





پارت سازه
PART SAZE STRUCTURAL
ENGINEERING

شرکت مهندسی پارت سازه ساینار

شرکت دانش بنیان رسمی مورد تایید معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری

مستقر در مرکز رشد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

ارزیابی سلامت سازه‌های پل‌ها

بر پایه پاسخ‌های دینامیکی سازه حاصل از

ارتعاش محیطی

اردیبهشت ماه ۱۳۹۵

فهرست مطالب

مقدمه.....	۶
۱ معرفی شرکت مهندسی پارت سازه ساینار.....	۶
۱-۱ بیان برخی فعالیت های گذشته شرکت در زمینه پایش سلامت.....	۷
۱-۱-۱ شرکت در نمایشگاه فناوری های نوین شهری (مرداد ماه ۱۳۹۴).....	۷
۱-۱-۲ برگزاری کارگاه آموزشی پایش سلامت سازه ها در دانشگاه خواجه نصیر (تابستان ۱۳۹۴).....	۸
۱-۱-۳ برگزاری کارگاه آموزشی پایش سلامت سدها در محل سد کارون ۳ (مهرماه ۱۳۹۴).....	۸
۱-۱-۴ مصاحبه با برنامه نسیم دانش و معرفی خدمات و فعالیت های شرکت (پخش در دی ۱۳۹۴).....	۹
۱-۱-۵ شرکت در نشست تخصصی بهره برداری از فناوریهای صنعت عمران و ساختمان در پارک فناوری پردیس (بهمن ۱۳۹۴).....	۹
۱-۱-۶ انجام عملیات پایش سلامت بر روی پل فلزی اصفهان (کارفرما شهرداری اصفهان؛ اسفندماه ۱۳۹۴).....	۱۰
۱-۱-۷ انجام عملیات پایش سلامت بر روی پل بزرگمهر اصفهان (کارفرما شهرداری اصفهان؛ اسفندماه ۱۳۹۴).....	۱۱
۱-۱-۸ انجام عملیات پایش سلامت بر روی پل چمران اصفهان (کارفرما: شهرداری اصفهان؛ اسفندماه ۱۳۹۴).....	۱۲

۱-۱-۹ آغاز همکاری شرکت پارت سازه با شرکت معتبر VCE (Vienna Consulting Engineers)

در زمینه ی پایش سلامت سازه ها (اسفندماه ۱۳۹۴) ۱۴

۲ معرفی مختصر پایش سلامت سازه ها ۱۷

۲-۱-۱ مراحل کلی پایش سلامت سازه ای بر مبنای اطلاعات لرزه ای ۲۱

۲-۱-۲ جمع آوری پاسخ سازه ۲۱

۲-۱-۲ استخراج اطلاعات مورد نیاز از پاسخ سازه ۲۲

۲-۱-۳ تحلیل و پردازش اطلاعات سازه ۲۳

۲-۲ معرفی مختصر سیستم پایش سلامت پل ها ۲۴

۲-۲-۱ کارزار پایش ۲۵

۲-۲-۲ بررسی مختصر برخی نتایج دهانه ی شمالی پل بزرگراهی چمران اصفهان ۳۰

۳ حسگرهای پیشنهادی Error! Bookmark not defined.

۳-۱ حسگرهای با دقت بالا Error! Bookmark not defined.

۳-۱-۱ حسگرهای وارداتی Error! Bookmark not defined.

۳-۲-۲ حسگرهای داخلی Error! Bookmark not defined.

۳-۲ حسگرهای معمولی Error! Bookmark not defined.

مقدمه

در این گزارش در ابتدا به معرفی مختصر شرکت مهندسی پارت سازه و بیان برخی فعالیت‌های آن در گذشته می‌پردازیم و در ادامه به صورت مختصر در مورد برخی مباحث فنی پایش سلامت پل‌ها مطالبی را بیان می‌نماییم و در نهایت دو پیشنهاد برای انجام عملیات پایش سلامت سازه‌ای (Structural Health Monitoring) بر روی پل بزرگراهی صدر ارایه خواهیم نمود.

۱ معرفی شرکت مهندسی پارت سازه ساینار

شرکت مهندسی پارت سازه در مهرماه ۱۳۹۳ به صورت رسمی توسط معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری به عنوان یکی از معدود شرکت‌های عمرانی دانش بنیان در زمینه مهندسی سازه و زلزله شناخته و معرفی گردید. اعضای هیات علمی شرکت مجموعه‌ای از اساتید و برترین دانشجویان و فارغ‌التحصیلان دانشگاه‌های برتر کشور می‌باشند که با هدف ارتباط هر چه بیشتر و قوی‌تر دانشگاه و علوم دانشگاهی نوین در زمینه‌ی مهندسی عمران با صنایع و نهادهای اجرایی مرتبط گرد هم آمده‌اند. مدیریت عامل شرکت جناب مهندس حجت کارگر کارشناس ارشد مهندسی زلزله از دانشگاه علم و صنعت و رییس هیات مدیره شرکت جناب دکتر رضا کرمی محمدی، فوق دکترای مهندسی زلزله از دانشگاه کارلتون کانادا، دانشیار و عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و معاونت آموزشی دانشکده عمران این دانشگاه می‌باشد. زمینه‌های اصلی فعالیت شرکت دو زمینه‌ی **پایش سلامت سازه‌ای و کنترل ارتعاشات سازه‌ها** می‌باشد؛ جهت آشنایی با اعضای هیات علمی شرکت به کتابچه پارت سازه که به گزارش حاضر پیوست می‌باشد مراجعه نمایید. همچنین جهت دریافت کتابچه و کاتالوگ می‌توانید به تارنمای شرکت به آدرس اینترنتی www.partsazeco.com مراجعه نمایید.



۱-۱ بیان برخی فعالیت‌های گذشته شرکت در زمینه پایش سلامت

۱-۱-۱ شرکت در نمایشگاه فناوری‌های نوین شهری (مرداد ماه ۱۳۹۴)



۱-۱-۲ برگزاری کارگاه آموزشی پایش سلامت سازه‌ها در دانشگاه خواجه نصیر (تابستان ۱۳۹۴)



۱-۱-۳ برگزاری کارگاه آموزشی پایش سلامت سدها در محل سد کارون ۳ (مهرماه ۱۳۹۴)



۱-۱-۴ مصاحبه با برنامه نسیم دانش و معرفی خدمات و فعالیت‌های شرکت (پخش در دی ۱۳۹۴)



۱-۱-۵ شرکت در نشست تخصصی بهره‌برداری از فناوری‌های صنعت عمران و ساختمان در پارک

فناوری پردیس (بهمن ۱۳۹۴)



۱-۱-۶ انجام عملیات پایش سلامت بر روی پل فلزی اصفهان (کارفرما شهرداری اصفهان؛ اسفندماه

(۱۳۹۴



شهررداری اصفهان

تاریخ: ۹۴/۱۰/۰۵

موضوع: صورتجلسه مورخ ۹۴/۱۰/۰۵

جلسه ای با حضور امضاء کنندگان ذیل در محل حوزه معاونت عمران شهری در خصوص خدمات مشاوره ای در خصوص پروژه پایش سلامت سازه بر روی سه پل به انتخاب شهرداری اصفهان، تشکیل و مقرر گردید خدمت فوق الذکر توسط شرکت مهندسی پارت سازه ساینار طبق شرایط ذیل و پیوست شماره (۱) صورت پذیرد.

۱- مبلغ اولیه توافق به صورت خالص (ریال) می باشد.

۲- مدت پیمان: دو ماه

۳- شهرداری می تواند تا ۲۵ درصد مبلغ اولیه توافق را افزایش یا کاهش دهد.

شرکت پارت سازه ساینار

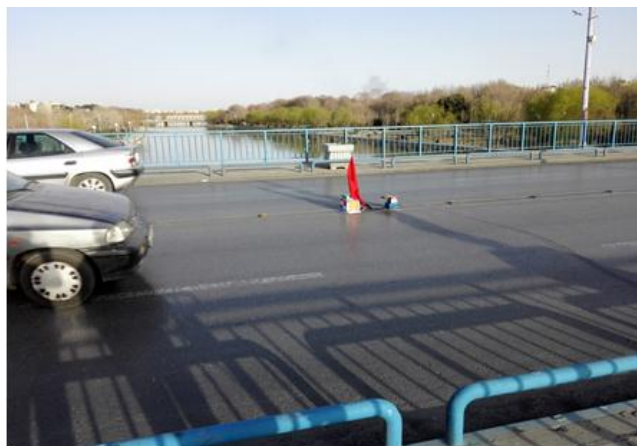
رئیس اداره تعمیرات و نگهداری: **فرستادگی**

رئیس اداره اعتبارات: **فرستادگی**

رئیس اداره پیمان: **حمید تهری**

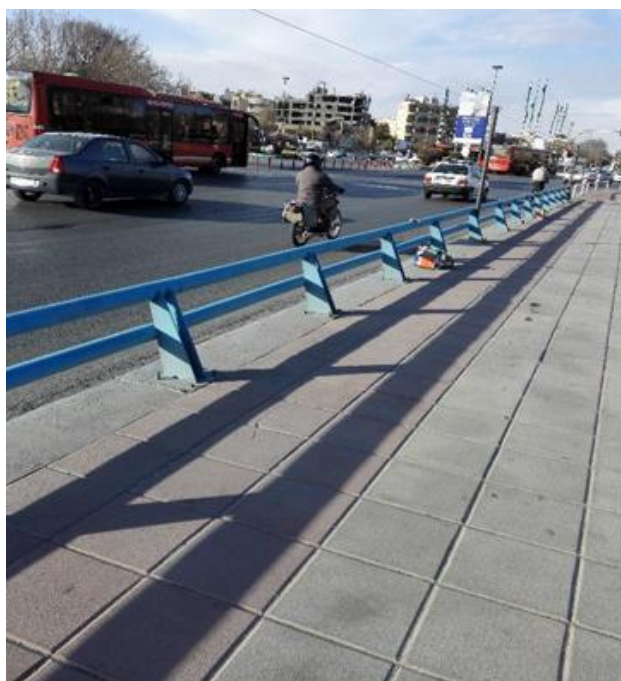
مدیر برنامه های شهری: **امیر ذبیحیان**

رئیس اداره عمران شهری: **ایرج مظفر**



۱ - ۱ - ۷ انجام عملیات پایش سلامت بر روی ۲ پل بزرگمهر عرشه غربی و عرشه شرقی اصفهان

(کارفرما شهرداری اصفهان؛ اسفندماه ۱۳۹۴)





۱ - ۱ - ۸ انجام عملیات پایش سلامت بر روی ۲ پل چمران عرشه شمالی و عرشه جنوبی اصفهان

(کارفرما: شهرداری اصفهان؛ اسفندماه ۱۳۹۴)



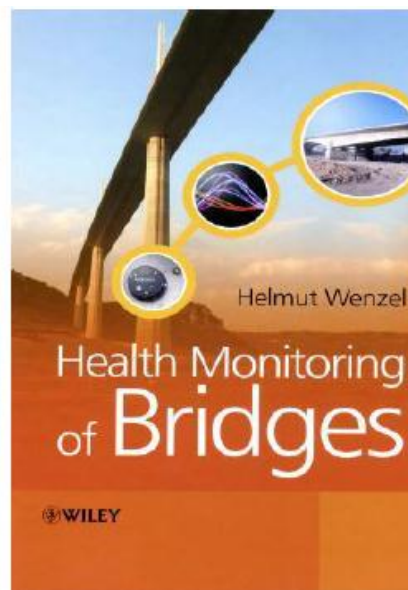
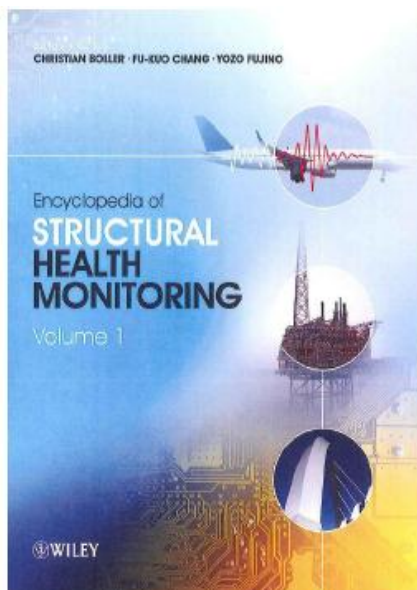
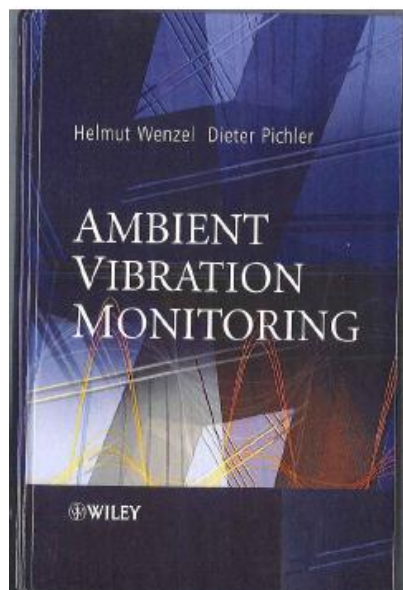


۱-۱-۹ همکاری شرکت پارت سازه با شرکت معتبر VCE (Vienna Consulting Engineers) در

زمینه‌ی پایش سلامت سازه‌ها (اسفندماه ۱۳۹۴)

شرکت VCE یک شرکت بزرگ مهندسی مشاور اتریشی می‌باشد که در ۶۹ کشور دنیا بیش از ۷۵۰۰ پروژه در زمینه‌های مختلف انجام داده است. پروژه‌های پایش سلامت سازه‌ای بر روی پل‌های مختلفی از جمله پل‌های بزرگراهی در کشورهای اتریش و ترکیه و پل‌های راه‌آهن در کشورهای ایالات متحده، اتریش و ... توسط این شرکت انجام گردیده است. مدیریت عامل این شرکت آقای هلموت ونزل است که کتابهای مختلفی از وی در زمینه‌ی پایش سلامت سازه‌ای (مخصوصاً در زمینه‌ی پل‌ها) توسط انتشارات جان وایلی به چاپ رسیده است.

اخیراً ترجمه برخی کتب ایشان در دانشگاه‌های ایران نیز مورد استفاده قرار گرفته است.



در اسفندماه ۱۳۹۴ جلسه مشترکی با حضور نمایندگان شرکت پارت سازه و آقای پیتز فورتنر نماینده قانونی شرکت VCE و همکار رسمی شرکت پارت سازه در ایران و معاونت عمرانی شهرداری اصفهان صورت گرفت که اساس ایجاد شبکه ملی پایش سلامت پل‌ها در استان اصفهان گذاشته شد.



۱ - ۱ - ۹ شهرداری شیراز

سمینار آموزشی پایش سلامت سازه‌ها در معاونت عمرانی شهرداری شیراز



به جهت ملاحظه‌ی فعالیت‌های شرکت در زمینه‌ی کنترل ارتعاشات سازه‌ها به کتابچه و تارنمای شرکت مراجعه فرمایید؛ لازم به ذکر است در مورد برخی اطلاعات فنی عملیات پایش سلامت سازه‌ای پل‌های فلزی، بزرگمهر و چمران اصفهان در ادامه بحث خواهد گردید. همچنین کاتالوگ‌های شرکت VCE به همراه گزارش حاضر پیوست می‌باشد.

۲ معرفی مختصر پایش سلامت سازه‌ها

در طول زمان بهره‌برداری از سازه‌ها ممکن است آسیب‌هایی در قسمت‌های حیاتی آنها ایجاد شده و به مرور زمان گسترش یابد؛ عوامل بسیاری از قبیل وارد آمدن نیروهایی بزرگ‌تر از نیروهای پیش‌بینی شده، شرایط نامناسب پیرامون سازه، قرار گرفتن در معرض تغییرات شدید آب و هوایی، خطاهای ساخت، ضربه، خستگی، خوردگی و ... می‌توانند منجر به وقوع آسیب سازه‌ها شوند.

از گذشته تعیین وضعیت سلامت و یا آسیب دیدگی سازه‌ها، مخصوصاً سازه‌های با اهمیت نظیر پل‌ها، سدها، تونل‌ها، ساختمان‌های با تعداد ساکنان بالا و یا دارای تجهیزات گران قیمت، ساختمان‌های مهم که لازم است بهره‌برداری آنها متوقف نگردد، ساختمان‌های تاریخی و ... همواره حائز اهمیت بوده است. بر اساس شیوه‌ی کلاسیک و قدیمی، بررسی وضعیت سازه با استفاده از بازمینی چشمی توسط یک متخصص انجام می‌شود که این مسئله چند ضعف عمده دارد:

۱ - به صورت ذاتی طبیعتاً خطای این روش بالا می‌باشد.

۲ - پوشیده بودن اجزای اصلی و همین‌طور اتصالات سازه و همچنین بخش‌های داخلی سازه یکی دیگر از مشکلات بازرسی چشمی است. بسیاری از خرابی‌ها از بخش‌های داخل المان‌ها آغاز می‌شود که با چشم قابل رویت نمی‌باشد.

۳ - امکان دسترسی به بسیاری از بخش‌های برخی از سازه‌ها مانند سکوهای دریایی، پل‌های با دهانه بلند، سازه‌های فضاکار و ... به طور کلی وجود ندارد.

بر این اساس روش‌های ارزیابی غیرمخرب به وجود آمد. ارزیابی غیرمخرب وضعیت سلامت سازه‌ها موضوع علم نوین پایش سلامت سازه‌هاست. این ارزیابی معمولاً سه هدف عمده را مد نظر قرار می‌دهد:

- ۱ - پایش سلامت سازه‌ای به عنوان فراهم کننده‌ی اطلاعات مورد نیاز در بحث ترمیم و مقاوم سازی سازه‌ها. در این مورد علاوه بر تعیین موقعیت مکانی آسیب‌ها و نیز شدت آنها می‌توان هزینه‌ی ترمیم و مقاوم سازی و نیز مدت زمان لازم برای انجام عملیات ترمیم و مقاوم سازی را نیز برآورد نمود.
- ۲ - ابزاری به جهت برآورد و تخمین باقیمانده‌ی عمر مفید سازه؛ دانستن باقیمانده‌ی عمر سازه می‌تواند منجر به اخذ تصمیم درست در قبال سازه از طرف مالک، بیمه‌گذار، ساکنین و ... گردد.
- ۳ - ابزاری به جهت اعلام هشدار قبل از خرابی سازه و نیز تعیین مسیرهای فرار و نقاط امن سازه در مواقع بحرانی مانند جنگ، زلزله (کاهش تلفات پس لرزه‌ها)، بادهای شدید و
- به طور کلی روش های انجام ارزیابی غیرمخرب در گذشته بیشتر به صورت روش های تست محلی بوده است. این روش ها عبارتند از:
- الف) روش های آکوستیک و اولتراسونیک.
- ب) روش های میدان مغناطیسی.
- پ) رادیوگرافی.
- ت) روش های جریان ادی.
- ث) روش های میدان حرارتی.
- روش های فوق دارای چند ضعف و ایراد عمده می‌باشند:
- ۱ - برای استفاده از این روش ها باید محدوده مکان آسیب از قبل مشخص باشد چرا که انجام تست موضعی بر روی کل یک سازه عملاً امکان پذیر نمی باشد.
- ۲ - محدوده مورد نظر باید حتماً قابل دسترسی باشد. همانگونه که قبلاً دیدیم در بسیاری از مواقع دسترسی به بخش های مختلفی از سازه امکان پذیر نمی باشد.

۳- در اغلب موارد لازم است که بهره برداری از سازه برای مدتی متوقف گردد تا بررسی ها و تست های لازم انجام گردد. این مسئله در بسیاری از موارد امکان پذیر نمی باشد و یا اینکه ممکن است خسارت های مالی به بار آورد.

۴- ارزیابی با این روش ها معمولاً بسیار زمان بر است.

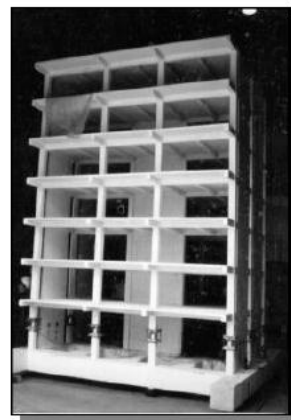
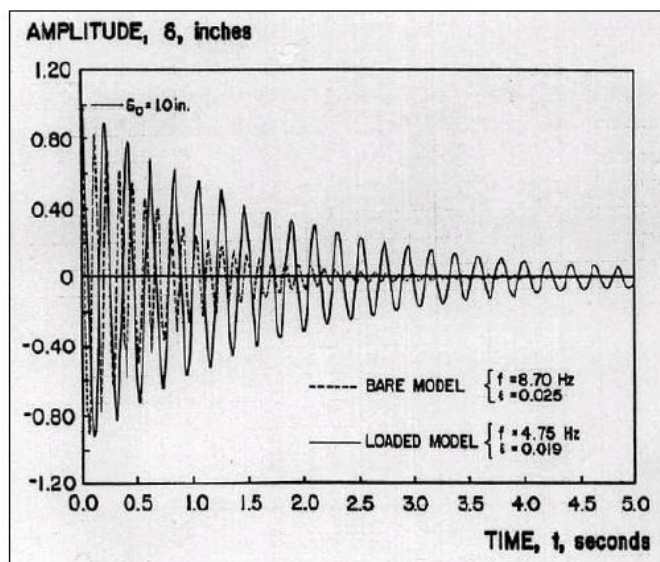
با توجه به ایرادات ذکر شده، امروزه انجام تمام عملیات پایش سلامت سازه با این روش ها محدود به سازه های کوچک و نیز آسیب یابی در سطوح قابل دسترسی (خارجی) سازه ها می گردد. البته به عنوان مکمل پایش سلامت در برخی موارد از روش های ذکر شده استفاده می شود. با توجه به تمام موارد ذکر شده نیاز به روشی که بتواند در کنار دقت بالا با هزینه کم از لحاظ مالی و زمانی قابل اجرا باشد وجود داشته است. بر این اساس روش های پایش سلامت بر مبنای اطلاعات لرزه ای سازه توسعه داده شده اند. در این روش ها از نکته زیر استفاده می شود:

هر آسیبی در سازه منجر به تغییر در مشخصات فیزیکی سازه (جرم، سختی و میرایی) می گردد؛ این مسئله منجر به تغییر در ویژگی های دینامیکی (فرکانس مودها، بردار شکل مودها، میرایی مودها، توابع انتقال، پاسخ سازه و ...) سازه خواهد شد.

در ادامه ملاحظه می گردد که با افزایش شتاب میز لرزان در یک آزمایش بر روی سازه ۳ بعدی در ژاپن و آغاز و سپس توسعه ی آسیب میزان فرکانس مود اول سازه کاهش و میرایی این مود افزایش می یابد؛ این بدان معناست که می توان آسیب سازه منجر به تغییر در پارامترها و مشخصات فیزیکی سازه شده است.

1981/1982 US-JAPAN PROJECT

Response of Bare Frame Before and After Adding Ballast

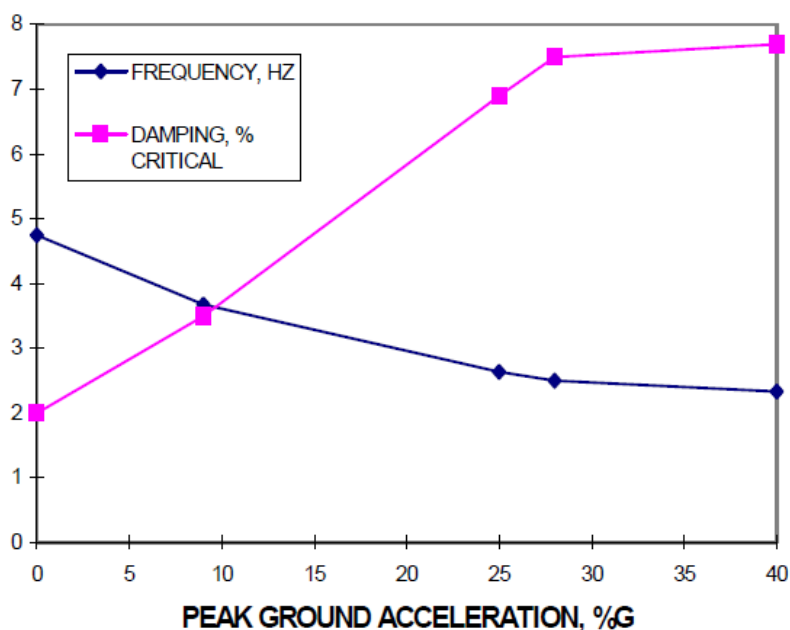


Model Weight

Bare Model 18 kips
Loaded Model 105 kips

1981/1982 US-JAPAN PROJECT

Change in Damping and Frequency with Accumulated Damage

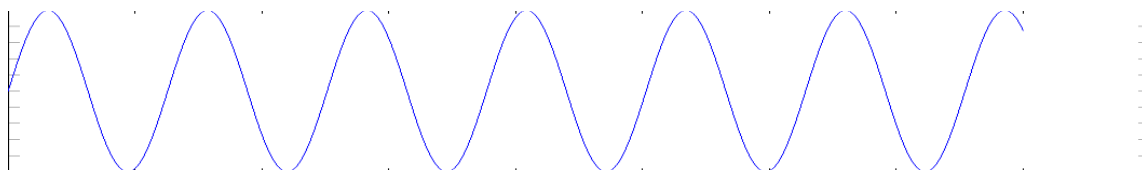


امروزه پروژه‌های بسیاری در زمینه‌ی پایش سلامت پل‌ها، سدها و ساختمان‌ها در دنیا با استفاده از اطلاعات لرزه‌ای انجام می‌گردد؛ در واقع در حال حاضر قریب به اتفاق پروژه‌های بزرگ که عملیات پایش سلامت کلی (و نه موضعی در مکانی خاص) بر روی آنها انجام می‌گردد از پایش سلامت بر مبنای اطلاعات لرزه‌ای استفاده می‌نمایند.

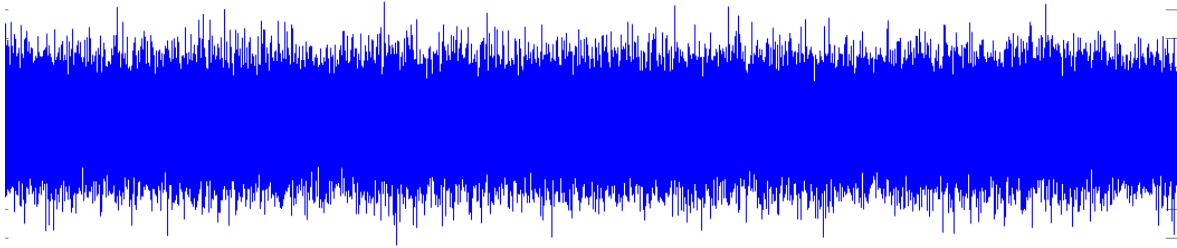
۲-۱ مراحل کلی پایش سلامت سازه‌ای بر مبنای اطلاعات لرزه‌ای

۲-۱-۱ جمع‌آوری پاسخ سازه

الف) پاسخ سازه در اثر یک ارتعاش اجباری جمع‌آوری می‌گردد. به عنوان مثال یک تحریک هارمونیک با فرکانس و دامنه‌ی مشخص توسط دستگاه‌هایی که بدین منظور ساخته شده‌اند و یا توسط انسان به سازه اعمال می‌گردد..

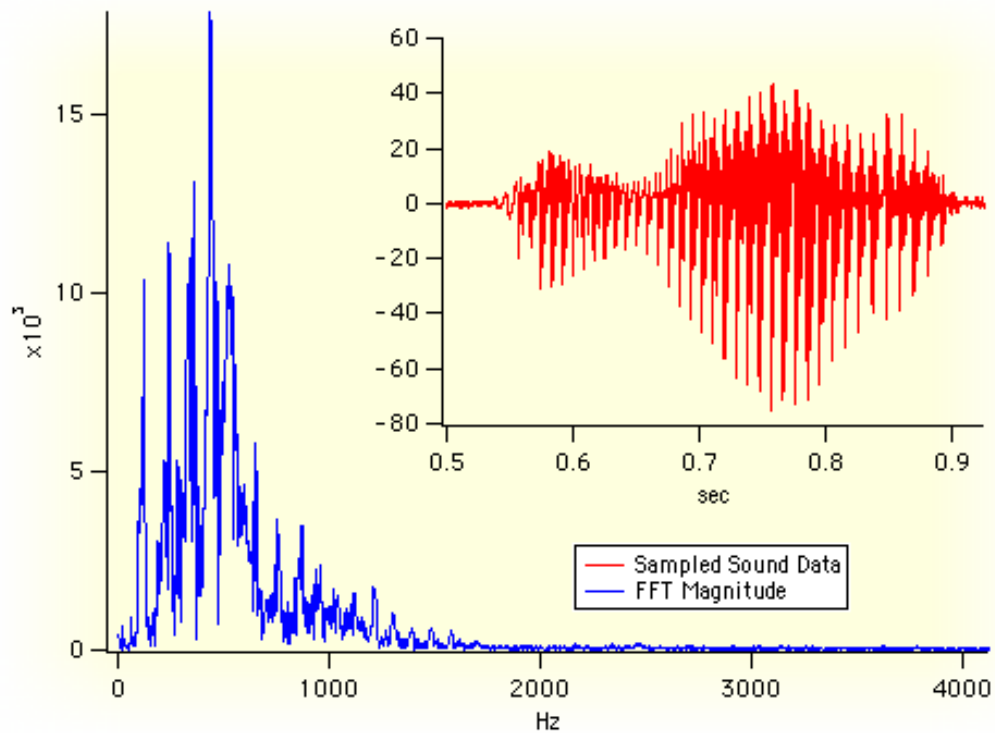


ب) پاسخ سازه تحت ارتعاش محیطی که در هر محل با توجه به اثر باد، عبور ترافیک، انسان، لرزش طبیعی زمین، حرکت قطارهای زیرزمینی مترو و به طور ذاتی و طبیعی وجود دارد جمع‌آوری می‌شود.



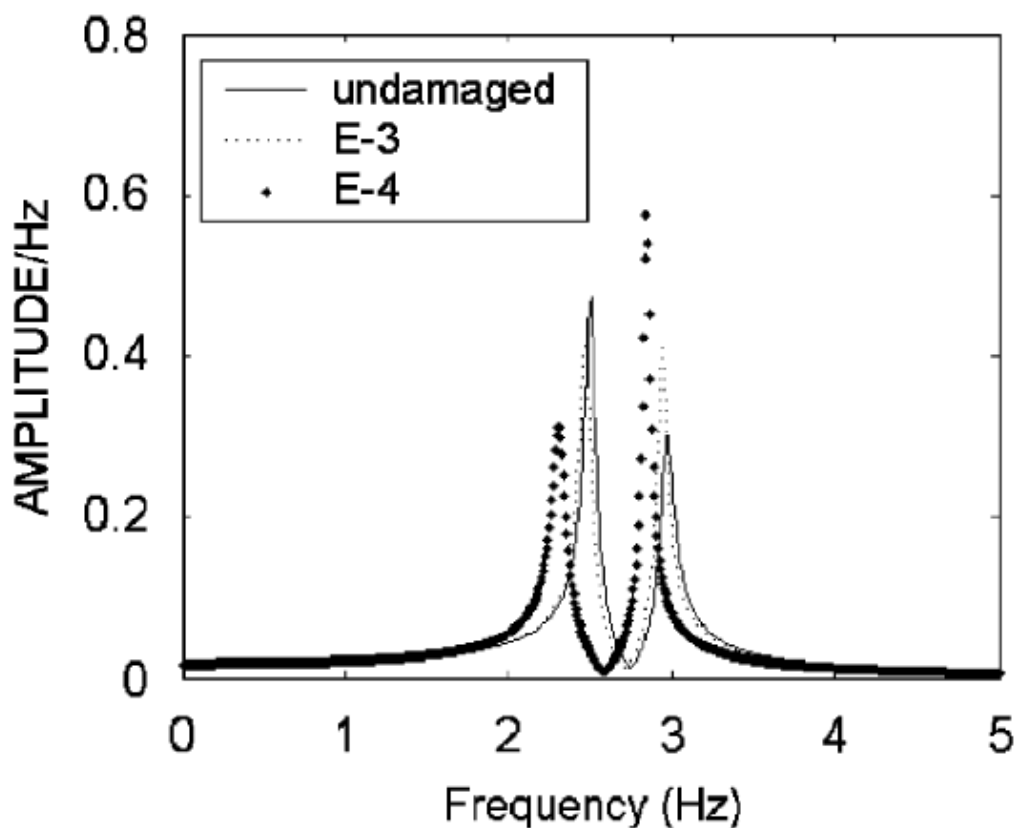
۲-۱-۲ استخراج اطلاعات مورد نیاز از پاسخ سازه.

در این مرحله پارامترهای سازه از قییل فرکانس‌های مودی کلی و محلی، نسبت‌های میرایی مودی کلی، بردارهای شکل مودی و ... استخراج می‌شوند.



۲-۱-۳ تحلیل و پردازش اطلاعات سازه.

در این مرحله یا به صورت مستقیم بر روی اطلاعات مرحله ۱ و یا بر روی اطلاعات مرحله ۲ با استفاده از الگوریتم‌ها و نرم‌افزارهای مختلف پردازش انجام می‌شود و در پایان این مرحله وضعیت سلامت و یا عدم سلامت و همچنین نقاط احتمالی آسیب‌دیده مشخص می‌گردد.



۲-۲ معرفی مختصر سیستم پایش سلامت پل‌ها

در حال حاضر مالکان پل‌ها جهت مدیریت سلامت آنها از یکی از سامانه‌های تجاری نظیر PONITS استفاده می‌کنند یا اینکه با توسعه آرشیو اطلاعاتی خودشان در طول زمان برای پل مورد نظر به این مهم دست یافته اند. در ادامه به برخی از ویژگی‌های این سامانه اشاره خواهد شد:

- کلیه سازمان‌ها یک سازوکار سیستماتیک برای بازرسی و نظارت دارند که معمولاً به سه سطح تقسیم می‌شود، اما همه آنها از نتایج بازرسی به شکل جامع و واقع‌بینانه برای رتبه‌بندی سلامت استفاده نمی‌کنند.
- در حال حاضر کلیه ادارات و سازمان‌های حمل‌ونقل برای ارزیابی وضعیت از بازرسی چشمی به عنوان منبع اصلی داده‌های مربوطه استفاده می‌کنند.
- هر سازمان از روش‌های متفاوتی برای رتبه‌بندی وضعیت استفاده می‌کنند. این وضعیت ناشی از این حقیقت است که مهندسین ارزیاب ممکن است برای یک پل نمره‌های مختلفی را لحاظ کنند.
- بیشتر روش‌ها، کل پل را به چندین بخش و این بخش‌ها را به چندین عضو تقسیم می‌کنند. در این موارد هیچ توصیه روشن و عملی برای نحوه گذار از وضعیت اعضای منفرد به وضعیت کلی پل وجود ندارد و این کار با قضاوت مهندسی بازرس انجام می‌شود.
- همانطور که شرح داده شد این نرم‌افزارها بر پایه اطلاعات ورودی توسط بازرسان نمره‌ای برای سازه تولید می‌کنند که برای رتبه‌بندی آن استفاده می‌شود. به منظور رتبه‌بندی بهتر و واقعی‌تر، روش سنتی باید با مقادیر محاسباتی و اندازه‌گیری شده ترکیب شود. اگر رتبه‌بندی بر پایه سه رهیافت زیر انجام شود، نتایج بهتری خواهد داشت:
- بازرسی‌های رایج فعلی.
- محاسبه امتیاز از روی مقادیر اندازه‌گیری شده توسط حسگرها در آزمایش‌های پل.

- رتبه‌بندی از روی مقایسه اندازه‌گیری‌ها با مدل‌های محاسباتی.

در این میان از سال ۱۹۹۵ تنها توسط شرکت VCE(BRIMOS) در حدود ۱۰۰۰ سازه مورد ارزیابی قرار گرفته که مبتنی بر مشخصات ارتعاشی و پارامترهای دینامیکی اندازه‌گیری شده (فرکانس ارتعاشی، شکل مودی، الگوی میرایی، شدت ارتعاشات و جابجایی‌های استاتیکی و دینامیکی)، به هنگام سازی مدل المان محدود و بازرسی‌های چشمی سازه بوده است.

با توجه به شرایط حاضر باید بپذیریم که در بسیاری از سازه‌ها، ما با یک تاریخچه ناشناخته بسیار وسیع سرو کار داریم. بنابراین ابتدا باید از یک کارزار پایش شروع کنیم تا بتوانیم درباره پایش سلامت داریم در سازه‌های حساس سخن بگوییم. در این حال رویکردهای مبتنی بر ارتعاشات باید در پایش سلامت پل‌ها غالب باشند. در بسیاری از موارد نقطه آغازین یک کارزار پایش با استفاده از ارتعاشات محیطی است تا وضعیت کیفی یا میزان انحراف از انتظارات مشخص شود. پس از شناسایی سیستم، می‌توان یک سیستم نهایی به صورت دائمی طراحی کرد که در آن از حوزه وسیعی از حسگرها و روش‌هایی که امروزه موجوداند استفاده شود.

۲-۲-۱ کارزار پایش

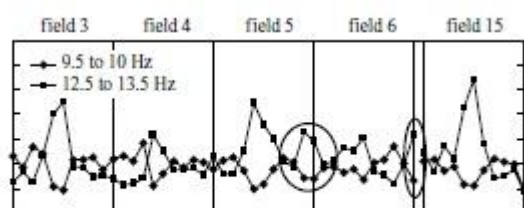
شرکت مهندسی **پارت سازه** به عنوان شرکت دانش بنیان مورد تایید معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و همچنین واحد فناور مستقر در مرکز رشد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و نماینده رسمی شرکت VCE(BRIMOS) با داشتن بینه علمی و اجرایی کافی در زمینه سیستم‌های پایش سلامت سازه‌ای و اجرای آن، آمادگی خود را برای انجام پروژه‌های پایش سلامت اعلام می‌دارد. در ادامه روش‌های مختلفی برای شروع کارزار پایش سلامت پل‌ها آورده شده است:

۱- ایجاد مقادیر الگو^۱ تیرهای زیر عرشه به عنوان اجزای مستقل و تشکیل ترند کارت‌ها^۲ (که احتمال آسیب

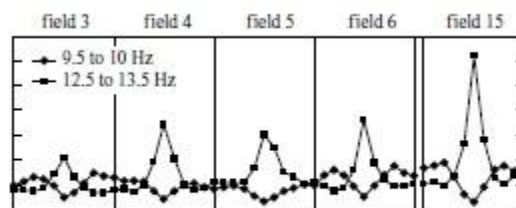
به صورت چشمی در آن‌ها وجود دارد) بر پایه مشخصات دینامیکی حاصل از ارتعاشات حس شده توسط

حسگرهای شتاب.

مثال: پل یورو پابروک



Behavior pattern of the cantilevers with indications of irregularity



Acceptable behavior pattern of the cantilevers along the bridge

۲- تشکیل مدل المان محدود تیرها و به‌هنگام سازی مدل تیرها از روی مقادیر آماری مشخصات دینامیکی.

۳- به کارگیری الگوریتم‌های تشخیص آسیب بر پایه مقایسه عملکرد تیرهای سالم و آسیب دیده.

مثال: تیر بتنی مسلح پیش تنیده ساخته شده توسط Bilfinger Berger، تیر بتن مسلح پیش تنیده Teughels

۲۰۰۳، تیر بتن مسلح Maeck، پل Lanaye، پل روزرنبرک، پل رومکه و بریکه و ...



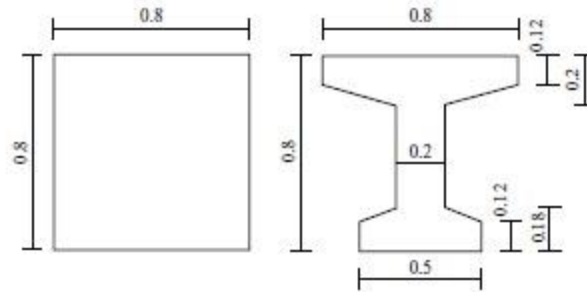
Lanaye Bridge



The investigated PRC beam

^۱ Value of patterns

^۲ Trend cards



Cross-sectional sketches (dimensions in meters)

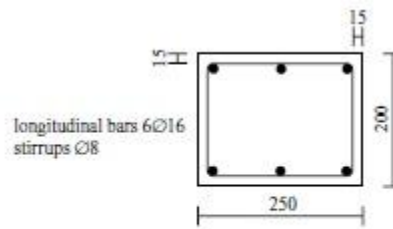


Figure 7.45 Beam cross-section (dimensions in millimeters)



Rosenbrücke crossing the Danube at Tulln



(a) Rümmecke Bridge and (b) Berbke Bridge

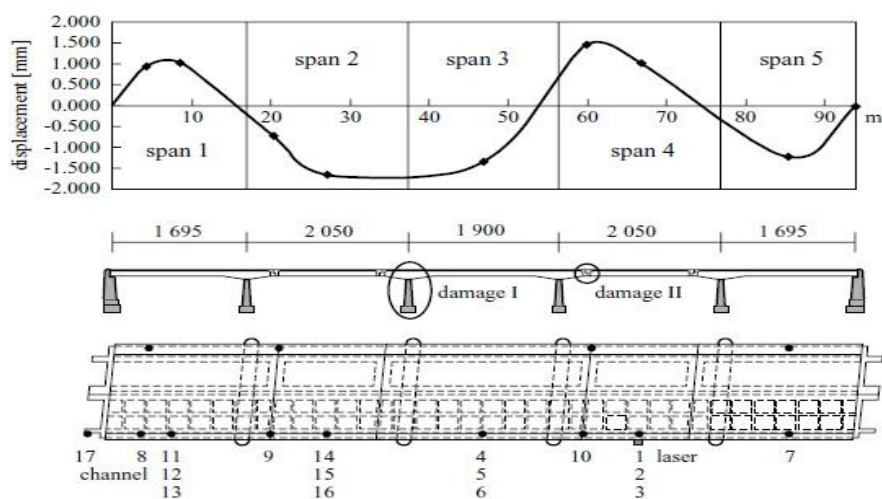
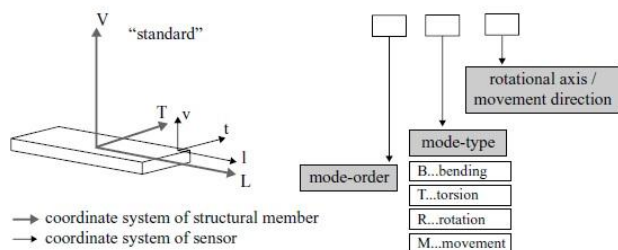
۴- بررسی احتمال وجود آسیب بر پایه اطلاعات بدست آمده از اشکال و فرکانس مدی حاصل از ارتعاش

محیطی

مثال: پل Aschach Danube به طول ۳۲۵ متر

Eigenfrequencies – Aschach Danube Bridge

Eigenfrequency [Hz]	Typification	Number of alternations	Initiated in span number	Brief description	Sequential mode nomenclature	Specific mode nomenclature
0.85	BT	1	2	Main span	(1)BT	1BT main span
1.24	BT	1	1; 3	Side-span	(2)BT	1BT side-span
1.52	BT	1		Uniformly	(3)BT	1BT uniformly
2.09	TL	1	2	Main span	(4)TL	1TL main span
2.90	BT	2	2	Main span	(5)BT	2BT main span
3.81	BT	2	1; 3	Side-span	(6)BT	2BT side-span
4.02	BT	2		Uniformly	(7)BT	1BT uniformly
6.40	TL	3	2	Main span	(8)TL	2TL main span
7.24	BT	3	1; 3	Side-span	(9)BT	3BT side-span
8.69	BT	4	2	Main span	(10)BT	3BT main span



Measured first mode shape of a defect structure (settlement of supports due to heavy traffic)



Figure 7.71 First mode shape 0.85 Hz (measurement) and 0.81 Hz (computation) – 1^{BT} symmetric, main span



Figure 7.72 Second mode shape 1.24 Hz (measurement) and 1.22 Hz (computation) – 1^{BT} side-span



Figure 7.73 Third mode shape 1.52 Hz (measurement) and 1.53 Hz (computation) – 1^{BT} uniformly



Figure 7.74 Fourth mode shape 2.09 Hz (measurement) and 2.29 Hz (computation) – 1^{TL} main span



Figure 7.75 Fifth mode shape 2.90 Hz (measurement) and 2.66 Hz (computation) – 2^{BT} main span

- ۵- به هنگام سازی مدل المان محدود کلی سازه توسط پاسخ‌های دینامیکی سازه و لحاظ کردن مدل‌های به هنگام شده تیرها به عنوان منبع اصلی سیستم پایش سلامت دائمی در طول زمان.
- ۶- به دست آوردن ضرایب میرایی و تغییرات آن در طول زمان که البته نیاز به انجام آزمایشات دوره ای می‌باشد.

مثال : پل MELK M۶ اتریش

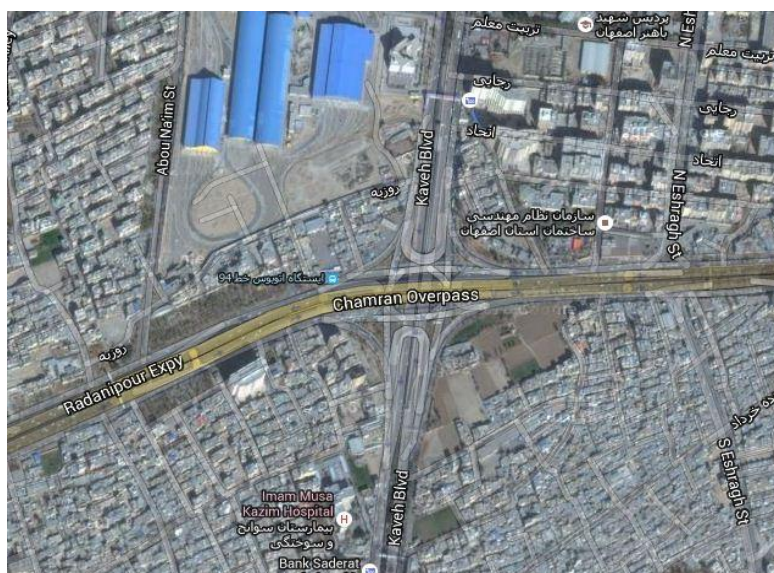
با انجام آزمون‌های ارتعاش کلی و موضعی سازه توسط ۸ سنسور شتاب، یک سنجش اولیه از سازه صورت گرفت. به علاوه یک مدل المان محدود ساخته شد که با نتایج تجربی به هنگام سازی گردید.



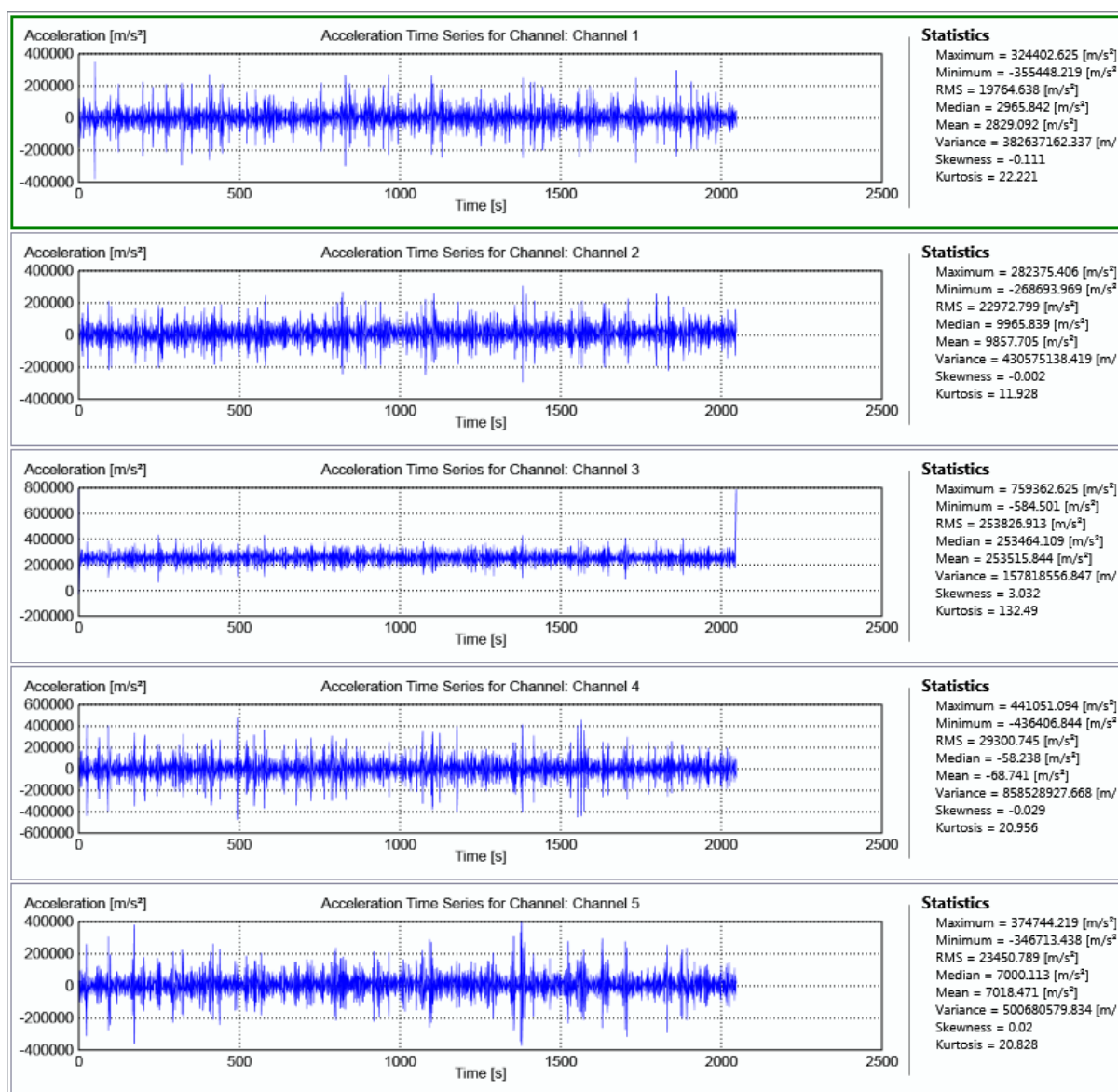
Melk Bridge M6, Austria

۲-۲-۲ بررسی مختصر برخی نتایج دهانه‌ی شمالی پل بزرگراهی چمران اصفهان

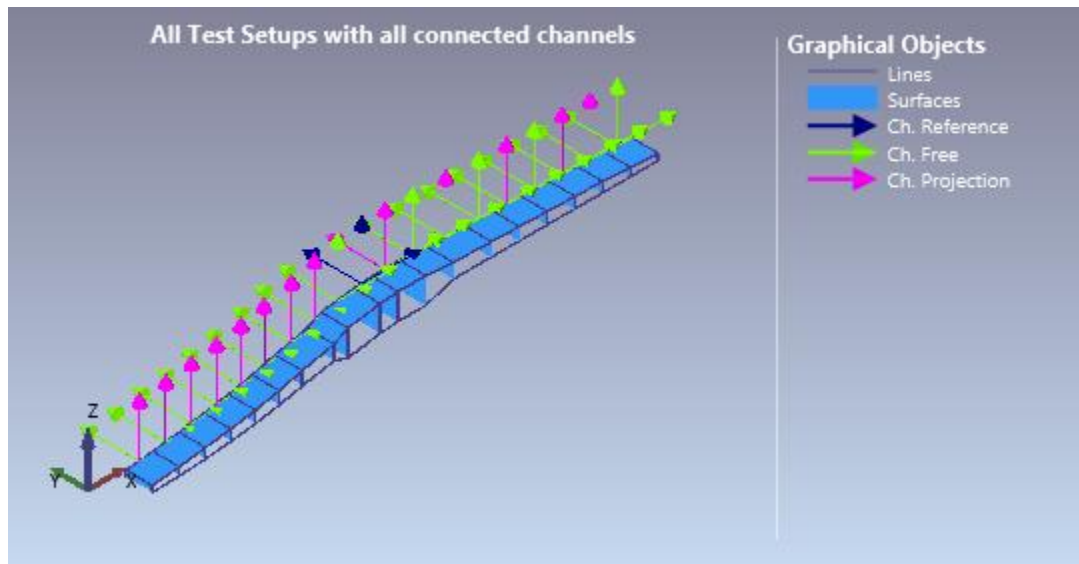
این پل واقع در تقاطع بلوار کاوه و بزرگراه شهید ردانی پور در شهرستان اصفهان واقع شده است. پل دارای ۱۹ دهانه و ۲۰ پایه با طول کل ۲۹۱ متر و عرض ۱۴/۲۵ متر می‌باشد. به طور کلی ۵ نمونه برداری، هر کدام با استفاده از تعداد ۵ حسگر (جمعا ۲۵ موقعیت برای حسگرهای شتاب) انجام گرفته است.



در این پل عملیات پایش سلامت به صورت دوره‌ای و نه دائم انجام شده است. بدین ترتیب با کارگذاری حسگرهای شتاب در نقاط مختلف پل با آرایش‌های مختلف و از پیش طراحی شده، پاسخ سازه به ارتعاش محیطی موجود که عمدتاً ناشی از حرکت خودروهای عبوری می‌باشد جمع‌آوری گردیده است.



در تصویر زیر مدل پل چمران را که در نرم افزار مربوط به Model Updating را ملاحظه می نمایید.



سپس پارامترهای مودی سازه برای مودهای مختلف ارتعاشی پل با استفاده از الگوریتم های مختلف و مسیرهای مختلف (برای اطمینان بیشتر به نتایج) استخراج شده است و در نهایت پاسخ تمام روش ها بسیار نزدیک به هم بوده- اند.