اولین کنگره ملی مهندسی عمران ، NCCE 1383
۲۲-۲۴ اردیبهشت ماه ۱۳۸۳ - دانشگاه صنعتی شریف

کد مقاله: ۱۵۴۲-۸۳

ارزیابی رفتار لرزه‌ای پل فولادی روگذر بزرگراه با دهانه متوسط

احمد نیکنام , استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران ـ دانشکده عمران
۰۹۱۲ -۱۲۲۸۸۴۵
مصطفی خانزادی , استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران ـ دانشکده عمران
۰۹۱۲-۱۳۰۷۵۸۳
ساسان معتقد , کارشناس ارشد زلزله, دانشگاه علم و صنعت ایران ـ دانشکده عمران

چکیده :

آنالیز و طراحی لرزه‌ای پلها ، به دلیل اهمیت فوق‌العاده آنها در ارتباطات و خصوصاً نیازهای پس از وقوع زمین‌لرزه از ویژگی خاصی برخوردار می‌باشد. این سازه‌ها بدلیل درجه نامعینی نسبتا کم، حساسیت زیادی به روش تحلیل دارند.این کار تحقیقی با هدف ارزیابی روشهای متداول تحلیل پل و روشهای تقریبی مانند روشهای ساده‌سازی شده آیین‌نامه‌ها و روش طراحی بر اساس عملکرد انجام شده است. به این منظور پس از ساخت دو مدل بزرگ المان محدود پل فلزی با تیر I شکل و دال بتنی آنالیزهای مختلف (آنالیز مودال، آنالیز طیفی، دینامیکی تاریخچه زمانی خطی و غیر خطی وآنالیز پوش‌أور) روی مدل انجام شده ونتایج با هم مقایسه شده است.

کلید واژه‌ها : ***پل فلزی , مدل المان محدود , آنالیز مودال , آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی , آنالیز طیفی , نقطه عملکرد***

۱- مقدمه

پلها بعنوان میسر کننده ارتباطات زمینی در زمره مهمترین تسهیلات شهری قرار دارند. اهمیت پلها در مسایل امدادی و امنیتی فوق العاده می‌باشد .

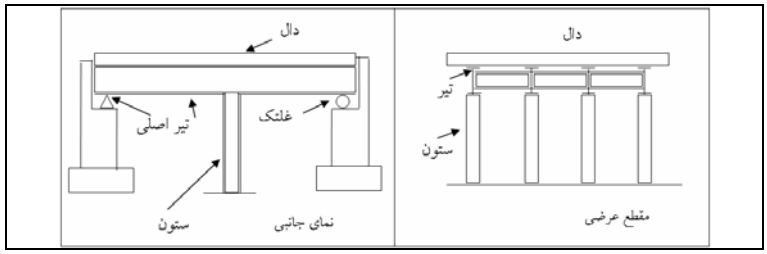
این کار تحقیقی با هدف ارزیابی روشهای تحلیل پل و میزان دقت روشهای تقریبی مانند روشهای ساده‌سازی شده آیین‌نامه‌ها و روش طراحی بر اساس عملکرد انجام شده است. برای نیل به این مقصود دو مدل متداول از پل انتخاب شده [۲] و مدلسازی و ارزیابی لرزه ای شده است. ابتدا نتایج آنالیزمودال با نتایج مدل ستون فقراتی [۲] و

روشهای ساده‌سازی شده آیین‌نامه‌ها مقایسه شده است. سپس نتایج آنالیزهای دینامیکی تاریخچه زمانی (خطی وغیرخطی)، طیفی(با روش ترکیب CQC وSRSS)و پوش‌اوربا هم مقایسه شده است.

۲- ساخت مدل المان محدود پل در نرم افزار Ansys

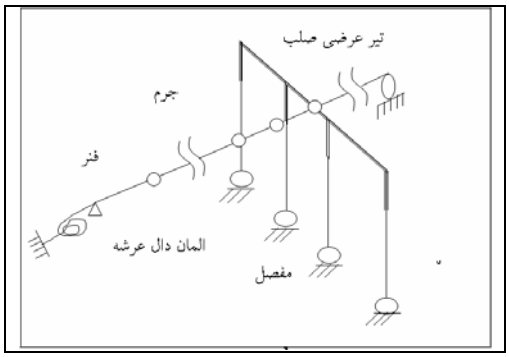
نرم‌افزار Ansys بدلیل قابلیت ساخت مدل المان محدود، دارا بودن کتابخانه غنی از المانها و توانایی انجام تحلیلهای مورد نیاز با دقت بالا مورد استفاده قرار گرفته است. مرجع [۳] استفاده از نرم افزارAnsys را برای ساخت مدل المان محدود پل توصیه کرده است.

شرح مدل اول: پل مورد بررسی ، فلزی، دو دهانه پیوسته، به طول ۶۰ متر وعرض ۸ مترمی‌باشد. همانگونه که در شکل (۱) دیده می‌شود ، در زیر هر تیر اصلی یک ستون فلزی قرار گرفته است .اتصال ستون به تیر گیردار می‌باشد وقاب خمشی می‌سازد. ستون به صورت ساده به پی متصل شده است. ستون‌ها به نحوی قرار گرفته‌اند که محور قوی آنها در جهت طولی پل قرار دارد . ارتفاع ستون ۶ متر در نظر گرفته شده است که مقدار متعارف برای پلهای بزرگراه می‌باشد . ضخامت دال بتنی مسلح ۰/۲ متر فرض شده است و با تیر فولادی که به فاصله ۲ متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند، بصورت مرکب کار می‌کند. دال بتنی درجهت عرضی در دو سمت به میزان ۱ متر بصورت کنسولی ادامه یافته است پل در دو طرف روی تکیه‌گاه لغزشی وتکیه‌گاه مفصلی قرار گرفته است. این تیپ پل یکی از متداولترین ا نواع پل بزرگراهها میباشد [۲ و۴]. مقاطع مورد استفاده برای تیر و ستون به ترتیب[1] $WWF1000\times262$ و $WWF310\times79$ می‌باشد.



شکل(۱): پل مورد بررسی- مدل اول

مدل Dicleli[۲] : مدل خطی الاستیک پل شرح داده شده در شکل (۲) دیده می‌شود. شرح بیشتر مدل در مرجع [۵] دیده می‌شود. طبق محاسبات سختی فنردورانی مورد استفاده ۸۰۰۰۰۰kN در نظر گرفته شده است



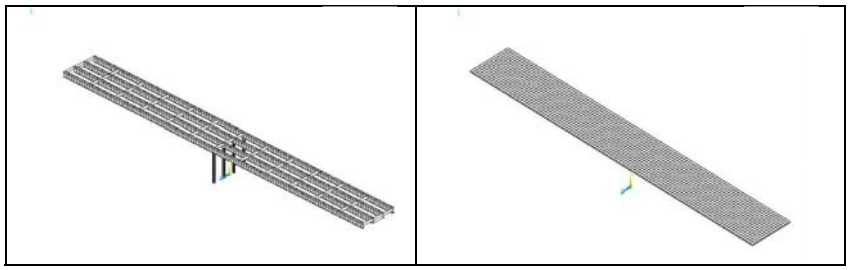
شکل(۲): مدل Dicleli- [۲]

[1] - مطابق آیین‌نامه CISC [۵]

مدل المـان محـدود Ansys **پـل اول** : در ایـن مـدل دال بتنـی بـا المـان SOLID 65 ، تیرهـا و سـتونها و سخت‌کننده‌ها المان SHELL 43 مدل شده است.. مرجع [۵] استفاده از المـان SHELL چهـارگرهی را بـرای مـدل کردن بال وجان تیر آهن وسخت کننده ها توصیه کرده است. مدل المان محدود پل در شکل (۳) دیده می‌شـود. در محل تکیه‌گاه مفصلی سختی دورانی حول محورقائم با المان COMBIN14 بـا سـختی مشـابه مـدل Diceleli مـدل شده است.

شرح مدل دوم: این مدل مشابه مدل اول، اما به عرض ۴ متر و با دو پایه و تیر می‌باشد.

مدل المان محدود Ansys پل دوم: المانها و نحوه ساخت این مدل مشابه مدل اول می‌باشد. این مدل حدودا ۲۵۰۰۰ درجه آزادی دارد. در محل تکیه‌گاه غلتکی حرکت عرشه در جهت عرضی وقایم و دوران حول محور قائم و طولی مقید ودر سایر درجات آزادی آزاد شده است. در محل تکیه‌گاه مفصلی ،انتقال در جهت طولی وعرضی و قایم، دوران حول محور قایم و محور طولی پل مقید شده است. این نحوه مدلسازی تکیه گاههادر مرجع [۶] نیز بکار رفته است.



شکل(۳): مدل المان محدود پل اول

جدول(۱): مقایسه نتایج آنالیز مودال Ansys با مدل ستون فقراتی ـ مدل اول.

	جهت طولی		جهت عرضی	
شماره مد	پریود(ثانیه)	ضریب مشارکت مدی	پریود(ثانیه)	ضریب مشارکت مدی
مد اول (Dicleli)	0.079	٪ 85	.286	٪87.66
مد اول(Ansys)	0.0977	٪85.9	.311	٪77.19

۳- مقایسه‌نتایج

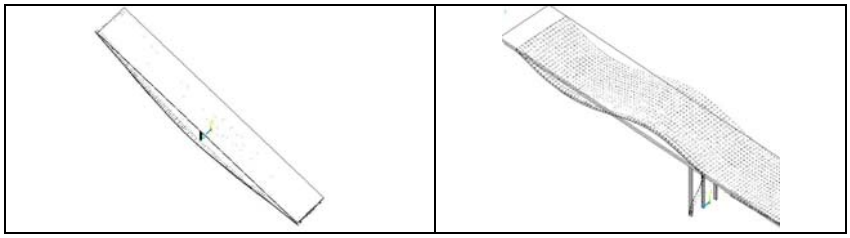
مدل اول : مشاهده نتایج نشان از اختلاف اندک نتایج دو مدلسازی دارد(جدول ۱). مهمترین علل اختلاف نتایج را میتوان موارد زیر دانست.

I. در مدل Dicleli عرشه در جهت عرضی به صورت صلب مدل شده است وبه همین دلیل :

- اثرات اعوجاج عرشه در جهت عرضی در نظر گرفته نمی‌شود .
- درپریود و ضریب مشارکت بعضی از مدهای پاسخ تغییر ایجاد می‌گردد .

مثلا می‌تواند باعث کمتر شدن پریود جهت عرضی به علت مدل نشدن بعضی از حرکات عرشه باشد. یا آنکه ضریب مشارکت مود اول ارتعاش در جهت عرضی را بالا ببرد [۸] .

II. در مدل Dicleli جرم به صورت متمرکز مدل شده است. به این ترتیب تعداد مدهای موثر در آنالیز محدود شده است. اما در مدل المان محدود تقریبا ۴۷۰۰۰ درجه آزادی (مد) در ارتعاش موثر می‌باشد.



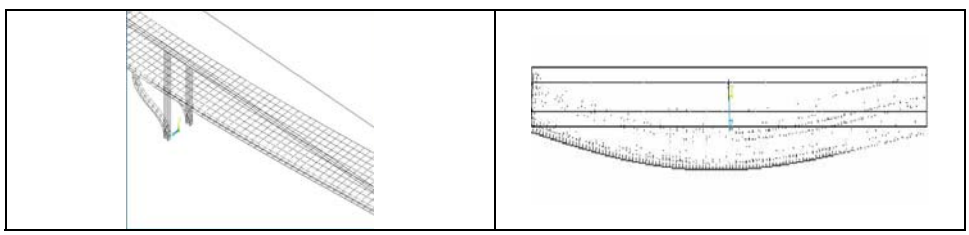
شکل (۴): شکل مدهای اول ارتعاش در جهت طولی و عرضی ـ مدل اول

انجام ساده‌سازیهای بیشتر در مدل Dicleli نسبت به مدل المان محدود عامل اصلی اختلاف اندک مشاهده شده می‌باشد.بدیهی است که مدلهای ساده‌سازی شده دقت مدل المان محدود را ندارند. [۴] .

مدل دوم: نتایج نشان می‌دهد که در جهت عرضی یک مد بیشترین ضریب مشارکت(بالای٪85.) را داراست و حاکم بر ارتعاش می‌باشد. مطابق ضوابط آیین‌نامه‌های ایران, آشتو و کالترانز (SDC) این پل منظم می‌باشد[۵] و در نظرگرفتن یک مد کافی می‌باشد که با حاصل آنالیز همخوانی دارد. در جهت عرضی به علت مقید بودن حرکت دو سمت پل وماگزیمم بودن تغییر مکان در پایه میانی چنانچه تغییر مکان ماگزیمم در محاسبات وارد شود, منجر به سختی کمتر وپریود بیشتر خواهد شد. همچنین تاثیر نیرودر این نقطه بیشترین جابجایی را خواهد داشت. به همین دلیل پریود مطابق آیین‌نامه ایران که محل تاثیر نیرو واندازه‌گیری جابجایی نقطه فوق‌الذکر است بیشترین مقدار را داراست. در روش بار یکنواخت آشتو که محل تاثیر نیرو(با قرار دادن نیروی گسترده به جای نیروی متمرکز) اصلاح شده پریود کمتر شده است. در روش تک مدی که هم نحوه اثر نیرو و هم نحوه اندازه‌گیری جابجایی اصلاح گردیده ,پریود کمتر شده است.

جدول(۲): مقایسه پریود پل دوم محاسبه شده به روشهای مختلف

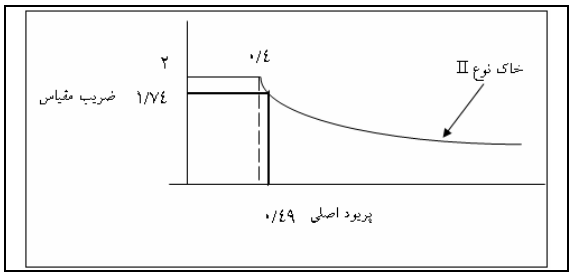
مرجع	پریود جهت عرضی
آیین نامه پل ایران ـ روش بار واحد استاتیکی	.69
آیین نامه پل ایران ـروش محاسبه مد اصلی نوسان(پیوست ۳)	.468
آیین نامه آشتوـ روش بار یکنواخت	.605
نرم افزار Ansys ـ ارتعاش آزاد مدل المان محدود	.49



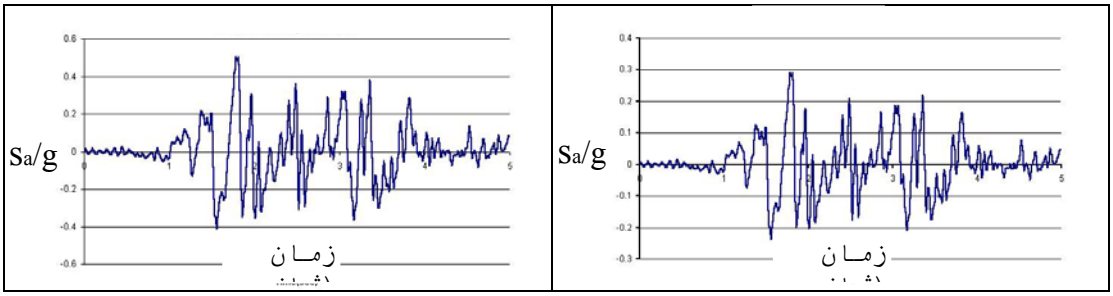
شکل(۵): شکل مد اول در جهت عرضیـ پل دوم

آنالیز تاریخچه زمانی دینامیکی

آنالیز تاریخچه زمانی بهترین و دقیقترین روش تحلیل زلزله می‌باشد. یکی از مهمترین مراحل این آنالیز انتخاب حرکت زمین ورودی (شتاب‌نگاشت) می‌باشد. در این تحلیل از زلزله السنترو مقیاس شده با طیف خاک نوع II آیین‌نامه ایران استفاده شده است. مقیاس کردن برای شتاب طیفی در پریود ارتعاش اصلی سیستم موثرترین روش شناخته شده برای مقیاس کردن می‌باشد[1] [۹]. برای مقیاس کردن ، پریود ارتعاش اصلی محاسبه می‌شود(Sec ۰/۴۹). سپس مطابق شکل(۶) ضریب اصلاح محاسبه می گردد.



شکل(6): روش پیدا کردن ضریب اصلاح

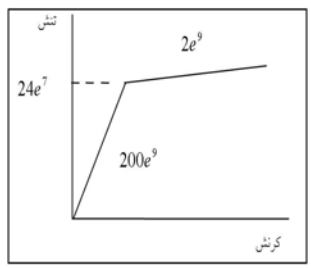


شکل(7): شتاب نگاشت زلزله السنترو

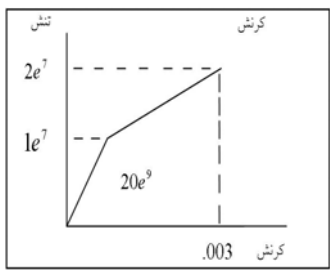
شکل(8): شتاب نگاشت مقیاس شده برای پل

۴-۱- آنالیز خطی

در این آنالیزخواص خطی مصالح مطابق بخش اول منحنی دو خطی شکل (۹و۱۰) در نظر گرفته شده است. زمان انجام آنالیز حدود ۶ ساعت[2] و حجم خروجی(شامل تنشها، کرنشها، جابجایی‌ها وعکس العمل‌ها) حدود ۴GB میباشد. . جابجایی ماکزیمم عرشه در شکل (۱۱) دیده می‌شود.



شکل(۹): منحنی تنش ـ کرنش‌ایده‌آل‌شده‌بتن



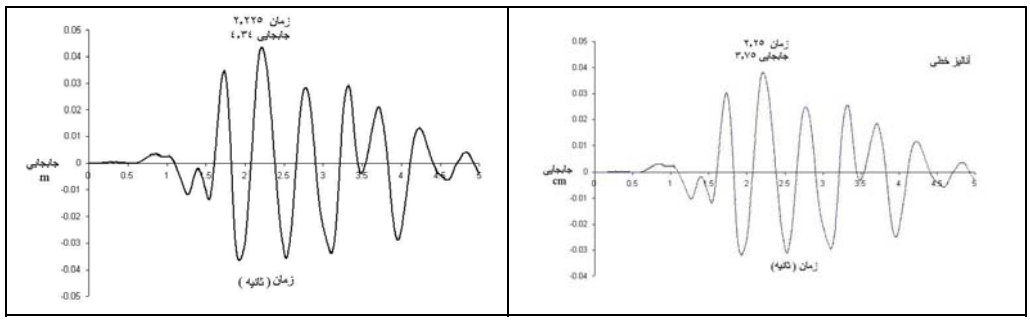
شکل(۱۰): منحنی تنش ـ کرنش ایده‌آل شده فولاد

[1] - مشخص است که در این روش ضریب مقیاس با توجه به پریود اصلي سازه متغیر است. مثلا براي طیف آیین‌نامه ایران ضریب مقیاس بین 0.6 و 2 می‌باشد.

[2] - کلیه آنالیزها با یک دستگاه Pentium 4 (1.8 GH) با RAM512 انجام شده است.

۴-۲- آنالیز غیر خطی

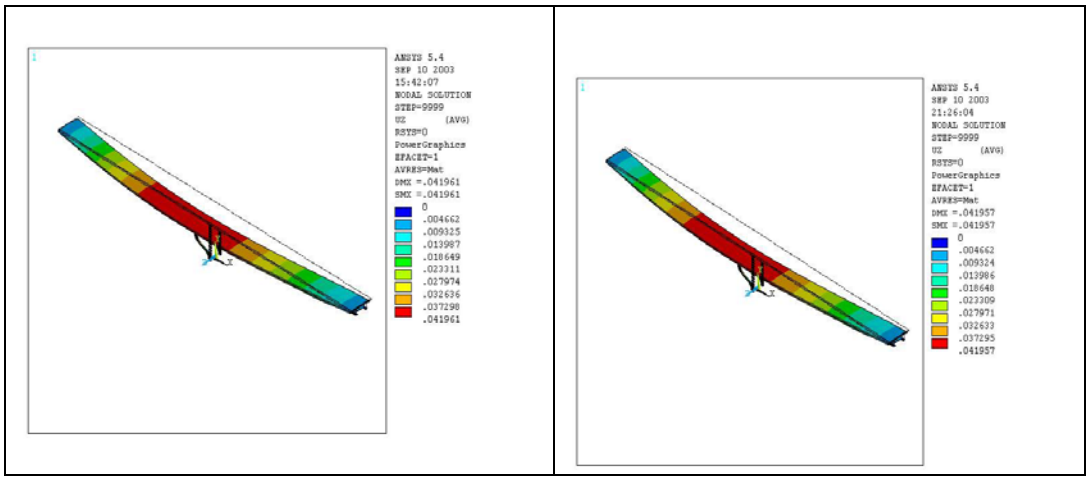
در این آنالیز خواص غیرخطی مصالح مطابق اشکال (۱۵و۱۶) در نظر گرفته شده است. زمان انجام این آنالیز با مفروضات حاضر حدود ۱۳ ساعت و حجم فایل خروجی(شامل تنشها، کرنشها، جابجایی‌ها وعکس العمل‌ها) حدود ۷GB می‌باشد. جابجایی ماکزیمم عرشه در شکل (۱۲) دیده می‌شود.



شکل(۱۱): جابجایی ماکزیمم عرشه در آنالیز خطی دینامیکی **شکل(۱۲):** جابجایی ماکزیمم عرشه در آنالیز غیر خطی دینامیکی

۴- آنالیز طیفی

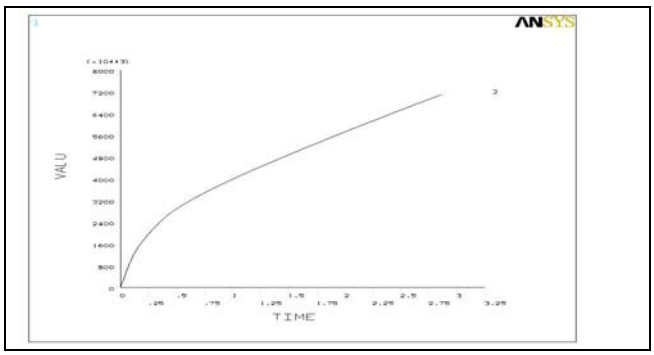
طیف زلزله السنترو مقیاس شده، برای انجام آنالیز طیفی مورد استفاده قرار گرفته است. برای محاسبه طیف از نرم افزار EERA استفاده شده است.. نتایج آنالیز در اشکال (۱۳ و ۱۴) دیده می‌شود.



شکل(۱۳)جابجایی عرضی پل ـ آنالیز طیفی CQC **شکل(۱۴)**: جابجایی عرضی پل ـ آنالیز طیفی SRSS

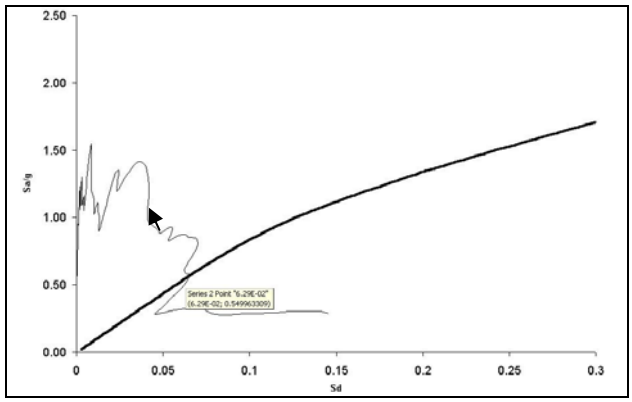
۵- آنالیز پوش‌اور

نیرو مطابق معمول در مرکز جرم پل وارد شده است. . افزایش بار جانبی تا زمانیکه مقدار کرنش ماگزیمم در پایه فولادی به ٪ ۶ برسد[۵]، ادامه داده می‌شود. زمان این تحلیل ۱۰۰ ساعت می‌باشد. به علت حجم بالای اطلاعات خروجی نتایج در هر ۱۰ گام ذخیره شده است



شکل(۱۵): منحنی ظرفیت پل دوم

با تبدیل نتایج به روش مرجع [۱۰] به شکل (۱۶) می‌رسیم.



شکل(۱۶): نقطه عملکرد پل در زلزله

جدول(۳): مقایسه نتایج آنالیزها

روش آنالیز	تاریخچه زمانی خطی	تاریخچه‌زمانی‌غیرخطی	طیفی SRSS	طیفی CQC	نقطه‌عملکرد(پوش‌اور)
پاسخ جابجایی cm	3.79	4.3	4.19	4.19	6.22

۶- مقایسه نتایج

۱- نتایج آنالیزها جابجایی، کرنش و تنش بسیار کم را در دال نشان می‌دهد. این مطلب می‌تواند به علت فلسفه طراحی پل می‌باشد.لازم به ذکر است که چون طراحی این پل در سال ۱۹۶۵ در آمریکا انجام شده است، ضریب اطمینان در طراحی بسیار بالا فرض گردیده است.

۲- در آنالیز طیفی نتایج دو روش ترکیب مورد استفاده همخوانی بسیارخوبی با هم دارند.

۳- در آنالیز تاریخچه زمانی نتایج تحلیل غیر خطی نشان از ورود بسیار اندک پایه‌ها به مرحله غیر خطی دارد.[۲،۱۲،۱۱]

۴- نتایج آنالیز پوش‌اور تفاوت زیادی با سایر روشها دارد. این نتیجه می‌تواند به علت نحوه تاثیر نیرو باشد که به منظور ساده سازی به صورت متمرکز در مرکز جرم پل وارد شده است.

مراجع

[1]- Chen Y. “ Modeling And Analysis Method Of Bridges And Their Effects On Seismic Responses: I-theory “Computers & Structures ,Vol. 59,Pp81-98, 1996

[2] – Dicleli M. ," Simlified seismic analysis of a class of regular steel bridges " , Computers & Structures Vol. 64 ,No.5/6 ,Pp1025-1039 .1997

[3] – Reichman Y. ,Reinhorn A. M. ,” Extending the Seismic Lifespan of Bridges . Analytical Evaluation of Retrofit Measures “ Structural Engineering Review , Vol.7 , No. 3 , Pp. 207-218 ,1995

[4] – Kuan-Chen Fu , F.ASCE ,Feng Lu ,” Nonlinear Finite-Element Analysis for Highway Bridge Superstructures “ Journal of Bridge Engineering , ASCE / May/June 2003 , Pp 173-179

[5] – Sap 2000 Manual

[۶]– معتقد ساسان"، ارزیابی رفتار لرزه‌ای پل فولادی بزرگراه " ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران

[7] – Barth K.E. , White D.W. ," Finite element evaluation of pier moment-rotation characteristics in continues-span steel I Girders " , Engineering Structures Vol.20 ,No. 8 ,Pp 761-778 ,1998Engineering Structures 24 (2002) ,Pp 1409-1422
(www.elsevier.com/locate/engstruct)

[8] – Priestley , M.J.N., and Seible, F., and Calvi,G.M., "Seismic Design and Retrofit of Bridges" , John Wiley ,New York ,1996

[9] – Maleki S. ," Effect of deck and support stiffness on seismic response of slab-girder bridges " , Engineering Structures 24 (2002) ,Pp 219-226 (www.elsevier.com/locate/engstruct)

[10] – Yazdani Motlagh A.R. ,Saadeghvaziri M.A. ,”Nonlinear seismic response of stiffening SDOF systems “ ,Engineering Structures 23 (2001) , Pp1269-1280 (www.elsevier.com/locate/engstruct)

[11] – Fajfar P.,MEERI “A Nonlinear Analysis Method for Performance-Based Seismic Design “ Earthquake Spectra, Volume 16, No. 3 ,Agust 2000 ,Pp573-592

[12] – Saiidi M. ,Maragakis E. and O'Connor D. ," Seismic Performance of the Madrone Bridge during the 1989 Loma Prieta Earthquake " ,Structural Engineering Review ,Vol. 7,No. 3,Pp219-230 ,1995

[13] – Unjoh S. , Terayama T. , Adachi Y. , Hoshikuma J. ,” Seismic retrofit of existing highway bridges in Japan “ Cement & Concrete Composites 22 (2000) 1-16

[۱۴]– آیین‌نامه طرح پل‌های شوسه و راه‌آهن در برابر زلزله ، تهران – مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، ۱۳۷۲

[۱5] – AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) ,AASHTO ,Washington D.C,1996