بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه

جهت دریافت درجه کارشناسی‌ارشد در رشته مهندسی عمران

گرایش‌سازه

عنوان:

ارزیابی نتایج آزمایش بارگذاری و بررسی پل های مرکب فولادی در برابر بارهای بهره برداری

مطالعه موردی پل قلعه مرغی شهر تهران

استاد راهنما:

دکتر فریدون رضایی

پژوهشگر:

افشین اژدری

خرداد ۱۳۸۸

همه امتیازهای این پایان نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان نامه در مجلات- کنفرانسها و یا سخنرانی ها باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا اساتید راهنمای پایان نامه و نام دانشجو با ذکر ماخذ و با مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت گردد و در غیر این صورت پیگرد قانونی خواهد داشت.

تقدیم به مادر نازنینم ، همیشه استاد زندگیم، آنکه آرامش جانم بوده و پشتیبان راهم،

آنکه شجاعت قدم گذاشتن در این راه و همت ادامه دادنش را در مکتب او آموخته ام، در

برابر عشق و ایثارش سر تعظیم فرود می آورم و تقدیم به تمامی آنان که دوستشان

دارم.

تقدیر و تشکر از استاد محترم و دوستان عزیزم که مرا در انجام این رساله، راهنمایی و یاری نموده اند.

فهرست

عنوان صفحه

فهرست جداول ر

فهرست شکل ها ز

چکیده فارسی ط

فصل اول- مقدمه

۱ -۲- سیستم مدیریت نگهداری پل (BMS) ۱

۱-۲-۱- تعریف سیستم مدیریت نگهداری پل ۲

۱-۲-۲- اهداف سیستم مدیریت پل ۲

۱-۳- ضرورت نیاز به رفتارسنجی سازه ها درمهندسی عمران ۳

۱-۳-۱- ضرورت نیاز به رفتار سنجی پلها ۳

۱-۴- روشهای رفتار سنجی پل ۶

فصل دوم- تاریخچه رفتار سنجی و مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱- مقدمه ۱۰

۲-۲- تاریخچه رفتار سنجی پلها در جهان ۱۰

۲-۳- تاریخچه رفتار سنجی پلها در ایران ۱۶

۲-۳-۱- مقدمه ۱۶

۲-۳-۲-۱- مشخصات سازه ای پل تله زنگ ۱۷

۲-۳-۲-۲- مشخصات و آرایش وسایل اندازه گیری در پل تله زنگ ۱۷

۲-۳-۲-۳- نتیجه حاصل از رفتار سنجی پل تله زنگ ۱۸

۲-۳-۳- پل نکا ۱۹

۲-۳-۴- پل اکبر آباد ۲۰

۲-۴- تاریخچه انجام آزمایشات ارتعاش اجباری در جهان ۲۲

۲-۵- تاریخچه انجام آزمایشات ارتعاش اجباری در ایران ۲۴

فصل سوم- ملزومات رفتار سنجی سازه ها

۳-۱- مقدمه ۲۶

۳-۲- دستگاه های تحریک کننده ۲۷

۳-۲- دستگاه های تحریک کننده ۲۷

۳-۳- دستگاه های اندازه گیری ۲۷

۳-۳-۱- تغییر مکان سنج ۲۸

۳-۳-۳- کرنش سنج ۳۵

۳-۳-۴- سنسورهای اندازه گیری میزان بار ۳۷

۳-۳-۵- سنسورهای اندازه گیری انحراف ۳۸

۳-۳-۶- سنسورهای اندازه گیری درزهای بتن ۳۹

۳-۳-۷- سنسورهای اندازه گیری ترکها در بتن ۴۰

۳-۳-۸- سنسورهای نشان دهنده سطح آب ۴۰

فصل چهارم- پردازش اطلاعات و سیگنال ها

۴-۱- مقدمه ۴۱

۴-۲- اهداف پردازش سیگنال ها ۴۲

۴-۳- مطالعات آماری سیگنال ها ۴۲

۴-۳-۱- خط مبنا ۴۳

۴-۳-۲- تصحیح انحراف خط مبنا ۴۴

۴-۴- فیلتر های دیجیتال ۴۶

۴-۴-۱- انواع فیلتر از نظر کاربرد ۴۶

۴-۴-۲- انواع فیلتر ها از نظر مبانی ریاضی ۴۸

۴-۴-۲-۱- فیلتر دیجیتال باترورث ۵۰

۴-۵- نحوه پردازش اطلاعات ۵۲

۴-۶- تبدیل فوریه در پردازش سیگنال ۵۵

فصل پنجم- به هنگام سازی مدل تحلیلی

۵- ۱- مقدمه ۵۸

۵-۲- تحلیل دینامیکی سیستم ها ۵۹

۵-۳- روش المان های محدود ۶۰

۵-۴- آزمون آزمایشگاهی ۶۱

۵-۵- خطاهای مدل المان های محدود ۶۲

۵-۶- به هنگام سازی مدل المان های محدود ۶۳

۵-۷- تئوری بهنگام سازی مدل ها ۶۴

۵-۷- ۱- شاخص های محاسبه ی هم بستگی آزمایشگاهی و تحلیلی ۶۴

۵-۷-۱-۱- شاخص هم بستگی فرکانس طبیعی ۶۵

۵-۷-۱-۲- شاخص هم بستگی مودهای طبیعی ۶۶

۵-۷-۱-۳- شاخص اطمینان مودی (MAC) ۶۶

۵-۷-۱-۴- شاخص اطمینان مودی هم مرتبه شده $(COMAC)$ ۶۷

۵-۷-۱-۵- شاخص تعامد ۶۸

۵-۷-۱-۶- شاخص های هم بستگی با استفاده از تابع پاسخ فرکانسی ۶۸

۵-۷-۲- روش های بهنگام سازی مدل های المان های محدود ۶۸

۵-۷-۲-۱- روش های مستقیم ۶۹

۵-۷-۲- ۲- روش های تکرار پذیر با استفاده از نتایج آنالیز مودی ۷۰

۵-۷-۲-۳- روش های تکرار پذیر با استفاده از توابع پاسخ فرکانسی ۷۱

۵-۸- نتیجه گیری کلی بر روی روش های بهنگام سازی ۷۳

فصل ششم- رفتار سنجی پل قلعه مرغی تهران

۶-۱- ضرورت نیازبه رفتار سنجی پل قلعه مرغی تهران ۷۴

۶-۲- تاریخچه و سازه پل قلعه مرغی ۸۰

۶-۲-۱- تیرهای اصلی پل ۸۲

۶-۲-۲- پایه های پل ۸۳

۶-۲-۳- دیوارهای حایل ۸۴

۶-۲-۴- دمپرها ۸۴
۶-۳- تجهیز کارگاه جهت رفتار سنجی پل قلعه مرغی ۸۵
۶-۳-۱- مقدمه ۸۵
۶-۳-۲- استقرار کانکس ۸۶
۶-۳-۳- نصب داربست ۸۷
۶-۴- ملزومات رفتار سنجی پل قلعه مرغی ۸۹
۶-۴-۱- مقدمه ۸۹
۶-۴-۲- تجهیزات الکترونیکی مربوط به برداشت اطلاعات ۸۹
۶-۴-۳- حسگرها(سنسورها) ۹۴
۶-۴-۳-۱- کرنش سنج ۹۵
۶-۴-۳-۲- شتابسنج ۹۶
۶-۴-۳-۳- تغییرمکانسنج ۹۸
۶-۵- انجام پروسه پیش از بارگذاری ۱۰۰
۶-۵-۱- مدل سازی اولیه پل قلعه مرغی ۱۰۰
۶-۵-۲- نصب و نام گذاری سنسورها ۱۰۳
۶-۵-۲-۱- مقاطع عرضی مورد آزمایش ۱۰۳
۶-۵-۲-۲- نامگذاری و آرایش سنسورها ۱۰۴
۶-۵-۲-۳- تقسیم بندی عرشه پل به قسمت های مختلف جهت قرار گیری کامیونها ۱۱۱
۶-۶- عملیات بارگذاری پل قلعه مرغی ۱۱۲
۶-۶-۱- مقدمه ۱۱۲
۶-۶-۲- برنامه بارگذاری ۱۱۲
۶-۶-۳- بارگذاری استاتیک و خصوصیات بارها ۱۱۳
۶-۶-۳-۱ -آزمایش خمشی استاتیکی ۱۱۴
۶-۶-۳-۲- آزمایش پیچشی استاتیکی ۱۱۷
۶-۶-۴- بارگذاری دینامیک و خصوصیات بارها ۱۱۹
۶-۶-۴-۱- آزمایش خط تاثیر ۱۲۰

۶-۶-۴-۲- آزمایش هارمونیک ۱۲۱
۶-۶-۴-۳- آزمایش خمشی دینامیکی ۱۲۱
۶-۶-۴-۴- آزمایش پیچشی دینامیکی ۱۲۲
۶-۶-۵- اطلاعات بدست آمده از تجهیزات الکترونیکی ۱۲۳
۶-۶-۵-۱- دادههای مربوط به کرنش سنجها ۱۲۳
۶-۶-۵-۲- دادههای مربوط به تغییر مکان سنجها ۱۲۷
۶-۶-۶- نمودارهای نتایج آزمایش خمش استاتیکی ۱۳۰
۶-۶-۷- نمودار های نتایج آزمایش پیچش استاتیکی ۱۳۶
۶-۶-۸- نمودار های آزمایش خط تاثیر با سرعت اسمی ۵ کیلومتر بر ساعت ۱۴۰
۶-۶-۹ - مقادیر اندازه گیری شده توسط تجهیزات الکترونیکی در آزمایشات دینامیکی ۱۴۰

فصل هفتم- بررسی نتایج

۷-۱- بررسی نتایج بدست آمده از کرنش سنج ها در آزمایش خمش استاتیکی ۱۵۴
۷-۱-۱- کرنش در تکیه گاه اول دهانه سوم ۱۵۴
۷-۱-۲- کرنش در وسط دهانه سوم ۱۵۴
۷-۱-۳- کرنش در تکیه گاه اول دهانه چهارم ۱۵۴
۷-۱-۴- کرنش در وسط دهانه چهارم ۱۵۴
۷-۱-۵- کرنش در تکیه گاه دوم دهانه چهارم ۱۵۵
۷-۲- بررسی نتایج بدست آمده از تغییر مکان سنج ها در آزمایش خمش استاتیکی ۱۵۵
۷-۲-۱- تغییر مکان در تکیه گاه اول دهانه سوم ۱۵۵
۷-۲-۲- تغییر مکان در وسط دهانه سوم ۱۵۵
۷-۲-۳- تغییر مکان درتکیه گاه اول دهانه چهارم ۱۵۵
۷-۲-۴- تغییر مکان در وسط دهانه چهارم ۱۵۶
۷-۲-۵- تغییر مکان در تکیه گاه دوم دهانه چهارم ۱۵۶
۷-۳- بررسی نتایج بدست آمده از کرنش سنج ها در آزمایش پیچش استاتیکی ۱۵۶
۷-۳-۱- کرنش در تکیه گاه اول دهانه سوم ۱۵۶
۷-۳-۲- کرنش در وسط دهانه سوم ۱۵۶

۷-۳-۳- کرنش در تکیه گاه اول دهانه چهارم..... ۱۵۷
۷-۳-۴- کرنش در وسط دهانه چهارم..... ۱۵۷
۷-۳-۵- کرنش در تکیه گاه دوم دهانه چهارم..... ۱۵۷
۷-۴- بررسی نتایج بدست آمده از تغییر مکان سنج ها در آزمایش پیچش استاتیکی..... ۱۵۷
۷-۴-۱- تغییر مکان در تکیه گاه اول دهانه سوم..... ۱۵۷
۷-۴-۲- تغییر مکان در وسط دهانه سوم..... ۱۵۸
۷-۴-۳- تغییر مکان درتکیه گاه اول دهانه چهارم..... ۱۵۸
۷-۴-۴- تغییر مکان در وسط دهانه چهارم..... ۱۵۸
۷-۴-۵- تغییر مکان در تکیه گاه دوم دهانه چهارم..... ۱۵۸
۷-۵- مقایسه نتایج آزمایش بارگذاری و بارگذاری مدل بوسیله نرم افزار *SAP2000*..... ۱۵۹
۷-۶- بررسی نتایج بدست آمده از شتاب سنج ها در آزمایشات دینامیکی..... ۱۶۱
۷-۷- مودهای ارتعاشی سازه، بدست آمده از نرم افزار *SAP2000*..... ۱۶۲
فصل هشتم- نتیجه گیری و پیشنهادات
۸-۱- سناریوهای عامل ایجاد لرزش ۱۶۳
۸-۲- راهکارهای عملی پیشنهادی..... ۱۶۵
۸-۳- پیشنهاداتی برای ادامه کار..... ۱۶۶
مراجع..... ۱۶۷
چکیده انگلیسی ۱۷۱

فهرست جداول

جدول ۲-۱ توسعه تاریخی در زمینه فعالیت رفتارسنجی سازه ها (*Wenzel,2003*)..... ۱۶

جدول ۶-۱- موقعیت مقاطع مورد آزمایش پل..... ۱۰۳

جدول ۶-۲- مشخصات کرنش‌سنج‌های ۱۰ میلیمتری نصب شده بر پل..... ۱۰۶

جدول ۶-۳- مشخصات تغییرمکان سنج های نصب شده در پل..... ۱۰۸

جدول ۶-۴- موقعیت شتاب سنج های نصب شده در پل..... ۱۰۹

جدول۶- ۵- بار دقیق کامیون‌های مورد استفاده در بارگذاری پل قلعه مرغی..... ۱۱۳

جدول ۶-۶- مشخصات کامیون و تریلی مورد استفاده در بارگذاری پل..... ۱۱۳

جدول۶-۷- مشخصات بارگذاری های استاتیک..... ۱۱۸

جدول ۶-۸ ب مراحل بار گذاری در آزمایش پیچش استاتیکی..... ۱۱۹

جدول۶-۹- مشخصات بارگذاری های دینامیک..... ۱۲۰

جدول ۶-۱۰- مقادیر کرنش در تکیه گاه اول دهانه سوم (مقطع شماره ۱) بر حسب میکرواسترین..... ۱۲۳

جدول۶-۱۱- مقادیر کرنش در وسط دهانه سوم (مقطع شماره ۲) بر حسب میکرواسترین..... ۱۲۴

جدول ۶-۱۲- مقادیر کرنش در تکیه گاه اول دهانه چهارم (مقطع شماره ۳) بر حسب میکرواسترین..... ۱۲۵

جدول ۶-۱۳- مقادیر کرنش در وسط دهانه چهارم (مقطع شماره ۴) بر حسب میکرواسترین..... ۱۲۶.

جدول ۶-۱۴- مقادیر کرنش در تکیه گاه دوم دهانه چهارم (مقطع شماره ۵) بر حسب میکرواسترین..... ۱۲۶

جدول ۶-۱۵- مقادیر تغییر مکان در تکیه گاه اول دهانه سوم (مقطع شماره ۱) بر حسب میلیمتر..... ۱۲۷

جدول۶-۱۶- مقادیر تغییر مکان در وسط دهانه سوم (مقطع شماره ۲) بر حسب میلیمتر..... ۱۲۸

جدول ۶-۱۷- مقادیر تغییر مکان در تکیه گاه اول دهانه چهارم (مقطع شماره ۳) بر حسب میلیمتر..... ۱۲۹

جدول ۶-۱۸- مقادیر تغییر مکان در وسط دهانه چهارم (مقطع شماره ۴) بر حسب میلیمتر..... ۱۲۹

جدول ۶- ۱۹- مقادیر تغییر مکان در تکیه گاه دوم دهانه چهارم (مقطع شماره ۵) بر حسب میلیمتر..... ۱۳۰

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ آزمایش تیرهای فولادی در انگلستان برای استفاده، پلهای راه آهن در هندوستان در قرن ۱۹..... ۱۱

شکل ۲-۲ نمودار تاریخچه فعالیت رفتارسنجی سازه ها (*Wenzel,2003*)..... ۱۶

شکل ۲-۳- بارگذاری پل تله زنگ با دیزل و سه واگن باری..... ۱۹

شکل۲-۴ نمایی از پل راه آهن نکا..... ۲۰

شکل ۲-۵ بارگذاری پل اکبر آباد..... ۲۱

شکل (۳- ۱): انواع *LVDT* از نظر ابعاد و اندازه..... ۲۹

شکل (۳-۲): اساس کار یک تغییر مکان سنج *LVDT* [ماهری،۱۳۸۱]..... ۲۹

شکل (۳-۳) : محدوده رفتار خطی یک *LVDT* [ماهری ، ۱۳۸۱]..... ۳۰

شکل (۳-۴) : مقطع طولی یک *LVDT* [ماهری،۱۳۸۱]..... ۳۲

شکل(۳- ۵) : نمونه هایی از شتاب سنج های پیزوالکتریک..... ۳۳

شکل (۳-۶) : تعریف تغییر شکل نسبی جسم..... ۳۵

شکل (۳-۷) : جزییات کرنش سنج فلزی..... ۳۶

شکل (۳-۸) : نمونه ای از کرنش سنجهای فلزی..... ۳۷

شکل (۳-۹) : نمونه هایی از نیرو سنج ها با اندازه های مختلف..... ۳۸

شکل (۳- ۱۰) : نحوه ی قرار گیری سنسور اندازه گیری درز بتن..... ۳۹

شکل (۳- ۱۱) : اجزای مختلف تشکیل دهنده سنسور اندازه گیری درز در بتن..... ۳۹

شکل (۳- ۱۲) : سنسور اندازه گیری میزان ترک در بتن..... ۴۰

شکل (۳- ۱۳) : سنسورهای مختلف نشان دهنده سطح آب..... ۴۰

شکل (۴- ۱) : انحراف خط مبنا شامل انحراف ثابت و غیر ثابت خطی [ماهری، ۱۳۸۱]..... ۴۴

شکل (۴-۲) : انحراف خط مبنا شامل انحراف ثابت ، غیر ثابت خطی وغیر ثابت غیر خطی [ماهری،۱۳۸۱]..... ۴۴

شکل(۴-۳): فیلتر پایین گذر دیجیتال..... ۴۸

شکل(۴-۴): فیلتر بالا گذر دیجیتال..... ۴۸

شکل(۴-۵): فیلتر میان گذر دیجیتال..... ۴۹

شکل (۴-۶) : فیلتر میان توقف دیجیتال..... ۵۰

شکل (۴-۷) : عملکرد فیلتر باتروث با درجات متفاوت [*Oppenheim,1983*]..... ۵۱

شکل (۴-۸) : عملکرد فیلتر چیبیشف با درجات متفاوت [*Oppenheim,1983*]..... ۵۱
شکل (۴- ۹) : پدیده انعکاس فرکانسی..... ۵۴
شکل (۴- ۱۰) : منفصل سازی سیگنال پیوسته پس از عبور از فیلتر ضد انعکاسی..... ۵۵
شکل (۶-۱ الف) : عدم قرار گیری نئو پرنها در جای مناسب..... ۷۸
شکل (۶-۱ ب) : عدم قرار گیری نئو پرنها در جای مناسب..... ۷۸
شکل (۶-۲):فاصله دمپر ها از تیر های طولی ۷۸
شکل (۶-۳) : شوره زدگی بتن زیر دال و خوردگی اجزای فولادی..... ۷۹
شکل (۶-۴) :ترکخطولی و عرضی نا چیز بتن ۷۹
شکل (۶- ۵الف) : درز پل در تکیه گاه سوم در طرفین پل..... ۸۱
شکل (۶- ۶) : نمایی از تیر های طولی..... ۸۲
شکل(۶-۷) : جزییات اجرای تیر های طولی..... ۸۳
شکل(۶-۸): جزییات اجرای نئو پرنها..... ۸۴
شکل (۶-۹الف) : نمایی از داربست های نصب شده زیر پل ۸۸
شکل (۶-۹ب) : نمایی از داربست های نصب شده زیر پل..... ۸۸
شکل (۶-۱۰) کارت تبدیل آنالوگ به دیجیتال*ADC*..... ۸۹
شکل (۶-۱۱) : بلوک اتصال ۹۶ کاناله ۹۰
شکل (۶-۱۲) : : بلوک اتصال ۴۸ کاناله..... ۹۰
شکل (۶-۱۳) : فیلتر ضد انعکاس ۹۱
شکل (۶-۱۴) : تقویت کننده سیگنال های ضعیف..... ۹۱
شکل(۶-۱۵):BNC BREAKOUT BOX .. ۹۱
شکل(۶-۱۶):COMBINED MODULE ۹۲
شکل(۶-۱۷):STRAIN GAUGE WIRING IN BOX ۹۲
شکل(۶-۱۸):Calibration box ۹۲
شکل(۶-۱۹):STRAIN GAUGE AMPLIFIER CARD: ۹۲
شکل (۶-۲۰): EARTH TERMINATOR: ۹۳
شکل(۶-۲۱):Data Logging PC ۹۳

شکل۶-۲۲: جعبه اتصال سیمهای کرنش‌سنج و دستگاه آمپلیفایر در محل آزمایش ۹۴
شکل۶-۲۳- استفاده از سنگ جت برای آماده کردن سطح ۹۵
شکل ۶-۲۴- کرنش سنج و پایه‌ی نصب شده بر روی سطح کاملا صیقلی ۹۵
شکل۶- ۲۵- کرنش‌سنج نصب شده به همراه پوشش مخصوص ۹۶
شکل۶- ۲۶-شتاب سنج ۹۷
شکل۶-۲۷- یک نمونه شتاب سنج نصب شده بر روی تیر ۹۷
شکل ۶-۲۸- ورق فلزی تهیه شده به همراه پایهی مخصوص جهت نصب *LVDT* ۹۸
شکل ۶-۲۹- تغییرمکان‌سنجهای نصب شده جهت اندازهگیری جابجایی قائم و افقی ۹۹
شکل ۶-۳۰- *DCDT* نصب شده جهت اندازهگیری جابجایی قائم ۹۹
شکل۶-۳۱-رسم مقاطع فولادی تیرهای اصلی در نرم افزار *SAP2000* ۱۰۱
شکل ۶-۳۲- مدل ساخته شده عرشه پل قلعه مرغی توسط نرم افزار *SAP2000* ۱۰۱
شکل۶-۳۳- یکی از حالات بار گذاری مدل قبل از آزمایش بارگذاری پل ۱۰۲
شکل ۶-۳۴- نمودار لنگر ایجاد شده توسط بارگذاری شکل (۶-۳۳) ۱۰۳
شکل ۶- ۳۵- موقعیت مقاطع مورد آزمایش ۱۰۴
شکل ۶-۳۶ الف : آرایش کلی سنسورها در مقطع عرضی و نام گذاری آنها ۱۰۵
شکل ۶-۳۶ ب : آرایش *LVDT* ها در مقطع شمارهی ۱ و ۲ ..... ۱۰۵
شکل۶-۳۷- حجم عظیم کابلهای سرازیر شده از سنسور ها و اتصال آن به دیتا لاگر ۱۱۰
شکل ۶- ۳۹ - نحوه چیدمان کامیونها و توقف آنها در ربع اول دهانه چهارم در آزمایش خمشی استاتیک ۱۱۵
شکل۶-۴۰- نحوه چیدمان کامیونها و توقف آنها در وسط دهانه چهارم در آزمایش خمشی استاتیکی ۱۱۶
شکل ۶-۴۱- کامیونها در حین آزمایش خمشی استاتیکی که در چهار خط عبوری به صورت موازی قرار گرفته‌اند ۱۱۶
شکل۶-۴۲ قرارگیری کامیونها در آزمایش خمشی استاتیکی، محور دوم کامیون در وسط دهانه چهارم(موقعیت ۷) ۱۱۶
شکل۶-۴۳-قرارگیری کامیونها در آزمایش پیچشی استاتیکی که مرکز بار در وسط دهانه چهارم ۱۱۷
شکل ۶- ۴۵- حرکت کامیون شماره (۱) از روی خط عبوری ۱ با سرعت های ۵ و ۴۰ کیلومتر در ساعت ۱۲۰
شکل ۶- ۴۶- حرکت ۶ کامیون از روی خط عبوری ۴ با سرعت ۲۰ کیلومتر در ساعت ۱۲۱
شکل ۶- ۴۷- حرکت ۴ کامیون به صورت موازی از روی ۴ خط عبوری با سرعت ۲۰ کیلومتر در ساعت ۱۲۱
شکل ۶- ۴۸- حرکت ۴ کامیون به صورت موازی از روی ۴ خط عبوری با سرعت ۲۰ کیلومتر در ساعت ۱۲۲

شکل ۶- ۴۹- قرار گیری دقیق کامیونها..... ۱۲۳
شکل ۶-۵۰-کرنش بال تیرهای یک الی چهار در مقطع دوم با قرارگیری بار در ۴۱/۲۵،۱۵، ۵۲/۵، ۶۱/۷۵ و ۹۰ متری..... ۱۳۱
شکل ۶-۵۱-کرنش بال تیرهای یک الی چهار در مقطع سوم با قرارگیری بار در ۴۱/۲۵،۱۵، ۵۲/۵، ۶۱/۷۵ و ۹۰ متری..... ۱۳۱
شکل ۶-۵۲-کرنش بال تیرهای یک الی چهار در مقطع سوم با قرارگیری بار در ۴۱/۲۵،۱۵، ۵۲/۵، ۶۱/۷۵ و ۹۰ متری..... ۱۳۱
شکل ۶-۵۳- تغییرمکان قائم داخلی و خارجی تیرها در مقطع اول با قرارگیری باردر ۴۱/۲۵،۱۵، ۵۲/۵، ۶۱/۷۵ و ۹۰..... ۱۳۲
شکل ۶-۵۴- تغییرمکان قائم خارجی تیرها در مقطع دوم با قرارگیری بار در ۴۱/۲۵،۱۵، ۵۲/۵، ۶۱/۷۵ و ۹۰ متری ۱۳۲
شکل ۶-۵۵- تغییرمکان قائم خارجی تیرها در مقطع سوم با قرارگیری بار در ۴۱/۲۵،۱۵، ۵۲/۵، ۶۱/۷۵ و ۹۰ متری ۱۳۲
شکل ۶-۵۶- تغییرمکان قائم خارجی تیرها در مقطع چهارم با قرارگیری بار در ۴۱/۲۵،۱۵، ۵۲/۵، ۶۱/۷۵ و ۹۰..... ۱۳۳
شکل ۶- ۵۸- کرنش یال تحتانی تیر اول بازای قرارگیری ۴ کامیون ۲۸ تنی در ۱۵، ۵۲/۵ و ۹۰ متری پل..... ۱۳۴
شکل۶-۵۹- کرنش یال تحتانی تیر چهارم بازای قرار گیری چهار کامیون در ۵/۵۲،۱۵و۹۰متری پل..... ۱۳۴
شکل ۶-۶۰-تغییرشکل تیر اول بازای قرارگیری ۴ کامیون ۲۸ تنی در ۱۵، ۵۲/۵ و ۹۰ متری پل..... ۱۳۵
شکل ۶-۶۱-تغییرشکل تیر چهارم بازای قرارگیری ۴ کامیون ۲۸ تنی در ۱۵، ۵۲/۵ و ۹۰ متری پل..... ۱۳۵
شکل ۶-۶۲-کرنش بال فوقانی و تحتانی تیرهای یک الی چهار در مقطع دوم در آزمایش پیچش استاتیکی..... ۱۳۶
شکل ۶-۶۳-کرنش بال فوقانی و تحتانی تیرهای یک الی چهار در مقطع سوم در آزمایش پیچش استاتیکی..... ۱۳۶
شکل ۶-۶۴-کرنش بال فوقانی و تحتانی تیرهای یک الی چهار در مقطع چهارم در آزمایش پیچش استاتیکی..... ۱۳۷
شکل ۶-۶۵-تغییرمکان قائم داخلی و خارجی تیرهای یک و چهار در مقطع اول در آزمایش پیچش استاتیکی..... ۱۳۸
شکل ۶-۶۶-تغییرمکان قائم داخلی و خارجی تیرهای یک و چهار در مقطع دوم در آزمایش پیچش استاتیکی..... ۱۳۸
شکل ۶-۶۷-تغییرمکان قائم داخلی و خارجی تیرهای یک و چهار در مقطع سوم در آزمایش پیچش استاتیکی..... ۱۳۸
شکل ۶-۶۸-تغییرمکان قائم داخلی و خارجی تیرهای یک و چهار در مقطع چهارم در آزمایش پیچش استاتیکی..... ۱۳۹
شکل ۶-۶۹-تغییرمکان قائم داخلی و خارجی تیرهای یک و چهار در مقطع پنجم در آزمایش پیچش استاتیکی..... ۱۳۹
شکل ۶-۷۰-کرنش یال تحتانی تیر اول بازای قرارگیری پشت به پشت ۴ کامیون ۲۸ تنی در ۱۵، ۵۲/۵ و ۹۰ متری..... ۱۴۰
شکل ۶-۷۱-کرنش یال تحتانی تیر چهارم بازای قرارگیری پشت به پشت ۴ کامیون ۲۸ تنی در ۱۵، ۵۲/۵ و ۹۰ متری ۱۴۰
شکل ۶-۷۲-تغییرشکل تیر اول بازای قرارگیری پشت به پشت ۴ کامیون ۲۸ تنی در ۱۵، ۵۲/۵ و ۹۰ متری پل..... ۱۴۰
شکل ۶-۷۳-تغییرشکل تیر چهارم بازای قرارگیری پشت به پشت ۴ کامیون ۲۸ تنی در ۱۵، ۵۲/۵ و ۹۰ متری پل ۱۴۰
شکل ۶-۷۴-تغییرمکان قائم وسط تیر چهارم در مقطع ۲ با عبور کامیون از شمال به جنوب و جنوب به شمال ۱۴۰
شکل ۶-۷۵-تغییرمکان قائم وسط تیر سوم در مقطع ۲ با عبور کامیون از شمال به جنوب و جنوب به شمال..... ۱۴۰

شکل ۶-۷۶-تغییرمکان قائم تکیه گاه تیر چهارم (مقطع ۱) با عبور کامیون از شمال به جنوب و جنوب به شمال..... ۱۴۰
شکل ۶-۷۷-تغییرمکان قائم تکیه گاه تیر اول (مقطع ۱) با عبور کامیون از شمال به جنوب و جنوب به شمال ۱۴۰
شکل ۶-۷۸-تغییرمکان قائم وسط تیر چهارم در مقطع ۴ با عبور کامیون از شمال به جنوب و جنوب به شمال..... ۱۴۰
شکل ۶-۷۹-تغییرمکان قائم وسط تیر اول در مقطع ۴ با عبور کامیون از شمال به جنوب و جنوب به شمال..... ۱۴۰
شکل ۶-۸۰-تغییرمکان قائم تکیه گاه تیر چهارم (مقطع ۳) با عبور کامیون از شمال به جنوب وجنوب به شمال ۱۴۰
شکل ۶-۸۱-تغییرمکان قائم تکیه گاه تیر اول (مقطع ۳) با عبور کامیون از شمال به جنوب وجنوب به شمال..... ۱۴۰
شکل ۶-۸۲-کرنش بال تحتانی تکیه گاه تیر چهارم (مقطع ۵) با عبور کامیون از شمال به جنوب و جنوب به شمال..... ۱۴۰
شکل ۶-۸۳-کرنش بال تحتانی وسط دهانه ۴۵ متری تیر چهارم با عبور کامیون از شمال به جنوب جنوب به شمال ۱۴۰
شکل ۶-۸۴-کرنش بال تحتانی وسط دهانه ۴۵ متری تیر اول با عبور کامیون از شمال به جنوب و جنوب به شمال..... ۱۴۰
شکل ۶-۸۵-کرنش بال تحتانی تکیه گاه تیر چهارم با عبور کامیون از شمال به جنوب و جنوب به شمال در خط ۴..... ۱۴۰
شکل ۶-۸۶-کرنش بال تحتانی وسط دهانه ۳۰ متری تیر چهارم با عبور کامیون از شمال به جنوب و جنوب به شمال..... ۱۴۰

نام خانوادگی: اژدری **نام:** افشین

عنوان پایان‌نامه : ارزیابی نتایج آزمایش بارگذاری و بررسی پل های مرکب فولادی در برابر بارهای بهره برداری

مطالعه موردی پل قلعه مرغی شهر تهران

استاد راهنما: دکتر فریدون رضایی

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** مهندسی عمران **گرایش:** سازه **دانشگاه:** بوعلی سینا

دانشکده: مهندسی **تاریخ فارغ‌التحصیلی:** ۱۳۸۸/۳/۲۷ **تعداد صفحه:** ۱۷۱

کلید واژه‌ها: پل، آزمایش بارگذاری دینامیکی، رفتارسنجی، کرنش، تغییر مکان، شتاب.

چکیده:

پل ۲۲۵ متری قلعه مرغی با ۷ دهانه (۳۰+۳۰)+(۳۰+۴۵+۳۰)+(۳۰+۳۰) متری در محله ی در جنوب تهران و در قوس افقی به شعاع ۱۴۰ متر قرار گرفته است. انتقال ارتعاش پل، ناشی از ترافیک به ساختمان های اطراف، موجبات ناراحتی ساکنان اطراف پل را فراهم آورده است. به منظور بررسی وضعیت ارتعاشی پل، آزمایش بارگذاری پل در شهریور ماه سال ۱۳۸۶ انجام پذیرفت. در آزمایش پل مزبور، دهانه سوم و چهارم پل بوسیله سه نوع از تجهیزات شامل، سنورهای شتاب سنج، تغییر مکان سنج و کرنش سنج ابزار بندی گردید. پس از باسکول شدن بارگذاری توسط ۶ کامیون با وزن ۲۸ تن در دو مرحله، بارگذاری استاتیکی و دینامیکی انجام شد. با تفسیر نتایج مشخص شد پل در فرکانس ۲/۶ هرتز بطور شدید ارتعاش می کند و به دلیل نزدیکی فرکانس غالب پل با ساختمانهای اطراف که در حدود ۲/۵ هرتز ارتعاش می کنند، پدیده رزونانس رخ می دهد. در انتها راهکارهایی برای کاهش ارتعاش پل و یا جلو گیری از ایجاد رزونانس در سازه های جنبی پل ارایه شده است.

فصل اول - مقدمه

۱- ۱- پیش گفتار

پل بعنوان یکی از مهمترین ابنیه فنی از جایگاه خاصی برخوردار است، لذا رفتارسنجی[۱] مستمرومنظم آن به منظور تعمیر و نگهداری اصولی از جایگاه اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

ادامه استفاده از پلهای قدیمی با توجه به مزایای اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی، که در پی خواهد داشت هر ساله اهمیت بیشتری پیدا می کند. از این رو مقاومت باقیمانده پلهای موجود از مباحث مورد توجه مهندسان و محققان می باشد. در این ارزیابی نیاز به مدل سازی رفتار سازه جهت درک هرچه بیشتر رفتارهای احتمالی آن وجود دارد. پیچیدگی موجود در رفتار سازه ها انجام مطالعات و تحقیقات دقیقتری را برای مدلسازی رفتار آنها طلب می کند، که انجام آزمایشهای میدانی جزء جدا ناپذیز این امر می باشد. در این میان همچنین رفتار سنجی پلها نقش مهمی را درامرمدیریت نگهداری پلها (BMS)[۲] ایفا می کند.

۱-۲- سیستم مدیریت نگهداری پل (BMS)

مدیریت پل ابزاری است که با استفاده از آن، پل از ابتدا تا انتهای عمر مفیدش تحت مراقبت قرار می گیرد. متأسفانه بسیاری از سیاست گذاران و مسئولین پل در جهان در حالی که نیاز به بازرسی و مراقبت مرتب درطول عمربهره برداری ازپل هارا تشویق می کنند برای آن یک برنامه ریزی جامع و مدون را ارائه نمی کنند، در نتیجه نسل حاضر مهندسین پل، میراثی از پل های آسیب دیده که باید تعمیر، تقویت و یا جایگزین شوند را به ارث برده اند.

[1] *Monitoring*
[2] *Bridge Management System*

۱-۲-۱- تعریف سیستم مدیریت نگهداری پل

سیستم مدیریت نگهداری پل ابزاری است کارا، شامل یک سری از فعالیت های مرتبط که داده های ذخیره شده در بانک اطلاعاتی پلها را مصرف، تولید، یا به روز می نماید و خروجی این فعالیت ها بخش مدیریت پل را در تصمیم گیری در مورد عملیات نگهداری مربوط به پل های تحت مدیریت یاری می نماید.

۱-۲-۲- اهداف سیستم مدیریت پل

مدیریت ها شامل :

الف) مدیریت پیشگیرانه

ب) مدیریت علاج بخش

اهداف سیستم مدیریت پل در جهت یاری رساندن به مدیران پل شامل :

الف) انعکاس تصویری از کلیه پل های تحت مدیریت در جهت اولویت بندی آنها در ارتباط با ساختار کلی راه

ب) کمک به درک نیازهای حفاظت و نگهداری پلها و بررسی روشهای مربوطه به بهینه سازی نرخ سود- هزینه

ج) راه اندازی و کنترل فعالیت نگهداری منتخب از بین روشهای موجود

د) تخمین ارزش و عمر باقیمانده پلها به صورت دوره ای با استفاده از شاخص های مربوطه

بنابراین بسط وتوسعه روشهای تعمیروخرابی سازه هانگرانی اصلی امروزبیشترکشور ها است.

تکنیک های رفتارسنجی قادرند اطلاعات قابل توجهی به منظور کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری سازه های موجود ارایه دهند. به طور خلاصه رفتارسنجی سازه ای علمی است، که قصد دارد