف نیروی عرضی بی بعد برای تعیین پاسخ ساختمانهای مستطیلی بلند در جهت عمود بر امتداد باد.
- (۲) مطالعه پدیده قفل شدگی در ساختمانهای مستطیلی بلند.
- (۳) مطالعه اثر همجواری ایجاد شده به وسیله ساختمانهای مستطیلی بلند، با نسبت عرض به ارتفاع مختلف که در پایین یا بالا دست ساختمان اصلی قرار می‌گیرد.
- (۴) بررسی پاسخهای چند نمونه از ساختمانهای مستطیلی بلند تنها در هر دو جهت امتداد و عمود بر جهت امتداد باد (پاسخهای طولی و عرضی) و تاثیر تغییرات مختلف از قبیل بافت زمین، پلان ساختمان، ارتفاع ساختمان و... در پاسخها.

## فصل دوم

### مروری بر ادبیات فنی

## ۲-۱-مقدمه

در این بخش سعی شده است که بر تحقیقات گذشته در خصوص اثر باد بر روی سازه‌ها مروری گردد. به هر حال لازم است که جزییات اطلاعات داده شود. ابتدا تاریخچه ای از گذشته ی موضوع بیان می‌شود و سپس روش‌های تخمین پاسخ دینامیکی ساختمان‌های بلند مستطیلی شکل در پلان در برابر نیروی باد در این تحقیق بحث می‌شود.

## ۲-۲-مروری بر گذشته

در این قسمت اطلاعاتی درباره ی اثر باد بر روی سازه از کتاب‌ها، مجلات و مقالات دیگر جمع آوری شده است.

### ۲-۲-۱- تاریخچه مهندسی باد

گزارش‌های ویکری<sup>۱</sup> و ملبورن<sup>۲</sup> نشان می‌دهد که اولین کاربرد آیرودینامیک در طراحی معماری ساختمانی در حدود ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد در شهری از حوالی مصر بوده است. اولین نوشته در مورد باد مربوط به حضرت امام علی ابن ابیطالب(ع) می‌باشد. ایشان در کتاب نهج البلاغه درباره خلقت جهان و آغاز ایجاد بادها صحبت نموده است. در قرن هفدهم میلادی برخی از کارهای اساسی توسط دانشمندان و محققان صورت گرفت. تورچلی<sup>۳</sup> و هوک<sup>۴</sup> به ترتیب بارومتر و بادسنج پاندولی را اختراع کردند که اولین وسایل برای اندازه گیری پارامترهای باد از جمله فشار و سرعت باد بود. نیوتن در چهلمین طرح تحقیقاتی خود(مسئله دهم) توانست مقاومت آب یا هوا در مقابل حرکت نوسانگر (پاندولی) که به انتهای آن وزنه ای آویزان است) را بوسیله ی میزان چرخش وزنه تخمین بزند. او کاهش دامنه نوسان پاندول را مقاومت سیال فرض نمود. نیوتن پیشنهاد کرد که نیروی باد متناسب با  $CU^2$  می‌باشد که در آن  $U$  بیشینه سرعت وزنه در هر دوره نوسان و  $C$  یک ثابت تجربی است. او در سال ۱۶۷۸ میلادی ثابت کرد که نیروی وارده متناسب با مجذور قطر وزنه و دانسیته سیال

<sup>۱</sup>-Vickery

<sup>۲</sup>-Melbourne

<sup>۳</sup>-Torricelli

<sup>۴</sup>-Hook

می‌باشد. او بالاخره این گونه بیان داشت که نیروی وارد از سیال در حال حرکت بر یک جسم غوطه ور در آن با میزان تغییر تکانه حرکت جسم متناسب است. به طور ریاضی می‌توان چنین بیان کرد:

$$P\alpha \frac{\overline{\rho AV^2}}{g} = K \frac{\rho AV^2}{g} \quad (1-2)$$

که در آن

$\rho$ : وزن مخصوص سیال

$A$ : سطح جسم که عمود بر جهت حرکت سیال می‌باشد.

$V$ : سرعت سیال

$g$ : شتاب زمین

و  $K$ : ضریب تناسب می‌باشد.

اولین روابط تئوری دینامیک سیالات در قرن هیجدهم میلادی توسط اولر<sup>۱</sup> و برنولی<sup>۲</sup> شروع شد. هادلی<sup>۳</sup> مدل چرخش اتمسفری را ارائه نمود و اسمیتون<sup>۴</sup> در اواسط قرن هیجدهم میلادی توانست با استفاده از آسیاب بادی، نیروی چندین باد مختلف را به اندازه بالا آمدن یک وزنه تخمین بزند. بیوفورت<sup>۵</sup> در سال ۱۸۰۸ میلادی مقیاس سرعت باد را در مدت وزش باد بیان کرد. معادله حرکت سیال در سال ۱۸۴۵ میلادی توسط استوکس بیان شد که به معادله مشهور ناویر-استوکس<sup>۶</sup> مشهور گردید.

اولین و فاجعه انگیزترین آثار مخرب باد در دسامبر سال ۱۸۷۹ میلادی در یک شب توفانی رخ داد. در این حادثه در هنگام عبور قطار در یک لحظه یکی از دهانه‌های پل به طول ۷۵ متر ناگهان فروریخت که منجر به مرگ ۷۵ نفر شد. این حادثه باعث شد تا بنجامین بیکر<sup>۷</sup> تحقیقات خود را در مورد نیروی باد بر روی صفحات مستطیلی با اندازه‌های مختلف،

<sup>۱</sup>- Euler

<sup>۲</sup>- Bernoulli

<sup>۳</sup>- Hadely

<sup>۴</sup>- Smeaton

<sup>۵</sup>- Beaufort

<sup>۶</sup>- Navier-Stocks

<sup>۷</sup>- Benjamin Baker