



دانشکده :

مهندسی عمران

گروه :

مهندسی سازه

عنوان پایان نامه ارشد :

بررسی احتمال اندیشانه تاثیر پارامترهای دینامیکی در تحلیل سازه ها

دانشجو :

حامد حاجی زاده

اساتید راهنما :

دکتر علی کیهانی

دکتر سید مهدی حسینی

شهریور 93

ب

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی عمران

گروه : مهندسی سازه

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای حامد حاجی زاده

تحت عنوان: بررسی احتمال اندیشانه تاثیر پارامترهای دینامیکی در تحلیل سازه ها

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
			دکتر علی کیهانی
			دکتر سید مهدی حسینی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر سید مهدی گلی		دکتر فرشید علایی
			دکتر امیرعباس عابدینی

تقدیم به :

پدر و مادر عزیزم که وجود
ارزشمندشان همواره تکیه
گاهم در ناهمواریهای
زندگی بوده و هست، و با
دریای لطف و حمایت‌های
بی دریغشان امکان رسیدن
به ساحل مقصود و راحت
زندگی را برایم میسر نموده
اند.

تقدیر و تشکر:

بارالها! من با یاد تو، به تو تقرّب میجویم و تو را به پیشگاه تو شفیع می آورم واز تو خواستارم، به کرمّت، مرا به خودت نزدیک گردانی و یاد خود را به من الهام کنی و بر من رحمت آوری و به آنچه بهره و نصیب من ساخته‌ای، خشنودم قرار دهی و در همه حال به فروتنی‌ام واداری. من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق. برخورد لازم می دانم از کلیه کسانی که بنده را در تدوین و نگارش این پایان نامه یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. به خصوص از استاد فرزانه جناب آقای دکتر علی کیهانی که در کلیه مراحل ترم با خوشروئی، یاری و راهنمایی‌ام نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب **حامد حاجی‌زاده** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران - سازه دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی احتمال اندیشانه تاثیر پارامترهای دینامیکی در تحلیل سازه ها تحت راهنمایی دکتر علی کیهانی متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده:

به دلیل وجود عدم قطعیت‌های فراوان در سازه‌ها، استفاده از روش‌های مبتنی بر دانش آمار و احتمالات کاربرد گسترده‌ای در فرآیندهای تحلیل و طراحی و تعیین احتمال خرابی سازه‌ها پیدا کرده است. در سال‌های اخیر مطالعه سازه‌ها در فضای عدم قطعیت مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. در این پژوهش اثر عدم قطعیت و تغییر مقدار ضریب پراکندگی متغیرهای جرم، سختی و میرایی روی تغییر مکان چند نمونه سازه دارای رفتار خطی یک، سه، پنج و نه درجه آزادی بررسی گردیده است. به منظور مشاهده تاثیرپذیری پاسخ سازه از متغیر دارای عدم قطعیت، هر متغیر به طور جداگانه وارد تحلیل دینامیکی شده است. نتایج بیانگر افزایش مقدار میانگین پاسخ‌ها تا 53 درصد در تحلیل احتمال اندیشانه می باشد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل دینامیکی سازه‌ها، تحلیل احتمال اندیشانه، روش مونت کارلو، احتمال خرابی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

1- تحلیل سازه یک درجه آزادی در فضای عدم قطعیت، کنفرانس ملی علوم مهندسی، ایده‌های نو 8، اردیبهشت 93، موسسه آموزش عالی آیندگان تنکابن

2- بررسی احتمال اندیشانه تاثیر پارامترهای دینامیکی در تحلیل سازه‌های چند درجه آزادی، کنفرانس ملی علوم مهندسی، ایده‌های نو 8، اردیبهشت 93، موسسه آموزش عالی آیندگان تنکابن

فهرست مطالب

1	فصل اول: مقدمه
2	1-1- پیشگفتار
3	1-2- تاریخچه
7	1-3- ساماندهی پایان نامه
9	فصل دوم: اصول و مبانی تحلیل احتمال اندیشانه
10	1-1-2- پیشگفتار
10	2-2- عدم قطعیت در سازه‌ها
11	2-3- مفاهیم پایه از علم آمار و احتمالات
13	2-4- متغیر تصادفی
13	2-4-1- تابع چگالی احتمال
15	2-4-2- تابع توزیع احتمال
17	2-4-3- متغیرهای تصادفی یکنواخت
18	2-4-4- متغیرهای تصادفی نرمال
19	2-4-5- متغیرهای تصادفی لگ نرمال
21	2-4-6- متغیرهای تصادفی دارای توزیع گاما
22	2-4-7- متغیرهای تصادفی دارای توزیع حدی نوع I
24	2-4-8- متغیرهای تصادفی دارای توزیع حدی نوع II
25	2-4-9- متغیرهای تصادفی دارای توزیع حدی نوع III
26	2-4-10- توزیع پواسون
27	2-5- امید ریاضی
28	2-6- روشهای مورد استفاده در تحلیل احتمال اندیشانه
29	2-6-1- روش تحلیل خطی آماری

29	2-6-2- روش شبیه سازی مونت کارلو.....
30	7-2- حالات حدی
31	1-7-2- تابع حالت حدی
35	فصل سوم: تحلیل دینامیکی سازه‌های یک و چند درجه آزادی
36	1-3- پیشگفتار
36	2-3- مدل یک درجه آزادی خطی
39	1-2-3- تحلیل دینامیکی مدل یک درجه آزادی خطی
41	3-3- مدل چند درجه آزادی خطی
42	1-3-3- روش ترکیب مودها
44	2-3-3- تحلیل دینامیکی مدل چند درجه آزادی خطی
47	فصل چهارم: تحلیل دینامیکی سازه یک درجه آزادی با رفتار خطی در فضای عدم قطعیت
48	1-4- پیشگفتار
48	2-4- سازه یک درجه آزادی
49	1-2-4- تحلیل در حالت سختی غیرقطعی
49	1-1-2-4- پاسخ سازه
53	2-1-2-4- انحراف معیار پاسخ سازه
56	3-1-2-4- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی
58	2-2-4- تحلیل در حالت جرم غیرقطعی
58	1-2-2-4- پاسخ سازه
61	2-2-2-4- انحراف معیار پاسخ سازه
63	3-2-2-4- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی
65	3-2-4- تحلیل در حالت نسبت میرایی غیرقطعی

65	..... پاسخ سازه 1-3-2-4
68	..... انحراف معیار پاسخ سازه 2-3-2-4
70	..... احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی 3-3-2-4
73	..... فصل پنجم: تحلیل دینامیکی سازه‌های چند درجه آزادی با رفتار خطی در فضای عدم قطعیت
74	..... 1-5- پیشگفتار
74	..... 2-5- سازه سه درجه آزادی
76	..... 1-2-5- تحلیل در حالت سختی غیرقطعی
76	..... 1-1-2-5- پاسخ سازه
79	..... 2-1-2-5- انحراف معیار پاسخ سازه
81	..... 3-1-2-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی
83	..... 2-2-5- تحلیل در حالت جرم غیرقطعی
83	..... 1-2-2-5- پاسخ سازه
86	..... 2-2-2-5- انحراف معیار پاسخ سازه
88	..... 3-2-2-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی
90	..... 3-2-5- تحلیل در حالت نسبت میرایی غیرقطعی
90	..... 1-3-2-5- پاسخ سازه
93	..... 2-3-2-5- انحراف معیار پاسخ سازه
95	..... 3-3-2-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی
97	..... 3-5- سازه پنج درجه آزادی
99	..... 1-3-5- تحلیل در حالت سختی غیرقطعی
99	..... 1-1-3-5- پاسخ سازه
102	..... 2-1-3-5- انحراف معیار پاسخ سازه

- 104.....3-1-3-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی
- 106.....2-3-5- تحلیل در حالت جرم غیرقطعی
- 106.....1-2-3-5- پاسخ سازه
- 109.....2-2-3-5- انحراف معیار پاسخ سازه
- 111.....3-2-3-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی
- 113.....3-3-5- تحلیل در حالت نسبت میرایی غیرقطعی
- 113.....1-3-3-5- پاسخ سازه
- 116.....2-3-3-5- انحراف معیار پاسخ سازه
- 118.....3-3-3-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی
- 120.....4-5- سازه نه درجه آزادی
- 122.....1-4-5- تحلیل در حالت سختی غیرقطعی
- 122.....1-1-4-5- پاسخ سازه
- 126.....2-1-4-5- انحراف معیار پاسخ سازه
- 127.....3-1-4-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی
- 129.....2-4-5- تحلیل در حالت جرم غیرقطعی
- 129.....1-2-4-5- پاسخ سازه
- 132.....2-2-4-5- انحراف معیار پاسخ سازه
- 134.....3-2-4-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی
- 136.....3-4-5- تحلیل در حالت نسبت میرایی غیرقطعی
- 136.....1-3-4-5- پاسخ سازه
- 139.....2-3-4-5- انحراف معیار پاسخ سازه
- 141.....3-3-4-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

143	فصل ششم: نتیجه گیری
144	6-1- خلاصه
144	6-2- نتیجه گیری
151	6-3- پیشنهاد برای ادامه کار
153	پیوست
185	فصل هفتم: مراجع

فهرست اشکال

- شکل 2-1 مثالی از نمودار فراوانی نسبی 11
- شکل 2-2 مثالی از نمودار فراوانی تجمعی 11
- شکل 2-3 مثالی از یک تابع چگالی احتمال 13
- شکل 2-4 مثالی از یک تابع توزیع احتمال 16
- شکل 2-5 تابع‌های چگالی احتمال و توزیع تجمعی برای یک متغیر تصادفی یکنواخت 18
- شکل 2-6 تابع‌های چگالی احتمال و توزیع تجمعی برای یک متغیر تصادفی نرمال 19
- شکل 2-7 تابع چگالی احتمال برای یک متغیر تصادفی لگ نرمال 20
- شکل 2-8 تابع چگالی احتمال برای متغیر تصادفی گاما 21
- شکل 2-9 تابع چگالی احتمال برای متغیر تصادفی حدی نوع I 23
- شکل 2-10 تابع چگالی احتمال برای یک متغیر تصادفی حدی نوع II 25
- شکل 2-11 تابع چگالی احتمال برای یک متغیر تصادفی حدی نوع III 26
- شکل 2-12 تابع چگالی احتمال بار، مقاومت و حاشیه ایمنی 32
- شکل 3-1 سیستم جرم- فنر- میراگر 36
- شکل 3-2 بارگذاری سازه 39
- شکل 3-3 مقایسه نتایج برنامه E-SDF با نتایج مرجع [23] 41
- شکل 3-4 سازه دو درجه آزادی 44
- شکل 3-5 مقایسه نتایج برنامه MDOF با نتایج مرجع [21] 46
- شکل 4-1 سازه یک درجه آزادی 49
- شکل 4-2 نمودار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت قطعی 50
- شکل 4-3 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1 51

- شکل 4-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 51
- شکل 5-4 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در حالت‌های مختلف 52
- شکل 6-4 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف 53
- شکل 7-4 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت سختی غیرقطعی 54
- شکل 8-4 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت سختی غیرقطعی 56
- شکل 9-4 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1 56
- شکل 10-4 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 57
- شکل 11-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1 59
- شکل 12-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 59
- شکل 13-4 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در حالت‌های مختلف 60
- شکل 14-4 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف 61
- شکل 15-4 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت جرم غیرقطعی 62
- شکل 16-4 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت جرم غیرقطعی 62
- شکل 17-4 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1 63
- شکل 18-4 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه 64
- شکل 19-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1 66
- شکل 20-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 66
- شکل 21-4 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در حالت‌های مختلف 67
- شکل 22-4 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف 68
- شکل 23-4 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی 69
- شکل 24-4 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی 69

- شکل 4-25 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1 70
- شکل 4-26 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 71.....
- شکل 5-1 سازه سه درجه آزادی 75
- شکل 5-2 نمودار پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت قطعی 76
- شکل 5-3 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1 77
- شکل 5-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 77
- شکل 5-5 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در حالت‌های مختلف 78
- شکل 5-6 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف 79
- شکل 5-7 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت سختی غیرقطعی 80
- شکل 5-8 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت سختی غیرقطعی 80
- شکل 5-9 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1 82
- شکل 5-10 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 82
- شکل 5-11 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1 84
- شکل 5-12 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 84
- شکل 5-13 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در حالت‌های مختلف 85
- شکل 5-14 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف 86
- شکل 5-15 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت جرم غیرقطعی 87
- شکل 5-16 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت جرم غیرقطعی 87
- شکل 5-17 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1 89
- شکل 5-18 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 89

- شکل 5-19 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1 91
- شکل 5-20 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 91
- شکل 5-21 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در حالت‌های مختلف 92
- شکل 5-22 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف 93
- شکل 5-23 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی 94
- شکل 5-24 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی 94
- شکل 5-25 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1 95
- شکل 5-26 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 96
- شکل 5-27 سازه پنج درجه آزادی 98
- شکل 5-28 نمودار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت قطعی 99
- شکل 5-29 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1 100
- شکل 5-30 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 .. 100
- شکل 5-31 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های مختلف 101
- شکل 5-32 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف ... 102
- شکل 5-34 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت سختی غیرقطعی 103
- شکل 5-35 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1 103
- شکل 5-36 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 104
- شکل 5-37 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1 105
- شکل 5-38 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 .. 106
- شکل 5-39 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های مختلف 107

- شکل 5-40 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف ... 108
- شکل 5-41 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت جرم غیرقطعی 110
- شکل 5-42 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت جرم غیرقطعی 110
- شکل 5-43 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1 111
- شکل 5-44 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 112
- شکل 5-45 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1 114
- شکل 5-46 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 .. 114
- شکل 5-47 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های مختلف 115
- شکل 5-48 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف ... 116
- شکل 5-49 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی 117
- شکل 5-50 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی 117
- شکل 5-51 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1 119
- شکل 5-52 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 119
- شکل 5-53 سازه نه درجه آزادی 122
- شکل 5-54 نمودار پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت قطعی 123
- شکل 5-55 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1 123
- شکل 5-56 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 124
- شکل 5-57 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در حالت‌های مختلف 125
- شکل 5-58 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف 125
- شکل 5-59 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت سختی غیرقطعی 126

- شکل 5-60 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت سختی غیرقطعی..... 127
- شکل 5-61 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1..... 128
- شکل 5-62 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1..... 128
- شکل 5-63 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1..... 130
- شکل 5-64 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1.... 130
- شکل 5-65 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در حالت‌های مختلف..... 131
- شکل 5-66 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف..... 132
- شکل 5-67 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت جرم غیرقطعی..... 133
- شکل 5-68 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت جرم غیرقطعی..... 133
- شکل 5-69 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1..... 134
- شکل 5-70 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1..... 135
- شکل 5-71 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1..... 137
- شکل 5-72 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1.... 137
- شکل 5-73 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در حالت‌های مختلف..... 138
- شکل 5-74 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف..... 138
- شکل 5-75 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی..... 139
- شکل 5-76 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی..... 140
- شکل 5-77 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1..... 141
- شکل 5-78 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1..... 146
- شکل 6-1 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت‌های مختلف Case1..... 146

- شکل 6-2 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی حالت‌های مختلف در 10 ثانیه ابتدایی Case1
148.....
- شکل 6-4 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی حالت‌های مختلف در 10 ثانیه ابتدایی Case1
148.....
- شکل 6-5 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های مختلف Case1.....
149.....
- شکل 6-6 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی حالت‌های مختلف در 10 ثانیه ابتدایی Case1
149.....
- شکل 6-7 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت‌های مختلف Case1.....
150.....
- شکل 6-8 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی حالت‌های مختلف در 10 ثانیه ابتدایی Case1
150.....
- شکل پ 1 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (سختی غیرقطعی).
153.....
- شکل پ 2 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (سختی غیرقطعی)
153.....
- شکل پ 3 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (سختی غیرقطعی).
154.....
- شکل پ 4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (سختی غیرقطعی).
154.....
- شکل پ 5 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (سختی غیرقطعی).
155.....
- شکل پ 6 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (سختی غیرقطعی).
155.....
- شکل پ 7 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (سختی غیرقطعی).
156.....
- شکل پ 8 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (سختی غیرقطعی).
156.....
- شکل پ 9 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (جرم غیرقطعی).
157.....
- شکل پ 10 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (جرم غیرقطعی).
157.....

- شکل پ 11 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (جرم غیرقطعی) .. 158
- شکل پ 12 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (جرم غیرقطعی)..... 158
- شکل پ 13 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (جرم غیرقطعی)..... 159
- شکل پ 14 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (جرم غیرقطعی)..... 159
- شکل پ 15 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (جرم غیرقطعی)..... 160
- شکل پ 16 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (جرم غیرقطعی)..... 160
- شکل پ 17 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (میرایی غیرقطعی) 161
- شکل پ 18 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (میرایی غیرقطعی)..... 161
- شکل پ 19 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (میرایی غیرقطعی) 162
- شکل پ 20 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (میرایی غیرقطعی)..... 162
- شکل پ 21 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (میرایی غیرقطعی)..... 163
- شکل پ 22 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (میرایی غیرقطعی)..... 163
- شکل پ 23 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (میرایی غیرقطعی)..... 164
- شکل پ 24 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (میرایی غیرقطعی)..... 164

- شکل پ 25 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 2 (سختی غیرقطعی) 165
- شکل پ 26 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (سختی غیرقطعی)..... 165
- شکل پ 28 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 3 (سختی غیرقطعی) 166
- شکل پ 29 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 2 (جرم غیرقطعی) .. 166
- شکل پ 31 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 3 (جرم غیرقطعی) .. 168
- شکل پ 32 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (جرم غیرقطعی)..... 168
- شکل پ 33 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 2 (میرایی غیرقطعی) 169
- شکل پ 34 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (میرایی غیرقطعی)..... 169
- شکل پ 35 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 3 (میرایی غیرقطعی) 170
- شکل پ 36 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (میرایی غیرقطعی)..... 170
- شکل پ 38 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (سختی غیرقطعی)..... 171
- شکل پ 39 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 3 (سختی غیرقطعی) 171
- شکل پ 40 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (سختی غیرقطعی)..... 172
- شکل پ 41 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 2 (جرم غیرقطعی) .. 173
- شکل پ 42 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (جرم غیرقطعی)..... 173
- شکل پ 43 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 3 (جرم غیرقطعی) .. 174
- شکل پ 45 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 2 (میرایی غیرقطعی) 175

- شکل پ 46 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2
 (میرایی غیرقطعی)..... 175
- شکل پ 47 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 3 (میرایی غیرقطعی) 176
- شکل پ 48 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3
 (میرایی غیرقطعی)..... 176
- شکل پ 49 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 2 (سختی غیرقطعی) .. 177
- شکل پ 50 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (سختی
 غیرقطعی)..... 177
- شکل پ 51 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 3 (سختی غیرقطعی) .. 178
- شکل پ 52 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (سختی
 غیرقطعی)..... 178
- شکل پ 53 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 2 (جرم غیرقطعی) 179
- شکل پ 54 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (جرم
 غیرقطعی)..... 179
- شکل پ 55 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 3 (جرم غیرقطعی) 180
- شکل پ 56 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (جرم
 غیرقطعی)..... 180
- شکل پ 57 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 2 (میرایی غیرقطعی) .. 181
- شکل پ 58 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (میرایی
 غیرقطعی)..... 181
- شکل پ 59 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 3 (میرایی غیرقطعی) . 182
- شکل پ 60 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (میرایی
 غیرقطعی)..... 182

فهرست جداول

- جدول 3-1 مقایسه نتایج برنامه SDOF با نتایج مرجع [22] 40
- جدول 3-2 مشخصات سازه 45
- جدول 4-1 مشخصات مواد غیرقطعی 48
- جدول 4-2 مشخصات سازه یک درجه آزادی 49
- جدول 4-3 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 53
- جدول 4-4 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت سختی غیرقطعی 55
- جدول 4-5 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی 58
- جدول 4-6 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 61
- جدول 4-7 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت جرم غیرقطعی 63
- جدول 4-8 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی 65
- جدول 4-9 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 68
- جدول 4-10 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی 70
- جدول 4-11 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی 72
- جدول 5-1 مشخصات سازه سه درجه آزادی 75
- جدول 5-2 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 79
- جدول 5-3 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی 81
- جدول 5-4 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی 83
- جدول 5-5 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 86
- جدول 5-6 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی 88
- جدول 5-7 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی 90
- جدول 5-8 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 93

- جدول 5-9 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی 95
- جدول 5-10 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی 97
- جدول 5-11 مشخصات سازه پنج درجه آزادی 98
- جدول 5-12 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 102
- جدول 5-13 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی 104
- جدول 5-14 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی 105
- جدول 5-15 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 109
- جدول 5-16 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی 111
- جدول 5-17 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی 112
- جدول 5-18 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 116
- جدول 5-19 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی 118
- جدول 5-20 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی 120
- جدول 5-21 مشخصات سازه نه درجه آزادی 121
- جدول 5-22 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 126
- جدول 5-23 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی 127
- جدول 5-25 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 129
- جدول 5-26 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی 132
- جدول 5-27 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی 136
- جدول 5-28 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی 139
- جدول 5-29 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی 140
- جدول 5-30 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی 142

فصل اول

مقدمه

1-1- پیش‌گفتار

تحلیل احتمال‌اندیشانه سازه‌ها علمی است که براساس آمار و احتمالات بنا شده است و با توجه به عدم قطعیت و تصادفی بودن متغیرهای مؤثر در هر مسأله، احتمال ایمنی یا خرابی سامانه را به صورت کمی بیان می‌کند. اگر چه این روش حل، از روش‌های حلی که عوامل مسأله را به صورت یقین-اندیشانه در نظر گیرد پیچیده‌تر و مشکل‌تر است، اما برخلاف حل‌های کلاسیک از نگاه واقع‌بینانه‌تری نسبت به مسائل مختلف برخوردار می‌باشد. با در نظر گرفتن متغیرهای مسائل فیزیکی به صورت متغیر تصادفی، استفاده از علم آمار و احتمالات و امکان تعیین شاخص قابلیت اطمینان و احتمال خرابی هر سامانه در سه دهه‌ی اخیر، حل مسائل به روش احتمال‌اندیشانه گسترش پیدا کرده است. در تحلیل احتمال‌اندیشانه، ویژگی‌های آماری پاسخ از فرآیندهای شبیه‌سازی به‌دست می‌آیند. متداول‌ترین این نوع روش‌ها، فرآیند شبیه‌سازی مونت‌کارلو می‌باشد [1 و 2]. این شیوه بر پایه‌ی تولید پاسخ سازه به‌صورت عددی استوار است. با افزایش شمار درجه‌های آزادی سازه و نیز تعداد عامل‌های دارای عدم قطعیت، محاسبات این روش به‌صورت چشم‌گیری افزایش می‌یابد.

در گروه دیگری از روش‌های تحلیل عدم قطعیت سازه‌ها، ویژگی‌های آماری پاسخ از رابطه‌سازی تحلیل براساس متغیرهای تصادفی به‌دست می‌آیند. به عنوان نمونه، می‌توان واریانس، انحراف معیار و دیگر ویژگی‌های آماری پاسخ را از رابطه‌های بنیادی تحلیل به روش اجزای محدود حساب کرد [3-5]. شیوه‌ی بسط نیومن [6]، روش حالت تغییرشکل تقریبی عمده آپدم¹ و راهکار حالت تغییرشکل دقیق آپدم² [7] نمونه‌هایی از این فرآیندها می‌باشند.

روش حل مسائل با دیدگاه احتمال‌اندیشانه، در اکثر مسایل مهندسی مرتبط با تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی، تحلیل‌های خطی و غیرخطی، سامانه‌های کنترل فعال و غیرفعال، بهینه‌سازی،

¹ - (APDM)

² - (EPDM)

مرمت و مقاوم‌سازی و... کاربرد دارد. از این رو در این پژوهش، تحلیل دینامیکی سازه‌ها با رویکردی احتمال‌اندیشانه انجام می‌پذیرد.

1-2- تاریخچه

قدیمی‌ترین آیین‌نامه شناخته شده ساختمانی به دستور حمورابی پادشاه شهر بابل در حدود 1750 ق.م. تدوین شد. مفاد این آیین‌نامه در سنگ حکاکی شدند و این سنگ‌های حکاکی شده در موزه لوور پاریس فرانسه نگهداری می‌شوند. مسئولیت‌های تعریف شده بستگی به پیامدها و نتایج گسیختگی داشت. اگر یک ساختمان فرو می‌ریخت و یک پسر از مالک ساختمان کشته می‌شد آن‌گاه باید پسر سازنده ساختمان کشته شود. اگر غلام مالک ساختمان کشته شود، آن‌گاه باید غلام سازنده ساختمان کشته شود.

در طی قرون مختلف، دانش ساخت و ساز پیشرفت کرد و همواره سازندگان در تلاش بودند تا از سازه‌های موفق الگوبرداری کرده و آن‌ها را بهینه کنند. آن‌ها بیشتر درصدد ساخت سازه‌هایی بودند که ضریب ایمنی بالاتری داشته باشد. همواره تلاش برای ایجاد دهانه‌های بزرگتر و ارتفاع‌های بیشتر انجام می‌شد و این تلاش‌ها براساس تجربه و بیشتر به صورت آزمون و خطا انجام می‌شد. اگر خرابی اتفاق می‌افتاد طرح عوض شده و دوباره اجرا می‌شد. با گذشت زمان رفتار سازه‌ها و بارهای وارده بهتر شناخته شد و با الگوسازی ریاضی آن‌ها به روابط حاکم بر رفتار آن‌ها دست یافته شد.

اولین فرمول‌سازی ریاضی برای مسئله ایمنی سازه توسط مایر در سال 1936 میلادی و استرلتزکی در سال 1947 انجام گردید. این محققین اعلام کردند که بار و مقاومت متغیرهای تصادفی می‌باشند. بنابراین می‌توان احتمال شکست هر سازه را به دست آورد. این ایده توسط محققین دیگری از جمله فرودنتال گسترش یافت و تابعی برای احتمال شکست ارائه شد [8].

بعد از دهه 70 روش تحلیل احتمال‌اندیشانه و قابلیت اطمینان سازه‌ها به حدی از رشد خود رسید که زمینه برای استفاده‌های عملی آماده شد، به طوری که آیین‌نامه‌های جدید براساس این روش بنا نهاده شدند.

تا سال 1960 معیار ایمنی در آیین‌نامه‌ها براساس روش تنش مجاز بود. سیستم‌های سازه‌ای با فرض رفتار کشسان، تحلیل و طراحی می‌شدند. در این روش عدم قطعیت‌های سازه به صورت ضریب اطمینان وارد تحلیل می‌گردید.

در سال‌های متمادی که سازه‌ها خسارت‌های زیادی در اثر عوامل طبیعی نظیر زلزله، طوفان و... دیدند و در پی آن جان تعداد زیادی از انسان‌ها گرفته شد، توجه جامعه مهندسان بیشتر از گذشته به موضوع ایمنی جلب شد. مهندسان بخش سی بی تی (سنتر فور بیلدینگ تکنولوژی)³ به بررسی و مطالعه خسارت‌های ناشی از بلایای طبیعی پرداختند. بیشتر توجه آن‌ها به بررسی خسارت‌های زلزله سال 1971 سانفرانسیسکو و کالیفرنیا و زلزله سال 1972 ماناگویا و نیکاراگوئه و زلزله سال 1978 مایاگی‌کن‌اوکی معطوف بود. همچنین به بررسی بارهای برف و باران که باعث خرابی سقف هارتفورد سیویک آرنا⁴ در سال 1978 شده بود پرداختند.

نتایج این تحقیقات نشان داد که آیین‌نامه‌ها دارای مشکل‌اند و نیاز به اصلاح دارند. بدین ترتیب روش تنش مجاز زیر سؤال رفت و محققان به دنبال روشی جایگزین بودند که دو هدف مهم یعنی ایمنی و کارایی مناسب را تأمین کند. در آن زمان روش قابلیت اطمینان و تحلیل احتمال‌اندیشانه مطرح شد که در آن بار و مقاومت دارای عدم قطعیت‌هایی می‌باشند که باید به صورت احتمالاتی مدل شوند. در پی آن به جمع‌آوری آمار و اطلاعات لازم برای چنین تحلیلی پرداخته شد. برای بدست آوردن آمار و اطلاعات کافی کمیته‌ای از طرف اداره استاندارد آمریکا با عنوان A58 برای

³ - (Center for Building Technology) CBT

⁴ - Hartford Civic Arena

بررسی و تعیین حداقل بار طراحی ساختمان‌ها و دیگر سازه‌ها در بخش سازه CBT ایجاد شد. در دهه 1970 گروه CBT تلاش خود را صرف تحقیق بر روی روش‌های احتمال‌اندیشانه در آیین‌نامه‌های سازه‌ای کرد. بروس الینگوود به تحقیق در مورد تحلیل احتمال‌اندیشانه بارهای برف، زنده و ترکیبات بارگذاری برای سازه‌های بتنی پرداخت. سیمپو و مارشال در مورد بارهای باد تحقیق کردند. نتایج تحقیقات انجام شده منتج به استاندارد A58 شد. در سال 1978 بروس الینگوود یک مجموعه از معیارهای بارگذاری بر مبنای احتمالات را برای طراحی حالت حدی پیشنهاد کرد. او به سه نفر از محققان که در زمینه تحلیل احتمال‌اندیشانه و قابلیت اعتماد سازه صاحب نظر بودند، پیشنهاد کرد به او ملحق شوند. گلامبوس، مک‌گرگور و کرنل در تابستان 1979 به او پیوستند تا با روش‌های تحلیل احتمال‌اندیشانه و داده‌های آماری، مقرراتی برای آیین‌نامه‌ها بدست آورند. نتیجه تمام این تلاش‌ها عبارت بود از:

1- توصیه یک مجموعه از ضرایب بار و ترکیبات بارگذاری برای همه نوع سازه‌ها

2- ایجاد روشی برای دسته‌بندی مواد مختلف سازگار با ضوابط مقاومت A58

که نتیجه این همکاری انتشار نشریه NBS 577 در ژوئن 1980 بود که باعث ارتقاء معیارهای بار و مقاومت براساس احتمالات در استاندارد ملی آمریکا A58 شد.

به دنبال آن آیین‌نامه‌های گوناگون درباره ساختمان‌ها، پل‌ها، سازه‌های ساحلی، نیروگاه‌های

هسته‌ای و... معیارهای بار و مقاومت را براساس احتمالات پذیرفتند. نسل جدید آیین‌نامه‌های طراحی بر پایه مدل‌های احتمالی از بار و مقاومت می‌باشند. به عنوان مثال آیین‌نامه‌های ال آر اف د⁵ و

⁵ - LRFD

ای آی اس سی⁶ برای سازه‌های فلزی و آیین‌نامه طراحی پل‌های بزرگراه‌ها نظیر اچ بی دی سی⁷ و اشتو⁸ و تعدادی از آیین‌نامه‌های اروپایی از این جمله می‌باشند.

در زمینه تحلیل دینامیکی سازه‌ها با رویکرد احتمال‌اندیشانه تاکنون کارهای بسیاری انجام شده است. در این نوع تحلیل به طور معمول، پارامترهایی نظیر جرم و سختی به صورت غیرقطعی در نظر گرفته می‌شوند. در ادامه، به چند مورد اشاره می‌شود. پائولا⁹ و همکاران با استفاده از روش مونت کارلو به تحلیل احتمال‌اندیشانه سازه‌های خرپایی شکل تحت اثر بار دینامیکی پرداختند. ایشان پارامتر جرم را غیرقطعی فرض کردند و اثر آن را در پاسخ سازه و ضریب بزرگنمایی دینامیکی بررسی کردند [9]. از جمله خصوصیات مواد که باید به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شود، تنش حد جاری شدن است. تسومپاناکیس¹⁰ و همکاران اثر عدم قطعیت ناشی از کاربرد این پارامتر را در تحلیل دینامیکی یک قاب فضایی چند طبقه به روش مونت کارلو مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها همچنین روش‌های محاسباتی کارآمدی را برای کاهش تعداد نمونه‌های تصادفی بدون اثر گذاری قابل ملاحظه در دقت نتایج، پیشنهاد دادند [10]. حسینی و خادم¹¹ به تحلیل احتمال‌اندیشانه تیرهای تحت اثر بارهای دینامیکی پرداختند. آن‌ها پارامترهای سطح مقطع، ضریب الاستیسیته، ممان اینرسی، ضریب برشی، ضریب میرایی و بار دینامیکی را غیرقطعی فرض نموده و اثر آن‌ها را در قابلیت اطمینان سازه بررسی نمودند [11]. رولت و الیشاکوف¹² به وسیله تحلیل اجزای محدود به تحلیل احتمال‌اندیشانه

⁶ - AISC

⁷ - OHBDC

⁸ - AASHTO

⁹ - Paola

¹⁰ - Tsompanakis

¹¹ - Hosseini and Khadem

¹² - Rollot and Elishakoff

تیرها تحت بارها و سختی متغیر پرداختند [12]. ژانگ و فوسچی¹³ با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو و روش‌های کاهش تعداد شبیه‌سازی‌ها به بررسی اثر پارامترهای غیرقطعی در سازه یک پل دارای شمع فولادی پرداختند [13]. مارانو¹⁴ به بررسی تاثیر عدم قطعیت پارامترهای فرکانس و سختی در جداگرهای لرزه‌ای پایه پل‌ها پرداخت و پیشنهادهاتی برای افزایش قابلیت اطمینان و طراحی بهینه این سیستم‌ها را ارائه داد [14]. چایودوری و چاکرابورتی¹⁵ اثر غیرقطعی بودن شتاب پایه را در قاب‌های سه‌بعدی بررسی نمودند [15]. چن¹⁶ و همکاران به بررسی اثر عدم قطعیت شتاب پایه در سازه‌های دارای میراگر پرداختند [16]. وایسمن¹⁷ و همکاران اثر عدم قطعیت را در سازه‌های دریایی تحت اثر نیروهای دینامیکی ناشی از امواج بررسی نمودند [17].

با توجه به تنوع کارهای انجام شده در زمینه تحلیل دینامیکی سازه‌ها در فضای عدم قطعیت، داشتن یک ایده کلی از رفتار دینامیکی سازه‌ها با غیر قطعی انگاشتن مشخصات اصلی تاثیرگذار نظیر جرم، سختی و میرایی لازم به نظر می‌رسد. از این رو در این پژوهش به بررسی اثر عدم قطعیت عامل‌های ذکر شده در پاسخ دینامیکی سازه‌های یک و چند درجه آزادی دارای رفتار کشسان پرداخته می‌شود.

3-1- سامان‌دهی پایان‌نامه

فصل اول این پژوهش به اهمیت و جایگاه تحلیل سازه‌ها با رویکرد احتمال‌اندیشانه اختصاص یافته است. در این فصل به تعدادی از کارهای انجام شده در این حوزه اشاره شده است. در فصل دوم مفاهیم اساسی آمار و احتمالات که در تحلیل احتمال‌اندیشانه سازه‌ها کاربرد دارند، بیان می‌شود. در

¹³ - Zhang and Foschi

¹⁴ - Marano

¹⁵ - Chaudhuri and Chakraborty

¹⁶ - Chen

¹⁷ - Waisman

این فصل مبانی تحلیل احتمال‌اندیشانه سازه‌ها ذکر خواهد شد. در فصل سوم مبانی تحلیل دینامیکی سازه‌های یک و چند درجه آزادی با رفتار خطی بیان می‌شود. در فصل‌های چهارم و پنجم به ترتیب تحلیل دینامیکی سازه‌ی یک درجه آزادی و سازه‌های چند درجه آزادی در فضای عدم قطعیت مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در فصل ششم نتایج تحلیل احتمال‌اندیشانه سازه‌های یک و چند درجه آزادی و پیشنهادهایی برای ادامه کار بیان می‌گردد.

فصل دوم

اصول و مبانی تحلیل احتمال اندیشه

2-1- پیش‌گفتار

تحلیل و طراحی سازه‌ها به روش احتمال‌اندیشانه، موضوعی است که در چند دهه اخیر همواره مورد توجه بوده است. علت این توجه وجود طبیعت غیر قطعی پارامترهای سازه‌ای از قبیل خواص مصالح، بارهای خارجی، ابعاد هندسی و ... می‌باشد. به کمک نظریه قابلیت اطمینان و تحلیل احتمال‌اندیشانه سازه‌ها، می‌توان عدم قطعیت‌های ناشی از طبیعت آماری پارامترهای سازه‌ای را به صورت روابط ریاضی درآورده و ملاحظات ایمنی و عملکرد را به‌طور کمی وارد روند طراحی نمود. با استفاده از نتایج تحلیل احتمال‌اندیشانه سازه‌ها می‌توان قابلیت اطمینان سازه‌های جدید طراحی شده و یا ایمنی سازه‌های موجود، استراتژی‌های حفاظت و نگهداری و ... را مورد بررسی قرار داد. به کمک تحلیل احتمال‌اندیشانه و نظریه قابلیت اطمینان سازه‌ها، می‌توان امید آن را داشت که سازه‌های نوین در غیاب مقررات آیین‌نامه‌ای طرح کرد، به‌طور مثال هنگامی که سازه‌ای متشکل از مصالح جدید مطرح باشد، به صورت یک ابزار قوی در اختیار کمیته‌های تدوین آیین‌نامه‌ها قرار گیرد و نتایج این نظریه جایگزین و یا مکمل ضوابط موجود گردد [18].

2-2- عدم قطعیت در سازه‌ها

فرآیند ساخت سازه‌ها شامل تهیه نقشه، تحلیل و طراحی، اجرا و بهره‌برداری می‌باشد. هر یک از اجزا این فرآیند دارای چندین عدم قطعیت می‌باشند. این عدم قطعیت‌ها را با توجه به منشا آن می‌توان به دو دسته اصلی دسته‌بندی کرد:

• طبیعی

• انسانی

علل طبیعی ایجاد عدم قطعیت از اتفاقی بودن بارهایی از قبیل باد، زلزله، برف، یخ یا بار زنده ناشی می‌شود. منبع دیگر ایجاد عدم قطعیت ناشی از رفتار مکانیکی مواد و مصالح استفاده شده در

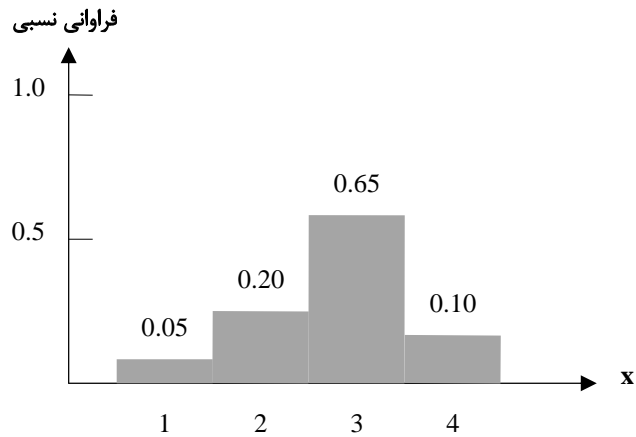
ساخت و سازها می‌باشد. به عنوان مثال مشخصات مصالح بتن می‌تواند از یک مخلوط به مخلوط دیگر یا حتی در داخل یک مخلوط با هم تفاوت داشته باشد.

علل انسانی ایجاد عدم قطعیت‌ها ناشی از انحرافات خواسته یا ناخواسته از یک طرح بهینه ناشی می‌شود. مثال‌هایی از این عدم قطعیت‌ها در مرحله طراحی سازه شامل ایده‌آل سازی، تقریبات، خطاهای محاسباتی و ... می‌باشد. در مرحله اجرا مواردی مانند عدم کفایت مصالح، روش‌های اجرایی نامناسب، تغییرات بدون تحلیل در سازه و ... می‌باشد. در مرحله بهره‌برداری می‌توان از بارگذاری بیش از حد سازه، نگهداری نامناسب، استفاده نادرست یا حتی یک کارشکنی و خرابکاری عمدی نام برد [8].

2-3- مفاهیم پایه از علم آمار و احتمالات

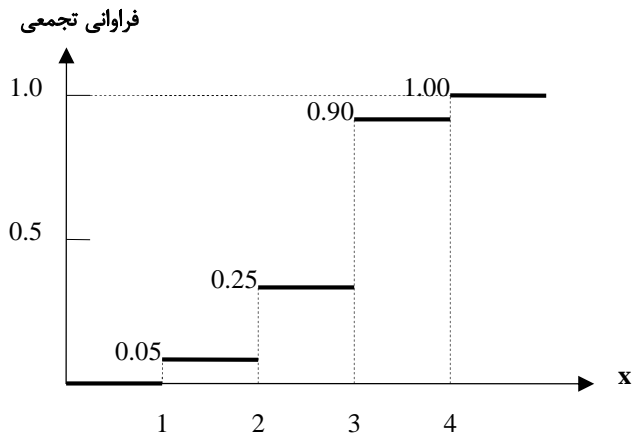
در این بخش مفاهیم پایه از علم آمار و احتمالات که در تحلیل احتمال‌اندیشانه به کار می‌رود، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. مجموعه داده‌هایی که از یک آزمایش نتیجه می‌شوند، گام اول هر مطالعه می‌باشد. نتایج آزمایش را باید به گونه‌ای ارائه داد که بیشترین معنی را برای مقاصد کاربردی داشته باشد و بتوان ماهیت تصادفی نتایج یک آزمایش را تفسیر کرد. در ادامه به پارامترهای مهم آماری اشاره می‌شود.

نمودار فراوانی نسبی: نموداری است که فراوانی نسبی مقادیر مشاهده شده را بین فواصل مختلف را نمایش می‌دهد (شکل 2-1).



شکل 1-2 مثالی از نمودار فراوانی نسبی

نمودار فراوانی تجمعی: نموداری است که نشان می‌دهد چه فراوانی از مقادیر مشاهده شده یک متغیر تصادفی، مساوی یا کوچکتر از مقداری مشخص است. این نمودار را می‌توان از داده‌های اصلی یا از نمودارهای فراوانی به‌دست آورد (شکل 2-2).



شکل 2-2 مثالی از نمودار فراوانی تجمعی

میانگین: میزان گرایش مرکزی داده‌ها را بیان می‌کند و می‌تواند به لحاظ فیزیکی به عنوان مرکز سطح در نظر گرفته شود، و برای مجموعه‌ای از n داده به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1-2)$$

واریانس نمونه: مبین میزان پراکندگی داده‌ها است و با تعبیر فیزیکی می‌توان آن را نظیر لنگر لختی سطح تلقی نمود. واریانس نمونه به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$Var(x) = s_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \quad (2-2)$$

انحراف معیار: مساوی ریشه دوم واریانس نمونه می‌باشد.

$$s_x = \sqrt{Var(x)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (3-2)$$

ضریب پراکندگی: به صورت حاصل تقسیم انحراف معیار نمونه بر میانگین نمونه تعریف می‌شود.

$$V = \frac{s_x}{\bar{X}} \quad (4-2)$$

پارامتر ضریب پراکندگی همواره مثبت فرض می‌شود حتی اگر میانگین منفی باشد.

کوواریانس: هرگاه بیش از یک متغیر تصادفی مورد مشاهده قرار گیرد، کواریانس بین متغیرهای

تصادفی به صورت زیر تعریف می‌شود:

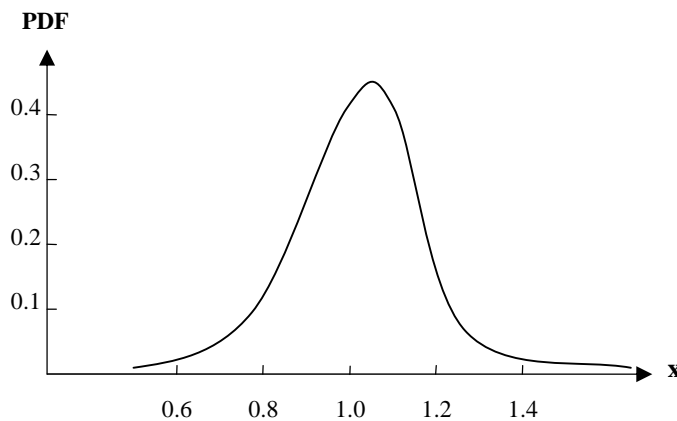
$$cov(x_i, x_j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X}_i)(x_j - \bar{X}_j) \quad (5-2)$$

4-2- متغیر تصادفی

مفهوم متغیر تصادفی ارتباط تنگاتنگی با رفتار یک تجربه یا آزمایش دارد. چنانچه آزمایشی چندین بار تحت شرایط تقریباً یکسانی انجام پذیرد و نتایج آزمایش یکسان باشد، متغیرهای اندازه‌گیری شده قطعی و یقین‌اندیشانه می‌باشند. ولی اگر نتایج آزمایش یکسان نباشد و دارای تغییرات باشد به آن متغیر تصادفی گویند. تجربه نشان داده است که با توجه به عدم قطعیت‌های موجود، هرگاه در مهندسی سازه آزمایشی انجام پذیرد هیچ‌گاه نتایج عددی یکسان نمی‌باشد، بنابراین انتخاب عوامل سازه‌ای به عنوان متغیرهای قطعی صحیح به نظر نمی‌رسد و باید آن‌ها را به صورت متغیر تصادفی در نظر گرفت. برای بیان مشخصات متغیرهای تصادفی از توابع چگالی احتمال و توزیع احتمال استفاده می‌شود.

4-2-1- تابع چگالی احتمال

اگر چه نمودار فراوانی به لحاظ کیفی و کمی بسیار با ارزش است، ولی برای توصیف داده‌ها در کارهای مهندسی بهتر است از یک تابع ریاضی پیوسته به نام تابع چگالی احتمال (PDF) استفاده شود (شکل 2-3).



شکل 2-3 مثالی از یک تابع چگالی احتمال

فرض کنید یک متغیر تصادفی بتواند هر مقدار واقع بر روی محور حقیقی را به خود اختصاص دهد، اکنون برای جزیی از آن خط، مثلاً از نقطه‌ای به طول $x - \frac{x}{2}$ تا $x + \frac{x}{2}$ احتمال قرار گرفتن نتایج آزمایش در این محدوده برابر $p(x)dx$ است که در آن تابع چگالی احتمال می‌باشد. بنابراین احتمال آن که متغیر تصادفی X بین دو نقطه از محور حقیقی یعنی بین نقاطی به طول x_a و x_b واقع شود برابر است با:

$$\Pr(x_a \leq X \leq x_b) = \int_{x_a}^{x_b} P(x) dx \quad (6-2)$$

یک تابع چگالی احتمال باید شرایط معینی داشته باشد. اگر X و $P(x)$ به ترتیب متغیر تصادفی و تابع چگالی احتمال باشند و x برای مشخص کردن مقدار مشاهده شده X به کار رود، آن-گاه شرایط زیر بایستی وجود داشته باشد.

1- تابع چگالی احتمال باید همواره بزرگتر یا مساوی صفر باشد.

$$P(x) \geq 0 \quad (7-2)$$

2- مساحت زیر تابع چگالی احتمال برابر واحد باشد.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} P(x) dx = 1 \quad (8-2)$$

3- احتمال آن که مقدار مشاهده شده متغیر تصادفی بین دو مقدار عددی مثل x_a و x_b قرار گیرد برابر است با:

$$\Pr[x_a \leq X \leq x_b] = \int_{x_a}^{x_b} P(x) dx \quad (9-2)$$

هر تابعی که سه شرط فوق را دارا باشد، می تواند به عنوان تابع چگالی احتمال انتخاب شود.

اگر در مساله ای بیش از یک متغیر تصادفی مطرح باشد، یک تابع چگالی احتمال چند متغیره

برای توصیف متغیرهای تصادفی به کار گرفته می شود. اگر متغیرهای تصادفی با x_1 ، x_2 ، ... و x_n

مشخص شده باشند، تابع چگالی احتمال چند متغیره آنها بایستی شرایط زیر را داشته باشد.

$$1) P(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0 \quad (10-2)$$

$$2) \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} P(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n = 1 \quad (11-2)$$

$$3) \Pr[a_1 \leq X_1 \leq b_1, a_2 \leq X_2 \leq b_2, \dots, a_n \leq X_n \leq b_n] =$$

$$\int_{a_1}^{b_1} \int_{a_2}^{b_2} \dots \int_{a_n}^{b_n} P(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n \quad (12-2)$$

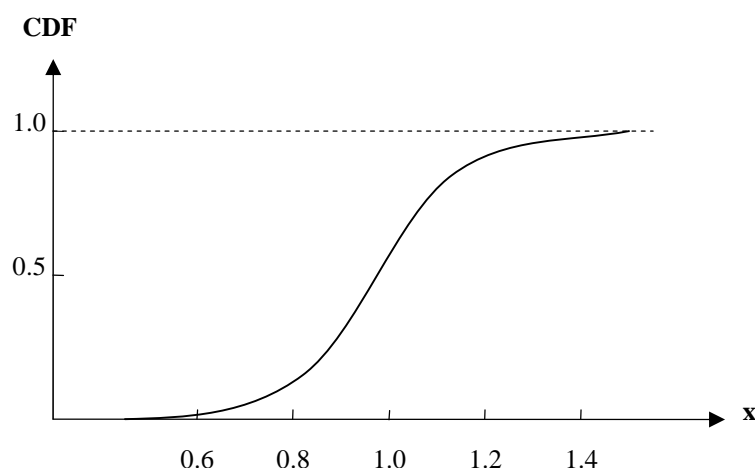
2-4-2- تابع توزیع احتمال

مجموعه مقادیر یک متغیر تصادفی به همراه احتمال متناظر با آن، مقادیر توزیع احتمال (شکل

2-4) را تشکیل می دهند. تابع توزیع احتمال که گاهی تابع توزیع تجمعی احتمال نیز نامیده می شود

(CDF)، از انتگرال گیری تابع چگالی احتمال به دست می آید و مطابق رابطه زیر تعریف می شود.

$$P(x_a) = \int_{-\infty}^{x_a} P(x) dx = \Pr[X \leq x_a] \quad (13-2)$$



شکل 4-2 مثالی از یک تابع توزیع احتمال

تابع توزیع احتمال مربوط به چند متغیر تصادفی به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$p[x_a, x_b, \dots, x_n] = \int_{-\infty}^{x_a} \int_{-\infty}^{x_b} \dots \int_{-\infty}^{x_n} P(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n = \quad (14-2)$$

$$Pr[X_1 \leq x_a, X_2 \leq x_b, \dots, X_n \leq x_n]$$

در روابط فوق x_a, x_b, \dots, x_n مقادیری ثابت هستند.

همان‌طور که گفته شد، هر متغیر تصادفی با استفاده از تابع توزیع تجمعی‌اش تعریف می‌شود.

تابع چگالی احتمال یک متغیر تصادفی پیوسته مشتق اول تابع توزیع تجمعی‌اش می‌باشد. مهم‌ترین

متغیرهای تصادفی مورد استفاده در تحلیل احتمال‌اندیشانه سازه‌ها عبارتند از:

یکنواخت، نرمال، لگ‌نرمال، گاما، حدی نوع یک، دو و سه و پواسون.

در ادامه این متغیرهای تصادفی به اختصار توضیح داده می‌شود.

2-4-3- متغیرهای تصادفی یکنواخت

برای یک متغیر تصادفی یکنواخت برای تمام مقادیر ممکن متغیر تصادفی واقع در محدوده $[a, b]$ تابع چگالی احتمال دارای یک مقدار ثابت است. از دیدگاه ریاضی تابع چگالی احتمال به صورت زیر تعریف می‌شود:

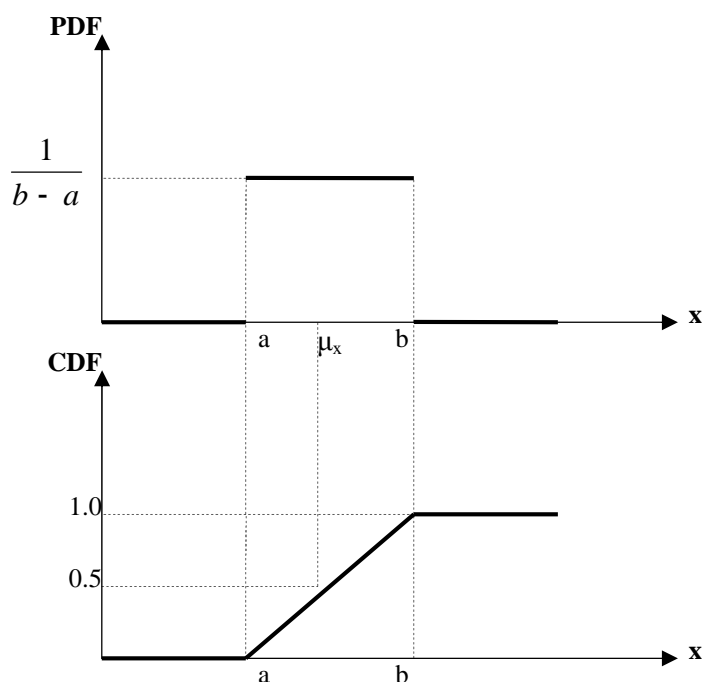
$$PDF = f_x(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0 & x < a \text{ or } b < x \end{cases} \quad (15-2)$$

مقادیر a و b به ترتیب به عنوان حدود پایین و بالای متغیر تصادفی می‌باشند. توابع چگالی احتمال و توزیع تجمعی برای یک متغیر تصادفی یکنواخت در شکل 2-5 نشان داده شده‌اند.

میانگین و واریانس به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند:

$$m_x = \frac{a+b}{2} \quad (16-2)$$

$$s_x^2 = \frac{(b-a)^2}{12} \quad (17-2)$$



شکل 5-2 تابع‌های چگالی احتمال و توزیع تجمعی برای یک متغیر تصادفی یکنواخت

4-4-2- متغیرهای تصادفی نرمال

متغیر تصادفی نرمال مهم‌ترین توزیع در تحلیل احتمال‌اندیشانه و تئوری ایمنی سازه‌ها می‌باشد. تابع چگالی احتمال برای متغیر تصادفی نرمال X به صورت زیر بیان می‌شود:

$$f_X(x) = \frac{1}{s_x \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - m_x}{s_x}\right)^2\right] \quad (18-2)$$

σ_x و μ_x به ترتیب بیانگر میانگین و انحراف معیار می‌باشند. شکل (6-2) نشان دهنده تابع‌های چگالی احتمال و توزیع تجمعی برای یک متغیر تصادفی نرمال می‌باشد.

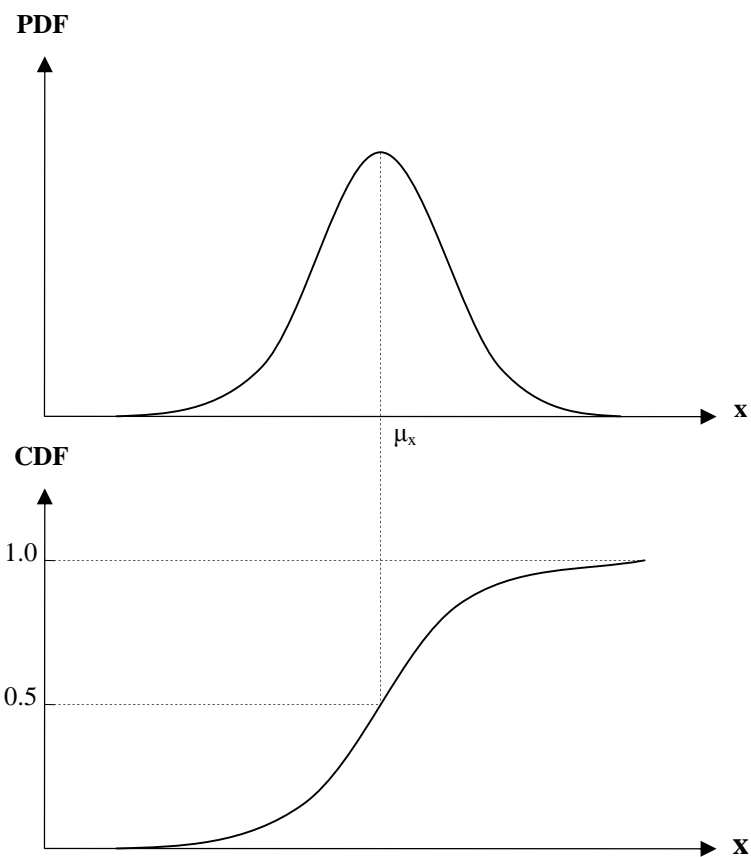
تابع‌های توزیع برای یک متغیر تصادفی نرمال دارای دو خاصیت مهم به شرح زیر می‌باشند:

1- تابع چگالی احتمال حول محور میانگین μ_x متقارن است.

$$f_X(\mu_x - X) = f_X(\mu_x + X) \quad (19-2)$$

2- به دلیل توزیع متقارن حول میانگین همواره رابطه زیر برقرار است:

$$F_X(\mu_x - X) + F_X(\mu_x + X) = 1 \quad (20-2)$$



شکل 2-6 تابع‌های چگالی احتمال و توزیع تجمعی برای یک متغیر تصادفی نرمال

2-4-5- متغیرهای تصادفی لگ نرمال

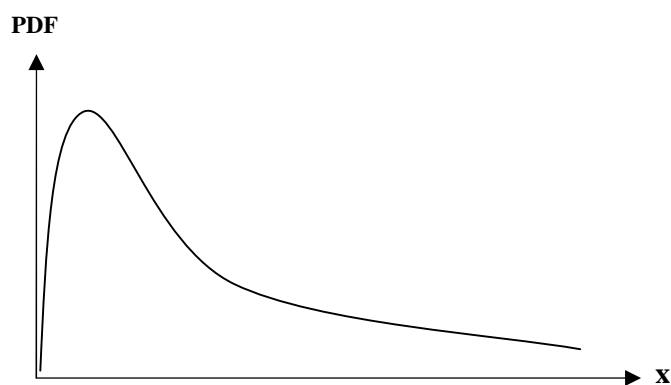
فرض می‌شود که متغیر تصادفی X مثبت بوده و متغیر تصادفی Y نیز برابر $Y = \ln(X)$

تعریف شود. اگر متغیر تصادفی Y دارای توزیع نرمال با میانگین μ_x و انحراف معیار σ_x باشد، گوییم X

دارای توزیع لگ نرمال است. به عبارتی، اگر لگاریتم (طبیعی) هر متغیر تصادفی دارای توزیع نرمال

باشد. آنگاه، توزیع آن متغیر تصادفی لگ‌نرمال (شکل 7-2) خواهد بود [19]. تابع چگالی احتمال برای متغیر تصادفی لگ‌نرمال به صورت زیر است:

$$f_x(x) = \frac{1}{ax\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x) - b}{a}\right)^2\right] \quad (21-2)$$



شکل 7-2 تابع چگالی احتمال برای یک متغیر تصادفی لگ‌نرمال

واریانس متغیر تصادفی لگ‌نرمال را می‌توان از دو رابطه زیر به دست آورد:

$$s_{\ln(x)}^2 = \frac{1}{a^2} \exp\left(\frac{2b}{a}\right) \left[\exp\left(\frac{2}{a^2}\right) - 1 \right] \quad (22-2)$$

$$s_{\ln(x)}^2 = \ln(V_x^2 + 1) \quad (23-2)$$

و از روابط زیر میانگین آن به دست می‌آید:

$$m_{Ln(x)} = \exp\left(\frac{a}{2}\right) + \frac{b}{e} \quad (24-2)$$

$$m_{Ln(x)} = Ln(m_x) - \frac{1}{2} s_{Ln(x)}^2 \quad (25-2)$$

2-4-6- متغیرهای تصادفی دارای توزیع گاما

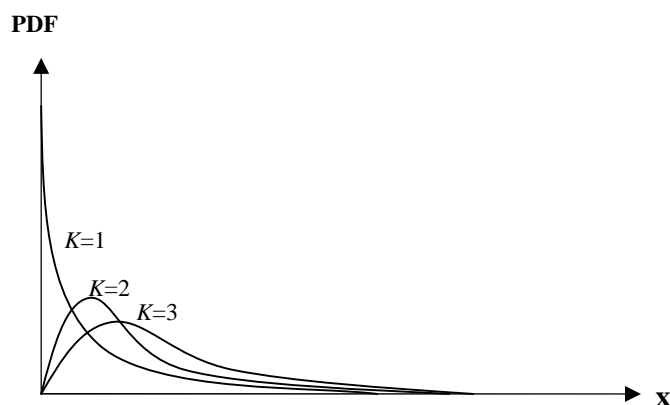
تابع چگالی احتمال یک متغیر تصادفی گاما به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$f_X(x) = \frac{1}{\Gamma(x)} x^{K-1} e^{-x} \quad , \quad x \geq 0 \quad (26-2)$$

λ و K پارامترهای توزیع هستند. $\Gamma(x)$ تابع گاما می‌باشد که طبق رابطه زیر تعریف می‌شود.

$$\Gamma(K) = \int_0^{\infty} e^{-u} u^{K-1} du \quad (27-2)$$

تعدادی از تابع‌های چگالی احتمال برای مقادیر متفاوتی از K در شکل (8-2) نشان داده شده است.



شکل 8-2 تابع چگالی احتمال برای متغیر تصادفی گاما

با استفاده از روابط زیر می‌توان مقادیر میانگین و واریانس را محاسبه کرد [8].

$$m(x) = \frac{K}{1} \quad (28-2)$$

$$s_x^2 = \frac{K}{2} \quad (29-2)$$

2-4-7- متغیرهای تصادفی دارای توزیع حدی نوع I

توزیع‌های مقدار حدی همان‌طور که از نام آن‌ها مشخص است برای توصیف کردن مقادیر حدی طبیعت احتمالی (مقادیر حداکثر و حداقل) برخی پدیده‌های مافوق زمان مورد استفاده قرار می‌گیرند [8]. این متغیر تصادفی گاهی به عنوان فیشر - تی‌پت نوع I یا گامبل نیز معرفی می‌شود و به دو شکل فرض می‌شود. حالتی که برای بزرگترین مقدار حدی (شکل 2-9) استفاده می‌شود، به صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$f_X(x) = ae^{-a(x-u)} e^{-a(x-u)}, \quad a > 0 \quad (30-2)$$

و تابع توزیع تجمعی آن به صورت زیر است.

$$F_X(x) = e^{-e^{-a(x-u)}} \quad (31-2)$$

میانگین X برابر است با:

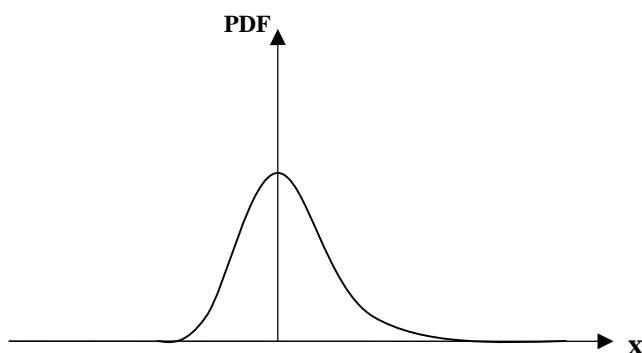
$$m_x = u + \frac{\pi}{2a} \quad (32-2)$$

در رابطه فوق γ ثابت اویلر است که دارای ارقام متوالی نامحدود می‌باشد و چنانچه سه رقم اول آن را در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$m_x = u + \frac{p}{6a} \quad (33-2)$$

و واریانس X برابر است با:

$$s_x^2 = \frac{p^2}{6a} \quad (34-2)$$



شکل 9-2 تابع چگالی احتمال برای متغیر تصادفی حدی نوع I

حالت دوم متغیر تصادفی حدی نوع یک که برای کوچکترین مقدار حدی به کار می‌رود و به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$f_X(x) = ae^{-e^{a(x-u)}} \quad , a > 0 \quad (35-2)$$

و تابع توزیع تجمعی آن عبارت است از:

$$F_X(x) = 1 - e^{-e^{a(x-u)}} \quad (36-2)$$

میانگین و واریانس آن به صورت زیر تعریف می‌شود [18]:

$$m_x = u - \frac{u^2}{6a} \quad (37-2)$$

$$s_x^2 = \frac{u^2}{6a} \quad (38-2)$$

8-4-2- متغیرهای تصادفی دارای توزیع حدی نوع II

یک توزیع حدی نوع II گاهی اوقات بهترین تقریب را از توزیع حداکثر بار زلزله اعمال شونده به یک سازه به دست می‌دهد. این تابع گاهی اوقات تابع چگالی احتمال فیشر- تیپت نوع II یا فریچت نیز نامیده می‌شود. تابع‌های چگالی احتمال و توزیع تجمعی برای این نوع به صورت زیر می‌باشند:

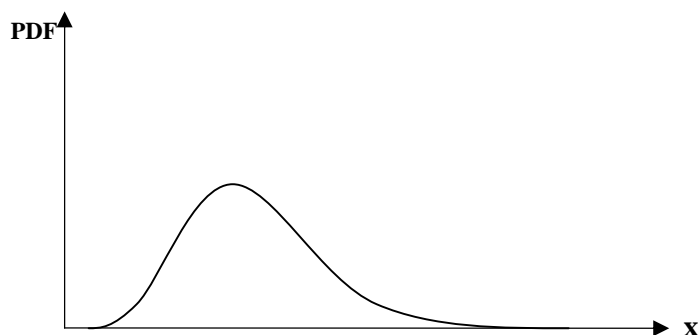
$$f_X(x) = \frac{k}{u} \frac{u}{x} e^{-(u/x)^k} \quad (39-2)$$

$$F_X(x) = e^{-(u/x)^k} \quad (40-2)$$

تابع چگالی احتمال برای یک متغیر حدی نوع II دارای شکل کلی نشان داده شده در شکل (10-2) می‌باشد. در این حالت می‌توان میانگین و واریانس را از روابط زیر محاسبه کرد:

$$m_x = u \Gamma\left(1 - \frac{1}{k}\right) \quad (41-2)$$

$$s_x^2 = u^2 \left[\Gamma\left(1 - \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 - \frac{1}{k}\right) \right] \quad (42-2)$$



شکل 10-2 تابع چگالی احتمال برای یک متغیر تصادفی حدی نوع II

9-4-2- متغیرهای تصادفی دارای توزیع حدی نوع III

توزیع حدی نوع III (شکل 11-2) که به توزیع ویبل نیز معروف است، با استفاده از سه پارامتر تعریف می‌شود. در این حالت برای بیشترین و کمترین مقادیر یک تابع متفاوت وجود دارد. برای کمترین مقادیر، توابع چگالی احتمال و توزیع تجمعی به صورت زیر می‌باشند [20]:

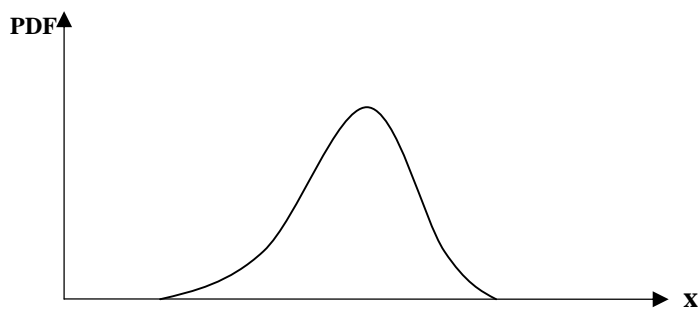
$$f_X(x) = \frac{k}{u-l} \frac{(x-l)^{k-1}}{(u-l)^k} \exp\left\{-\frac{(x-l)^k}{(u-l)^k}\right\}, \quad x \geq l \quad (43-2)$$

$$F_X(x) = 1 - \exp\left\{-\frac{(x-l)^k}{(u-l)^k}\right\} \quad (44-2)$$

در این حالت میانگین و واریانس توسط روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$m_X = l + (u-l) \frac{\Gamma(1/k)}{\Gamma(1/k)} + \frac{1}{k} \frac{(u-l)^k}{(u-l)^k} \quad (45-2)$$

$$s_x^2 = (u-l)^2 \frac{\Gamma(2/k)}{\Gamma(1/k)^2} + \frac{2}{k} \frac{(u-l)^k}{(u-l)^k} \Gamma(2/k) + \frac{1}{k} \frac{(u-l)^k}{(u-l)^k} \quad (46-2)$$



شکل 11-2 تابع چگالی احتمال برای یک متغیر تصادفی حدی نوع III

برای بیشترین مقادیر، تابع توزیع تجمعی به صورت زیر است:

$$F_x = \exp\left\{-\left(\frac{x-u}{l-u}\right)^k\right\}, \quad x \geq l \quad (47-2)$$

در این حالت مقادیر میانگین و واریانس از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$m_x = l - (l-u) \frac{\Gamma(1/k)}{\Gamma(1/k)} + \frac{1}{k} \quad (48-2)$$

$$s_x^2 = (l-u)^2 \left[\frac{\Gamma(2/k)}{\Gamma(1/k)^2} - \left(\frac{\Gamma(1/k)}{\Gamma(1/k)}\right)^2 \right] + \frac{1}{k^2} \quad (49-2)$$

10-4-2- توزیع پواسون

توزیع پواسون، یک توزیع احتمال گسسته است که می‌توان از آن برای محاسبه تابع جرمی

احتمال برای تعدادی از رخدادهای یک زمان یا فواصل زمانی استفاده کرد.

اگر N یک متغیر تصادفی گسسته و بیانگر تعداد رخدادهای یک رویداد در یک فاصله زمانی

باشد و D بیانگر آهنگ رخداد میانگین رویداد باشد، تابع جرمی احتمال پواسون به صورت رابطه زیر

تعریف می‌شود:

$$N = \frac{(ut)^n}{n!} e^{-ut} \quad (50-2)$$

میانگین و واریانس متغیر تصادفی N عبارت است از:

$$m_N = u > t \quad (51-2)$$

$$s_N^2 = u \times t \quad (52-2)$$

5-2- امید ریاضی

میانگین وزنی همه مقادیری که یک متغیر تصادفی اختیار می‌کند امید ریاضی نام دارد. به

نحوی که احتمالات مربوط به هر مقدار، وزن آن را در تعیین میانگین تشکیل می‌دهد [19].

امید ریاضی جهت انتگرال‌گیری یک متغیر تصادفی به کار می‌رود و به صورت زیر بیان می‌شود.

$$E(g(x)) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(x)p(x)dx \quad (53-2)$$

$g(x)$ تابعی از متغیر تصادفی X است. اساسی‌ترین کار امید ریاضی به دست آوردن میانگین متغیر

تصادفی است که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$E[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} xp(x)dx \quad (54-2)$$

با استفاده از امید ریاضی می‌توان واریانس متغیر تصادفی X را مطابق رابطه زیر تعریف نمود.

$$\text{Var}(x) = E[(X - \bar{X})^2] = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{X})^2 p(x)dx = E[X^2] - (\bar{X})^2 \quad (55-2)$$

مفهوم امید ریاضی برای مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی نیز قابل استفاده است. اگر n متغیر تصادفی X_1, X_2, \dots, X_n باشد و تابع چگالی احتمال نظیرشان $P(X_1, X_2, \dots, X_n)$ باشد، امید ریاضی تابع کلی $g(X_1, X_2, \dots, X_n)$ به شکل زیر تعریف می‌شود.

$$E[g(X_1, X_2, \dots, X_n)] = \int_{X_1=-\infty}^{+\infty} \int_{X_2=-\infty}^{+\infty} \dots \int_{X_n=-\infty}^{+\infty} g(X_1, X_2, \dots, X_n) p(X_1, X_2, \dots, X_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n \quad (56-2)$$

کواریانس دو متغیر تصادفی X_k و X_j برابر است با:

$$Cov(X_j, X_k) = E[(X_j - \bar{X}_j)(X_k - \bar{X}_k)] = \int_{x_j=-\infty}^{+\infty} \int_{x_k=-\infty}^{+\infty} (x_j - \bar{X}_j)(x_k - \bar{X}_k) p(x_j, x_k) dx_j dx_k \quad (57-2)$$

ضریب همبستگی دو متغیر تصادفی X_k و X_j عبارت است از:

$$r_{jk} = \frac{Cov(X_j, X_k)}{\sqrt{Var(X_j)Var(X_k)}} \quad (58-2)$$

2-6- روش‌های مورد استفاده در تحلیل احتمال‌اندیشانه

می‌دانیم که پاسخ‌های سازه (تنش، تغییر شکل و ...) که از حل معادلات حاکم بر رفتار سازه به دست می‌آیند به عواملی همچون بارهای وارد بر سازه، مشخصات هندسی و ابعاد سازه، خصوصیات مکانیکی مواد نظیر ضریب کشسانی و ... ارتباط پیدا می‌کنند. از آنجا که عوامل فوق دارای ماهیت غیرقطعی و احتمال‌اندیشانه می‌باشند، در نتیجه پاسخ سازه نیز تصادفی خواهد بود. بنابراین در این

حالت لازم است که برای پیدا کردن پاسخ‌های سازه از روش‌های مختلف تحلیل احتمال‌اندیشانه استفاده کرد.

2-6-1- روش تحلیل خطی آماری

در این روش، با استفاده از بسط سری تیلور و ایجاد یک رابطه خطی بین متغیرهای تصادفی و پاسخ سازه می‌توان پاسخ غیرقطعی سازه را به دست آورد. این روش که در نهایت منتهی به حل دستگاه معادلات خطی می‌شود، تحلیل خطی آماری نام دارد.

بسط سری تیلور تابع f حول مقادیر خاص برابر است با:

$$f(r_1, r_2, \dots, r_m) = f(\bar{r}_1, \bar{r}_2, \dots, \bar{r}_m) + \sum_{j=1}^m \frac{\partial f(\bar{r}_1, \bar{r}_2, \dots, \bar{r}_m)}{\partial r_j} (r_j - \bar{r}_j) + H \quad (59-2)$$

در رابطه فوق، ابتدا مجموع مشتقات نسبی تابع $f(r_1, r_2, \dots, r_m)$ نسبت به کلیه پارامترها به دست می‌آید و سپس نتیجه در نقاط خاص $(\bar{r}_1, \bar{r}_2, \dots, \bar{r}_m)$ محاسبه می‌گردد. در رابطه فوق H عبارت‌های غیرخطی بسط تیلور را مشخص می‌کند که در مدل‌سازی آماری خطی از آن صرف‌نظر می‌شود [18].

دو مشکل اساسی در این تحلیل وجود دارد. اول آن‌که به دلیل در نظر نگرفتن بخش غیرخطی، این روش با خطاهایی مواجه می‌شود. دوم آن‌که برپایی معادلات حاکم و بسط سری تیلور در مسائل پیچیده با دشواری‌های خاص خود روبرو است.

2-6-2- روش شبیه‌سازی مونت کارلو

روش مونت کارلو قوی‌ترین ابزار مهندسی است که ما را به تحلیل احتمال‌اندیشانه مسائل مهندسی قادر می‌سازد. این روش به خصوص در مسائل پیچیده‌ای که متغیرهای تصادفی بی‌شمار توسط معادلات غیرخطی به یکدیگر مرتبط شده‌اند، بسیار مفید است. همچنین این روش محدودیت‌های موجود در روش تحلیل خطی آماری را ندارد و در موقعیت‌های زیر می‌توان از آن بهره جست.

• این روش برای حل مسائل پیچیده وقتی که روش‌های حل به فرم بسته ممکن نیستند و یا بسیار مشکل هستند به کار می‌رود.

• در روش حل به فرم بسته مسائل پیچیده که دارای فرضیات ساده‌سازی می‌باشند، می‌توان از روش مونت‌کارلو مساله اصلی را بدون این فرضیات مورد مطالعه قرار داد.

• از این روش برای کنترل نمودن صحت نتایج دیگر روش‌های حل می‌توان استفاده نمود.

اساس روش مونت‌کارلو، تولید مجموعه‌ای از اعداد تصادفی است. در روش مونت‌کارلو ابتدا با توجه به تابع چگالی احتمال متغیرهای تصادفی موثر در سازه، n عدد تصادفی برای هر کدام تولید می‌شود. سپس مساله به ازای تک‌تک اعداد تصادفی تولید شده حل می‌گردد. در پایان n مقدار برای پاسخ سازه به دست می‌آید که با استفاده از روابط ذکر شده در بخش‌های قبل می‌توان اطلاعات آماری و نمودار فراوانی را برای پاسخ سازه به دست آورد. همچنین می‌توان PDF مناسبی بر نمودار فراوانی برازش کرد و عبارات احتمال‌اندیشانه را از این PDF نتیجه گرفت.

2-7- حالات حدی

یک حالت حدی عبارت است از مرز بین عملکرد مطلوب و نامطلوب یک سازه. از دیدگاه ریاضی، این مرزبندی اغلب به وسیله یک تابع عملکرد بیان می‌شود. عملکرد نامطلوب می‌تواند به صورت‌های مختلفی از قبیل: خوردگی، ترک، تغییرشکل‌های بیش از حد، تجاوز از ظرفیت باربری برشی یا خمشی، کمانش موضعی یا کلی، بیان شود. به عنوان مثال می‌توان در یک پل، عملکرد نامطلوب را به صورت عدم توانایی پل در انتقال ترافیک بیان نمود.

در تحلیل احتمال‌اندیشانه سازه‌ها معمولاً سه نوع حالت حدی مورد توجه قرار می‌گیرند:

1- حالت حدی نهایی: این حالت حدی در اکثر موارد به وضعیت ظرفیت انتقال باربری ارتباط پیدا می‌کند. مثال‌هایی از مدهای گسیختگی واقع در این گروه شامل موارد زیر می‌باشند:

تجاوز از ظرفیت باربری خمشی، تشکیل یک مفصل پلاستیک، خرد شدن بتن در فشار، گسیختگی برشی جان در یک تیر فلزی، کمانش بال، کمانش جان، گسیختگی جوش.

2- حالت حدی بهره‌برداری: این حالت حدی به خرابی تدریجی، راحتی استفاده کننده یا هزینه نگه‌داری ارتباط می‌یابد. مثال‌هایی از این نوع حالت حدی شامل موارد زیر هستند:
تغییر مکان اضافی، ارتعاش اضافی، تغییر شکل‌های دائمی، ترک خوردگی.

3- حالت حدی خستگی: این حالت حدی به کاهش مقاومت تحت اثر بارهای تکراری با تعداد تکرار خیلی زیاد مربوط می‌شود. یک مثال بارز از این نوع حالت حدی مربوط به حالت حدی خستگی در اجزای فولادی می‌باشد.

2-7-1- تابع حالت حدی

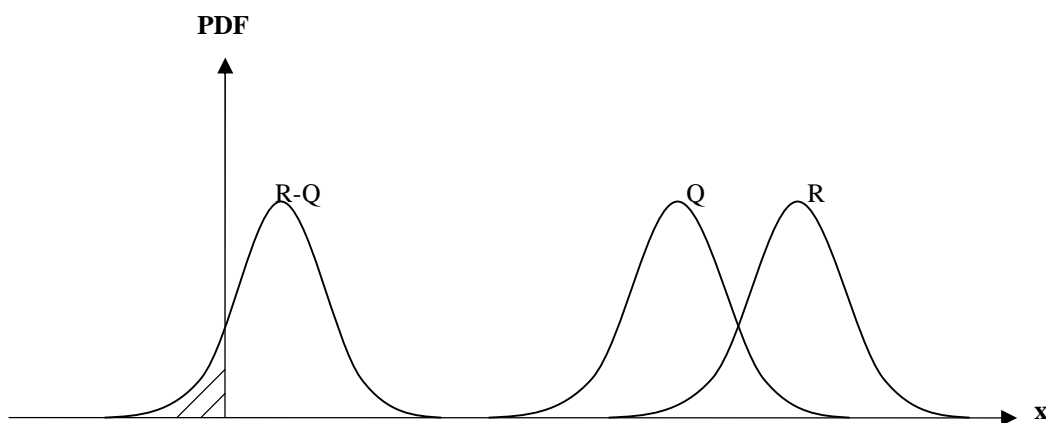
جهت وارد نمودن حالت حدی در تحلیل احتمال‌اندیشانه، لازم است که حالت حدی به صورت ریاضی مدل شود. برای این کار، از توابع حالت حدی استفاده می‌شود. به عنوان مثال یک مد گسیختگی تیر وقتی می‌تواند واقع شود که لنگر ناشی از بارها از ظرفیت لنگر انتقالی تجاوز نماید. فرض شود R بیانگر مقاومت و Q بیانگر اثر بار باشد. در این حالت، تابع حدی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$g(R, Q) = R - Q \quad (60-2)$$

حالت حدی متناسب با مرز بین عملکرد مطلوب و نامطلوب وقتی است که $g = 0$ شود. اگر $g \geq 0$ باشد سازه ایمن است (عملکرد مطلوب)، اگر $g < 0$ باشد سازه ایمن نیست (عملکرد نامطلوب). احتمال گسیختگی P_f سازه برابر است با احتمالی که عملکرد نامطلوب رخ دهد. از دیدگاه ریاضی می‌توان مقدار این احتمال را به صورت زیر بیان کرد:

$$P_f = P(R - Q < 0) = P(g < 0) \quad (61-2)$$

اگر Q و R هر دو متغیر تصادفی باشند، آن گاه هر یک از این دو متغیر دارای یک تابع چگالی احتمال همانند آنچه در شکل 12-2 نشان داده شده است، می‌باشند. بنابراین کمیت $R-Q$ نیز یک متغیر تصادفی با تابع توزیع چگالی مربوط به خودش می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود، احتمال گسیختگی با سطح سایه خورده در شکل 12-2 متناظر می‌باشد.



شکل 12-2 تابع چگالی احتمال بار، مقاومت و حاشیه ایمنی

در حالت کلی، می‌توان تابع حالت حدی g را بر حسب متغیرهای تصادفی مختلف X_i شامل: بار مرده، بار زنده، طول، عرض، مقاومت فشاری، تنش حد جاری شدن و ... به صورت زیر توصیف نمود.

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) > 0 \quad \text{برای یک سازه ایمن} \quad (62-2)$$

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0 \quad \text{برای حالت بین خرابی و ایمنی} \quad (63-2)$$

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n) < 0 \quad \text{برای یک سازه گسیخته شده} \quad (64-2)$$

فصل سوم

تحلیل دینامیکی

سازه‌های یک و چند درجه آزادی

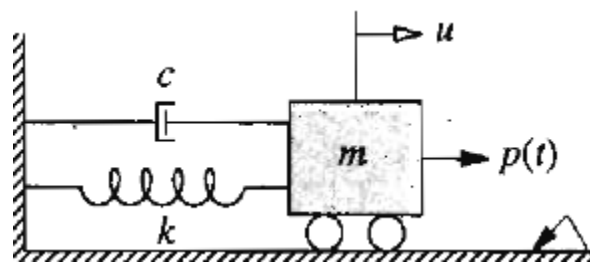
3-1- پیش‌گفتار

نیاز مبرم به طراحی و ساخت ابنیه فنی نظیر پل‌ها، مخازن، سدها، دکل‌های مخابراتی و انتقال نیرو، سیلوها، دودکش‌ها، سازه‌های دریایی، برج‌های خنک‌کننده نیروگاه‌ها، سازه‌های امن و پناهگاه و غیره از مهمترین موضوعات مورد توجه بوده است.

احتمال قرارگیری این سازه‌ها در برابر پدیده‌های طبیعی همچون زلزله و باد در طول عمر خود بسیار زیاد بوده و در ضمن بعضی از سازه‌های فوق ممکن است با توجه به شرایط خاص بهره‌برداری خود، تحت اثر نیروهایی مانند حرکت وسایل نقلیه، انفجار، ضربات ناشی از حرکت نامیزان ماشین‌آلات سنگین قرار گیرند. با عنایت به این که تمامی این نیروها دارای طبیعت دینامیکی می‌باشند، بنابراین به‌کارگیری روش تحلیل مناسب جهت طراحی این ابنیه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد [21].

3-2- مدل یک درجه آزادی خطی

مشخصه‌های فیزیکی اصلی هر سیستم سازه‌ای، در اثر نیروهای دینامیکی شامل جرم، سختی، مکانیزم اتلاف انرژی یا استهلاک و محرک خارجی یا بارگذاری می‌باشد. در ساده‌ترین مدل از یک سیستم با یک درجه آزادی هر کدام از این مشخصه‌ها در شکل 3-1 نشان داده شده است.



شکل 3-1 سیستم جرم-فنر-میراگر

تعداد دینامیکی سیستم از مساوی صفر قرار دادن جمع نیروهای اینرسی $F_I(t)$ ، میرایی $F_D(t)$ ، نیروی فنر $F_S(t)$ و نیروی خارجی $P(t)$ در زمان به‌دست می‌آید.

$$F_I(t) + F_D(t) + F_S(t) = P(t) \quad (1-3)$$

فرض می‌شود که نیروی میرایی تابعی از سرعت و نیروی فنر تابعی از تغییر مکان باشد. در این صورت:

$$F_I = m\ddot{u} \quad F_D(t) = c\dot{u} \quad F_S(t) = ku \quad (2-3)$$

در این روابط m و c و k به ترتیب جرم، ضریب میرایی و سختی می‌باشند.

بدین ترتیب، معادله حرکت سیستم به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = P(t) \quad (3-3)$$

در مواردی که تغییرات بارگذاری به نحوی باشد که نتوان آن را به صورت تابع مشخصی بیان نمود (مانند نیروی زلزله) و یا آنکه دارای تابع با تغییرات پیچیده‌ای باشد، در این صورت حل معادله دیفرانسیل حرکت مشکل و شاید در مواردی غیرممکن باشد. یکی از روش‌های حل معادله دیفرانسیل حرکت استفاده از انتگرال زیر که به "انتگرال دوهمال" معروف است، می‌باشد.

$$u(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t F(t) \sin \omega (t - \tau) d\tau \quad (4-3)$$

در این رابطه ω فرکانس طبیعی دستگاه است. از آنجا که تعیین مقدار انتگرال فوق به روش تحلیلی امکان پذیر نمی‌باشد، از روش‌های عددی گام به گام زمانی بر پایه درون‌یابی خطی نیرو برای محاسبه آن استفاده می‌شود. در این روش که شرح اثبات روابط آن در اکثر کتاب‌های دینامیک سازه موجود می‌باشد، مقدار تغییر مکان سازه در لحظه t_i از رابطه (5-3) بدست می‌آید.

$$u(t_i) = \frac{e^{-xw t_i}}{mW_D} (A_D(t_i) \sin W_D t_i - B_D(t_i) \cos W_D t_i) \quad (5-3)$$

که در آن

$$A_D(t_i) = A_D(t_{i-1}) + \frac{\dot{e}}{e} P(t_{i-1}) - t_{i-1} \frac{DP_i}{Dt_i} \dot{U}_1 + \frac{DP_i}{Dt_i} I_4 \quad (6-3)$$

$$B_D(t_i) = B_D(t_{i-1}) + \frac{\dot{e}}{e} P(t_{i-1}) - t_{i-1} \frac{DP_i}{Dt_i} \dot{U}_2 + \frac{DP_i}{Dt_i} I_3 \quad (7-3)$$

مقادیر I_1, I_2, I_3 و I_4 از روابط زیر به دست می آیند.

$$I_1 = \int_{t_{i-1}}^{t_i} e^{xwt} \cos W_D t \, dt = \frac{e^{xwt}}{(xW)^2 + W_D^2} (xW \cos W_D t + W_D \sin W_D t) \Big|_{t_{i-1}}^{t_i} \quad (8-3)$$

$$I_2 = \int_{t_{i-1}}^{t_i} e^{xwt} \sin W_D t \, dt = \frac{e^{xwt}}{(xW)^2 + W_D^2} (xW \sin W_D t - W_D \cos W_D t) \Big|_{t_{i-1}}^{t_i} \quad (9-3)$$

$$I_3 = \int_{t_{i-1}}^{t_i} t e^{xwt} \sin W_D t \, dt = \frac{e^{xwt}}{(xW)^2 + W_D^2} \left(\frac{t}{xW} - \frac{W_D}{(xW)^2 + W_D^2} \right) \Big|_{t_{i-1}}^{t_i} \quad (10-3)$$

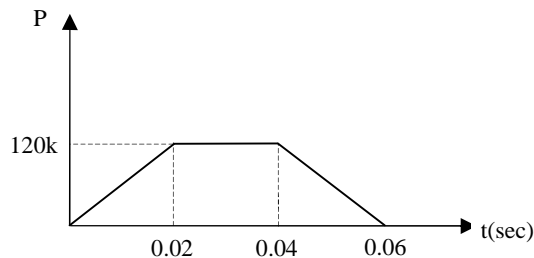
$$I_4 = \int_{t_{i-1}}^{t_i} t e^{xwt} \cos W_D t \, dt = \frac{e^{xwt}}{(xW)^2 + W_D^2} \left(\frac{t}{xW} + \frac{W_D}{(xW)^2 + W_D^2} \right) \Big|_{t_{i-1}}^{t_i} \quad (11-3)$$

I_1 و I_2 همان انتگرال‌های I_1 و I_2 قبل از قرار دادن مقادیر حدی آنها هستند.

3-2-1- تحلیل دینامیکی مدل یک درجه آزادی خطی

برپایه روش ذکر شده در بخش قبل برنامه‌ای تحت عنوان SDOF در محیط MATLAB نوشته شده است. این برنامه پاسخ سازه یک درجه آزادی خطی تحت اثر نیروهای دینامیکی را محاسبه می‌کند. برای بررسی صحت و سقم این برنامه، نتایج حاصل از دو نمونه سازه تحلیل شده توسط برنامه SDOF با مرجع [22] مقایسه می‌شود.

در نمونه اول یک سامانه یک درجه آزادی با رفتار خطی به وزن $38/6$ kip، سختی $38/6$ kip/in و نسبت میرایی $\zeta = 0/05$ تحت یک بار دینامیکی مطابق شکل 3-2 قرار گرفته است. پاسخ سازه توسط برنامه محاسبه و با نتایج مرجع [22] در جدول 3-1 مقایسه شده است.



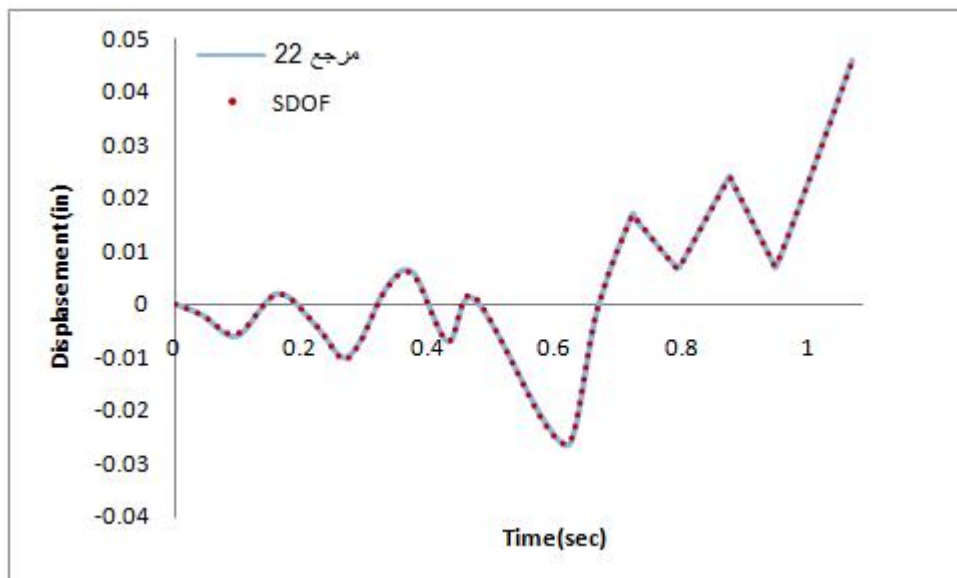
شکل 3-2 بارگذاری سازه

جدول 1-3 مقایسه نتایج برنامه SDOF با نتایج مرجع [22]

زمان (ثانیه)	تغییر مکان (اینچ)		زمان (ثانیه)	تغییر مکان (اینچ)	
	برنامه SDOF	مرجع [22]		برنامه SDOF	مرجع [22]
0	0	0	0.065	1.177	1.177
0.005	0.001	0.001	0.070	1.247	1.247
0.010	0.010	0.010	0.075	1.285	1.285
0.015	0.033	0.033	0.080	1.291	1.291
0.020	0.077	0.077	0.085	1.265	1.265
0.025	0.147	0.147	0.090	1.208	1.208
0.030	0.242	0.242	0.095	1.122	1.122
0.035	0.360	0.360	0.100	1.010	1.010
0.040	0.496	0.496	0.105	0.874	0.874
0.045	0.646	0.646	0.110	0.719	0.719
0.050	0.800	0.800	0.115	0.548	0.548
0.055	0.947	0.947	0.120	0.367	-
0.060	1.076	1.076	-	-	-

همان طور که در جدول 1-3 مشاهده می‌شود، پاسخ‌ها نزدیک به هم می‌باشند و برنامه نوشته شده از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد.

در نمونه دوم همان سامانه یک درجه آزادی مثال قبل، این بار تحت اثر شتاب تکیه گاهی قرار گرفته است. شتاب تکیه گاهی یک ثانیه اول شتابنگاشت زلزله السنترو 1940 در نظر گرفته شده است. پاسخ سازه توسط برنامه محاسبه و با نتایج مرجع [22] در شکل 3-3 مقایسه شده است.



شکل 3-3 مقایسه نتایج برنامه SDOF با نتایج مرجع [23]

مطابق شکل 3-3 در این نمونه نیز پاسخها بر هم منطبق می‌باشند.

3-3- مدل چند درجه آزادی خطی

در عمل روش‌های مختلفی برای تحلیل رفتار سازه‌های چند درجه آزادی وجود دارد که در سه

گروه کلی طبقه‌بندی می‌شوند:

الف - روش عددی به شیوه گام به گام

ب- روش تحلیلی بر اساس فرکانس

ج- روش ترکیب مودها

هرکدام از سه روش فوق با توجه به شرایط مساله و تناسب لازم بین پارامترهای آن دارای

کاربرد می‌باشند. ولی رایج‌ترین روش که در اکثر مسائل دینامیکی دستگاه‌های خطی به کار گرفته

می‌شود، روش ترکیب مودها می‌باشد [21]. در ادامه به روش ترکیب مودها پرداخته می‌شود.

3-3-1- روش ترکیب مودها

روش ترکیب مودها در آنالیز دینامیکی بر اساس تبدیل مختصات نرمال استوار گردیده است که از مجموعه‌ای از N معادله غیرمستقل حرکت دستگاه چند درجه آزادی را به مجموعه‌ای از N معادله مستقل تبدیل می‌کند. از این روش می‌توان برای محاسبه واکنش دینامیکی هر سازه خطی که تغییر مکان‌های آن بر حسب مجموعه‌ای از N مختصات مجزا بیان شده باشد و میرایی آن نیز بر حسب نسبت‌های استهلاک مود قابل بیان باشد استفاده کرد.

معادله حرکت برای دستگاه‌های چند درجه آزادی به صورت زیر می‌باشد:

$$[m]\ddot{u} + [c]\dot{u} + [k]u = \{p(t)\} \quad (12-3)$$

$[m]$ ، $[c]$ و $[k]$ به ترتیب ماتریس‌های جرم، میرایی و سختی سازه می‌باشد و $\{u\}$ ، $\{\dot{u}\}$ ، $\{\ddot{u}\}$ و $\{p(t)\}$ به ترتیب بردارهای شتاب، سرعت، تغییر مکان و نیرو می‌باشند. در ارتعاشات آزاد این معادله ماتریسی را می‌توان به معادله مقدار ویژه تبدیل کرد.

$$[k - \omega_n^2 m] \mathbf{f}_n = 0 \quad (13-3)$$

از این رابطه ماتریس شکل مود ارتعاش \mathbf{f} و بردار فرکانس ω به دست می‌آید.

به کمک بردار شکل مود \mathbf{f}_n ، جرم و بار تعمیم یافته را می‌توان محاسبه کرد.

$$M_n = \mathbf{f}_n^T m \mathbf{f}_n \quad (14-3)$$

$$P_n(t) = \mathbf{f}_n^T p(t) \quad (15-3)$$

معادلات حرکت برای هر مود با استفاده از جرم، نیروی تعمیم یافته برای هر مود، فرکانس مود (ω_n) و مقدار مشخص شده‌ای برای نسبت استهلاک مود (α_n)، به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\ddot{Y}_n + 2\alpha_n \omega_n \dot{Y}_n + \omega_n^2 Y_n = \frac{P_n(t)}{M_n} \quad (16-3)$$

پاسخ هر یک از معادلات حرکت مرحله قبل مطابق انتگرال دوهمامل به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$Y_n(t) = \frac{1}{M_n \omega_{Dn}} \int_0^t P_n(t) e^{-\alpha_n \omega_n (t-\tau)} \sin(\omega_{Dn} (t - \tau)) d\tau \quad (17-3)$$

رابطه کلی برای واکنش ارتعاش آزاد میرا برای هر مود عبارت است از:

$$Y_n(t) = e^{-\alpha_n \omega_n t} \left[\frac{\dot{Y}_n(0) + Y_n(0) \alpha_n \omega_n}{\omega_{Dn}} \sin(\omega_{Dn} t) + Y_n(0) \cos(\omega_{Dn} t) \right] \quad (18-3)$$

$Y_n(0)$ و $\dot{Y}_n(0)$ معرف تغییرمکان و سرعت اولیه مود می‌باشد. این مقادیر را می‌توان از روابط زیر برای هر مود بدست آورد.

$$Y_n(0) = \frac{\mathbf{f}_n^T \mathbf{m} \mathbf{v}(0)}{M_n} \quad (19-3)$$

$$\dot{Y}_n(0) = \frac{\mathbf{f}_n^T \mathbf{m} \dot{\mathbf{v}}(0)}{M_n} \quad (20-3)$$

مقادیر $v(0)$ و $\dot{x}(0)$ به ترتیب تغییرمکان و سرعت اولیه در مختصات هندسی اولیه برای هر مود می‌باشند.

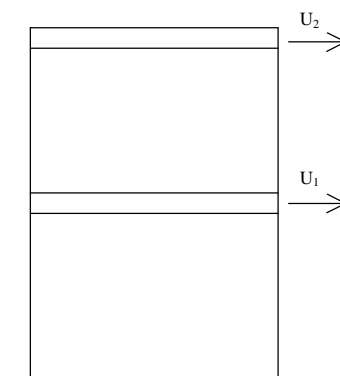
تغییرمکان‌ها در مختصات هندسی از تبدیل مختصات نرمال به صورت زیر به دست می‌آیند.

$$u(t) = \Phi Y(t) \quad (21-3)$$

2-3-3- تحلیل دینامیکی مدل چند درجه آزادی خطی

در این پژوهش، برای تحلیل سازه‌های چند درجه آزادی با رفتار خطی، برنامه MDOF در محیط MATLAB نوشته شده است. با حل یک سازه دو درجه آزادی و مقایسه نتایج آن با مرجع [21]، دقت برنامه MDOF مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پی سازه دو درجه آزادی شکل 3-4 با مشخصات داده شده در جدول 2-3 تحت اثر شتاب $0/28g$ قرار گرفته است. پاسخ سازه توسط برنامه MDOF محاسبه و با نتایج مرجع [21] در نمودار 3-5 مقایسه شده است.



شکل 3-4 سازه دو درجه آزادی

جدول 2-3 مشخصات سازه

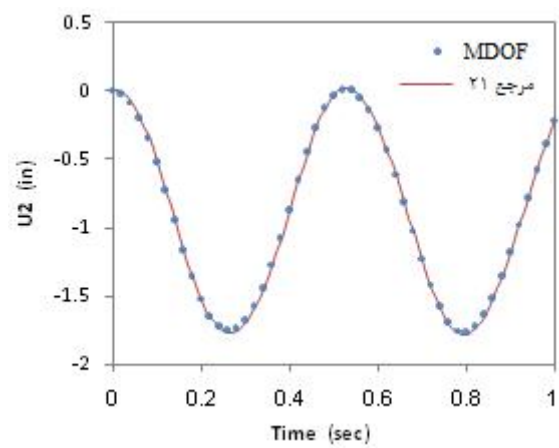
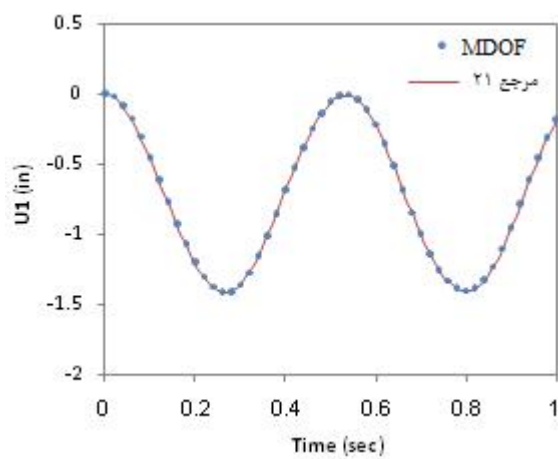
واحد	مقدار	نماد	پارامتر
lb-sec ² /ft ²	136	m_1	جرم سقف طبقه اول
lb-sec ² /ft ²	66	m_2	جرم سقف طبقه دوم
lb/in	30700	K_1	سختی طبقه اول
lb/in	44300	K_2	سختی طبقه دوم
lb/in ²	$30 \cdot 10^6$	E	ضریب ارتجاعی
in/sec ²	386	g	شتاب ثقل

مطابق مرجع [21] پاسخ سازه به صورت زیر می باشد.

$$u_1(t) = -0.7135 + 0.704 \cos(11.83t) + 0.009 \cos(32.89t) \quad (22-3)$$

$$u_2(t) = -0.874 + 0.9 \cos(11.83t) - 0.015 \cos(32.89t) \quad (23-3)$$

نمودار پاسخها در شکل 5-3 رسم و مقایسه شده است. همان طور که در این شکل مشخص است پاسخها برهم منطبق می باشند.



شکل 3-5 مقایسه نتایج برنامه MDOF با نتایج مرجع [21]

فصل چهارم

تحلیل دینامیکی سازه یک درجه آزادی

با رفتار خطی در فضای عدم قطعیت

1-4- پیش گفتار

ماهیت غیرقطعی متغیرهای سازه‌ای از قبیل ویژگی‌های مصالح، بارهای خارجی، ابعاد هندسی سازه و غیره باعث گردیده است که تحلیل و طراحی احتمال‌اندیشانه سازه‌ها مورد نیاز باشد. از این رو، در این فصل به بررسی اثر این متغیرها در پاسخ دینامیکی سازه‌ی یک درجه آزادی با رفتار خطی پرداخته می‌شود. برای این کار، پارامترهای جرم، سختی و نسبت میرایی سازه به صورت متغیرهای غیرقطعی در نظر گرفته می‌شود. با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو اثر این متغیرها با سه ضریب پراکندگی متفاوت برای هر متغیر، در پاسخ سازه یک درجه آزادی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

2-4- سازه یک درجه آزادی

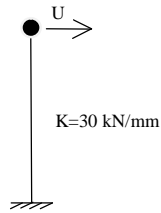
همان‌طور که در فصل دوم بیان شد، گام نخست در روش مونت‌کارلو تولید تعداد معینی مقدار تصادفی با توجه به نوع تابع چگالی احتمال می‌باشد. در این پژوهش، تعداد شبیه‌سازی‌ها 10000 بار می‌باشد. نوع توزیع و ضریب پراکندگی متغیرهای تصادفی در جدول 1-4-4 ارائه شده است [23].

جدول 1-4- مشخصات مواد غیرقطعی

متغیر تصادفی	نوع توزیع	ضریب پراکندگی
سختی	Lognormal	0.03
جرم	Normal	0.04
نسبت میرایی	Normal	0.05

جهت بررسی اثر عدم قطعیت، سازه یک درجه آزادی شکل 1-4-1 که تحت شتاب پایه السنتر و قرار گرفته است و دارای مشخصات داده شده در جدول 2-4-4 می‌باشد، تحلیل می‌شود. پاسخ سازه،

تغییر مکان سازه در نظر گرفته می شود و اثر عدم قطعیت ها روی این عامل بررسی می گردد. به منظور مشاهده ی تاثیر پذیری پاسخ سازه از عامل دارای عدم قطعیت تحلیل در سه حالت با سختی غیر قطعی، جرم غیر قطعی و نسبت میرایی غیر قطعی انجام می گیرد.



شکل 4-1 سازه یک درجه آزادی

جدول 4-2 مشخصات سازه یک درجه آزادی

پارامتر	نماد	نوع توزیع	ضریب پراکندگی			میانگین	واحد
			Case 1	Case 2	Case 3		
ارتفاع	H	Deterministic	-	-	-	3200	Mm
سختی	K	Lognormal	0.03	0.06	0.09	30	Kn/mm
جرم	M	Normal	0.04	0.08	0.12	150000	Kg
نسبت میرایی	ζ	Normal	0.05	0.10	0.15	0.05	-

4-2-1- تحلیل در حالت سختی غیر قطعی

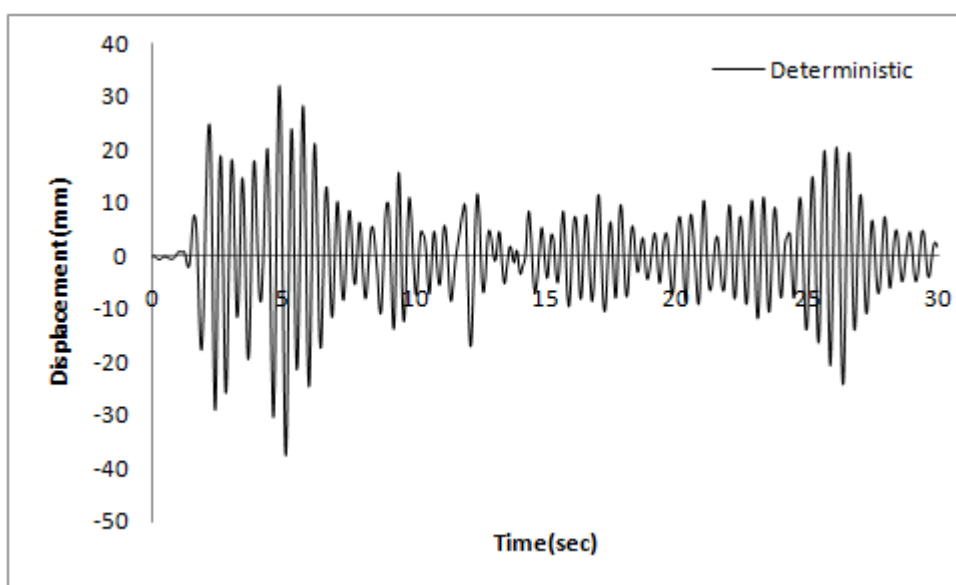
ابتدا پارامتر سختی به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می شود و اثر غیر قطعی بودن این

عامل روی پاسخ سازه بررسی می گردد.

4-2-1-1- پاسخ سازه

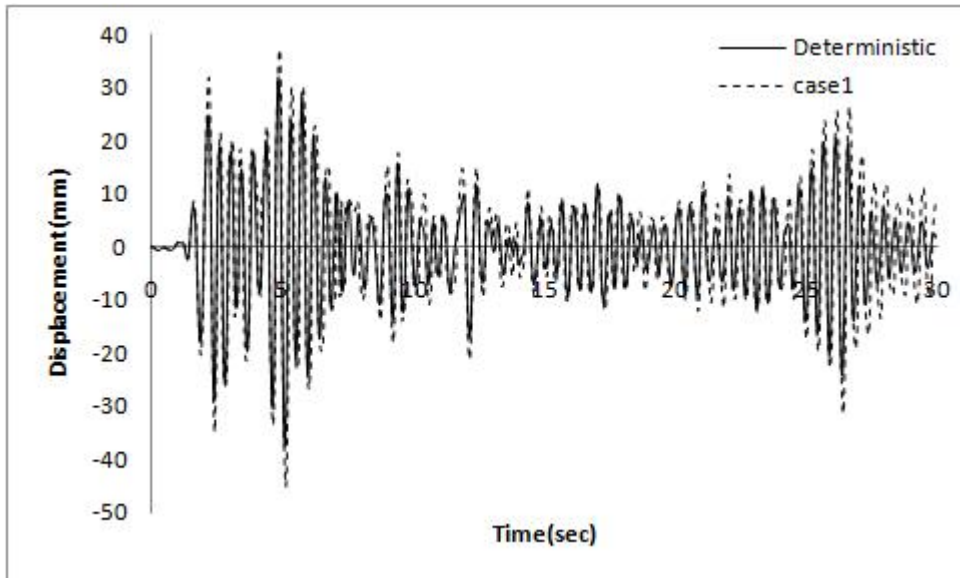
تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی های متفاوت برای سختی انجام می گیرد. میانگین متغیر

تصادفی سختی برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. گام زمانی تحلیل دینامیکی 0/02 ثانیه و سازه در 30 ثانیه نخست زلزله السنترو تحلیل می‌شود. بنابراین 1500 گام زمانی وجود دارد و در هر نمو، تغییر مکان‌های سازه حساب می‌شوند. نمودار پاسخ سازه در حالت قطعی در شکل 2-4 نشان داده شده است. طبق این نمودار مقدار بیشینه تغییر مکان سازه 37/75 میلیمتر می‌باشد که در زمان 5/1 ثانیه واقع گردیده است.



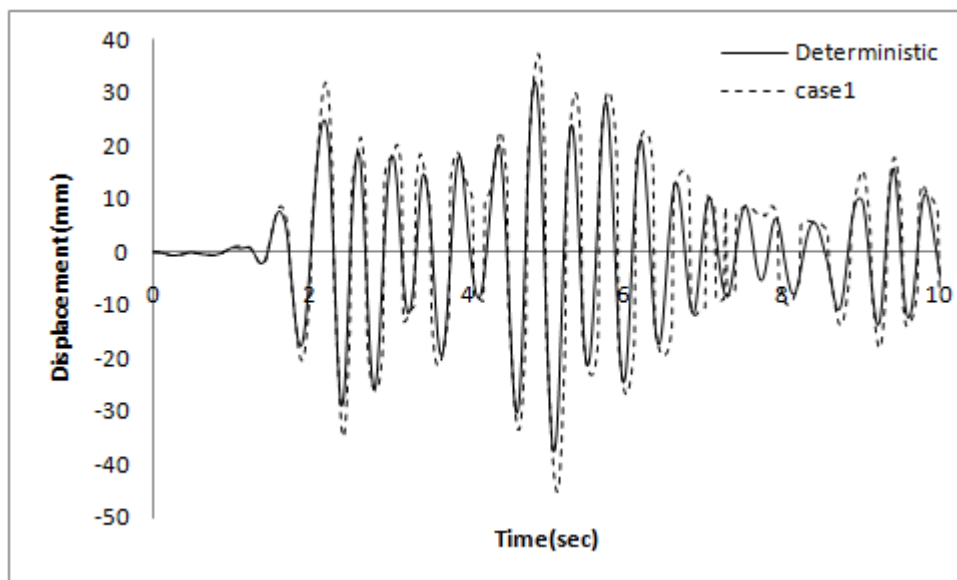
شکل 2-4 نمودار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت قطعی

در شکل 3-4 میانگین پاسخ غیرقطعی در حالت اول که با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی 0/03 برای متغیر سختی سازه (جدول 2-4) به دست می‌آید، با پاسخ قطعی سازه مقایسه شده است. هر نقطه از نمودار (هر گام زمانی 0/02 ثانیه) نشان دهنده میانگین 10000 پاسخ سازه در هر گام زمانی است.



شکل 3-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1

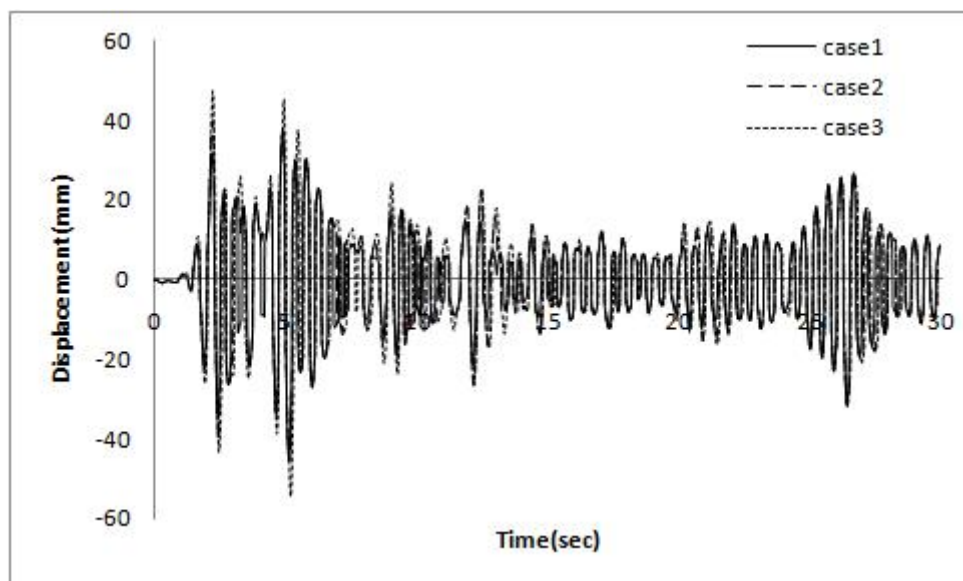
به دلیل قرار گرفتن بیشینه پاسخها در 10 ثانیه ابتدایی، این بخش از نمودار در شکل 4-4 به طور مشخص تری رسم شده است. محاسبات نشان می دهد که مقدار بیشینه مطلق پاسخها در فضای عدم قطعیت (1500 گام زمانی و 10000 شبیه سازی) $45/33$ میلیمتر بوده که در زمان $5/14$ ثانیه اتفاق می افتد.



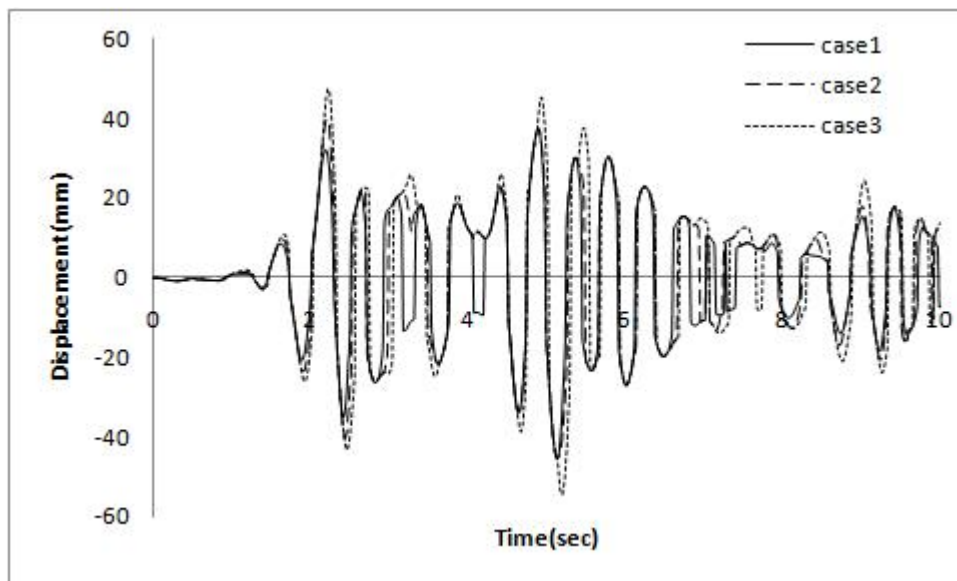
شکل 4-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

تحلیل احتمال‌اندیشانه در حالت دوم با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی 0/06 برای سختی سازه و در حالت سوم با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی 0/09 برای این متغیر انجام می‌شود. نمودار میانگین پاسخ غیرقطعی سازه برای حالت‌های دوم و سوم به ترتیب در شکل‌های پ1 و پ2 و شکل-های پ3 و پ4 رسم شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود، در حالت دوم، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی 46/45 میلیمتر بوده که در زمان 5/14 ثانیه رخ می‌دهد. همچنین ملاحظه می‌شود که در حالت سوم، بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه مقدار 54/73 میلیمتر را به خود اختصاص داده که در زمان 5/2 ثانیه اتفاق می‌افتد.

میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (سختی غیرقطعی) در سه حالت (جدول 4-2) در شکل‌های 4-5 و 4-6 و جدول 4-3 مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در شکل 4-6 دیده می‌شود، با افزایش ضریب پراکندگی متغیر تصادفی، مقدار میانگین پاسخ سازه افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج حاصل از جدول 4-3 نشان می‌دهند که با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه به ترتیب 20/07، 23/05 و 44/98 درصد افزایش می‌یابد. بدین ترتیب، نرخ رشد افزایش پاسخ-ها کمتر از نرخ رشد ضریب پراکندگی متغیر تصادفی می‌باشد.



شکل 4-5 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در حالت‌های مختلف



شکل 4-6 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

جدول 4-3 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

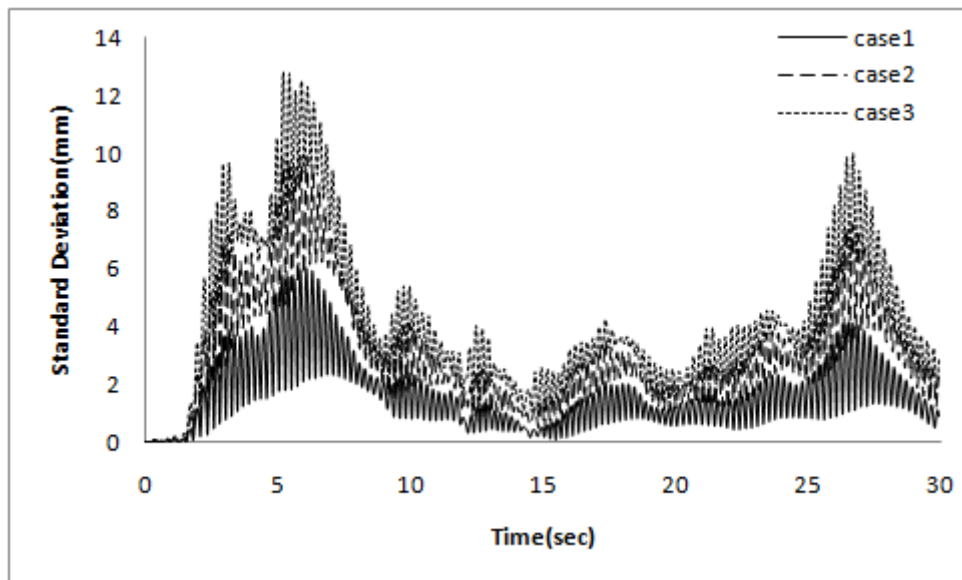
حالت	ضریب پراکندگی	بیشینه مطلق پاسخ (mm)	درصد افزایش مقدار بیشینه مطلق پاسخ	
	سختی			
قطعی	-	37.75	-	
غیر قطعی	Case 1	0.03	45.33	20.07
	Case 2	0.06	46.45	23.05
	Case 3	0.09	54.73	44.98

2-1-2-4- انحراف معیار پاسخ سازه

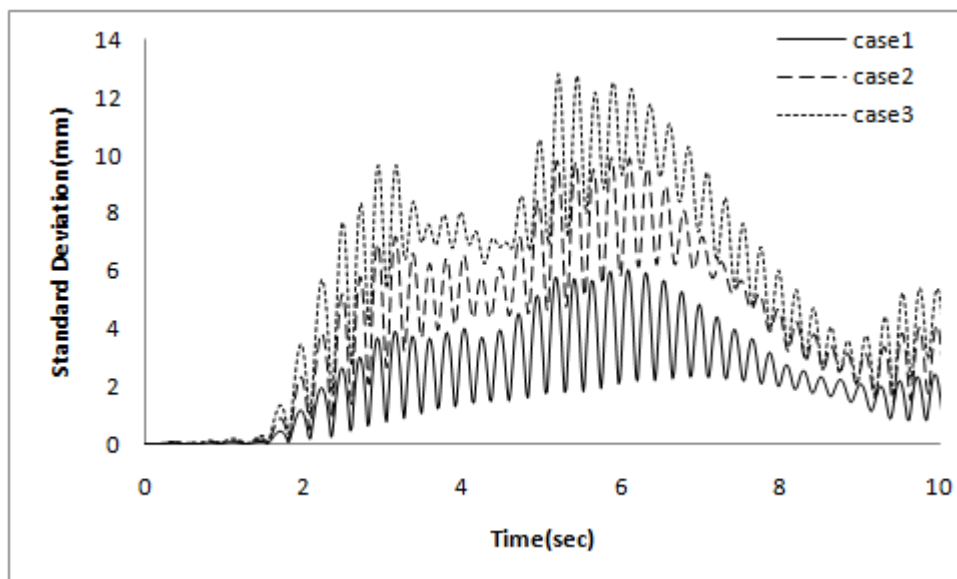
نمودار انحراف معیار پاسخ سازه در تحلیل غیرقطعی در شکل‌های 4-7 و 4-8 رسم شده

است. هر نقطه از این نمودارها نشان دهنده انحراف معیار پاسخ سازه در هر گام زمانی (هر نقطه از

نمودار از محاسبه‌ی فرمول انحراف معیار به ازای 10000 نقطه در آن زمان می‌باشد) و حاصل از 10000 بار شبیه‌سازی می‌باشد. توجه به این نکته ضروری است که با داشتن نمودارهایی از این قبیل، کاستی موجود در تحلیل قطعی که در آن از جنبه‌های آماری متغیرهای تاثیرگذار بر پاسخ سازه صرف‌نظر می‌شود، رفع می‌گردد. به عبارت دیگر، با استفاده از این قبیل نمودارها می‌توان با استخراج مقدار انحراف معیار پاسخ سازه، رفتار سازه را در هر بازه دلخواه زمانی در فضای عدم‌قطعیت برآورد نمود. با توجه به نمودار مذکور مشاهده می‌شود که با افزایش ضریب پراکندگی مقدار انحراف معیار پاسخ سازه نیز افزایش می‌یابد.



شکل 4-7 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت سختی غیرقطعی



شکل 4-8 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت سختی غیرقطعی

مقدار بیشینه انحراف معیار برای سه حالت تحلیل (جدول 4-2) در جدول 4-4 نشان داده شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار 65 درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار 113 درصد افزایش می‌یابد.

جدول 4-4 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت سختی غیرقطعی

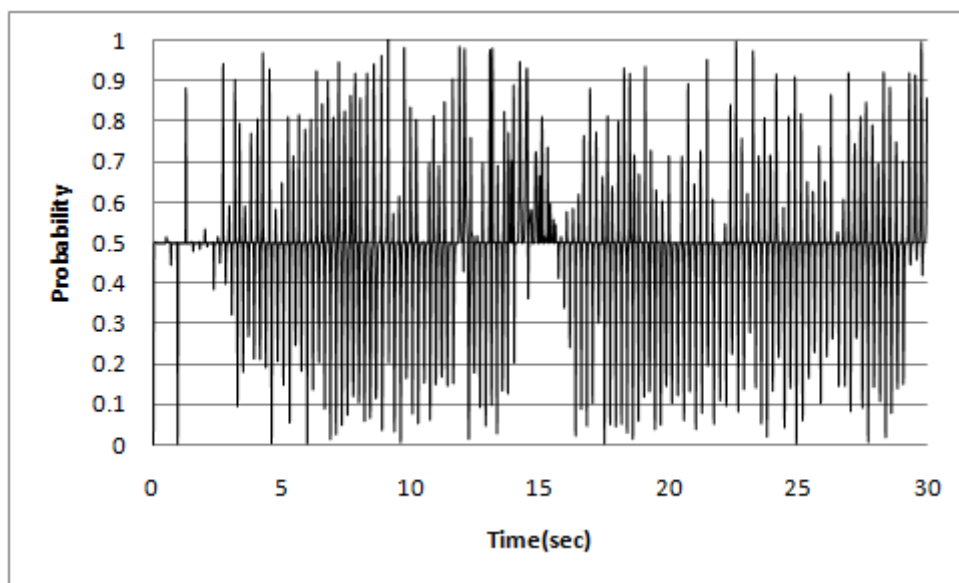
حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	بیشینه انحراف معیار (mm)
	سختی	ضریب پراکندگی	
Case 1	0.03	1	6.01
Case 2	0.06	2	9.90
Case 3	0.09	3	12.79

4-2-1-3- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

نمودار احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی (حاصل از شبیه‌سازی) از پاسخ قطعی در حالت اول (جدول 4-2) در شکل 4-9 رسم شده است. مقدار این احتمال در هر نقطه (هر گام زمانی) از رابطه (4-1) به دست می‌آید. لازم به ذکر است که در این محاسبه مقدار قدر مطلق پاسخ‌ها با یکدیگر مقایسه شده است.

$$P = \frac{n}{N} \quad (4-1)$$

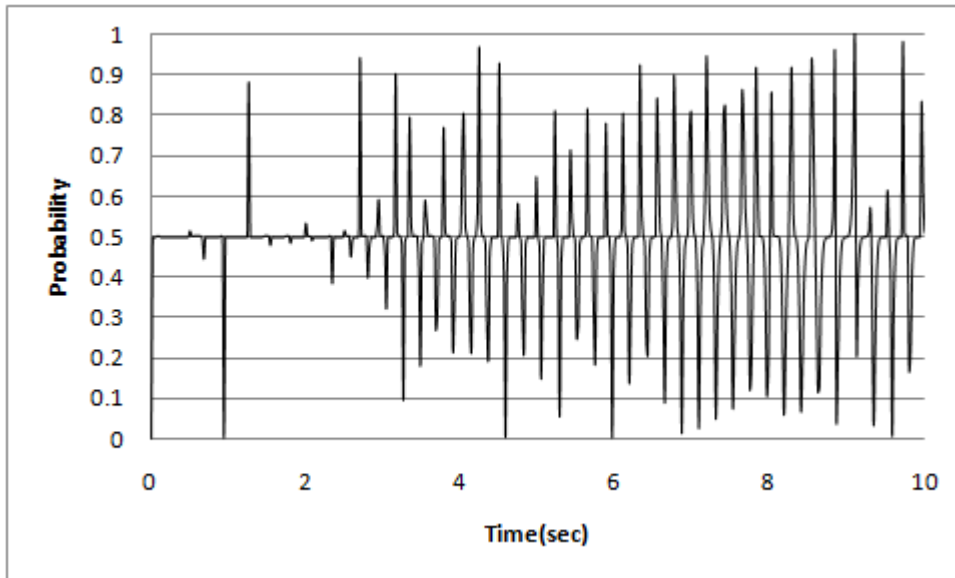
در این رابطه n تعداد پاسخ‌های بزرگتر از پاسخ قطعی در هر گام زمانی و N تعداد کل پاسخ‌ها در آن گام زمانی می‌باشد.



شکل 4-9 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1

در شکل 4-10 دیده می‌شود که احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی حاصل از 10000

بار شبیه‌سازی در هر گام زمانی نسبت به پاسخ قطعی سازه در همان گام زمانی، ممکن است به 100 درصد نیز برسد.



شکل 4-10 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت

1

با توجه به شکل‌های 4-9 و 4-10، می‌توان نمودارها را در احتمال‌های 10 و 25 و 50 و 75 و 90 درصد مورد بررسی قرار داد. این نمودارها نشان می‌دهند که در $96/53$ درصد گام‌های زمانی، احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی بیشتر از 10 درصد، در $91/53$ درصد گام‌های زمانی این احتمال بیشتر از 25 درصد، در $36/73$ درصد گام‌های زمانی بیشتر از 50 درصد، در $5/8$ درصد گام‌های زمانی بیشتر از 75 درصد و در $2/13$ درصد گام‌های زمانی بیشتر از 90 درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که نمودارهای مشابه شکل 4-9 برای سایر حالت‌ها در پیوست ارائه شده است.

جدول 4-5 درصد گام‌های زمانی که احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده‌های مشخصی قرار دارد را برای سه حالت متفاوت ضریب پراکندگی در حالت سختی غیرقطعی (جدول 4-2) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در اکثر گام‌های زمانی احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده 25 تا 50 درصد و همچنین 50 تا 75 درصد است. با افزایش ضریب پراکندگی این مقدار به خصوص در محدوده بیشتر از 75 درصد که به لحاظ بالا بودن احتمال خرابی سازه از اهمیت خاصی برخوردار است میزان احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی افزایش یافته است.

جدول 4-5 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی

محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	3.47	4.94	5.8
$0.10 < P < 0.25$	5	9.86	11.14
$0.25 < P < 0.50$	54.8	49.54	47
$0.50 < P < 0.75$	30.93	25	22.73
$0.75 < P < 0.90$	6.13	6.4	8.47
$0.90 < P < 1.00$	2.13	4.26	4.86

4-2-2-2- تحلیل در حالت جرم غیرقطعی

در حالت دوم پارامتر جرم به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود. با غیر قطعی

انگاشتن این متغیر با سه ضریب پراکندگی متفاوت تاثیر آن روی پاسخ سازه بررسی می‌گردد.

4-2-2-1- پاسخ سازه

تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای جرم انجام می‌گیرد. میانگین

متغیر تصادفی جرم برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. همانند حالت قبل گام زمانی

تحلیل دینامیکی 0/02 ثانیه و سازه در 30 ثانیه نخست زلزله السنترو تحلیل می‌شود. نمودار پاسخ

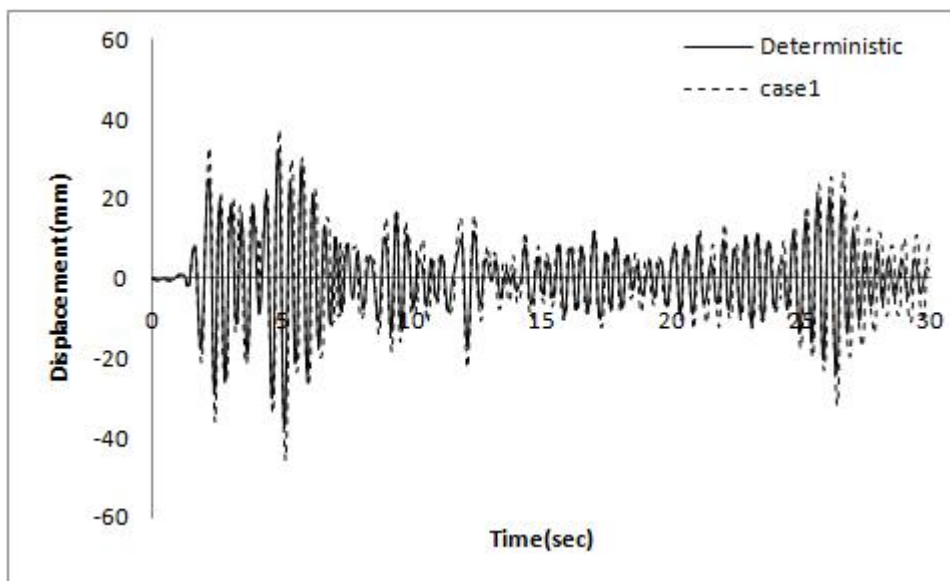
سازه در حالت قطعی در شکل 4-2 نشان داده شده است. طبق این نمودار مقدار بیشینه تغییر مکان

سازه 37/75 میلیمتر می‌باشد که در زمان 5/1 ثانیه واقع گردیده است.

در شکل 4-11 میانگین پاسخ غیرقطعی در حالت اول که با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی

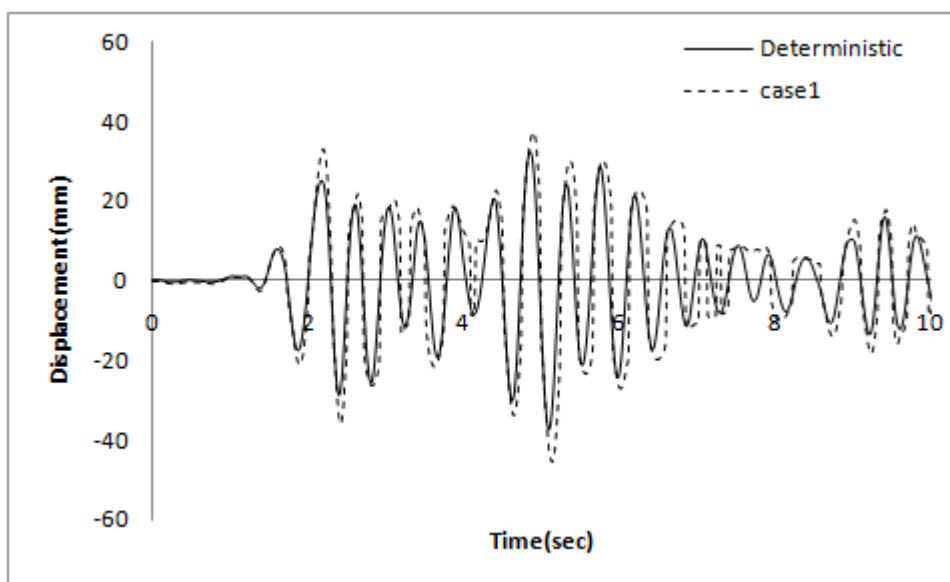
0/04 برای متغیر جرم سازه (جدول 4-2) به دست می‌آید، با پاسخ قطعی سازه مقایسه شده است. هر

نقطه از نمودار نشان دهنده میانگین 10000 پاسخ سازه در هر گام زمانی است.



شکل 11-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1

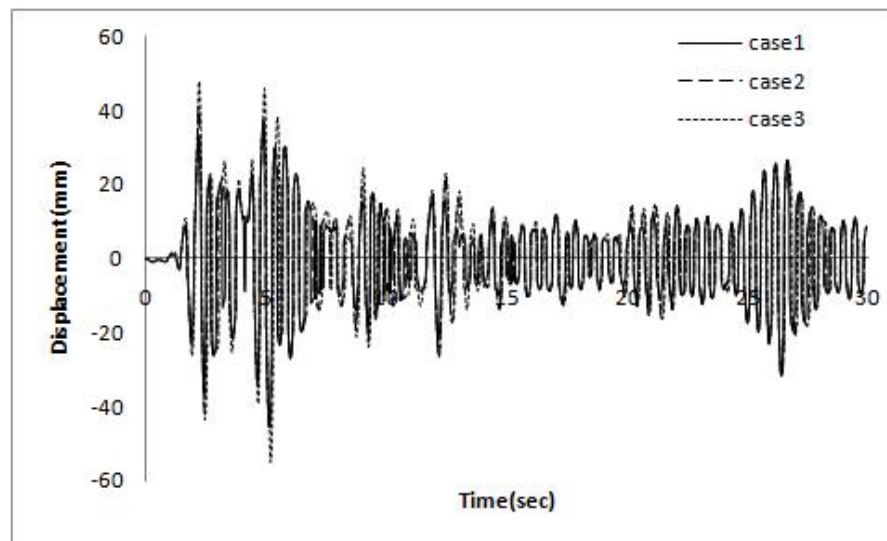
به دلیل قرار گرفتن بیشینه پاسخها در 10 ثانیه ابتدایی، این بخش از نمودار در شکل 12-4 به طور مشخص تری رسم شده است. محاسبات نشان می دهد که مقدار بیشینه مطلق پاسخها در فضای عدم قطعیت (1500 گام زمانی و 10000 شبیه سازی) $46/34$ میلیمتر بوده که در زمان $5/14$ ثانیه اتفاق می افتد.



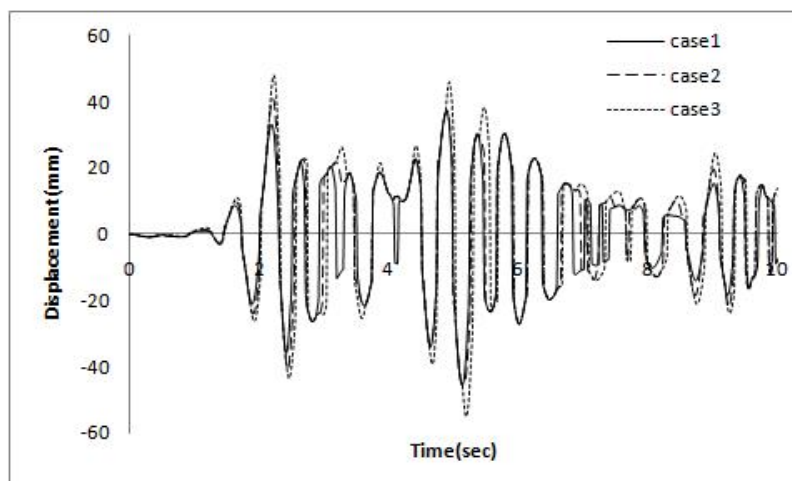
شکل 12-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

تحلیل احتمال‌اندیشانه در حالت دوم با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی 0/08 برای جرم سازه و در حالت سوم با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی 0/12 برای این متغیر انجام می‌شود. نمودار میانگین پاسخ غیرقطعی سازه برای حالت‌های دوم و سوم به ترتیب در شکل‌های پ9 و پ10 و شکل‌های پ11 و پ12 رسم شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود، در حالت دوم، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی 47/48 میلیمتر بوده که در زمان 5/14 ثانیه رخ می‌دهد. همچنین ملاحظه می‌شود که در حالت سوم، بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه مقدار 55/07 میلیمتر را به خود اختصاص داده که در زمان 5/2 ثانیه اتفاق می‌افتد.

میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (جرم غیر قطعی) در سه حالت (جدول 4-2) در شکل‌های 4-13 و 4-14 و جدول 4-6 مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در شکل 4-14 دیده می‌شود، با افزایش ضریب پراکندگی متغیر تصادفی، مقدار میانگین پاسخ سازه افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج حاصل از جدول 4-6 نشان می‌دهند که با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه به ترتیب 22/74، 25/77 و 45/88 درصد افزایش می‌یابد. بدین ترتیب، نرخ رشد افزایش پاسخ‌ها کمتر از نرخ رشد ضریب پراکندگی متغیر تصادفی می‌باشد.



شکل 4-13 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در حالت‌های مختلف



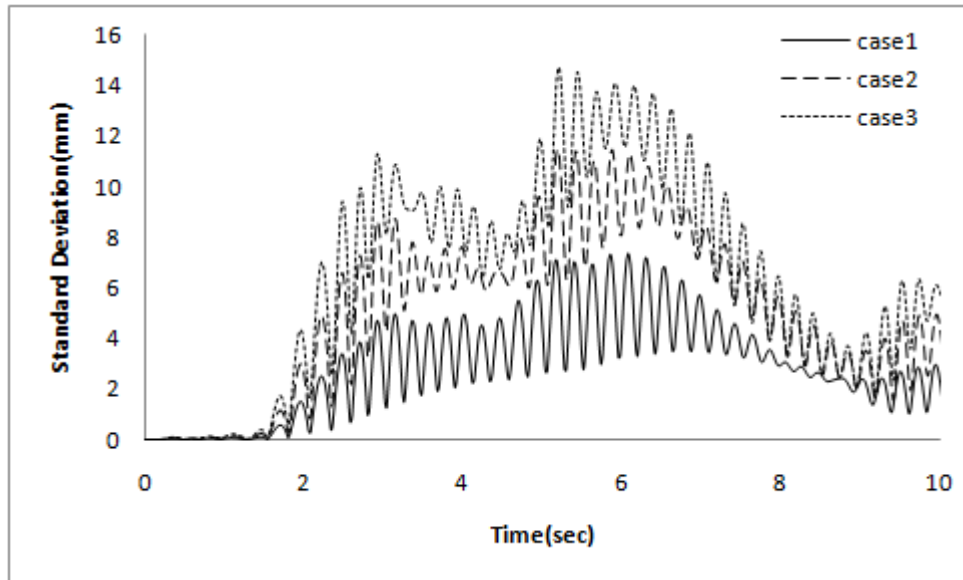
شکل 4-14 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

جدول 4-6 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

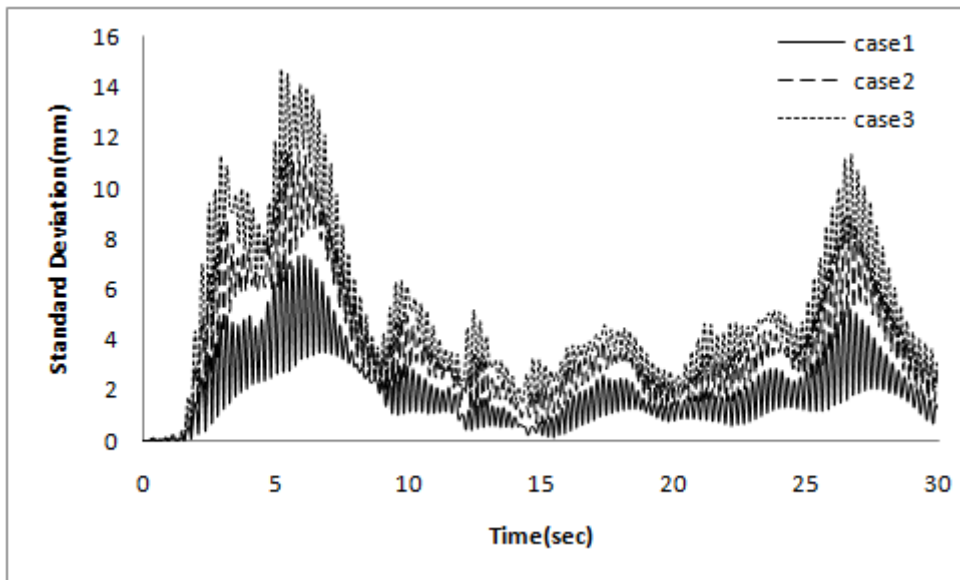
حالت	ضریب پراکندگی	بیشینه مطلق پاسخ (mm)	درصد افزایش مقدار بیشینه مطلق پاسخ
	جرم		
قطعی	-	37.75	-
غیر قطعی	Case 1	46.34	22.74
	Case 2	47.48	25.77
	Case 3	55.07	45.88

4-2-2-2-2- انحراف معیار پاسخ سازه

نمودار انحراف معیار پاسخ سازه در تحلیل غیرقطعی در شکل‌های 4-15 و 4-16 رسم شده است. هر نقطه از این نمودارها نشان دهنده انحراف معیار پاسخ سازه در هر گام زمانی و حاصل از 10000 بار شبیه‌سازی می‌باشد. با توجه به نمودار مذکور مشاهده می‌شود که با افزایش ضریب پراکندگی مقدار انحراف معیار پاسخ سازه نیز افزایش می‌یابد.



شکل 4-15 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت جرم غیرقطعی



شکل 4-16 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت جرم غیرقطعی

مقدار بیشینه انحراف معیار برای سه حالت تحلیل (جدول 4-2) در جدول 4-7 نشان داده شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار 55 درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار 99 درصد افزایش می‌یابد.

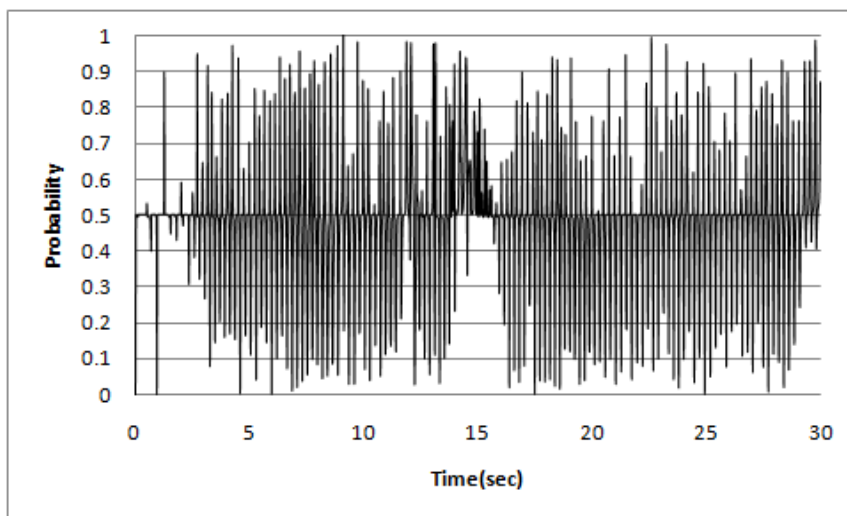
جدول 4-7 پیشینه انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت جرم غیرقطعی

حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	پیشینه انحراف معیار (mm)
	جرم	ضریب پراکندگی	
Case 1	0.04	1	7.38
Case 2	0.08	2	11.45
Case 3	0.12	3	14.74

4-2-2-3- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

نمودار احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی (حاصل از شبیه‌سازی) از پاسخ قطعی در

حالت اول (جدول 4-2) در شکل 4-17 رسم شده است.

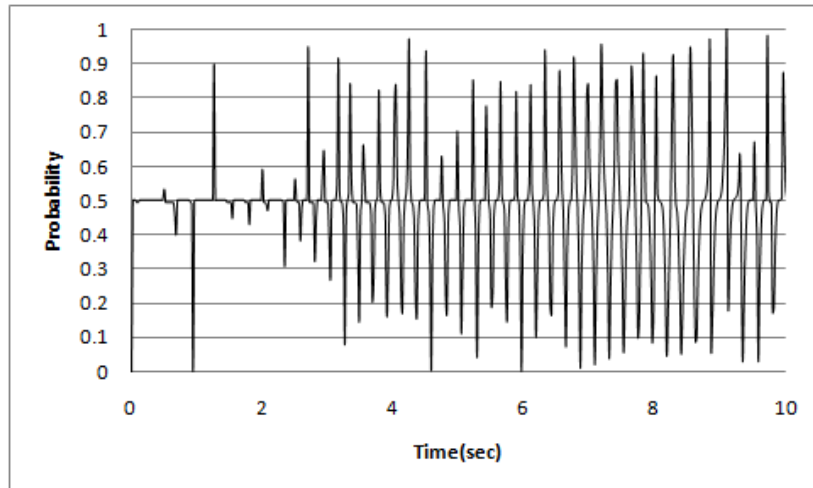


شکل 4-17 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1

در شکل 4-18 دیده می‌شود که احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی حاصل از 10000

بار شبیه‌سازی در هر گام زمانی نسبت به پاسخ قطعی سازه در همان گام زمانی، ممکن است به 100

درصد نیز برسد.



شکل 4-18 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه

ابتدایی حالت 1

با توجه به شکل‌های 4-17 و 4-18، می‌توان نمودارها را در احتمال‌های 10 و 25 و 50 و 75 و 90 درصد مورد بررسی قرار داد. این نمودارها نشان می‌دهند که در $96/2$ درصد گام‌های زمانی، احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی بیشتر از 10 درصد، در $89/8$ درصد گام‌های زمانی این احتمال بیشتر از 25 درصد، در $53/66$ درصد گام‌های زمانی بیشتر از 50 درصد، در $7/46$ درصد گام‌های زمانی بیشتر از 75 درصد و در $2/53$ درصد گام‌های زمانی بیشتر از 90 درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که نمودارهای مشابه شکل 4-18 برای سایر حالت‌ها در پیوست ارائه شده است.

جدول 4-8 درصد گام‌های زمانی که احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده‌های مشخصی قرار دارد را برای سه حالت متفاوت ضریب پراکندگی در حالت جرم غیرقطعی (جدول 4-2) نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در اکثر گام‌های زمانی احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده 25 تا 50 درصد و همچنین 50 تا 75 درصد است. همچنین مشاهده می‌گردد که در حالتی که جرم غیرقطعی فرض شده احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده 50 تا 75 درصد بیشتر از حالتی که سختی غیرقطعی فرض شده، می‌باشد. با افزایش ضریب پراکندگی مقدار این احتمال به خصوص در محدوده بیشتر از 75 درصد که به لحاظ بالا بودن احتمال خرابی سازه از اهمیت خاصی برخوردار است افزایش یافته است.

جدول 8-4 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی

محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	3.8	5.2	6.07
$0.10 < P < 0.25$	6.4	10.87	13.87
$0.25 < P < 0.50$	36.13	38.53	33.73
$0.50 < P < 0.75$	45.91	33.27	32.27
$0.75 < P < 0.90$	5.23	7.87	9.19
$0.90 < P < 1.00$	2.53	4.26	4.87

3-2-4- تحلیل در حالت نسبت میرایی غیرقطعی

در حالت سوم پارامتر نسبت میرایی به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به

جدول 2-4 تحلیل با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای نسبت میرایی انجام می‌گیرد.

1-3-2-4- پاسخ سازه

تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای نسبت میرایی انجام می‌گیرد.

میانگین متغیر تصادفی نسبت میرایی برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. همانند حالات

قبل سازه تحت شتاب پایه السنترو تحلیل احتمال اندیشانه می‌شود. نمودار پاسخ سازه در حالت

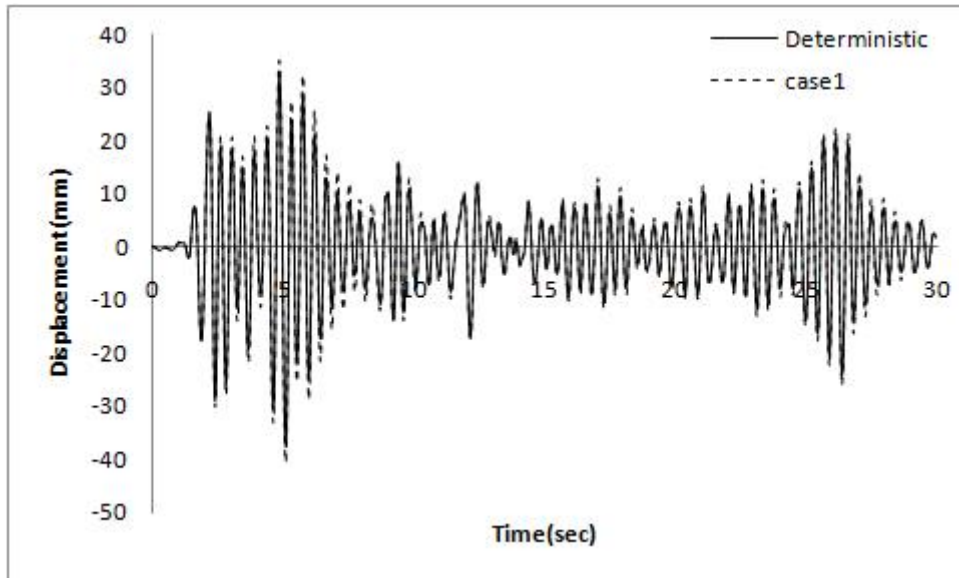
قطعی در شکل 2-4 نشان داده شده است. طبق این نمودار مقدار بیشینه تغییر مکان سازه 37/75

میلیمتر می‌باشد که در زمان 5/1 ثانیه واقع گردیده است.

در شکل 19-4 میانگین پاسخ غیرقطعی در حالت اول که با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی

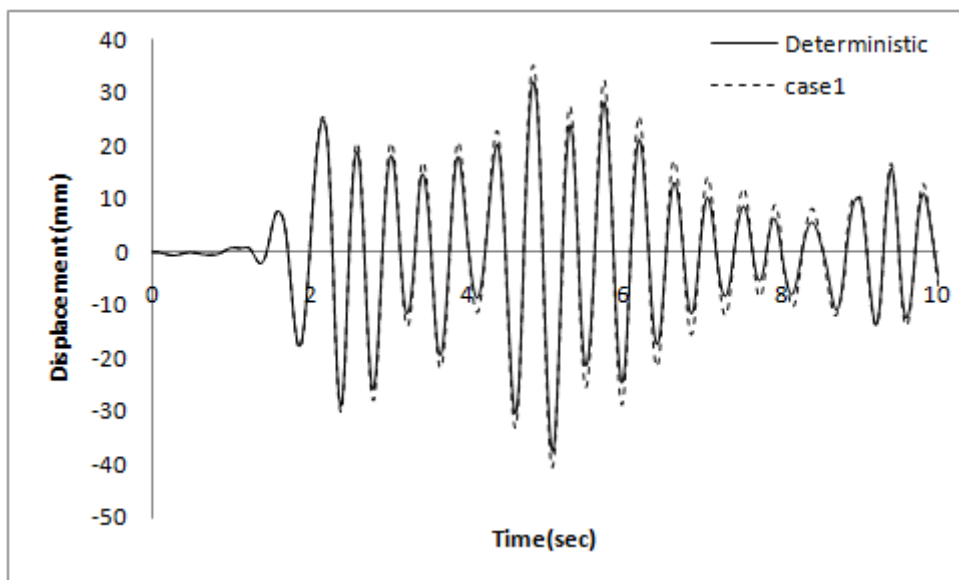
0/05 برای متغیر نسبت میرایی سازه (جدول 2-4) به دست می‌آید، با پاسخ قطعی سازه مقایسه شده

است. هر نقطه از نمودار نشان دهنده میانگین 10000 پاسخ سازه در هر گام زمانی است.



شکل 19-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1

به دلیل قرار گرفتن بیشینه پاسخها در 10 ثانیه ابتدایی، این بخش از نمودار در شکل 20-4 به طور مشخص تری رسم شده است. محاسبات نشان می‌دهد که مقدار بیشینه مطلق پاسخها در فضای عدم قطعیت 40/71 میلیمتر بوده که در زمان 5/1 ثانیه اتفاق می‌افتد.

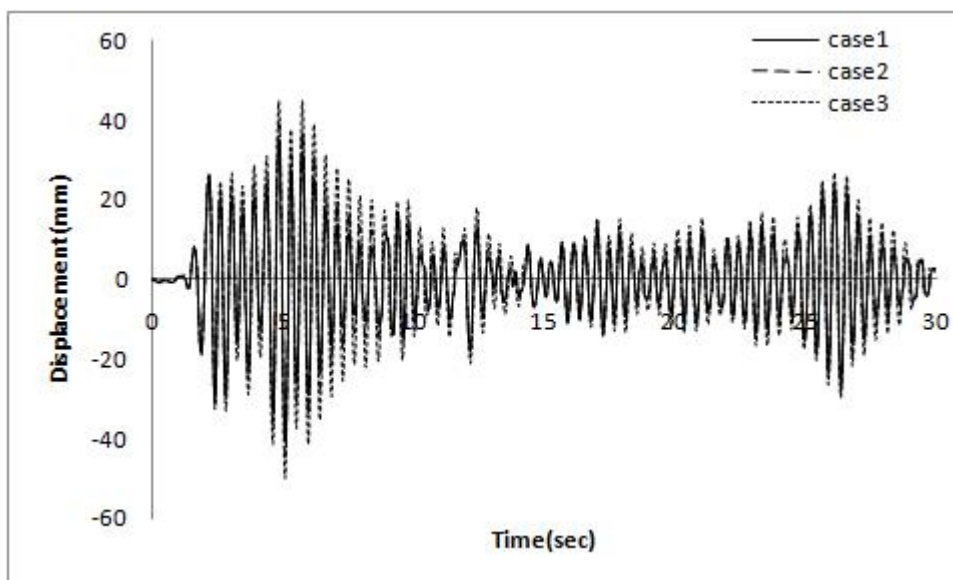


شکل 20-4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

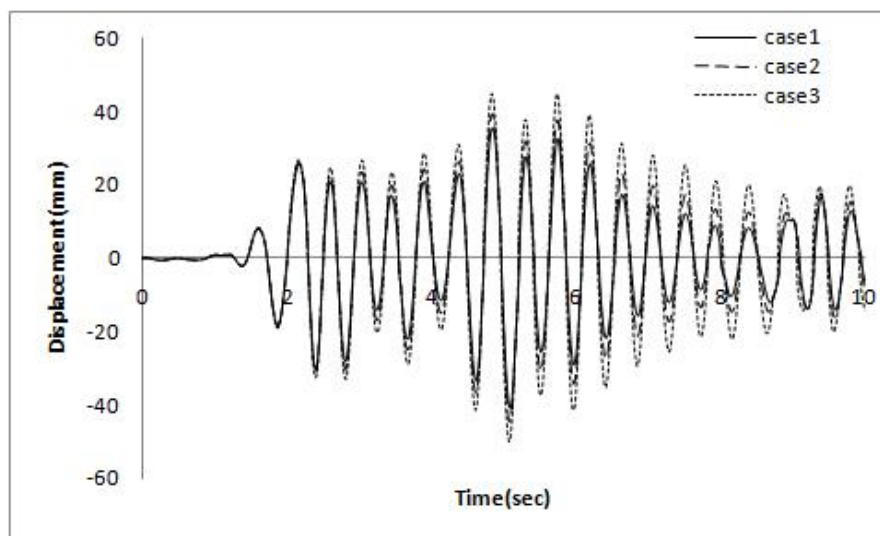
تحلیل احتمال‌اندیشانه در حالت دوم با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی 0/10 برای نسبت میرایی سازه و در حالت سوم با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی 0/15 برای این متغیر انجام می‌شود.

نمودار میانگین پاسخ غیرقطعی سازه برای حالت‌های دوم و سوم به ترتیب در شکل‌های پ 17 و پ 18 و شکل‌های پ 19 و پ 20 رسم شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود، در حالت دوم، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی 44/48 میلیمتر بوده که در زمان 5/08 ثانیه رخ می‌دهد. همچنین ملاحظه می‌شود که در حالت سوم، بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه مقدار 50/01 میلیمتر را به خود اختصاص داده که در زمان 5/08 ثانیه اتفاق می‌افتد.

میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (نسبت میرایی غیر قطعی) در سه حالت (جدول 4-2) در شکل‌های 4-21 و 4-22 و جدول 4-9 مقایسه شده‌اند. همان‌طور که در شکل 4-22 دیده می‌شود، با افزایش ضریب پراکندگی متغیر تصادفی، مقدار میانگین پاسخ سازه افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج حاصل از جدول 4-9 نشان می‌دهند که با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه به ترتیب 7/84، 17/82 و 32/47 درصد افزایش می‌یابد. در این حالت، برخلاف حالت‌های قبل (سختی و جرم غیرقطعی) نرخ رشد افزایش پاسخ‌ها بیشتر از نرخ رشد ضریب پراکندگی متغیر تصادفی می‌باشد.



شکل 4-21 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در حالت‌های مختلف



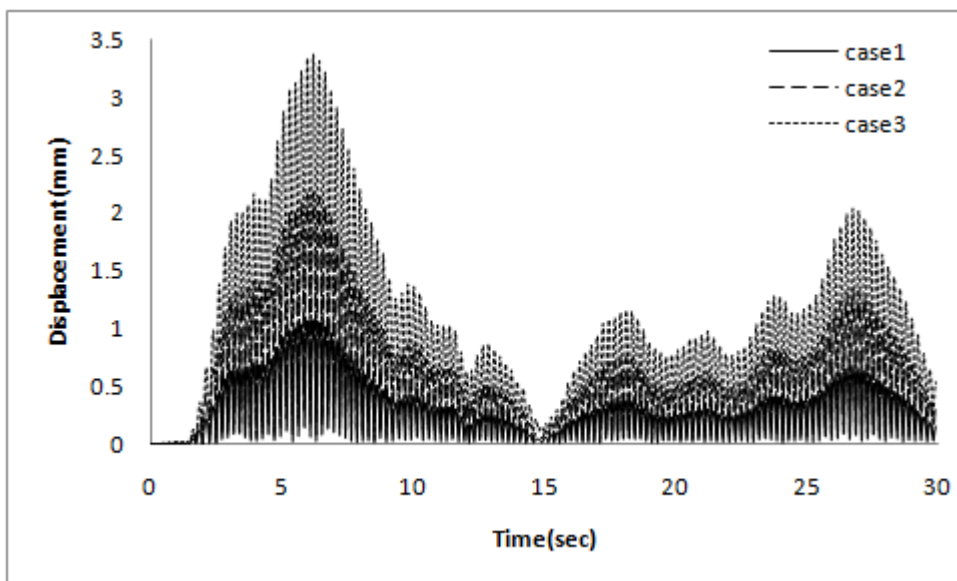
شکل 4-22 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

جدول 4-9 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

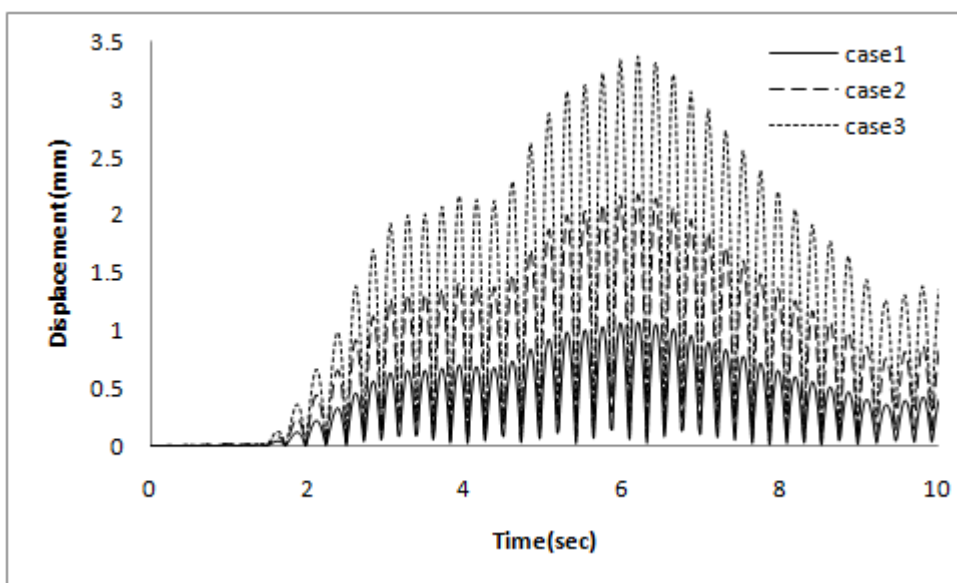
حالت	ضریب پراکندگی	بیشینه مطلق پاسخ (mm)	درصد افزایش مقدار بیشینه مطلق پاسخ
	نسبت میرایی		
قطعی	-	37.75	-
غیرقطعی	Case 1	40.71	7.84
	Case 2	44.48	17.82
	Case 3	50.01	32.47

4-2-3-2-4- انحراف معیار پاسخ سازه

نمودار انحراف معیار پاسخ سازه در تحلیل غیرقطعی در شکل‌های 4-23 و 4-24 رسم شده است. با توجه به نمودار مذکور مشاهده می‌شود که با افزایش ضریب پراکندگی مقدار انحراف معیار پاسخ سازه نیز افزایش می‌یابد. و بیشترین انحراف معیار در 10 ثانیه‌ی ابتدایی واقع است.



شکل 23-4 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی



شکل 24-4 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی

مقدار بیشینه انحراف معیار برای سه حالت تحلیل (جدول 2-4) در جدول 10-4 نشان داده شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار دو برابر و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار سه برابر می‌شود.

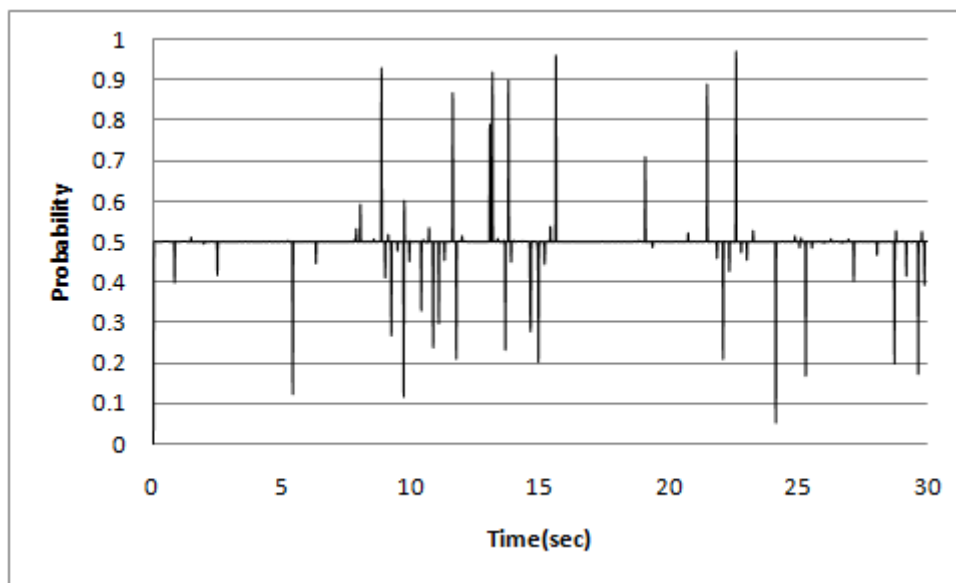
جدول 10-4 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی

حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	بیشینه انحراف
	نسبت میرایی	ضریب پراکندگی	معیار (mm)
Case 1	0.05	1	1.07
Case 2	0.10	2	2.18
Case 3	0.15	3	3.36

3-3-2-4- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

نمودار احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی (حاصل از شبیه‌سازی) از پاسخ قطعی در

حالت اول (جدول 2-4) در شکل 25-4 رسم شده است.

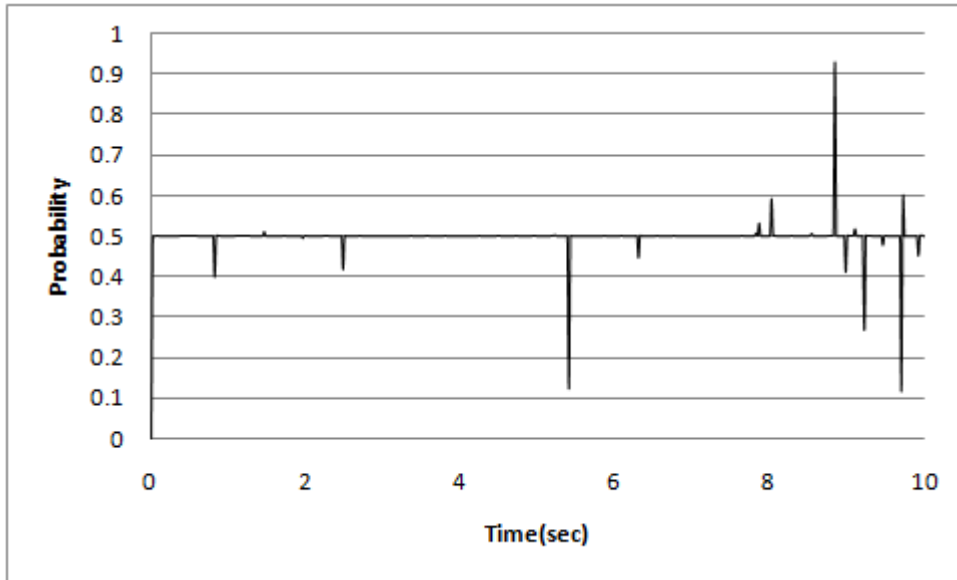


شکل 25-4 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 1

در شکل 26-4 دیده می‌شود که احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی در هر گام زمانی

نسبت به پاسخ قطعی سازه در همان گام زمانی، ممکن است به 95 درصد نیز برسد. و نیز در اکثر گام

های زمانی این احتمال 50 درصد می‌باشد که نسبت به حالات سختی و جرم غیرقطعی میزان احتمال کمتری را نشان می‌دهد.



شکل 4-26 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت

1

نمودارهای شکل های 4-25 و 4-26، نشان می‌دهند که در 99/86 درصد گام‌های زمانی، احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی بیشتر از 10 درصد، در 99/2 درصد گام‌های زمانی این احتمال بیشتر از 25 درصد، در 19/6 درصد گام‌های زمانی بیشتر از 50 درصد، 0/53 درصد گام‌های زمانی بیشتر از 75 درصد و در 0/26 درصد گام‌های زمانی بیشتر از 90 درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که نمودارهای مشابه شکل 4-25 برای سایر حالت‌ها در پیوست ارائه شده است.

با توجه به جدول 4-11 مشاهده می‌شود که در اکثر گام‌های زمانی احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده 25 تا 50 درصد است و به جز محدوده 50 تا 75 در بقیه محدوده‌ها این احتمال ناچیز است.

جدول 4-11 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی

محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	0.14	0.4	0.87
$0.10 < P < 0.25$	0.66	0.94	1.53
$0.25 < P < 0.50$	79.6	79.33	78.07
$0.50 < P < 0.75$	19.07	18.6	18.33
$0.75 < P < 0.90$	0.27	0.27	0.67
$0.90 < P < 1.00$	0.26	0.46	0.53

فصل پنجم

تحلیل دینامیکی سازه‌های چند درجه آزادی با

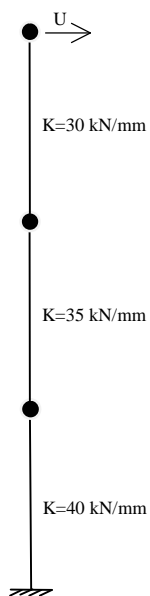
رفتار خطی در فضای عدم قطعیت

5-1- پیش‌گفتار

در این فصل تحلیل احتمال‌اندیشانه سامانه‌های چند درجه آزادی با رفتار کشسان تحت بار دینامیکی انجام می‌گیرد. این تحلیل با استفاده از فن شبیه‌سازی مونت‌کارلو و با غیرقطعی فرض کردن متغیرهای جرم، سختی و نسبت میرایی انجام می‌گردد. هر متغیر غیرقطعی با توجه به نوع توزیع با سه نوع ضریب پراکندگی متفاوت تولید می‌شود. جهت بررسی اثر عدم‌قطعیت در سازه‌های چند درجه آزادی سه نمونه سازه با سه، پنج و نه درجه آزادی به ترتیب به عنوان سازه‌های با تعداد درجه آزادی‌های کم، متوسط و زیاد انتخاب شده‌اند و مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

5-2- سازه سه درجه آزادی

جهت بررسی اثر عدم‌قطعیت، سازه سه درجه آزادی شکل 5-1 که تحت شتاب پایه السنتر و قرار گرفته است و دارای مشخصات داده شده در جدول 5-1 می‌باشد، تحلیل می‌شود. تحلیل احتمالاتی برای این سازه با در نظر گرفتن سه حالت سختی غیرقطعی، جرم غیرقطعی و نسبت میرایی غیرقطعی انجام می‌شود. پاسخ سازه، تغییر مکان بام در نظر گرفته می‌شود و اثر عدم‌قطعیت‌ها روی این عامل بررسی می‌گردد.



شکل 1-5 سازه سه درجه آزادی

جدول 1-5 مشخصات سازه سه درجه آزادی

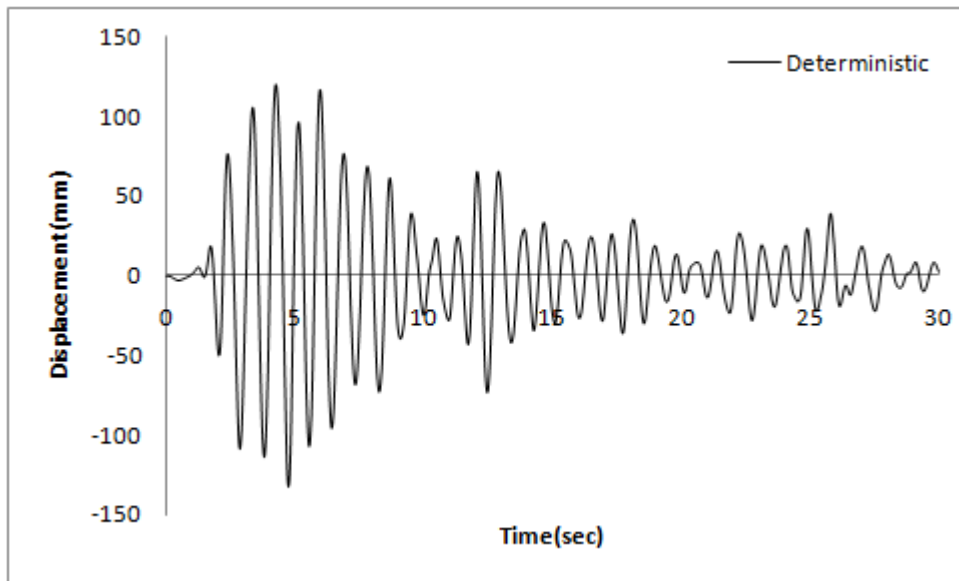
پارامتر	نماد	نوع توزیع	ضریب پراکندگی			میانگین	واحد
			Case 1	Case 2	Case 3		
ارتفاع طبقات	h	Deterministic	-	-	-	3200	mm
سختی طبقه اول	K_1	Lognormal	0.03	0.06	0.09	40	kN/mm
سختی طبقه دوم	K_2	Lognormal	0.03	0.06	0.09	35	kN/mm
سختی طبقه سوم	K_3	Lognormal	0.03	0.06	0.09	30	kN/mm
جرم طبقات	m	Normal	0.04	0.08	0.12	150000	kg
نسبت میرایی	ζ	Normal	0.05	0.10	0.15	0.05	-

5-2-1- تحلیل در حالت سختی غیرقطعی

ابتدا پارامتر سختی به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود و اثر غیرقطعی بودن این عامل روی تغییر مکان بام سازه سه درجه آزادی بررسی می‌گردد.

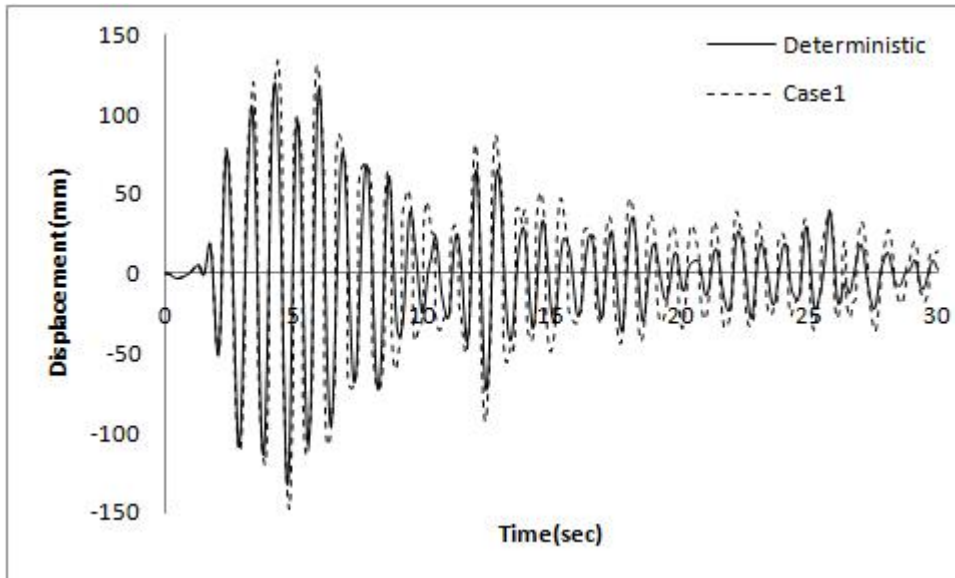
5-2-1-1- پاسخ سازه

تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای سختی انجام می‌گیرد. میانگین متغیر تصادفی سختی برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. گام زمانی تحلیل دینامیکی 0/02 ثانیه و سازه در 30 ثانیه نخست زلزله السنترو تحلیل می‌شود. پاسخ سازه در تحلیل قطعی در شکل 5-2 رسم شده است. مقدار بیشینه پاسخ قطعی سازه در زمان 4/74 ثانیه و برابر 133 میلیمتر می‌باشد.

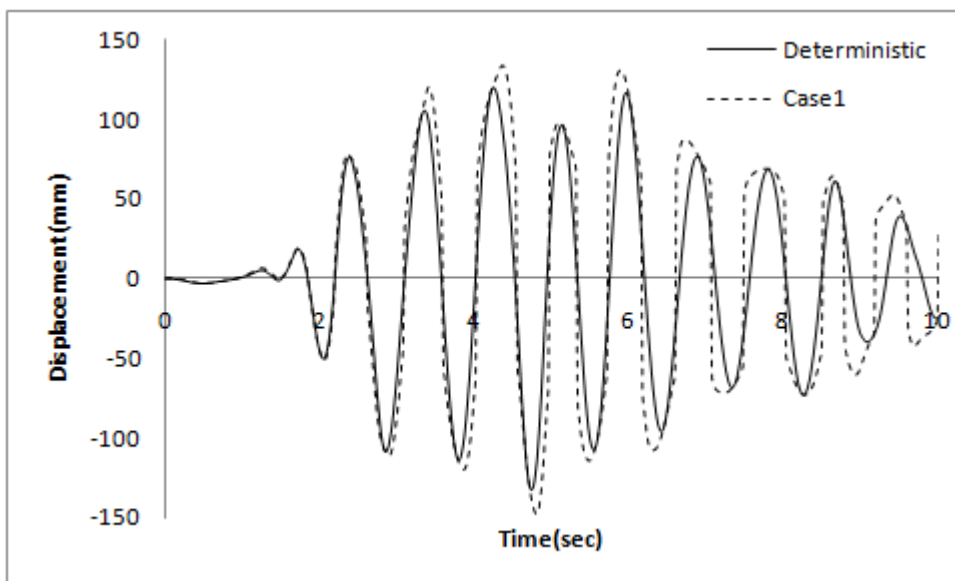


5-2 نمودار پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت قطعی شکل

مقدار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت اول که با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی 0/03 برای سختی به دست می‌آید در شکل‌های 5-3 و 5-4 با پاسخ قطعی سازه مقایسه شده است. با توجه به شکل 5-4 بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی در زمان 4/8 ثانیه و برابر 144 میلیمتر اتفاق می‌افتد.



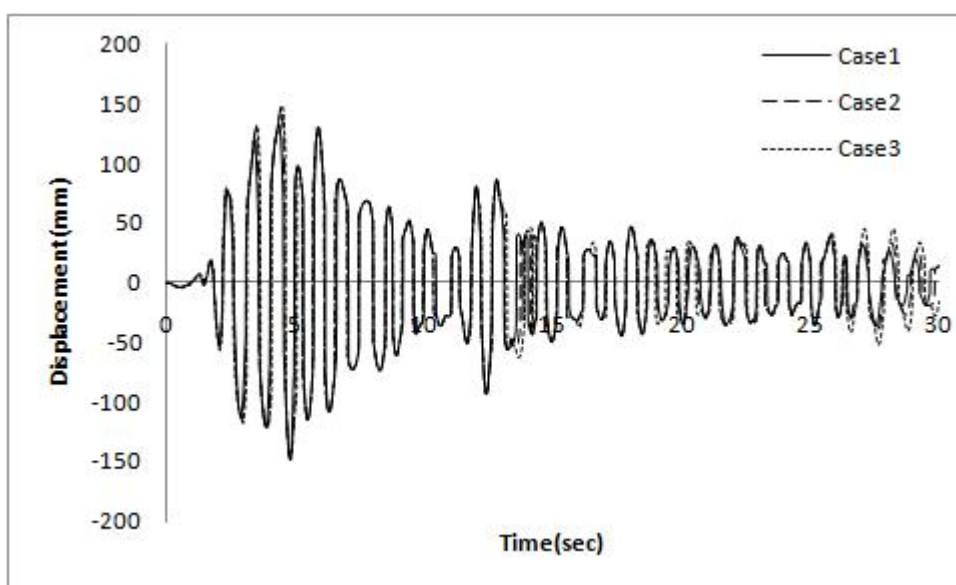
شکل 3-5 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1



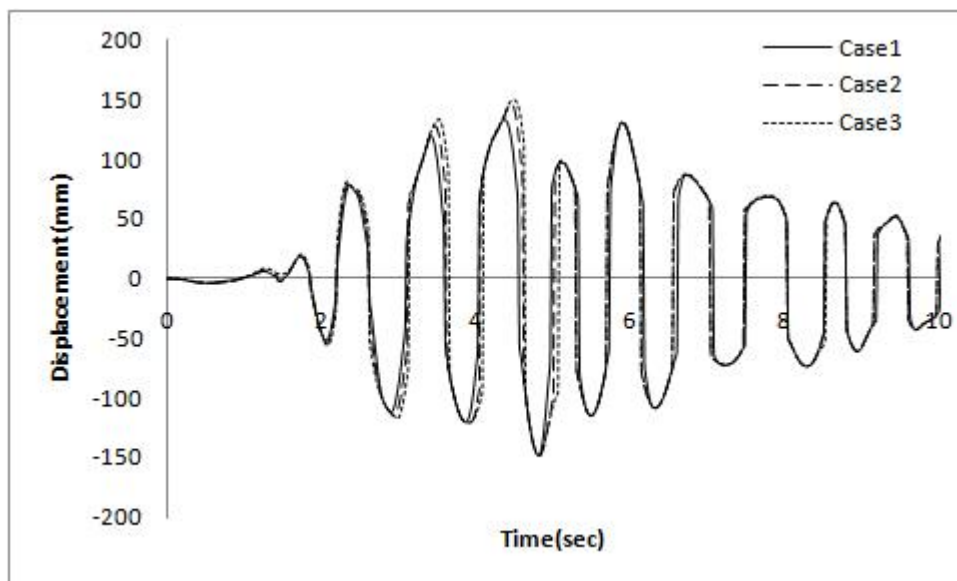
شکل 4-5 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

نمودار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت دوم با ضریب پراکندگی 0/06 برای سختی در شکل - های پ 25 و پ 26 و برای حالت سوم با ضریب پراکندگی 0/09 در شکل های پ 27 و پ 28 رسم شده است. در حالت دوم مقدار بیشینه مطلق پاسخ در زمان 4/82 ثانیه و برابر 151 میلیمتر اتفاق می افتد. بیشینه مطلق پاسخ سازه در حالت سوم برابر 154 میلیمتر بوده که در زمان 4/82 ثانیه رخ می دهد.

شکل‌های 5-5 و 6-5 و جدول 2-5 میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (سختی غیرقطعی) در سه حالت (جدول 1-5) را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود با افزایش ضریب پراکندگی، میانگین پاسخ‌های غیرقطعی نیز افزایش می‌یابند. نتایج جدول 2-5 نشان می‌دهد که با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه به ترتیب $8/27$ ، $13/53$ و $15/78$ درصد افزایش می‌یابد. این مطلب نشان می‌دهد که تغییرمکان سازه در ضریب پراکندگی‌های کم نسبت به تغییرات ضریب پراکندگی حساس‌تر می‌باشد.



شکل 5-5 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در حالت‌های مختلف



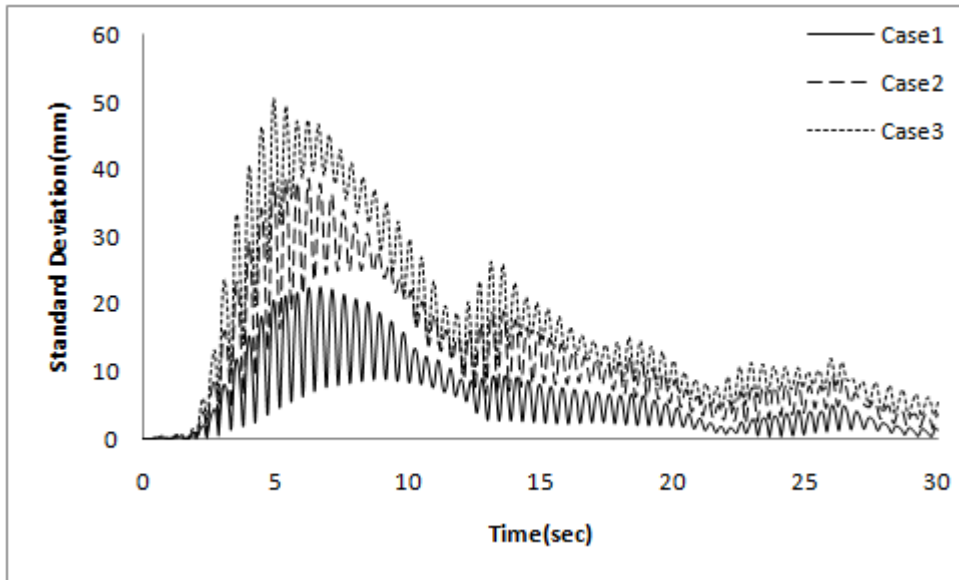
شکل 5-6 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

جدول 5-2 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

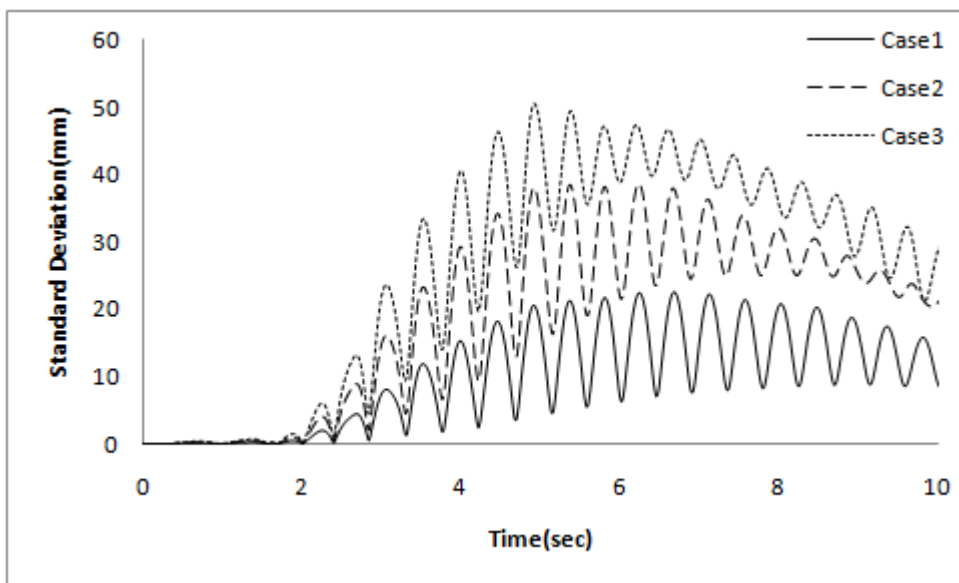
حالت	ضریب پراکندگی		بیشینه پاسخ (mm)	درصد افزایش مقدار بیشینه پاسخ
	سختی			
قطعی	-		133	-
غیر قطعی	Case 1	0.03	144	8.27
	Case 2	0.06	151	13.53
	Case 3	0.09	154	15.78

5-2-1-2- انحراف معیار پاسخ سازه

نمودار انحراف معیار پاسخ سازه در شکل‌های 5-7 و 5-8 رسم شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهد انحراف معیار پاسخ سازه در 7 ثانیه ابتدایی که شتاب وارد بر سازه زیاد است روند افزایشی دارد و پس از آن کاهش می‌یابد. با مقایسه نمودار حالت‌های مختلف ملاحظه می‌شود که با افزایش ضریب پراکندگی، مقدار انحراف معیار به طور قابل توجهی افزایش یافته می‌یابد.



شکل 5-7 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت سختی غیرقطعی



شکل 5-8 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت سختی غیرقطعی

مقدار بیشینه انحراف معیار برای سه حالت تحلیل (جدول 5-1) در جدول 5-3 نشان داده شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه

انحراف معیار 70 درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی‌ها مقدار بیشینه انحراف معیار بیش از 100 درصد افزایش می‌یابد.

جدول 3-5 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی

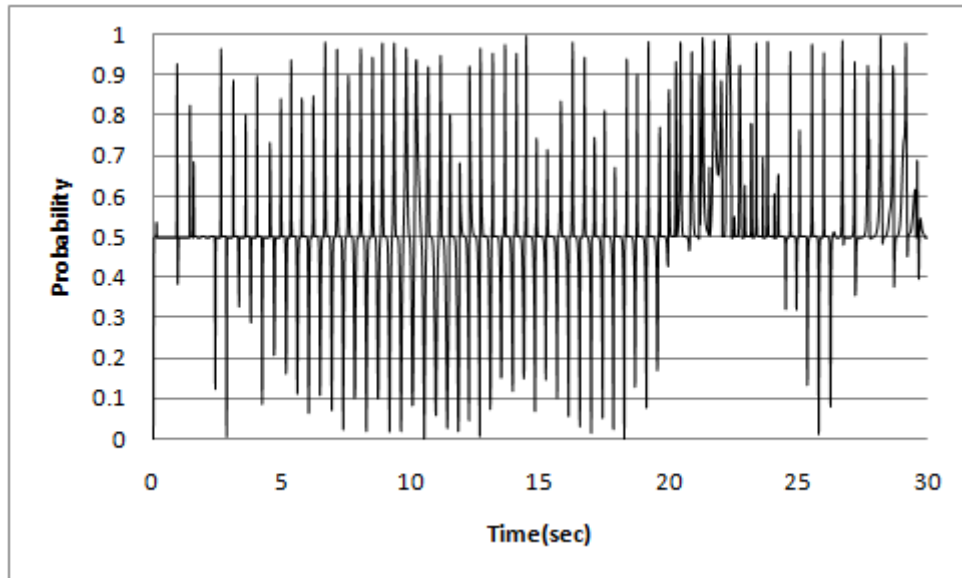
حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	بیشینه انحراف معیار (mm)
	سختی	ضریب پراکندگی	
Case 1	0.03	1	22.69
Case 2	0.06	2	38.58
Case 3	0.09	3	50.39

3-1-2-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

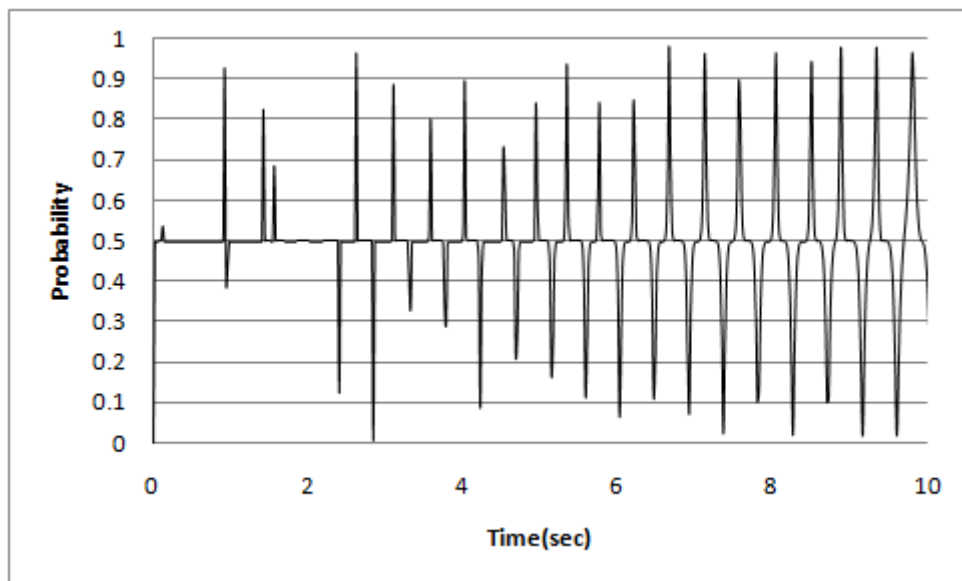
نمودار احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی (حاصل از شبیه‌سازی) از پاسخ قطعی در حالت اول (جدول 1-5) در شکل‌های 9-5 و 10-5 رسم شده است. مقدار این احتمال در هر نقطه (هر گام زمانی) از رابطه (1-5) به دست می‌آید. لازم به ذکر است که در این محاسبه مقدار قدر مطلق پاسخ‌ها با یکدیگر مقایسه شده است.

$$P = \frac{n}{N} \quad (1-5)$$

در این رابطه n تعداد پاسخ‌های بزرگتر از پاسخ قطعی در هر گام زمانی و N تعداد کل پاسخ‌ها در آن گام زمانی می‌باشد. همان‌طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود امکان افزایش پاسخ‌های غیرقطعی نسبت به پاسخ قطعی سازه در بعضی از گام‌های زمانی ممکن است به 100 درصد نیز برسد.



شکل 5-9 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1



شکل 5-10 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت

1

با توجه به شکل‌های 5-9 و 5-10، می‌توان نمودارها را در احتمال‌های 10 و 25 و 50 و 75 و 90 درصد مورد بررسی قرار داد. جدول 5-4 درصد گام‌های زمانی که احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده‌های مشخصی قرار دارد را برای سه حالت متفاوت ضریب پراکندگی در حالت سختی غیرقطعی (جدول 5-1) نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در اکثر گام‌های زمانی

احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در دو محدوده میانی و به خصوص در محدوده 25 تا 50 درصد است (به جز در حالت اول که در محدوده 50 تا 75 درصد است). با افزایش ضریب پراکندگی این مقدار در محدوده 50 تا 75 کاهش یافته و در محدوده‌های 75 تا 90 و 90 تا 100 درصد بیشتر شده است.

جدول 4-5 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی

محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	1.94	2.54	3.6
$0.10 < P < 0.25$	3.46	6.4	8.47
$0.25 < P < 0.50$	37.4	41	40.93
$0.50 < P < 0.75$	50.47	37.4	31.4
$0.75 < P < 0.90$	3.4	8.06	10.93
$0.90 < P < 1.00$	3.33	4.6	4.67

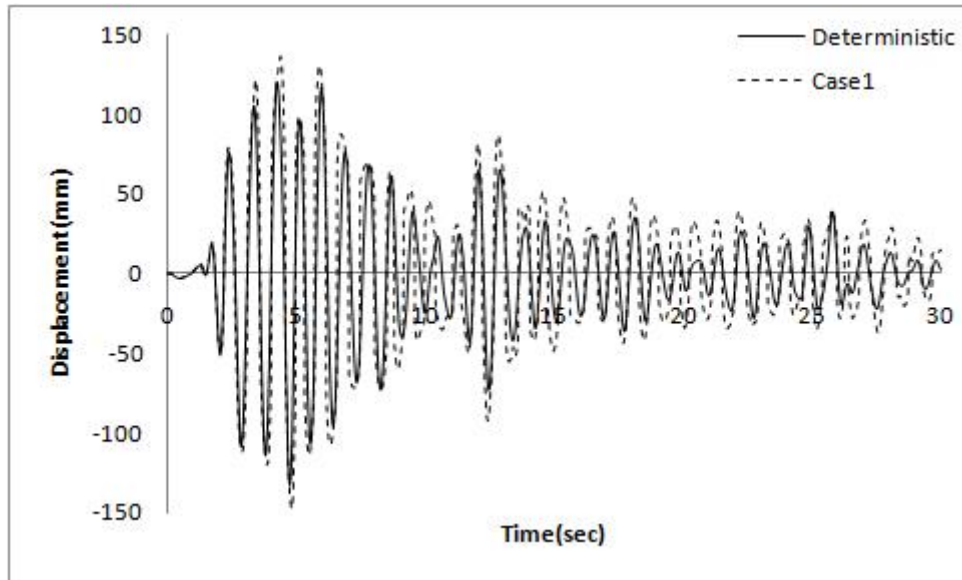
5-2-2- تحلیل در حالت جرم غیرقطعی

در حالت دوم پارامتر جرم به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود. با غیر قطعی انگاشتن این متغیر با سه ضریب پراکندگی متفاوت تاثیر آن روی تغییر مکان بام سازه سه درجه آزادی بررسی می‌گردد.

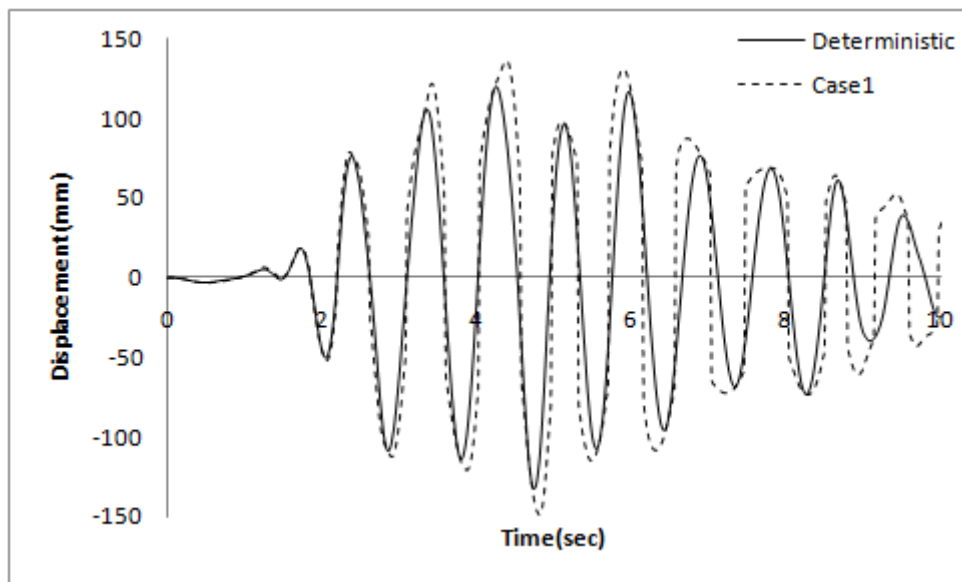
5-2-2-1- پاسخ سازه

تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای جرم انجام می‌گیرد. میانگین متغیر تصادفی جرم برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. پاسخ سازه در تحلیل قطعی در شکل 2-5 رسم شده است. مقدار بیشینه پاسخ قطعی سازه در زمان $4/74$ ثانیه و برابر 133 میلی‌متر می‌باشد. مقدار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت اول که با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی $0/04$ برای

جرم به دست می‌آید در شکل‌های 11-5 و 12-5 با پاسخ قطعی سازه مقایسه شده است. با توجه به شکل 12-5 بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی در زمان $4/82$ ثانیه و برابر 147 میلیمتر اتفاق می‌افتد.

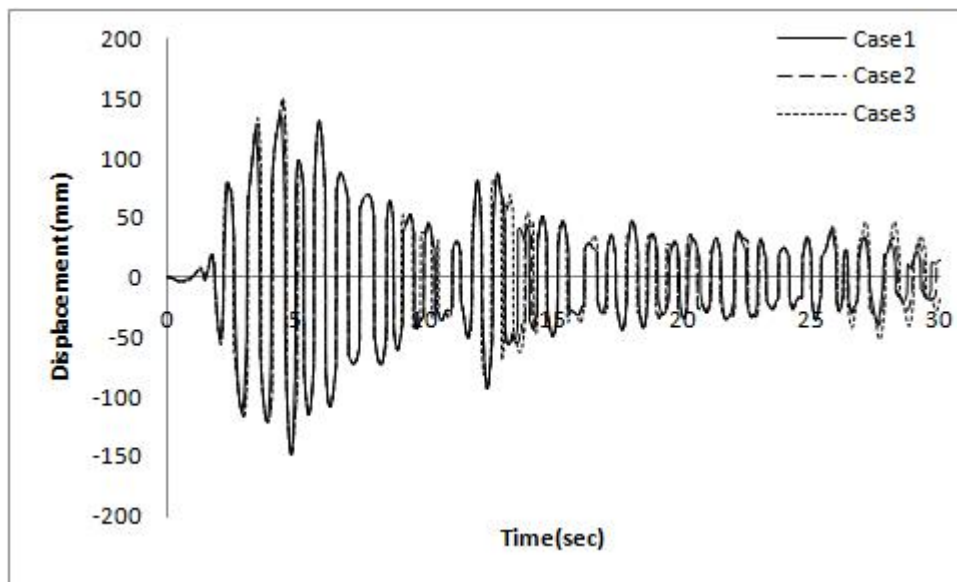


شکل 11-5 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1

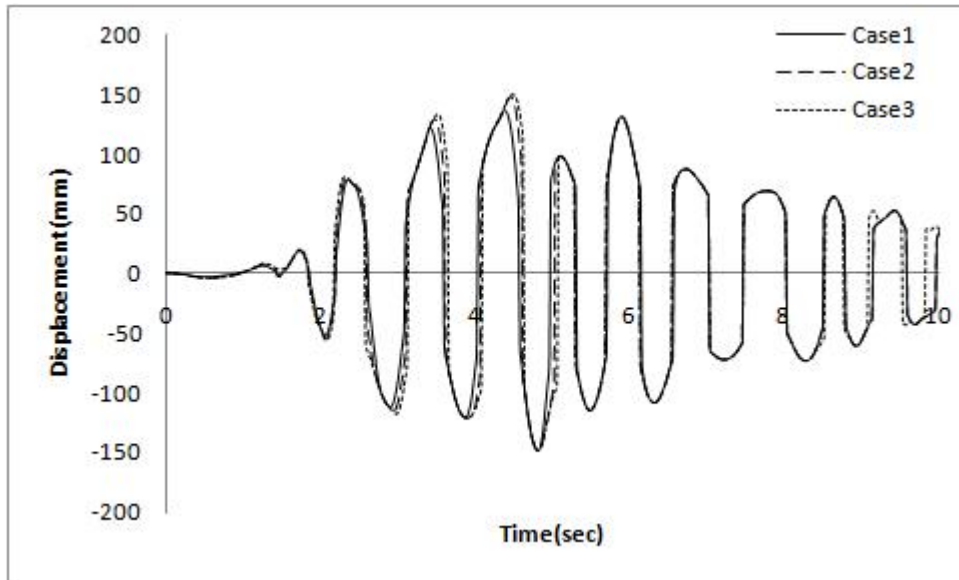


شکل 12-5 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

نمودار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت دوم با ضریب پراکندگی 0/08 برای جرم در شکل‌های پ30 و پ29 و برای حالت سوم با ضریب پراکندگی 0/12 در شکل‌های پ31 و پ32 رسم شده است. در حالت دوم مقدار بیشینه مطلق پاسخ در زمان 4/82 ثانیه و برابر 153 میلی‌متر اتفاق می‌افتد. بیشینه مطلق پاسخ سازه در حالت سوم برابر 154 میلی‌متر بوده که در زمان 4/82 ثانیه رخ می‌دهد. شکل‌های 5-13 و 5-14 و جدول 5-5 میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (جرم غیرقطعی) در سه حالت (جدول 5-1) را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود با افزایش ضریب پراکندگی، میانگین پاسخ‌های غیرقطعی نیز افزایش می‌یابند. نتایج جدول 5-5 نشان می‌دهد که با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه به ترتیب 10/52، 15/03 و 15/78 درصد افزایش می‌یابد. این مطلب نشان می‌دهد که تغییر مکان سازه در ضریب پراکندگی‌های کم نسبت به تغییرات ضریب پراکندگی حساس‌تر می‌باشد و با افزایش ضریب پراکندگی، بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه افزایش قابل توجهی نداشت.



شکل 5-13 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در حالت‌های مختلف



شکل 5-14 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

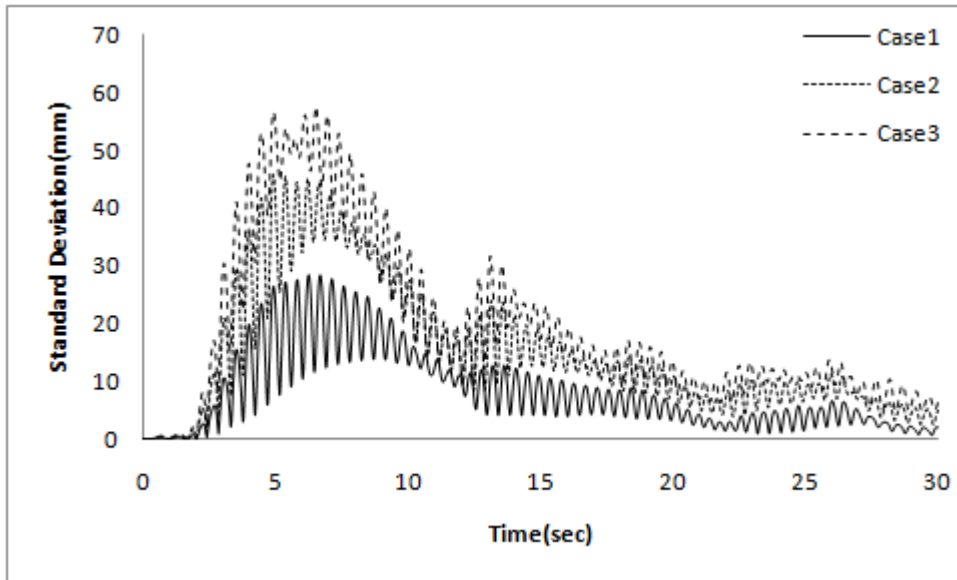
جدول 5-5 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

حالت	ضریب پراکندگی	بیشینه پاسخ (mm)	درصد افزایش مقدار بیشینه پاسخ	
	سختی			
قطعی	-	133	-	
غیرقطعی	Case 1	0.02	147	10.52
	Case 2	0.06	153	15.03
	Case 3	0.09	154	15.78

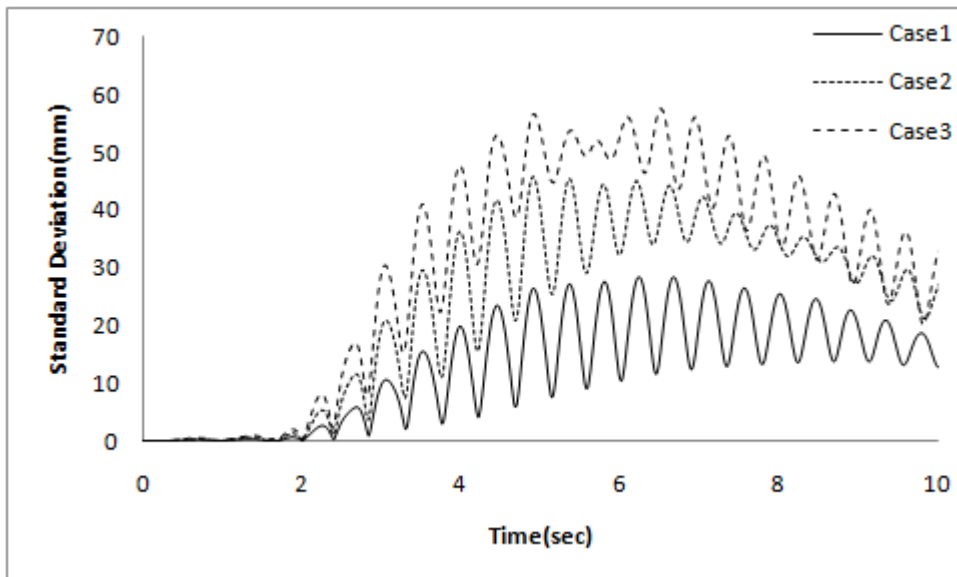
5-2-2-2-2-انحراف معیار پاسخ سازه

نمودار انحراف معیار پاسخ سازه در شکل‌های 5-15 و 5-16 رسم شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند همانند حالت سختی غیرقطعی انحراف معیار پاسخ سازه در 7 ثانیه ابتدایی که شتاب وارد بر سازه زیاد است روند افزایشی دارد و پس از آن کاهش می‌یابد، با این تفاوت که مقادیر انحراف معیار در این حالت از مقادیر انحراف معیار در حالت سختی غیرقطعی بیشتر می‌باشند. با مقایسه

نمودار حالت‌های مختلف ملاحظه می‌شود که با افزایش ضریب پراکندگی، مقدار انحراف معیار به طور قابل توجهی افزایش یافته می‌یابد.



شکل 5-15 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت جرم غیرقطعی



شکل 5-16 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت جرم غیرقطعی

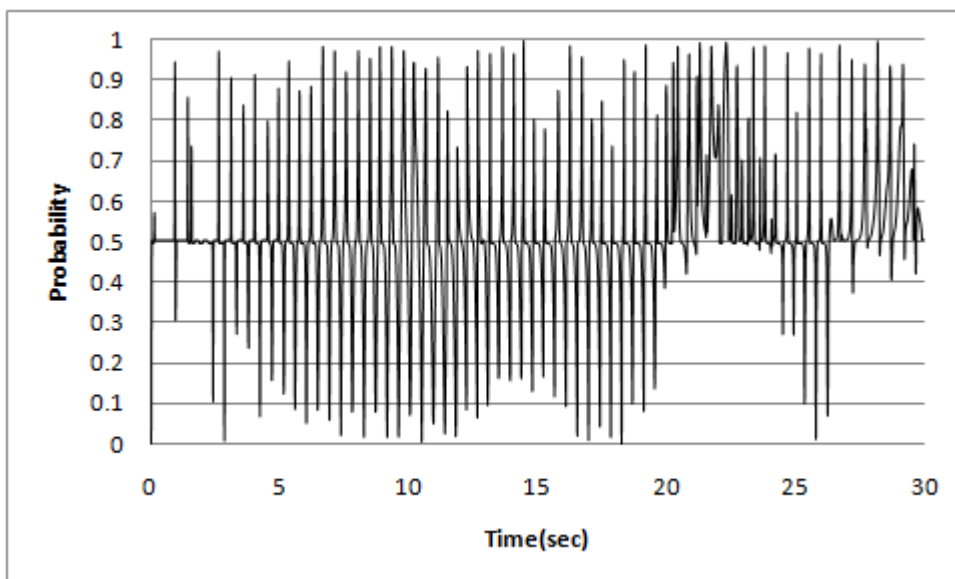
مقدار بیشینه انحراف معیار برای سه حالت تحلیل (جدول 5-1) در جدول 5-6 نشان داده شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار 60 درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی‌ها مقدار بیشینه انحراف معیار بیش از 100 درصد افزایش می‌یابد.

جدول 5-6 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی

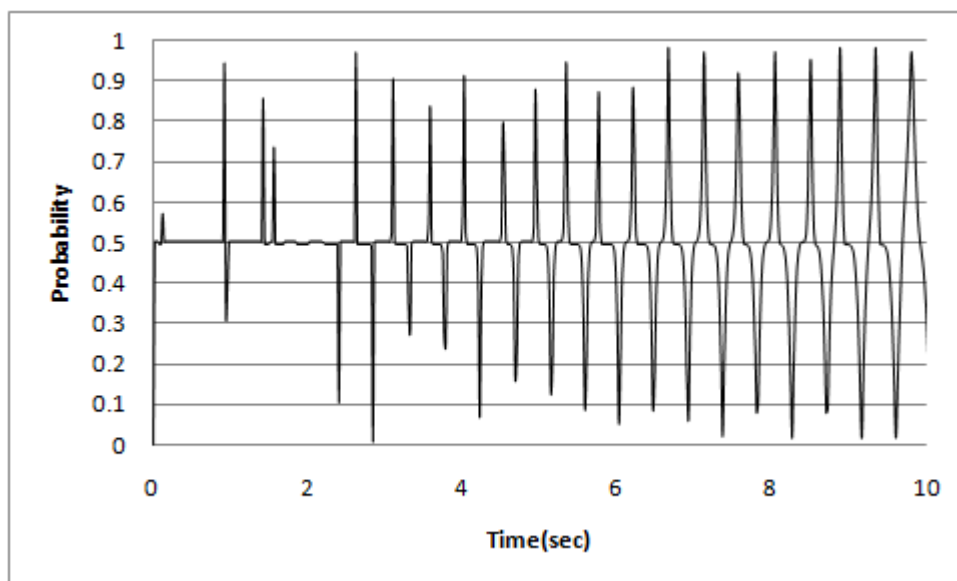
حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	بیشینه انحراف معیار (mm)
	جرم	ضریب پراکندگی	
Case 1	0.04	1	28.49
Case 2	0.08	2	45.78
Case 3	0.12	3	57.70

5-2-2-3- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

نمودار احتمال افزایش پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی در حالت اول (جدول 5-1) در شکل‌های 5-17 و 5-18 رسم شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود امکان افزایش پاسخ‌های غیرقطعی نسبت به پاسخ قطعی سازه در بعضی از گام‌های زمانی ممکن است به 100 درصد نیز برسد.



شکل 5-17 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1



شکل 5-18 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت

1

با توجه به شکل‌های 5-17 و 5-18، می‌توان نمودارها را در احتمال‌های 10 و 25 و 50 و 75 و 90 درصد مورد بررسی قرار داد. جدول 5-7 درصد گام‌های زمانی که احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده‌های مشخصی قرار دارد را برای سه حالت متفاوت ضریب پراکندگی در حالت جرم غیرقطعی (جدول 5-1) نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در اکثر گام‌های زمانی احتمال افزایش

پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در دو محدوده میانی و به خصوص در محدوده 25 تا 50 درصد است. با افزایش ضریب پراکندگی این مقدار در محدوده 25 تا 50 و 50 تا 75 کاهش یافته و در محدوده های 75 تا 90 و 90 تا 100 درصد بیشتر شده است.

جدول 5-7 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی

محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	2.2	3.2	4.4
$0.10 < P < 0.25$	4.2	7.07	11.07
$0.25 < P < 0.50$	43.93	39.13	33.93
$0.50 < P < 0.75$	40.94	36.07	33.74
$0.75 < P < 0.90$	5.07	13.27	12
$0.90 < P < 1.00$	3.66	4.46	4.86

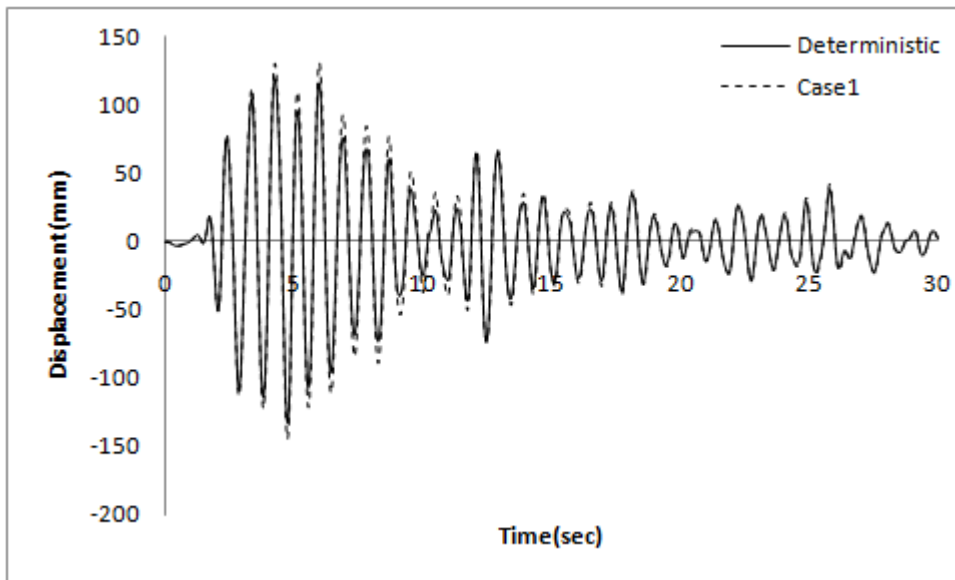
5-2-3- تحلیل در حالت نسبت میرایی غیرقطعی

در حالت سوم پارامتر نسبت میرایی به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود. این متغیر نیز با سه ضریب پراکندگی متفاوت شبیه سازی شده و تاثیر آن روی تغییر مکان بام سازه سه درجه آزادی بررسی می‌گردد.

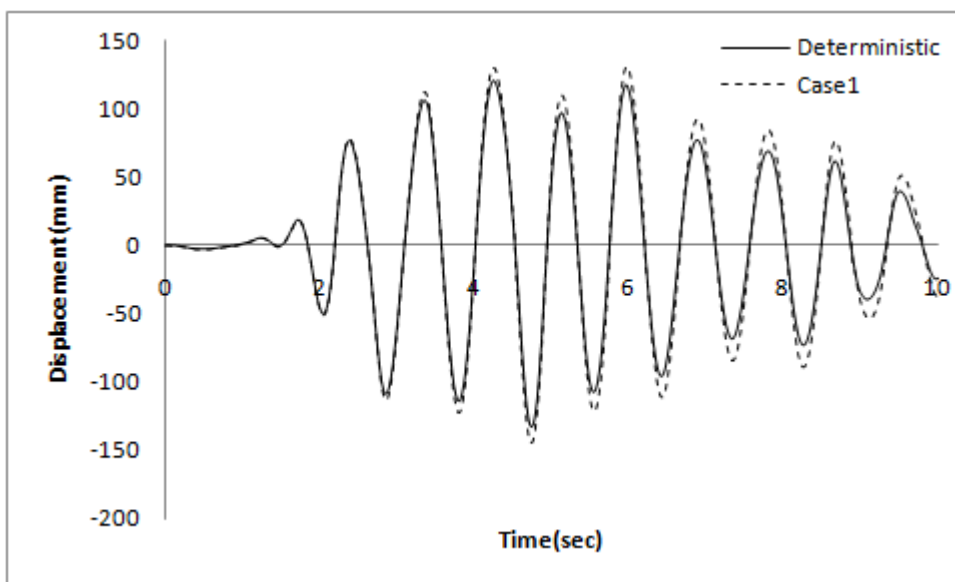
5-2-3-1- پاسخ سازه

تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای نسبت میرایی انجام می‌گیرد. میانگین متغیر تصادفی نسبت میرایی برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. پاسخ سازه در تحلیل قطعی در شکل 5-2 رسم شده است. مقدار بیشینه پاسخ قطعی سازه در زمان 4/74 ثانیه و برابر 133 میلیمتر می‌باشد. مقدار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت اول که با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی 0/05 برای نسبت میرایی به دست می‌آید در شکل‌های 5-19 و 5-20 با پاسخ قطعی سازه

مقایسه شده است. با توجه به شکل 5-20 بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی در زمان $4/74$ ثانیه و برابر 144 میلیمتر اتفاق می افتد.



شکل 5-19 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1



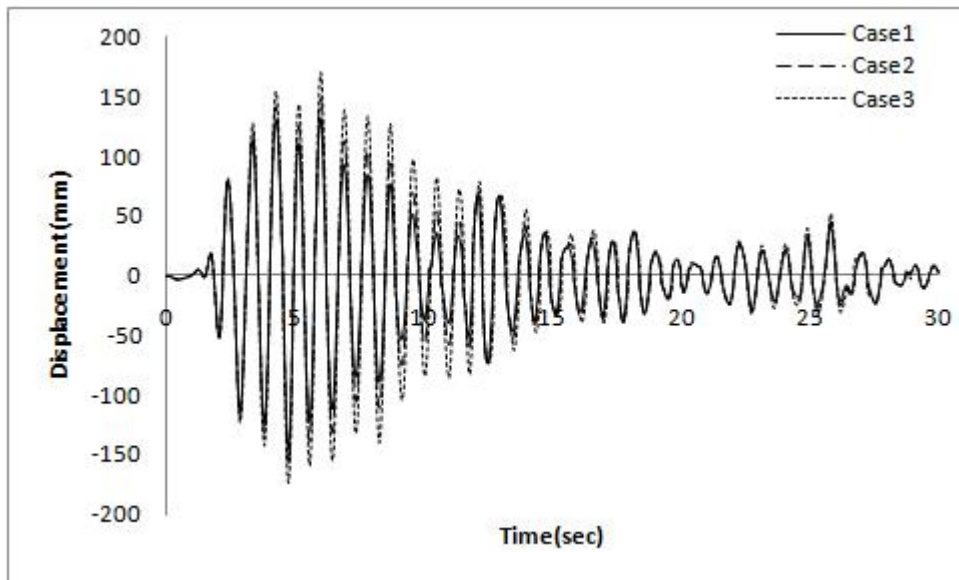
شکل 5-20 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

نمودار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت دوم و سوم با ضریب پراکندگی های $0/10$ و $0/15$

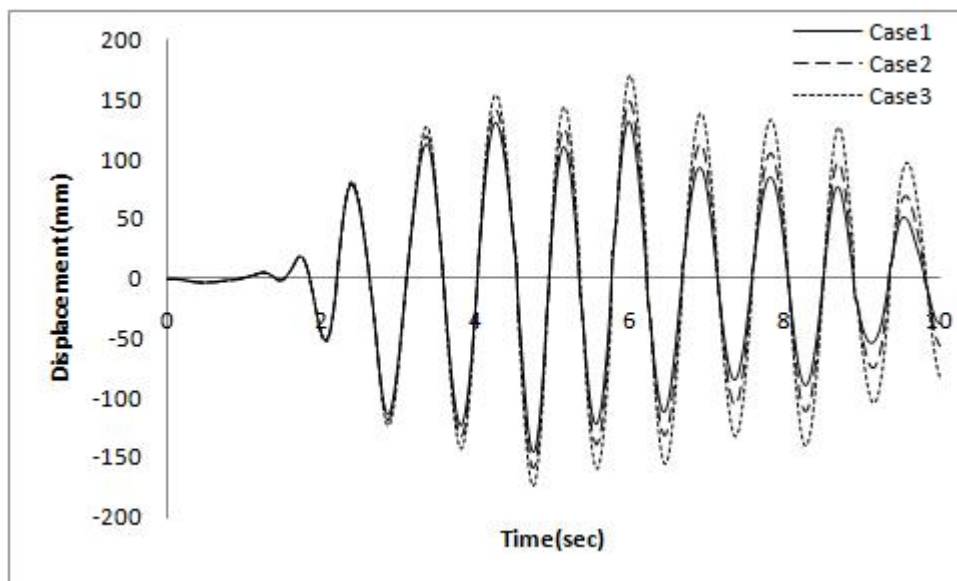
برای نسبت میرایی در پیوست موجود می باشد. در حالت دوم مقدار بیشینه مطلق پاسخ در زمان

4/74 ثانیه و برابر 158 میلیمتر اتفاق می‌افتد. بیشینه مطلق پاسخ سازه در حالت سوم برابر 173 میلیمتر بوده که در زمان 4/74 ثانیه رخ می‌دهد.

شکل‌های 21-5 و 22-5 و جدول 8-5 میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (نسبت میرایی غیرقطعی) در سه حالت (جدول 1-5) را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود با افزایش ضریب پراکندگی، میانگین پاسخ‌های غیرقطعی نیز افزایش می‌یابند. نتایج جدول 8-5 نشان می‌دهد که با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه به ترتیب 8/27، 18/79 و 30/07 درصد افزایش می‌یابد. این مطلب نشان می‌دهد که با افزایش ضریب پراکندگی بر خلاف دو حالت سختی غیرقطعی و جرم غیرقطعی میزان حساسیت بیشینه مطلق پاسخ سازه به ضریب پراکندگی قابل توجه می‌باشد.



شکل 21-5 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در حالت‌های مختلف



شکل 5-22 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

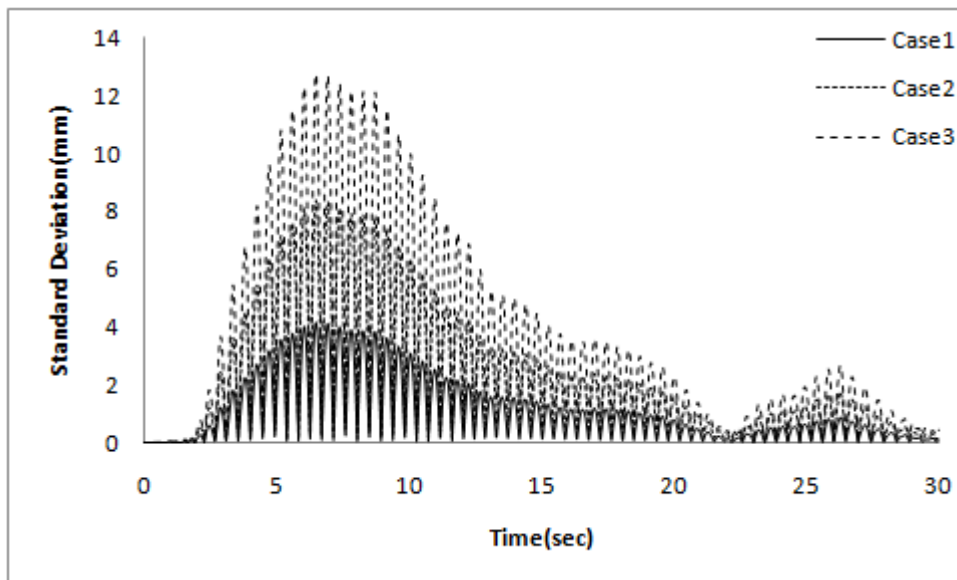
جدول 5-8 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

حالت	ضریب پراکندگی	بیشینه پاسخ (mm)	درصد افزایش مقدار بیشینه پاسخ	
	نسبت میرایی			
قطعی	-	133	-	
غیرقطعی	Case 1	0.05	144	8.27
	Case 2	0.10	158	18.79
	Case 3	0.15	173	30.07

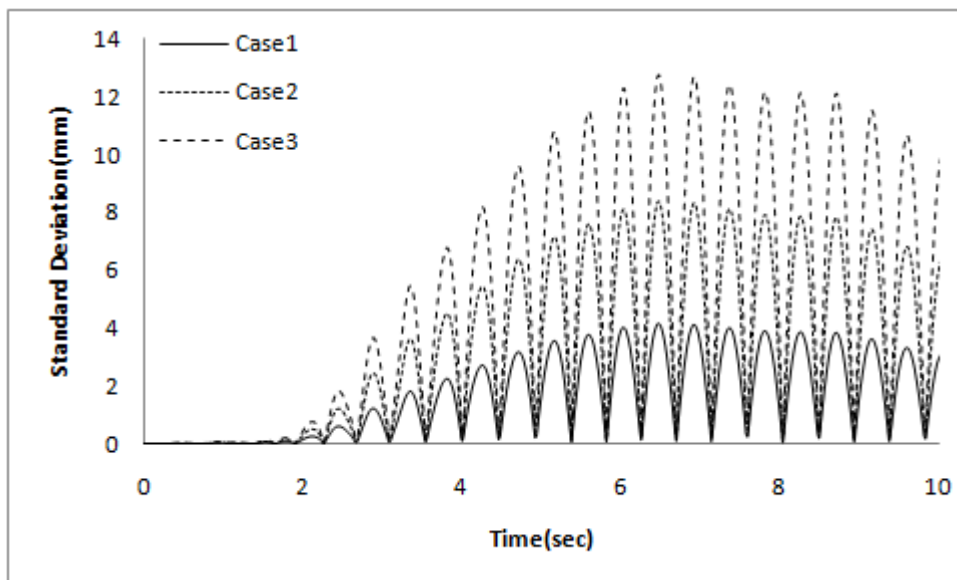
5-2-3-2- انحراف معیار پاسخ سازه

نمودار انحراف معیار پاسخ سازه در شکل‌های 5-23 و 5-24 رسم شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند همانند حالات قبل انحراف معیار پاسخ سازه در 7 ثانیه ابتدایی که شتاب وارد بر سازه زیاد است روند افزایشی دارد و پس از آن کاهش می‌یابد. قابل توجه است که مقادیر انحراف معیار در این حالت از مقادیر انحراف معیار در حالات سختی غیرقطعی و جرم غیرقطعی به میزان قابل توجهی

کمتر می‌باشند. با مقایسه نمودار حالت‌های مختلف ملاحظه می‌شود که با افزایش ضریب پراکندگی، مقدار انحراف معیار به طور قابل توجهی افزایش یافته می‌یابد.



شکل 5-23 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی



شکل 5-24 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی

مقدار بیشینه انحراف معیار برای سه حالت تحلیل (جدول 5-1) در جدول 5-9 نشان داده شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه

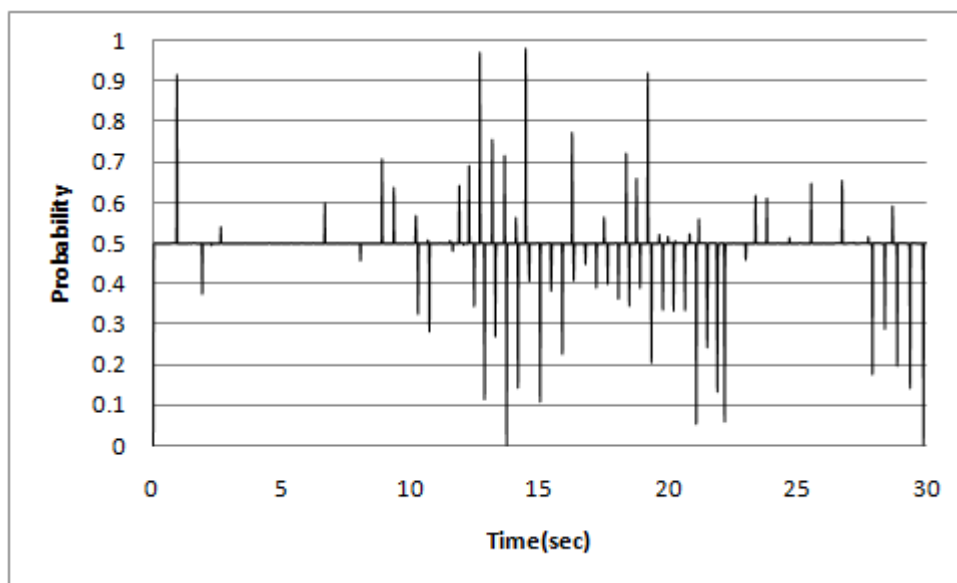
انحراف معیار دو برابر و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی‌ها مقدار بیشینه انحراف معیار بیش از سه برابر افزایش می‌یابد.

جدول 5-9 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی

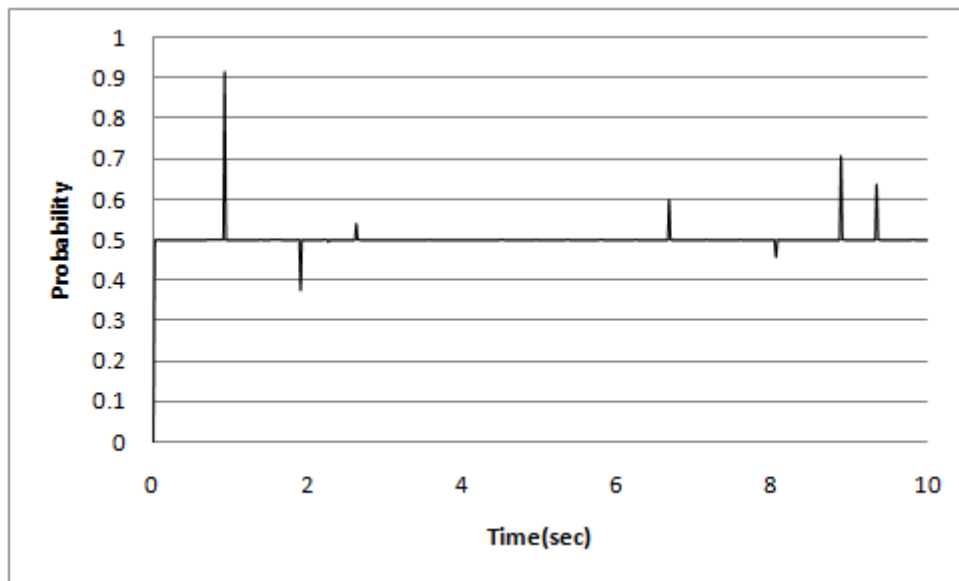
حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	بیشینه انحراف معیار (mm)
	نسبت میرایی	ضریب پراکندگی	
Case 1	0.05	1	4.14
Case 2	0.10	2	8.36
Case 3	0.15	3	12.74

5-2-3-3- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

نمودار احتمال افزایش پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی در حالت اول (جدول 5-1) در شکل‌های 5-25 و 5-26 رسم شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها دیده می‌شود امکان افزایش پاسخ‌های غیرقطعی نسبت به پاسخ قطعی سازه در بعضی از گام‌های زمانی ممکن است به 99 درصد نیز برسد، اما برخلاف حالت‌های قبل در اکثر گام‌های زمانی مقدار 50 درصد را دارا می‌باشد.



شکل 5-25 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 1



شکل 5-26 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت

1

با توجه به شکل‌های 5-25 و 5-26، می‌توان نمودارها را در احتمال‌های 10 و 25 و 50 و 75 و 90 درصد مورد بررسی قرار داد. جدول 5-10 درصد گام‌های زمانی که احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده‌های مشخصی قرار دارد را برای سه حالت متفاوت ضریب پراکندگی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی (جدول 5-1) نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در اکثر گام‌های زمانی احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده میانی و به خصوص در محدوده 25 تا 50 درصد است. افزایش ضریب پراکندگی تاثیر قابل توجهی بر روی احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده میانی نداشته است.

جدول 5-10 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی

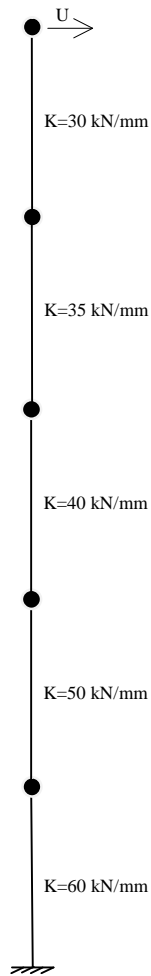
محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	0.27	0.67	1
$0.10 < P < 0.25$	0.67	1.53	1.94
$0.25 < P < 0.50$	73.73	73.27	73.93
$0.50 < P < 0.75$	24.93	23.27	21.33
$0.75 < P < 0.90$	0.14	1	1.34
$0.90 < P < 1.00$	0.26	0.26	0.46

5-3- سازه پنج درجه آزادی

سازه پنج درجه آزادی شکل 5-27 که تحت شتاب پایه السنترو قرار گرفته است و دارای مشخصات داده شده در جدول 5-11 می‌باشد به عنوان یک سازه با تعداد درجه آزادی‌های متوسط تحلیل احتمالاتی می‌شود. این تحلیل در سه حالت سختی غیرقطعی، جرم غیرقطعی و میرایی غیرقطعی با سه ضریب پراکندگی متفاوت برای هر متغیر مطابق جدول 5-11 انجام می‌شود. پاسخ سازه، تغییرمکان بام در نظر گرفته می‌شود و اثر عدم قطعیت‌ها روی این عامل بررسی می‌گردد.

جدول 5-11 مشخصات سازه پنج درجه آزادی

پارامتر	نماد	نوع توزیع	ضریب پراکندگی			میانگین	واحد
			Case 1	Case 2	Case 3		
ارتفاع طبقات	h	Deterministic	-	-	-	3200	mm
سختی طبقه اول	K_1	Lognormal	0.03	0.06	0.09	60	kN/mm
سختی طبقه دوم	K_2	Lognormal	0.03	0.06	0.09	50	kN/mm
سختی طبقه سوم	K_3	Lognormal	0.03	0.06	0.09	40	kN/mm
سختی طبقه چهارم	K_4	Lognormal	0.03	0.06	0.09	35	kN/mm
سختی طبقه پنجم	K_5	Lognormal	0.03	0.06	0.09	30	kN/mm
جرم طبقات	m	Normal	0.04	0.08	0.12	150000	kg
نسبت میرایی	ζ	Normal	0.05	0.10	0.15	0.05	-



شکل 5-27 سازه پنج درجه آزادی

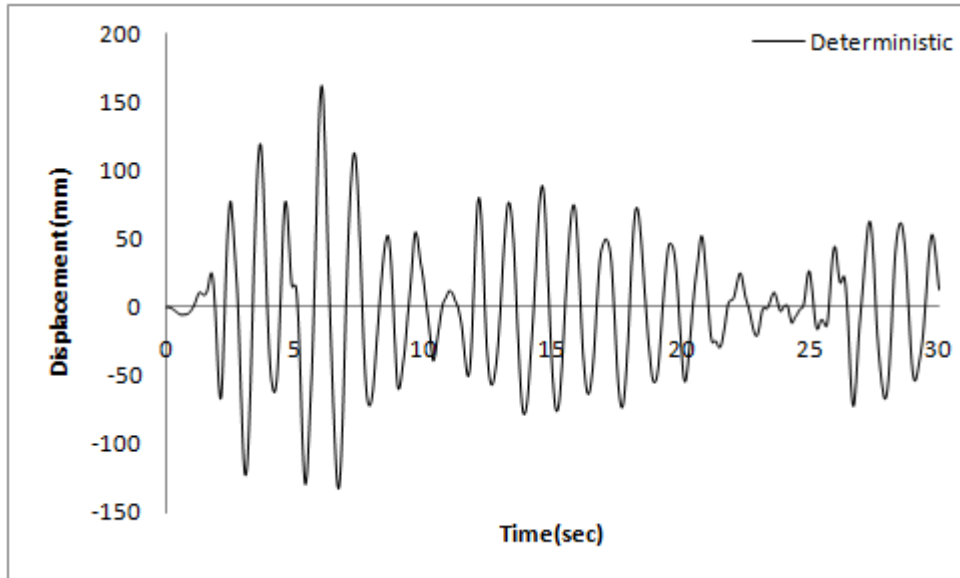
1-3-5- تحلیل در حالت سختی غیرقطعی

ابتدا پارامتر سختی به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود و اثر غیرقطعی بودن این عامل روی تغییر مکان بام سازه پنج درجه آزادی بررسی می‌گردد.

1-1-3-5- پاسخ سازه

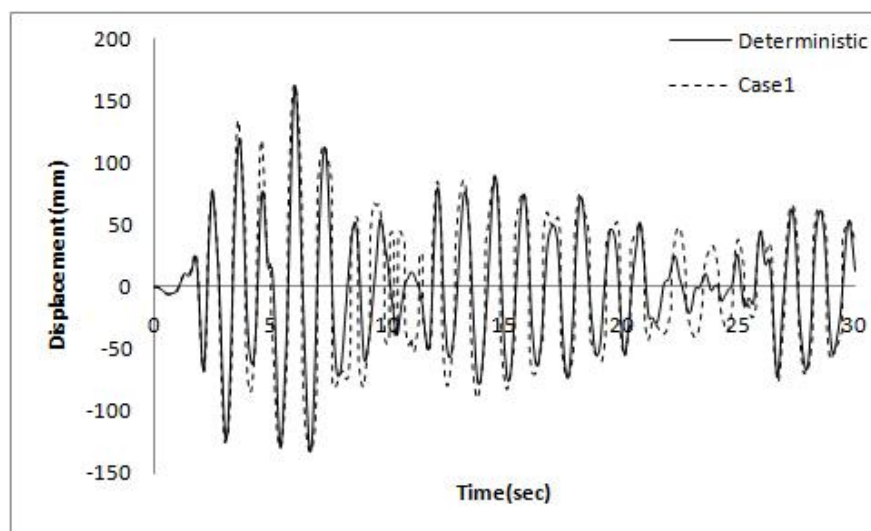
تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای سختی انجام می‌گیرد. میانگین متغیر تصادفی سختی برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. گام زمانی تحلیل دینامیکی 0/02 ثانیه و سازه در 30 ثانیه نخست زلزله السنترو تحلیل می‌شود. پاسخ سازه در تحلیل قطعی در شکل

28-5 رسم شده است. مقدار بیشینه پاسخ قطعی سازه در زمان 6/04 ثانیه و به مقدار 159 میلیمتر اتفاق می افتد.

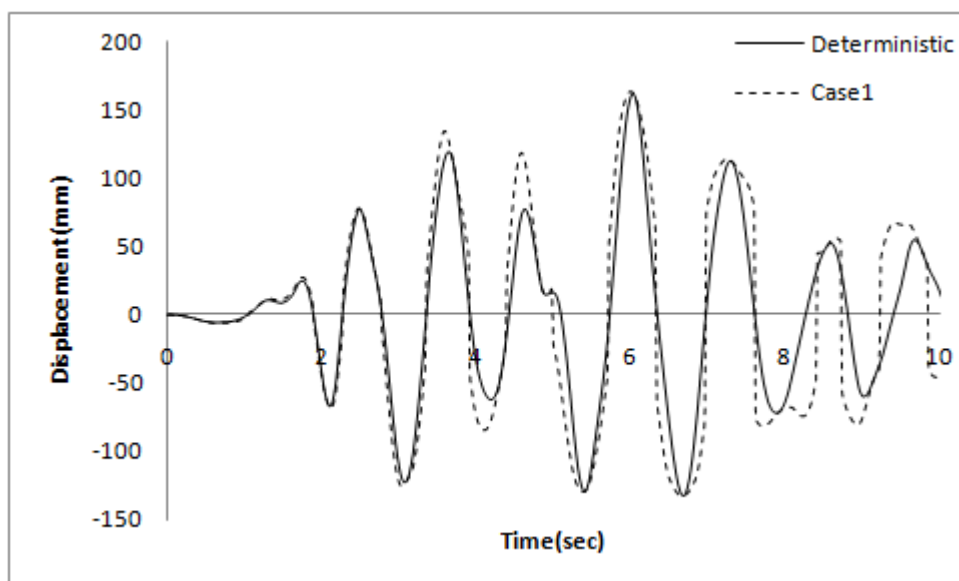


شکل 28-5 نمودار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت قطعی

مقدار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت اول که با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی 0/03 برای سختی به دست می آید در شکل های 29-5 و 30-5 با پاسخ قطعی سازه مقایسه شده است. با توجه به شکل 30-5 بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی در زمان 6 ثانیه و برابر 161 میلیمتر اتفاق می افتد.

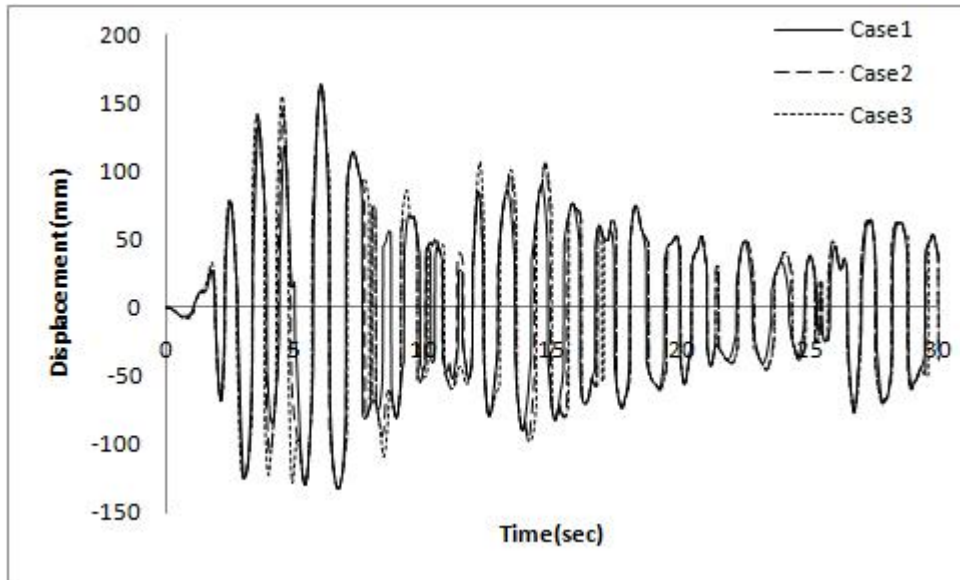


شکل 29-5 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1

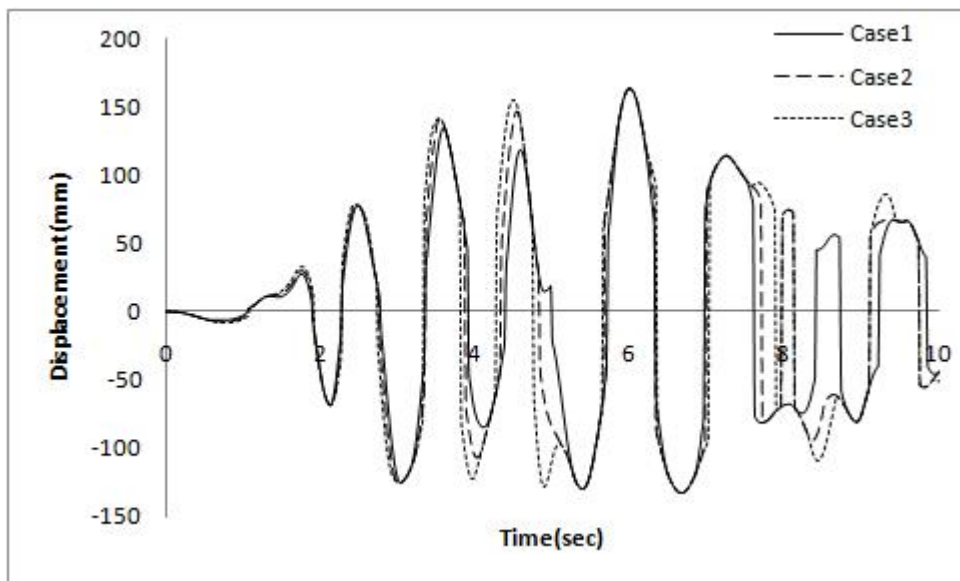


شکل 5-30 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

نمودار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت دوم با ضریب پراکندگی 0/06 برای سختی در شکل- های پ 37 و پ 38 و برای حالت سوم با ضریب پراکندگی 0/09 در شکل های پ 39 و پ 40 رسم شده است. در حالت دوم مقدار بیشینه مطلق پاسخ در زمان 6 ثانیه و برابر 163 میلیمتر اتفاق می افتد. بیشینه مطلق پاسخ سازه در حالت سوم برابر 164 میلیمتر بوده که در زمان 6 ثانیه رخ می دهد. شکل های 5-31 و 5-32 و جدول 5-12 میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (سختی غیرقطعی) در سه حالت (جدول 5-11) را نشان می دهند. همان طور که در این شکل ها مشاهده می شود با افزایش ضریب پراکندگی، میانگین پاسخ های غیرقطعی نیز افزایش می یابند. اما این افزایش میانگین پاسخ به نسبت افزایش ضریب پراکندگی مقدار کمی را دارا می باشد. نتایج جدول 5-12 نشان می دهد که با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه به ترتیب 1/25، 2/52 و 3/15 درصد افزایش می یابد.



شکل 5-31 نمودار میانگین پاسخهای غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های مختلف



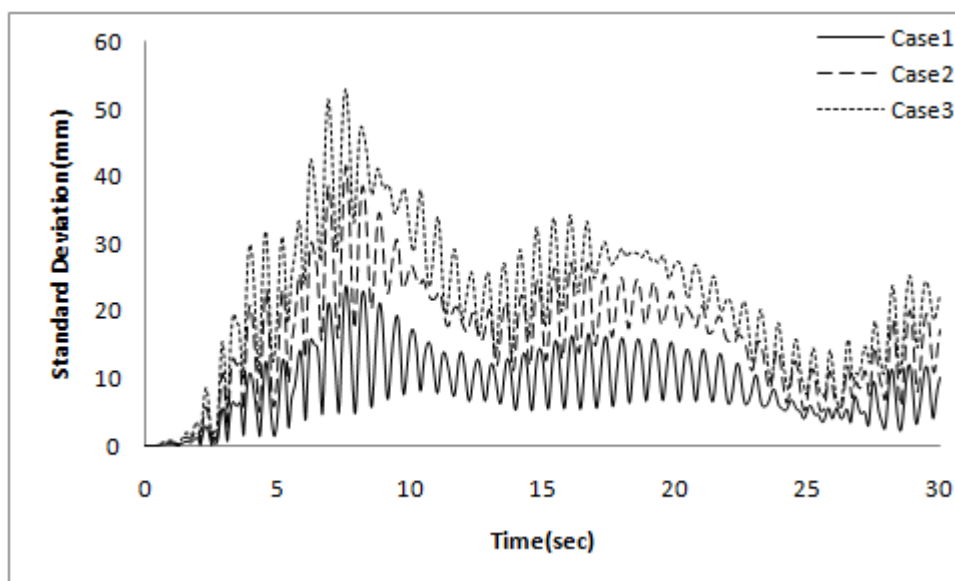
شکل 5-32 نمودار میانگین پاسخهای غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

جدول 5-12 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

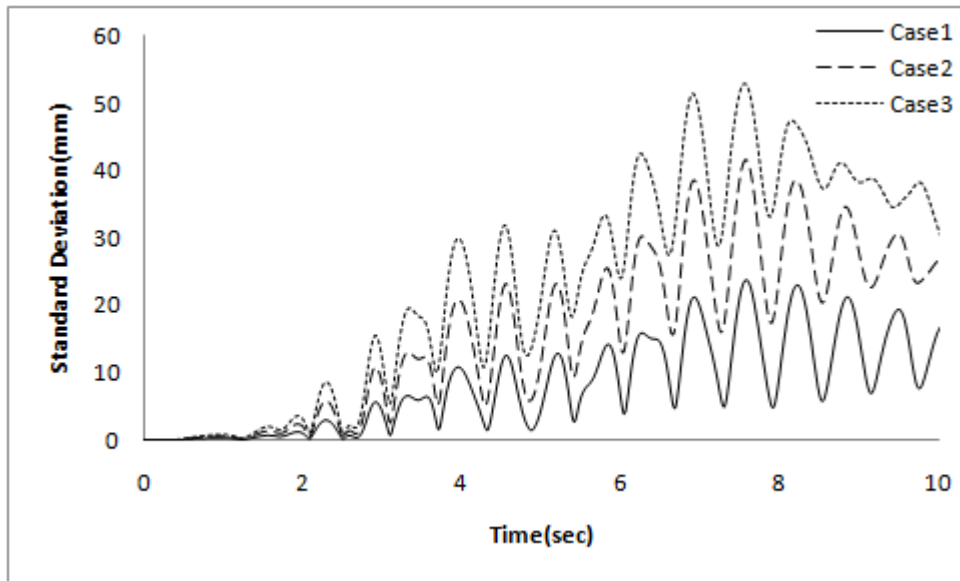
حالت	ضریب پراکندگی		بیشینه پاسخ (mm)	درصد افزایش مقدار بیشینه پاسخ
	سختی			
قطعی	-		159	-
غیرقطعی	Case 1	0.03	161	1.25
	Case 2	0.06	163	2.52
	Case 3	0.09	164	3.15

5-3-1-2- انحراف معیار پاسخ سازه

نمودار انحراف معیار پاسخ سازه در شکل‌های 5-33 و 5-34 رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار انحراف معیار در 7 ثانیه ابتدایی با گذر زمان افزایش یافته و پس از 7 ثانیه ابتدایی مقدار آن کاهش می‌یابد. با مقایسه نمودار انحراف معیار در حالات مختلف ملاحظه می‌گردد با افزایش ضریب پراکندگی متغیر تصادفی، انحراف معیار پاسخ سازه افزایش می‌یابد.



شکل 5-33 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت سختی غیرقطعی



شکل 5-34 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت سختی غیرقطعی

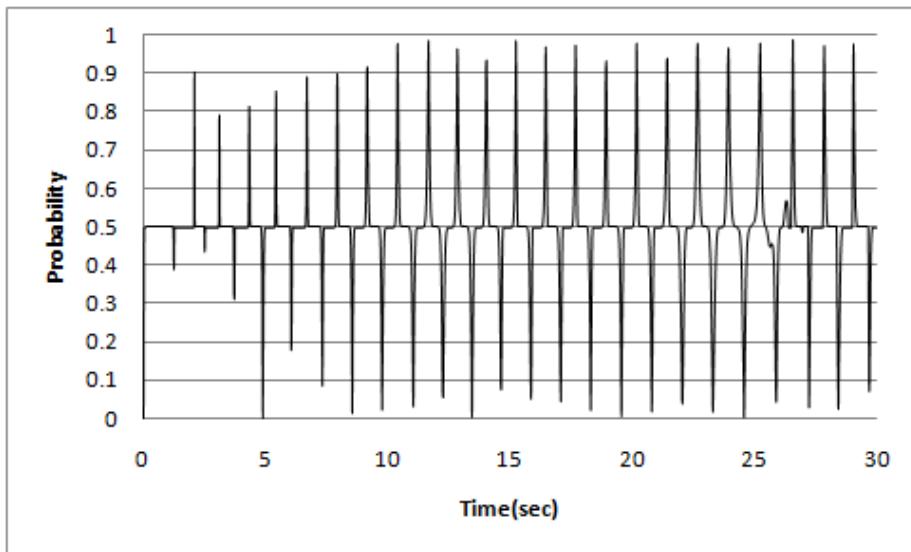
مقدار بیشینه انحراف معیار برای سه حالت تحلیل (جدول 5-11) در جدول 5-13 نشان داده شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار 76 درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی‌ها مقدار بیشینه انحراف معیار بیش از 100 درصد افزایش می‌یابد.

جدول 5-13 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی

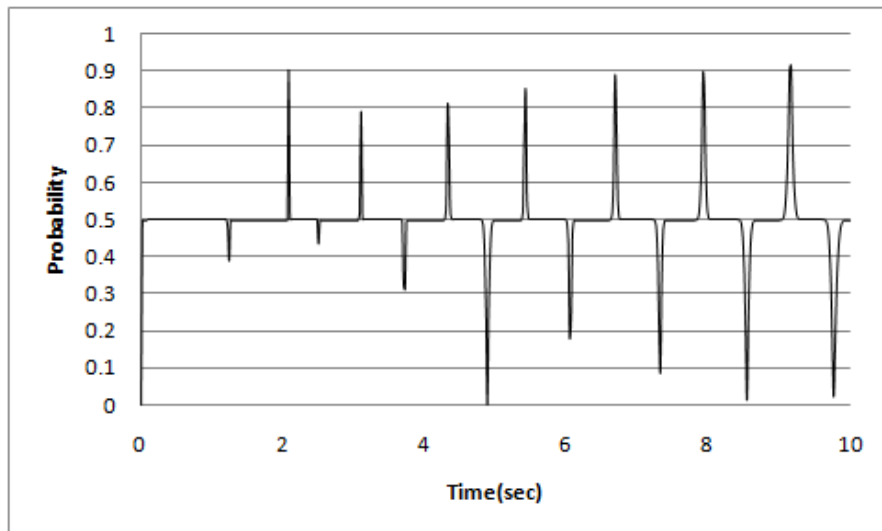
حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	بیشینه انحراف معیار (mm)
	سختی	ضریب پراکندگی	
Case 1	0.03	1	23.66
Case 2	0.06	2	41.67
Case 3	0.09	3	52.99

3-1-3-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

شکل‌های 35-5 و 36-5 نمودار احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی در حالت اول با ضریب پراکندگی داده شده در جدول 11-5 را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌گردد امکان افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی در هر گام زمانی نسبت به پاسخ قطعی سازه ممکن است به 99 درصد نیز برسد.



شکل 35-5 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1



شکل 36-5 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت

درصد گام‌های زمانی که احتمال افزایش پاسخ قطعی از پاسخ غیرقطعی در محدوده‌های مشخصی قرار دارد برای سه حالت متفاوت ضریب پراکندگی (جدول 5-11) در جدول 5-14 نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که تقریباً در اکثر گام‌های زمانی احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده 25 تا 50 و 50 تا 75 درصد قرار دارد. با افزایش ضریب پراکندگی این مقدار در محدوده‌های میانی کاهش یافته و در محدوده‌های اطراف بیشتر شده است.

جدول 5-14 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی

محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	1.8	3.4	4.87
$0.10 < P < 0.25$	3.14	5.8	7.93
$0.25 < P < 0.50$	44.73	40.4	36.8
$0.50 < P < 0.75$	45.73	41.47	38
$0.75 < P < 0.90$	2.87	5.33	7.74
$0.90 < P < 1.00$	1.73	3.6	4.66

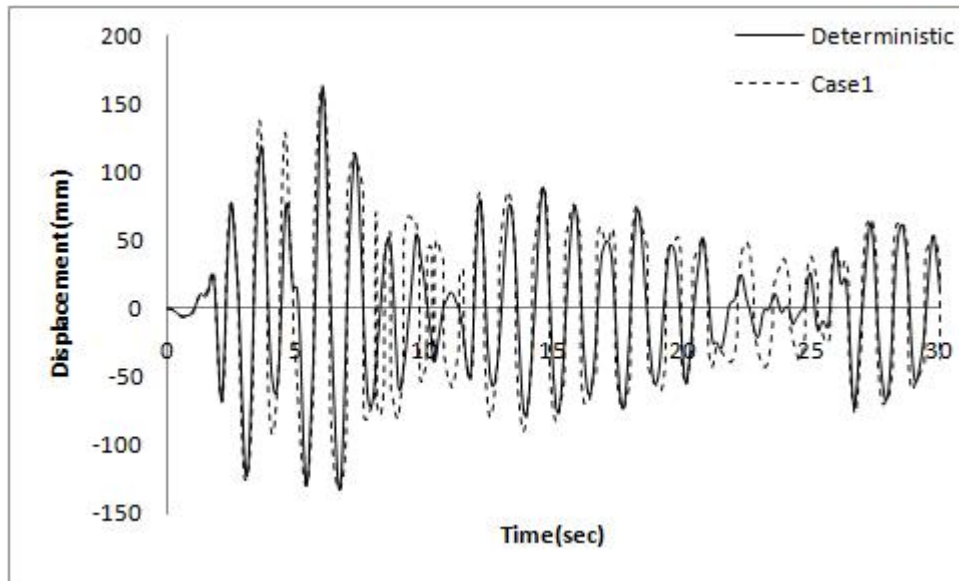
5-3-2- تحلیل در حالت جرم غیرقطعی

در حالت دوم پارامتر جرم به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود. با غیر قطعی انگاشتن این متغیر با سه ضریب پراکندگی متفاوت تاثیر آن روی تغییر مکان بام سازه پنج درجه آزادی بررسی می‌گردد.

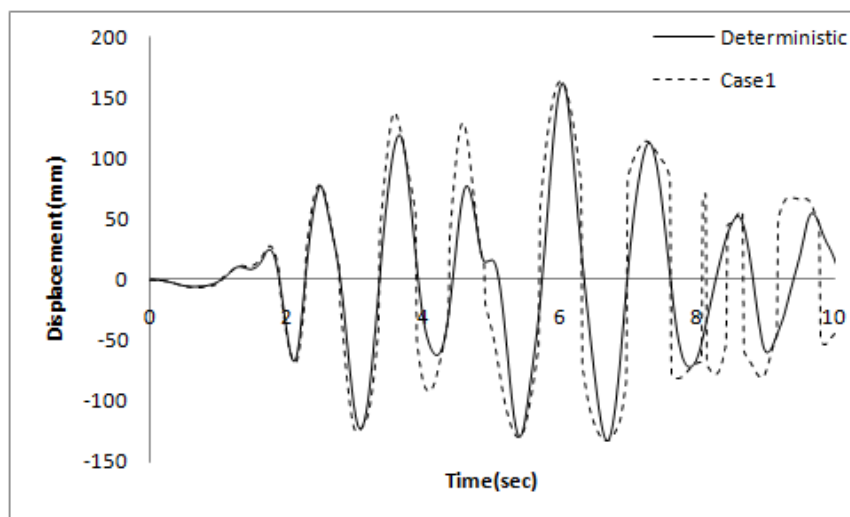
5-3-2-1- پاسخ سازه

تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای جرم انجام می‌گیرد. میانگین متغیر تصادفی جرم برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. گام زمانی تحلیل دینامیکی 0/02 ثانیه و سازه در 30 ثانیه نخست زلزله السنترو تحلیل می‌شود. پاسخ سازه در تحلیل قطعی در شکل 5-28

رسم شده است. مقدار بیشینه پاسخ قطعی سازه در زمان $6/04$ ثانیه و به مقدار 159 میلیمتر اتفاق می‌افتد. مقدار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت اول که با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی $0/04$ برای جرم به دست می‌آید در شکل‌های $37-5$ و $38-5$ با پاسخ قطعی سازه مقایسه شده است. با توجه به شکل $38-5$ بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی در زمان 6 ثانیه و برابر 163 میلیمتر اتفاق می‌افتد.

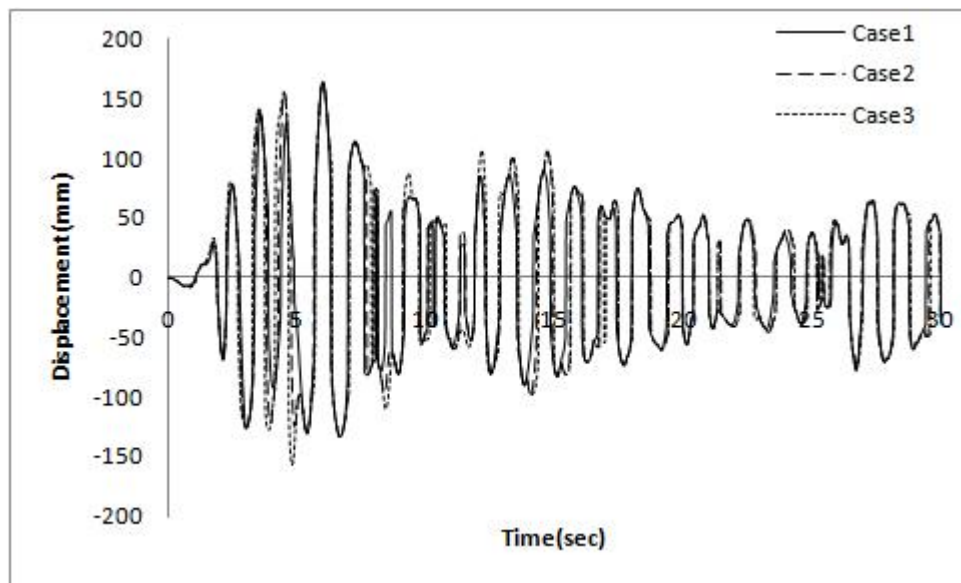


شکل $37-5$ مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1

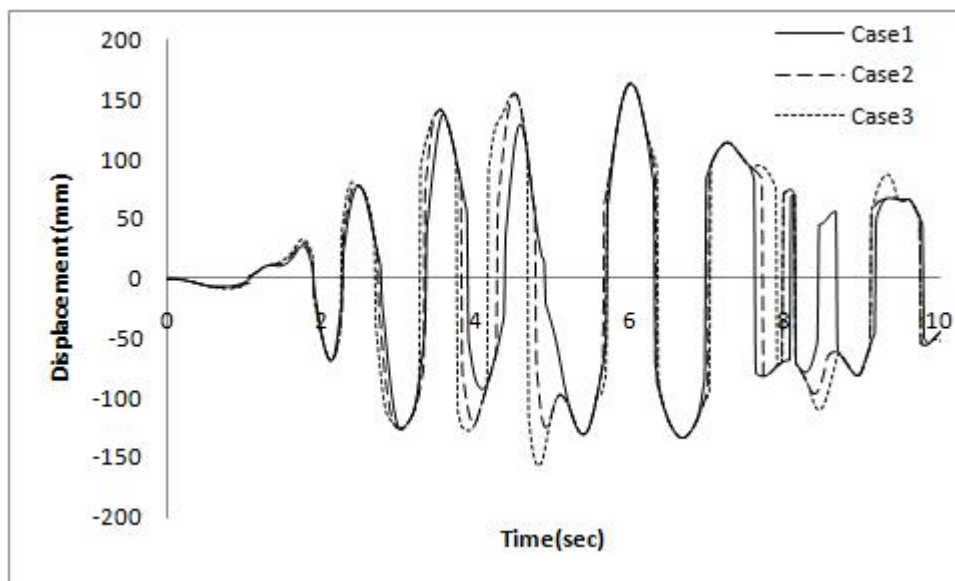


شکل $38-5$ مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

نمودار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت دوم با ضریب پراکندگی 0/08 برای جرم در شکل‌های پ 41 و پ 42 و برای حالت سوم با ضریب پراکندگی 0/12 در شکل‌های پ 43 و پ 44 رسم شده است. در حالت دوم مقدار بیشینه مطلق پاسخ در زمان 6 ثانیه و برابر 164 میلیمتر اتفاق می‌افتد. بیشینه مطلق پاسخ سازه در حالت سوم برابر 166 میلیمتر بوده که در زمان 6 ثانیه رخ می‌دهد. شکل‌های 5-39 و 5-40 و جدول 5-15 میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (جرم غیرقطعی) در سه حالت (جدول 5-11) را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود با افزایش ضریب پراکندگی، میانگین پاسخ‌های غیرقطعی نیز افزایش می‌یابند. اما این افزایش میانگین پاسخ به نسبت افزایش ضریب پراکندگی مقدار کمی را دارا می‌باشد. نتایج جدول 5-15 نشان می‌دهد که با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه به ترتیب 2/52، 3/14 و 4/40 درصد افزایش می‌یابد.



شکل 5-39 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های مختلف



شکل 5-40 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

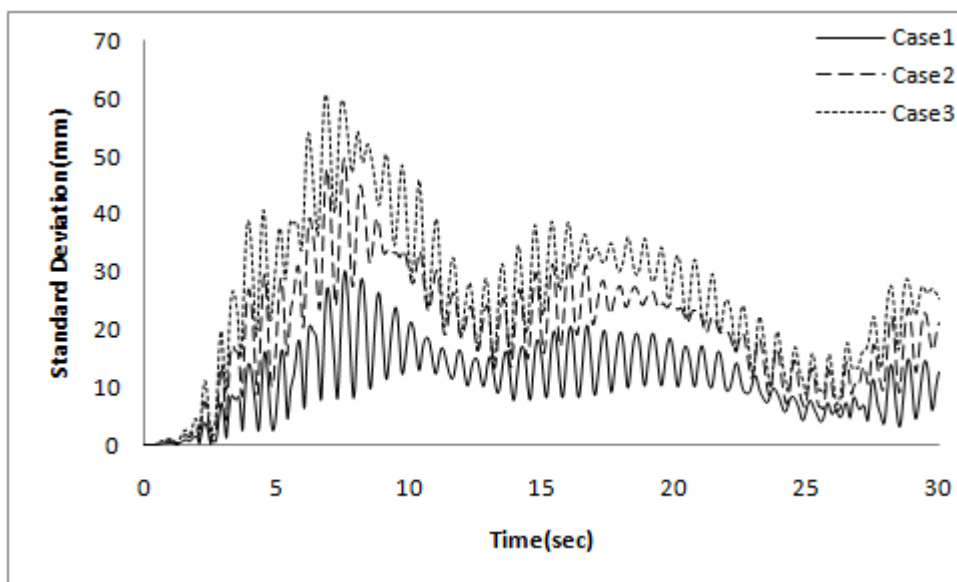
جدول 5-15 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

حالت	ضریب پراکندگی	بیشینه پاسخ (mm)	درصد افزایش مقدار بیشینه پاسخ	
	سختی			
قطعی	-	159	-	
حالت‌های غیرقطعی	Case 1	0.03	163	2.52
	Case 2	0.06	164	3.14
	Case 3	0.09	166	4.40

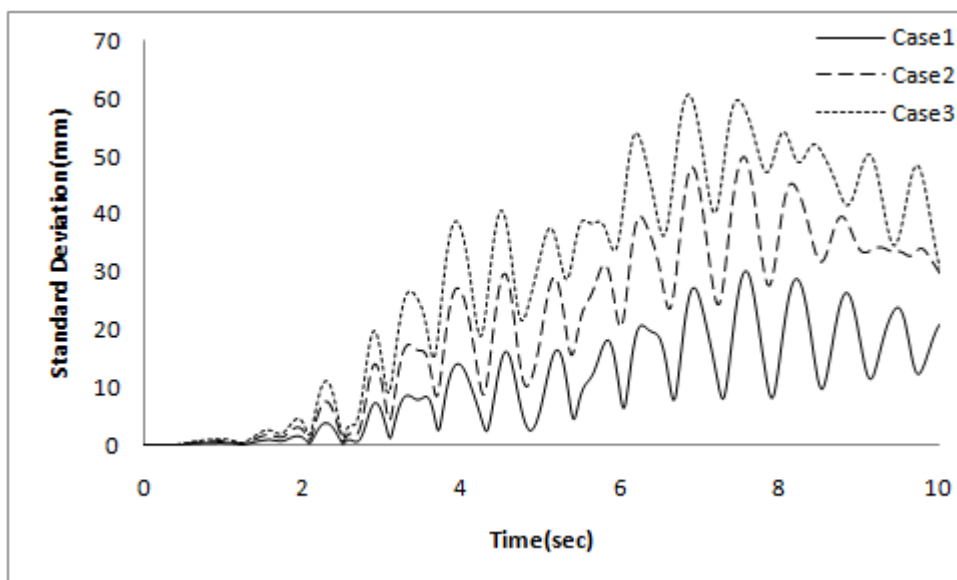
5-3-2-2- انحراف معیار پاسخ سازه

نمودار انحراف معیار پاسخ سازه در شکل‌های 5-41 و 5-42 رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار انحراف معیار در 7 ثانیه ابتدایی با گذر زمان افزایش یافته و پس از 7 ثانیه ابتدایی مقدار آن کاهش می‌یابد. در مقایسه با حالت سختی غیرقطعی، انحراف معیار پاسخ سازه در

این حالت بیشتر می‌باشد. با مقایسه نمودار انحراف معیار در حالات مختلف ملاحظه می‌گردد با افزایش ضریب پراکندگی متغیر تصادفی، انحراف معیار پاسخ سازه افزایش می‌یابد.



شکل 5-41 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت جرم غیرقطعی



شکل 5-42 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت جرم غیرقطعی

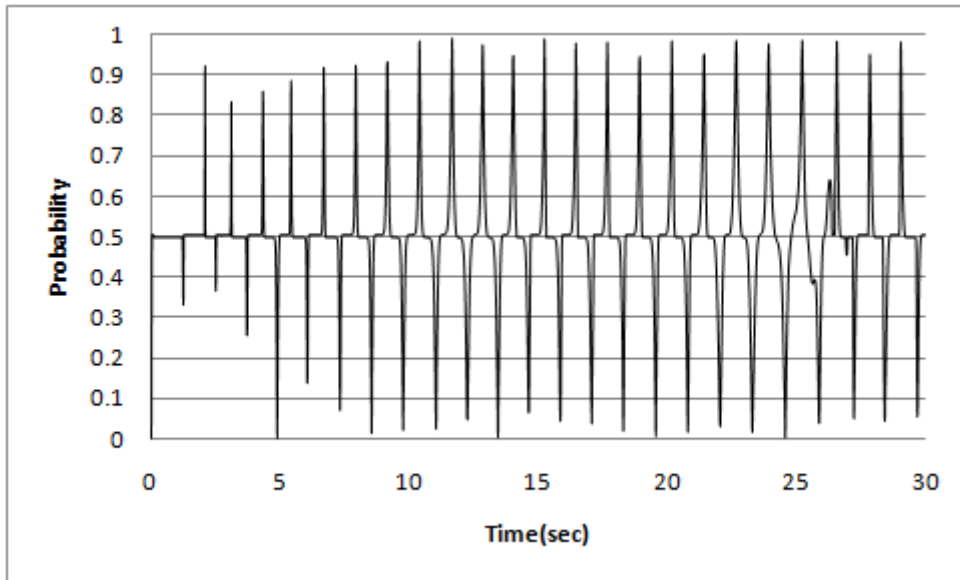
مقدار بیشینه انحراف معیار برای سه حالت تحلیل (جدول 5-11) در جدول 5-16 نشان داده شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار 65 درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی‌ها مقدار بیشینه انحراف معیار 100 درصد افزایش می‌یابد.

جدول 5-16 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی

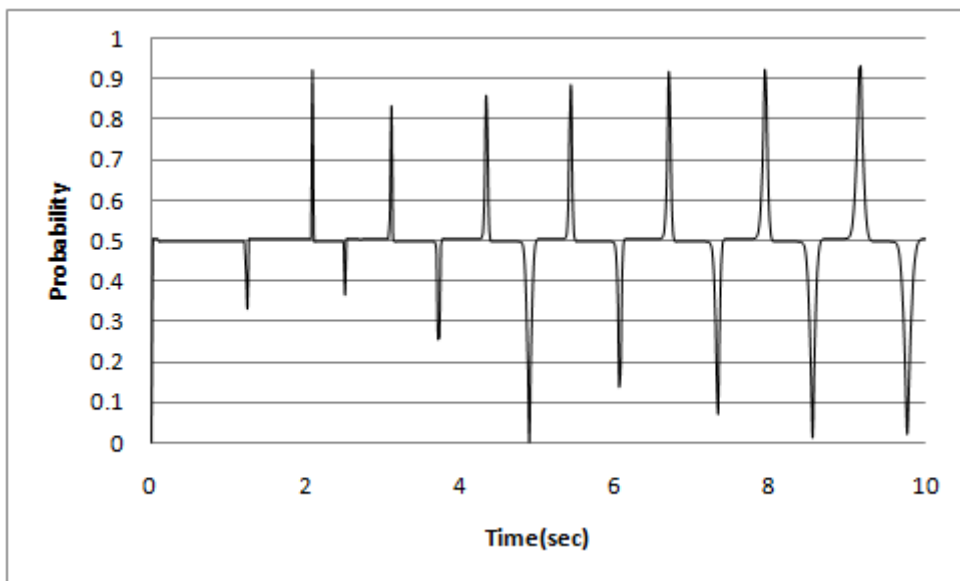
حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	بیشینه انحراف معیار (mm)
	جرم	ضریب پراکندگی	
Case 1	0.04	1	30.08
Case 2	0.08	2	49.76
Case 3	0.12	3	60.55

5-3-2-3- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

شکل‌های 5-43 و 5-44 نمودار احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی در حالت اول با ضریب پراکندگی داده شده در جدول 5-11 را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌گردد امکان افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی در هر گام زمانی نسبت به پاسخ قطعی سازه ممکن است به 99 درصد نیز برسد.



شکل 5-43 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1



شکل 5-44 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی

حالت 1

درصد گام‌های زمانی که احتمال افزایش پاسخ قطعی از پاسخ غیرقطعی در محدوده‌های مشخصی قرار دارد برای سه حالت متفاوت ضریب پراکندگی (جدول 5-11) در جدول 5-17 نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که تقریباً در اکثر گام‌های زمانی احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در

محدوده 25 تا 50 و 50 تا 75 درصد قرار دارد. با افزایش ضریب پراکندگی این مقدار در محدوده‌های میانی کاهش یافته و در محدوده‌های اطراف بیشتر شده است.

جدول 5-17 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی

محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	2.14	4.07	5.4
$0.10 < P < 0.25$	4.2	7.53	10
$0.25 < P < 0.50$	44.73	39.27	36
$0.50 < P < 0.75$	42.66	38.13	33.74
$0.75 < P < 0.90$	4.27	7.07	9.6
$0.90 < P < 1.00$	2	3.93	5.26

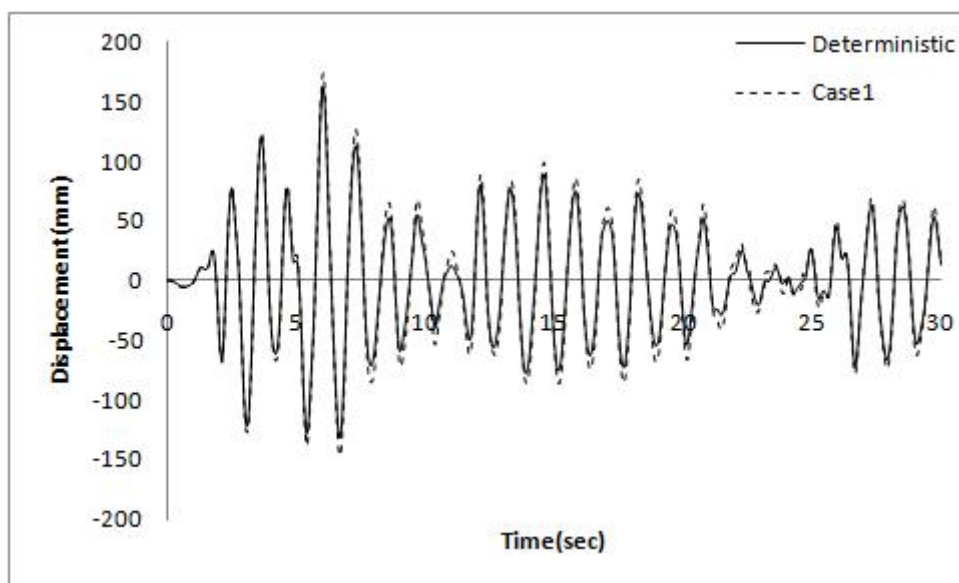
5-3-3- تحلیل در حالت نسبت میرایی غیرقطعی

در حالت سوم پارامتر نسبت میرایی به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به جدول (5-11) تحلیل با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای نسبت میرایی انجام می‌گیرد و تاثیر آن روی تغییر مکان بام سازه پنج درجه آزادی بررسی می‌گردد.

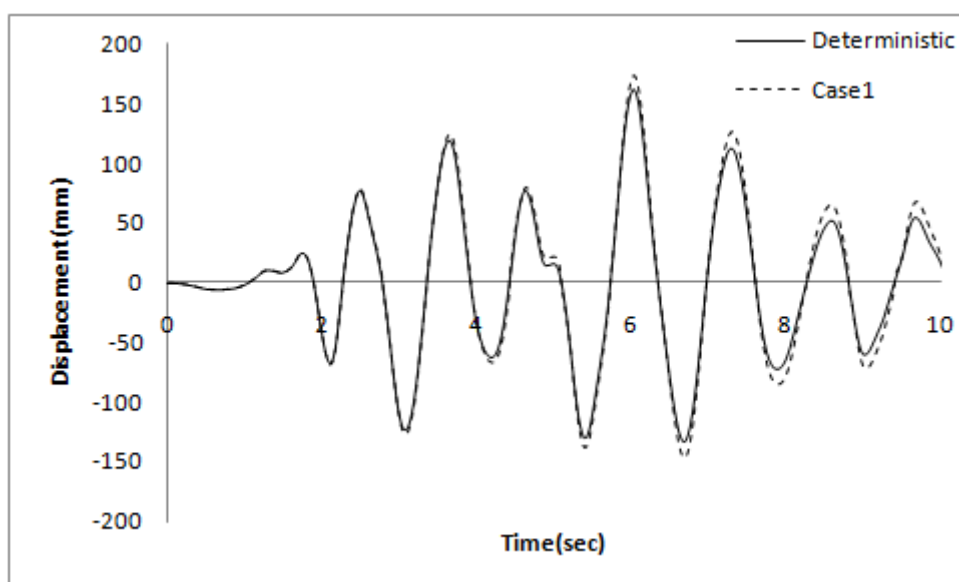
5-3-3-1- پاسخ سازه

تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای نسبت میرایی انجام می‌گیرد. میانگین متغیر تصادفی نسبت میرایی برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. گام زمانی تحلیل دینامیکی 0/02 ثانیه و سازه در 30 ثانیه نخست زلزله السنترو تحلیل می‌شود. پاسخ سازه در تحلیل قطعی در شکل 5-28 رسم شده است. مقدار بیشینه پاسخ قطعی سازه در زمان 6/04 ثانیه و به مقدار 159 میلی‌متر اتفاق می‌افتد. مقدار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت اول که با در نظر گرفتن ضریب پراکندگی 0/05 برای نسبت میرایی به دست می‌آید در شکل‌های 5-45 و 5-46 با پاسخ قطعی سازه

مقایسه شده است. با توجه به شکل 5-46 بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی در زمان 6/04 ثانیه و برابر 174 میلیمتر اتفاق می افتد.



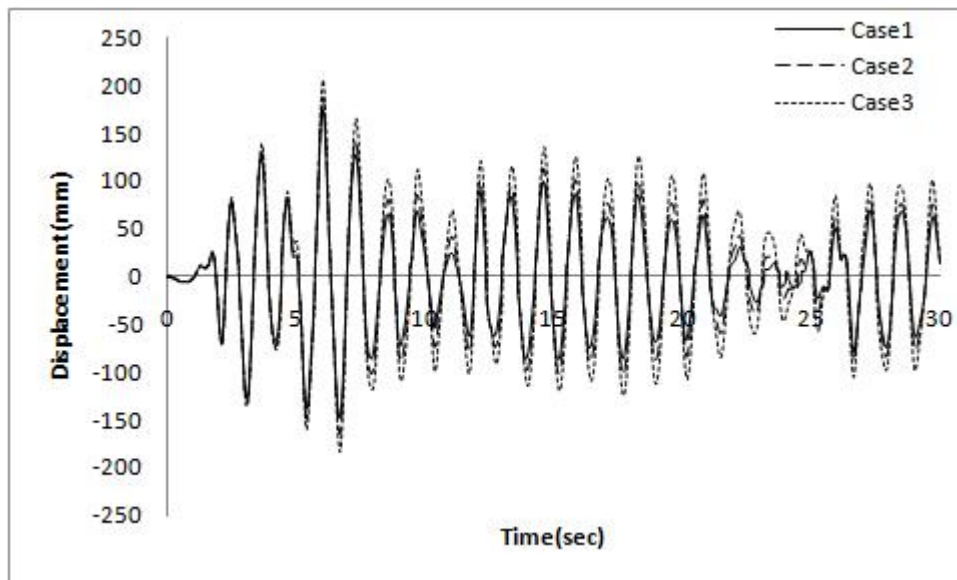
شکل 5-45 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1



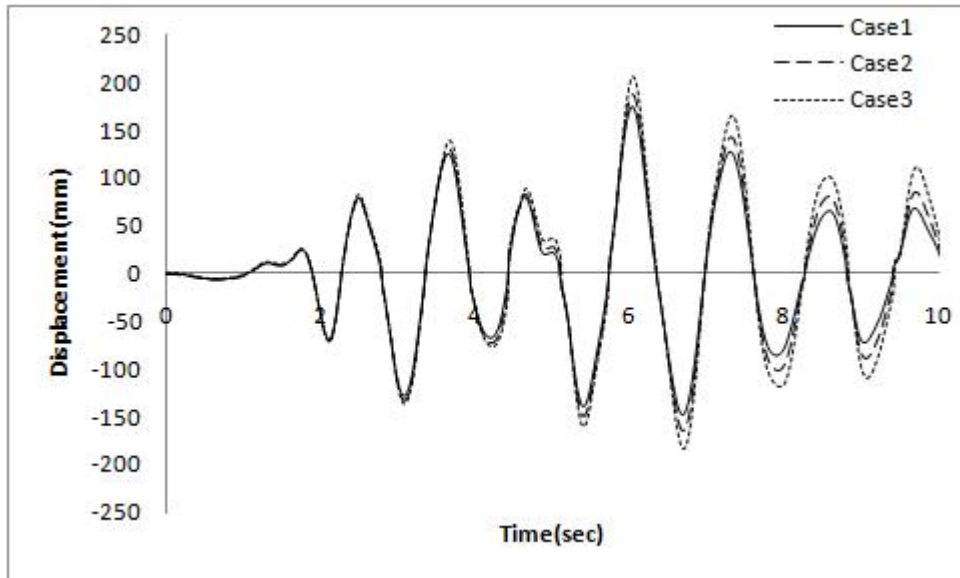
شکل 5-46 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

نمودار میانگین پاسخ غیرقطعی حالت دوم با ضریب پراکندگی 0/10 برای نسبت میرایی در شکل‌های پ45 و پ46 و برای حالت سوم با ضریب پراکندگی 0/15 در شکل‌های پ47 و پ48 رسم شده است. در حالت دوم مقدار بیشینه مطلق پاسخ در زمان 6/04 ثانیه و برابر 188 میلی‌متر اتفاق می‌افتد. بیشینه مطلق پاسخ سازه در حالت سوم برابر 209 میلی‌متر بوده که در زمان 6/04 ثانیه رخ می‌دهد.

شکل‌های 47-5 و 48-5 و جدول 5-18 میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (نسبت میرایی غیرقطعی) در سه حالت (جدول 5-11) را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود با افزایش ضریب پراکندگی، میانگین پاسخ‌های غیرقطعی نیز افزایش می‌یابند. نتایج جدول 5-15 نشان می‌دهد که با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر، مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی سازه به ترتیب 6/43، 18/23 و 31/44 درصد افزایش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این مقادیر از دو حالت قبل بیشتر می‌باشند.



شکل 47-5 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های مختلف



شکل 5-48 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

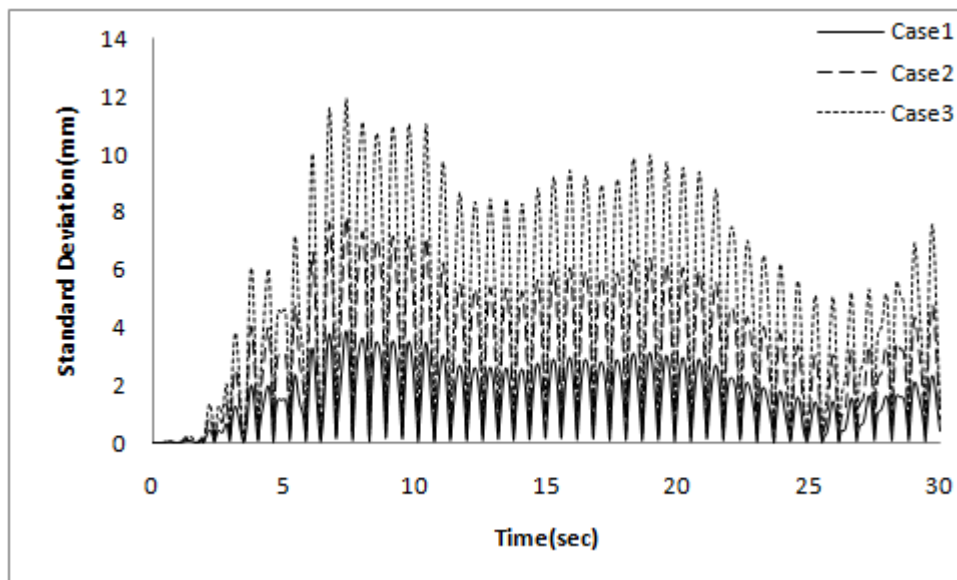
جدول 5-18 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

حالت	ضریب پراکندگی		بیشینه پاسخ (mm)	درصد افزایش مقدار بیشینه پاسخ
	نسبت میرایی			
قطعی	-		159	-
غیرقطعی	Case 1	0.05	174	6.43
	Case 2	0.10	188	18.23
	Case 3	0.15	209	31.44

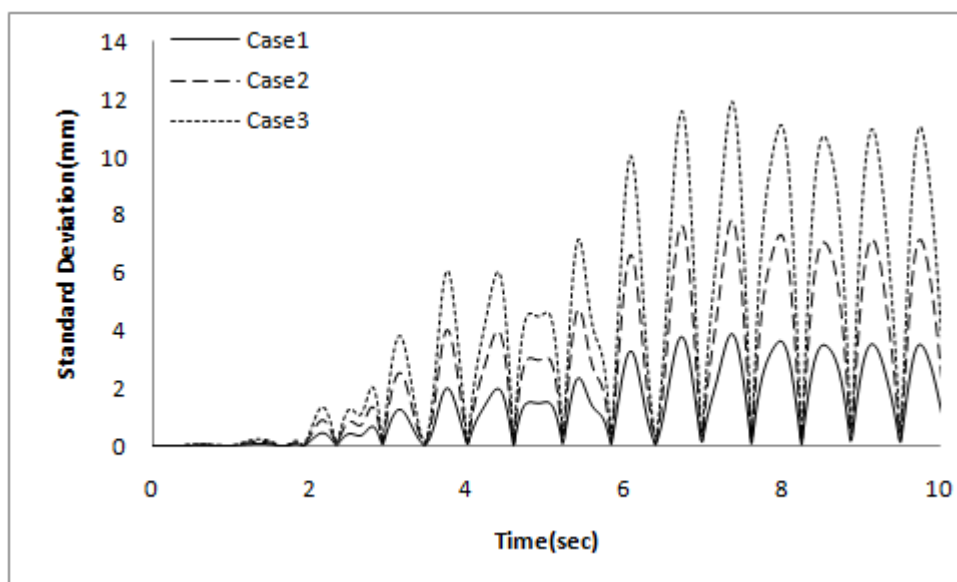
5-3-3-2- انحراف معیار پاسخ سازه

نمودار انحراف معیار پاسخ سازه در شکل‌های 5-49 و 5-50 رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار انحراف معیار در ابتدا ناچیز است و از ثانیه 3 تا ثانیه 7 افزایش یافته و پس از ثانیه 7 مقدار آن کاهش می‌یابد. در مقایسه با حالات سختی و جرم غیرقطعی، انحراف معیار پاسخ

سازه در این حالت کمتر از دو حالت قبل می‌باشد. با مقایسه نمودار انحراف معیار در حالات مختلف ملاحظه می‌گردد با افزایش ضریب پراکندگی متغیر تصادفی، انحراف معیار پاسخ سازه افزایش می‌یابد.



شکل 5-49 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی



شکل 5-50 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی

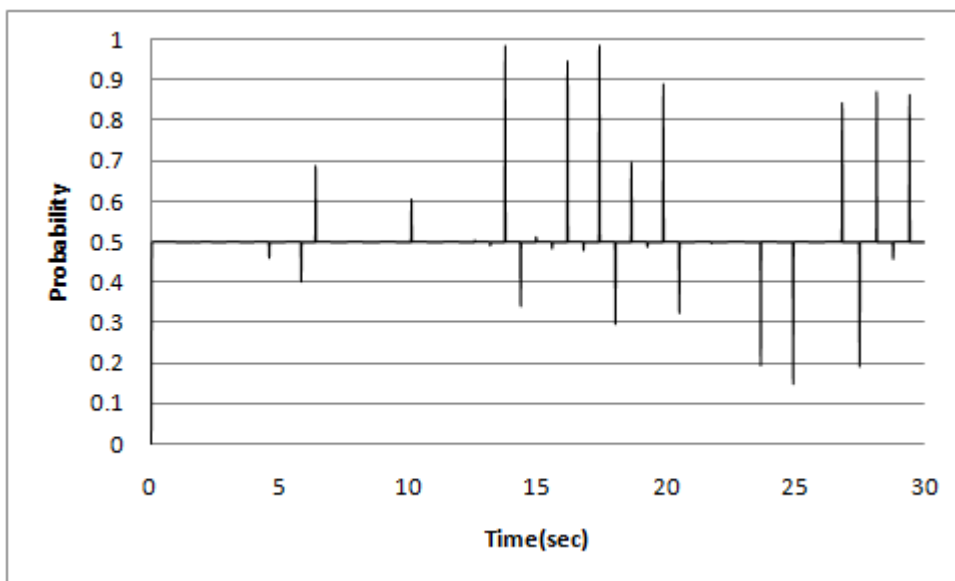
مقدار بیشینه انحراف معیار برای سه حالت تحلیل (جدول 5-11) در جدول 5-19 نشان داده شده است. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با افزایش ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

جدول 5-19 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی

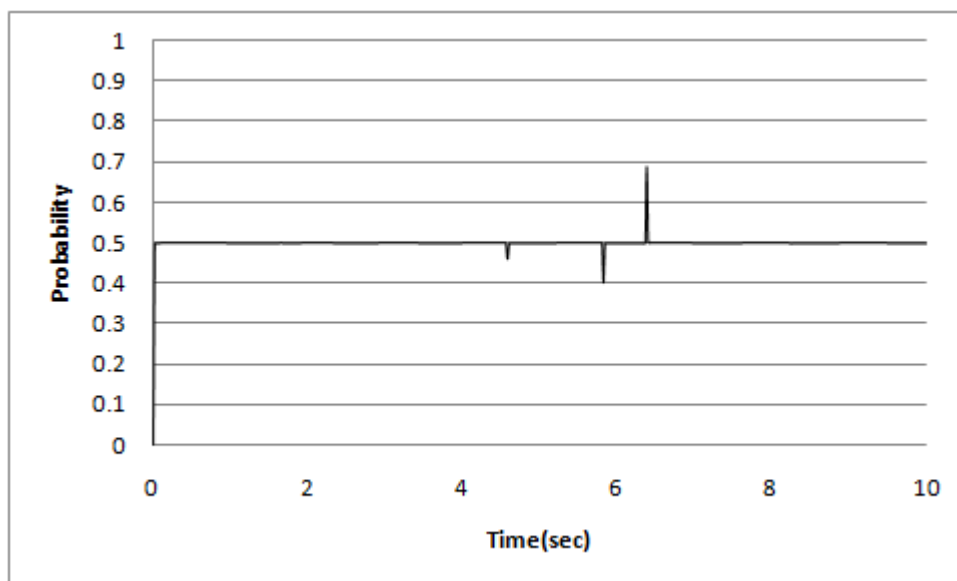
حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	بیشینه انحراف معیار (mm)
	نسبت میرایی	ضریب پراکندگی	
Case 1	0.05	1	3.89
Case 2	0.10	2	7.84
Case 3	0.15	3	11.91

5-3-3-3-3-5- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

شکل‌های 5-51 و 5-52 نمودار احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی در حالت اول با ضریب پراکندگی داده شده در جدول 5-11 را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌گردد امکان افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی در هر گام زمانی نسبت به پاسخ قطعی سازه در گام‌های زمانی اندکی ممکن است به 99 درصد نیز برسد و در اکثر گام‌های زمانی این مقدار 50 درصد می‌باشد.



شکل 5-51 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 1



شکل 5-52 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی

حالت 1

درصد گام‌های زمانی که احتمال افزایش پاسخ قطعی از پاسخ غیرقطعی در محدوده‌های مشخصی قرار دارد برای سه حالت متفاوت ضریب پراکندگی (جدول 5-11) در جدول 5-20 نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که تقریباً در اکثر گام‌های زمانی احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده 25 تا 50 و 50 تا 75 درصد قرار دارد و در محدوده‌های دیگر این مقادیر ناچیز می‌باشد.

جدول 5-20 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی

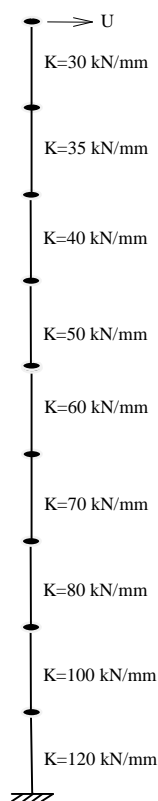
محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	0	0.07	0.14
$0.10 < P < 0.25$	0.2	0.4	0.53
$0.25 < P < 0.50$	50.47	49.6	49.2
$0.50 < P < 0.75$	48.87	49.26	49.46
$0.75 < P < 0.90$	0.26	0.21	0.21
$0.90 < P < 1.00$	0.2	0.46	0.46

4-5- سازه نه درجه آزادی

جهت بررسی اثر عدم قطعیت در سازه‌ی با تعداد درجات آزادی زیاد، سازه 9 درجه آزادی شکل 5-53 با مشخصات داده شده در جدول 5-21 تحلیل احتمالاتی می‌گردد. پاسخ سازه، تغییر مکان بام در نظر گرفته می‌شود و اثر عدم قطعیت‌ها روی این عامل بررسی می‌گردد. این تحلیل در سه حالت سختی غیرقطعی، جرم غیرقطعی و میرایی غیرقطعی با سه ضریب پراکندگی متفاوت برای هر متغیر مطابق جدول 5-21 انجام می‌شود. پاسخ سازه، تغییر مکان بام در نظر گرفته می‌شود و اثر عدم قطعیت‌ها روی این عامل بررسی می‌گردد. تعداد شبیه‌سازی‌ها در این تحلیل 10000 بار در نظر گرفته می‌شود.

جدول 5-21 مشخصات سازه نه درجه آزادی

پارامتر	نماد	نوع توزیع	ضریب پراکندگی			میانگین	واحد
			Case 1	Case 2	Case 3		
ارتفاع طبقات	h	Deterministic	-	-	-	3200	mm
سختی طبقه اول	K_1	Lognormal	0.03	0.06	0.09	120	kN/mm
سختی طبقه دوم	K_2	Lognormal	0.03	0.06	0.09	100	kN/mm
سختی طبقه سوم	K_3	Lognormal	0.03	0.06	0.09	80	kN/mm
سختی طبقه چهارم	K_4	Lognormal	0.03	0.06	0.09	70	kN/mm
سختی طبقه پنجم	K_5	Lognormal	0.03	0.06	0.09	60	kN/mm
سختی طبقه ششم	K_6	Lognormal	0.03	0.06	0.09	50	kN/mm
سختی طبقه هفتم	K_7	Lognormal	0.03	0.06	0.09	40	kN/mm
سختی طبقه هشتم	K_8	Lognormal	0.03	0.06	0.09	35	kN/mm
سختی طبقه نهم	K_9	Lognormal	0.03	0.06	0.09	30	kN/mm
جرم طبقات	m	Normal	0.04	0.08	0.12	150000	kg
نسبت میرایی	ζ	Normal	0.05	0.10	0.15	0.05	-



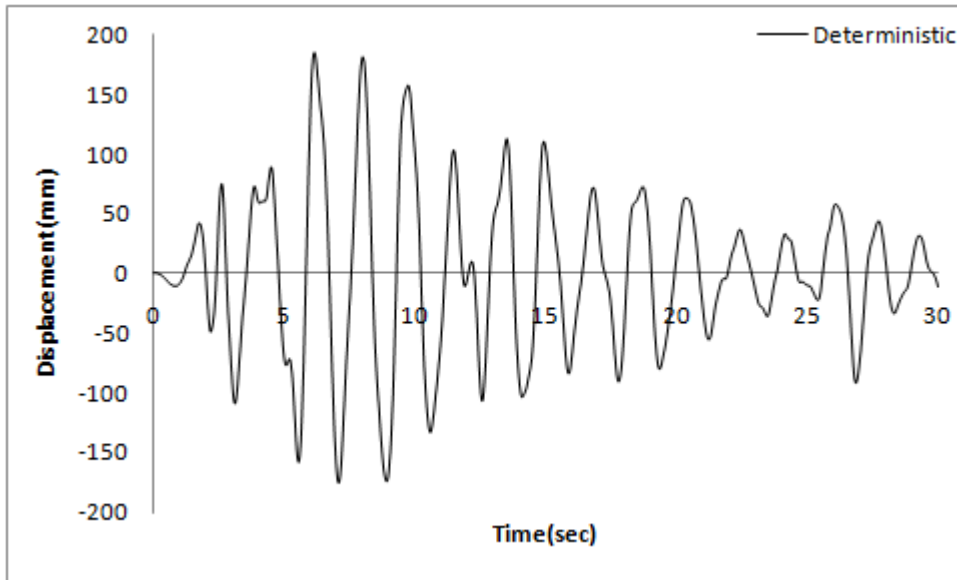
شکل 5-53 سازه نه درجه آزادی

5-4-1- تحلیل در حالت سختی غیرقطعی

ابتدا پارامتر سختی به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود و اثر غیرقطعی بودن این عامل روی تغییر مکان بام سازه نه درجه آزادی بررسی می‌گردد.

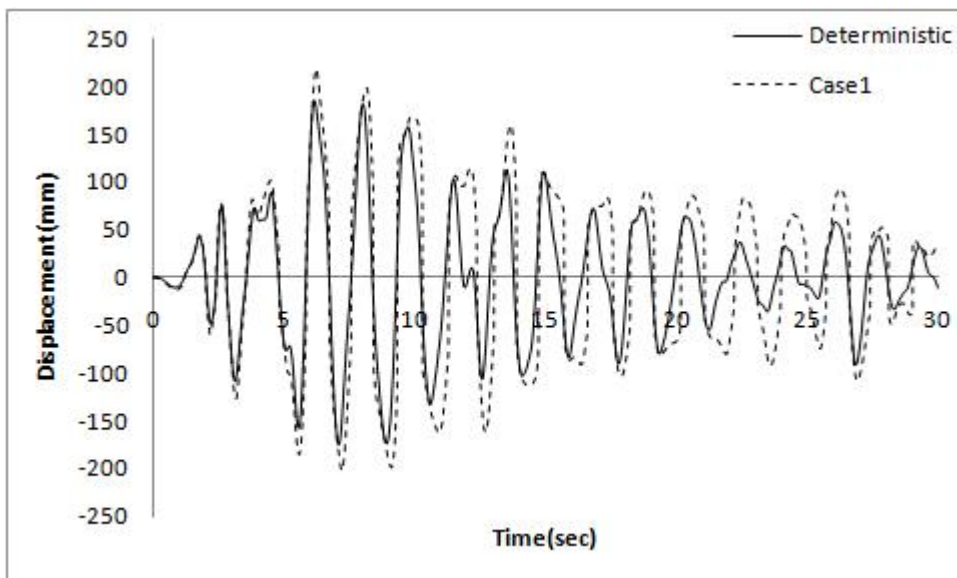
5-4-1-1- پاسخ سازه

تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای سختی انجام می‌گیرد. میانگین متغیر تصادفی سختی برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. پاسخ قطعی سازه در شکل 5-54 نشان داده شده است. مقدار بیشینه پاسخ 185 میلیمتر می‌باشد که در گام زمانی 6/16 ثانیه اتفاق افتاده است

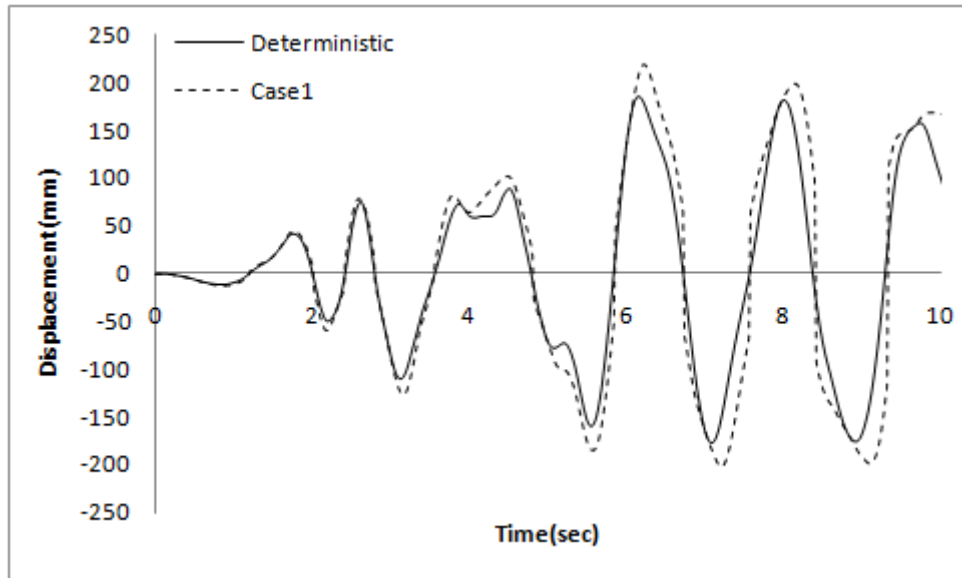


شکل 5-54 نمودار پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت قطعی

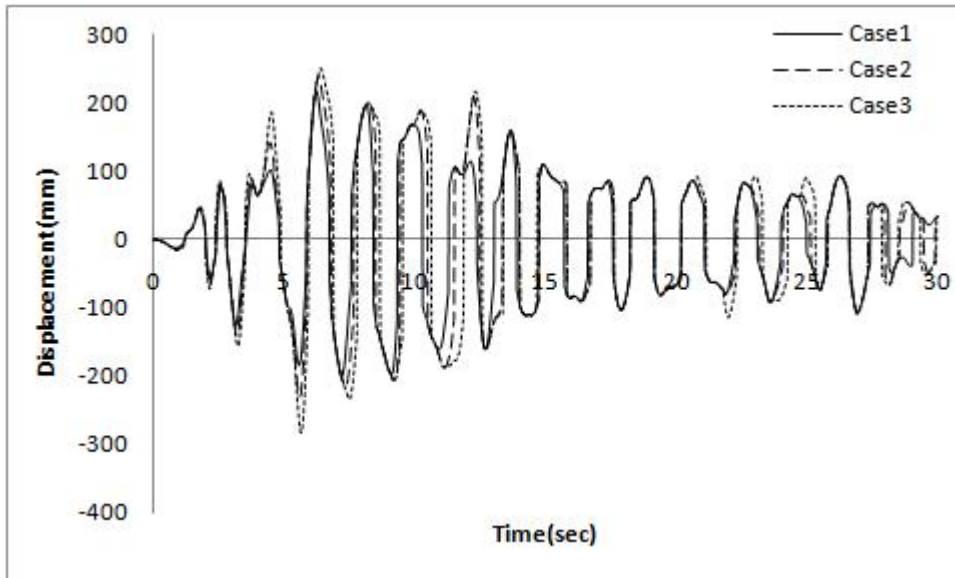
میانگین پاسخ غیرقطعی در حالت اول (ضریب پراکندگی 0/03 برای سختی) در شکل‌های 55-5 و 56-5 با پاسخ قطعی مقایسه شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌گردد مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی در زمان 6/22 ثانیه برابر 219 میلیمتر رخ می‌دهد.



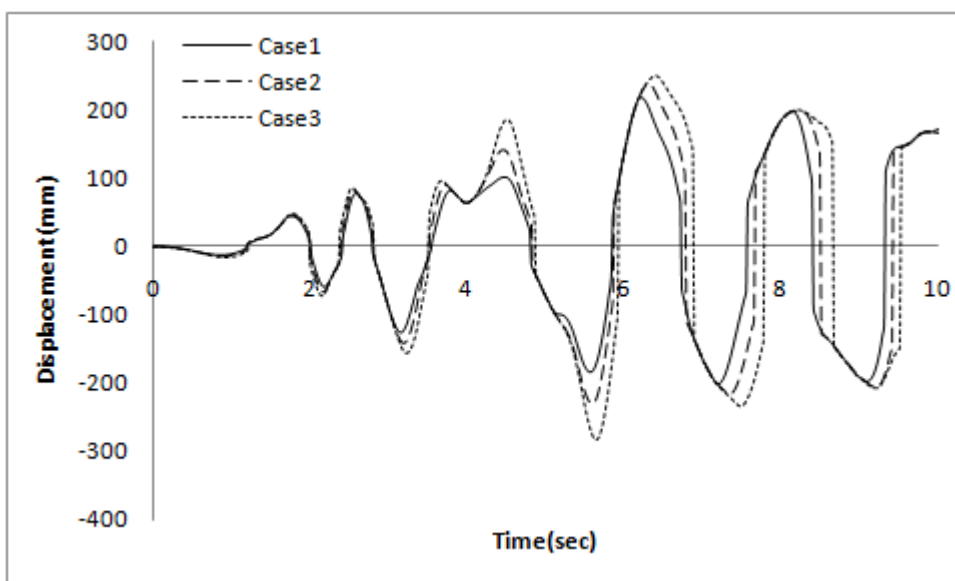
شکل 5-55 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1



شکل 5-56 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1 نمودارهای میانگین پاسخ غیرقطعی و پاسخ قطعی سازه در حالت‌های دوم و سوم با ضریب پراکندگی‌های داده شده در جدول 5-21 در پیوست موجود می‌باشند. مطابق این شکل‌ها بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی در حالت دوم برابر 240 میلی‌متر و در حالت سوم برابر 282 میلی‌متر می‌باشد. شکل‌های 5-57 و 5-58 و جدول 5-22 میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (سختی غیرقطعی) در سه حالت (جدول 5-21) را نشان می‌دهند. طبق این نمودارها در سازه نه درجه آزادی خطی با افزایش ضریب پراکندگی متغیرهای تصادفی میانگین پاسخ‌های غیرقطعی نیز افزایش می‌یابند. نتایج جدول 5-22 نشان می‌دهند که در حالت اول بیشینه مطلق پاسخ سازه نسبت به بیشینه پاسخ قطعی 18/37 درصد، با دو برابر شدن ضریب پراکندگی 29/73 درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی 52/43 درصد افزایش می‌یابد.



شکل 5-57 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در حالت‌های مختلف



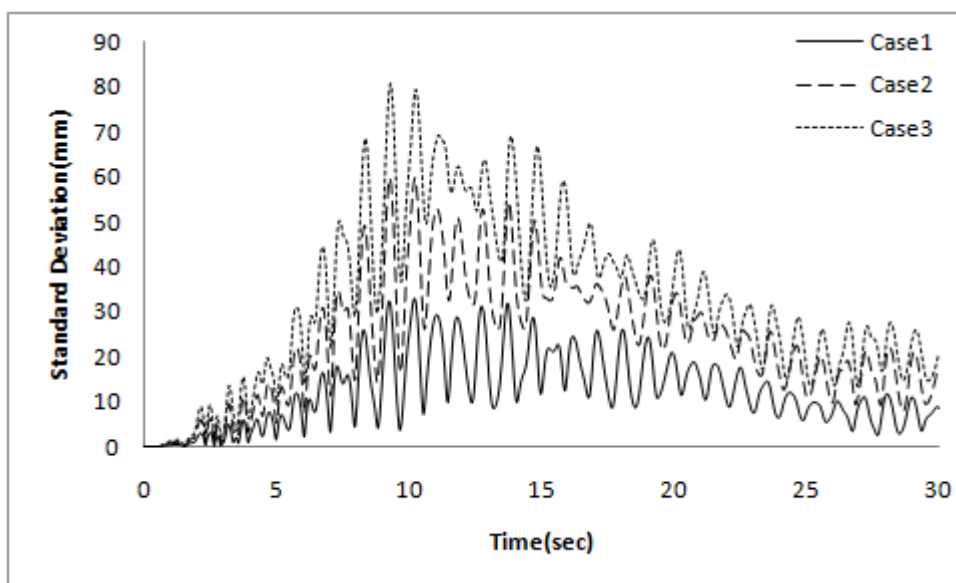
شکل 5-58 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

جدول 22-5 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

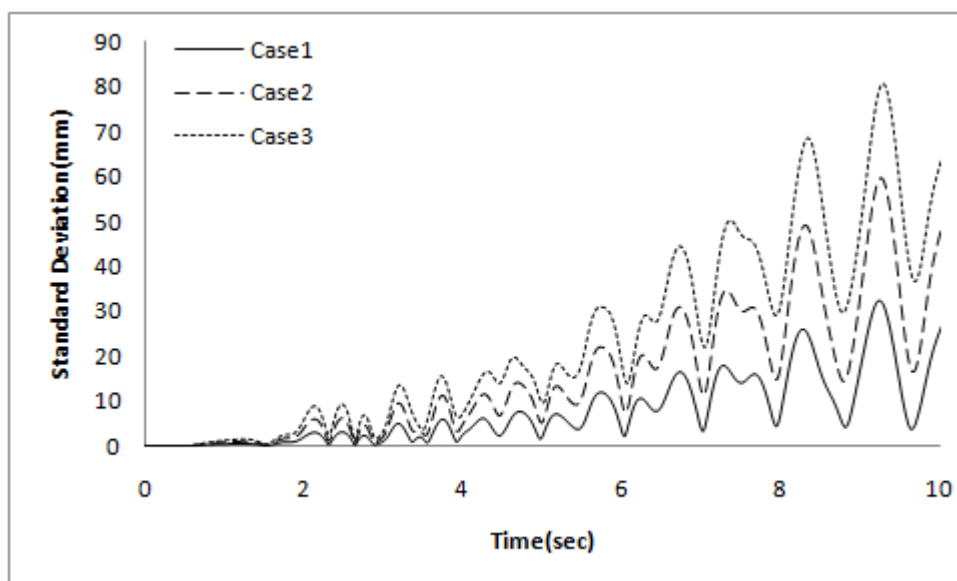
حالت	ضریب پراکندگی	بیشینه پاسخ (mm)	درصد افزایش	
	سختی		مقدار بیشینه پاسخ	
قطعی	-	185	-	
تصادفی	Case 1	0.03	219	18.37
	Case 2	0.06	240	29.73
	Case 3	0.09	282	52.43

5-4-1-2- انحراف معیار پاسخ سازه

انحراف معیار پاسخ سازه در سه حالت مختلف ضریب پراکندگی (جدول 5-21) در شکل 5-59 با یکدیگر مقایسه شده است. مقدار انحراف معیار در 10 ثانیه نخست به تدریج افزایش می‌یابد و بعد از 10 ثانیه روند آن کاهش می‌شود. با مقایسه نمودارها مشخص است که با افزایش ضریب پراکندگی متغیر تصادفی انحراف معیار پاسخ سازه افزایش می‌یابد.



شکل 59-5 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت سختی غیرقطعی



شکل 5-60 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت سختی غیرقطعی

جدول 5-23 مقادیر بیشینه انحراف معیار را برای سه حالت تحلیل نشان می‌دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار 80 درصد افزایش می‌یابد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار $2/5$ برابر می‌شود.

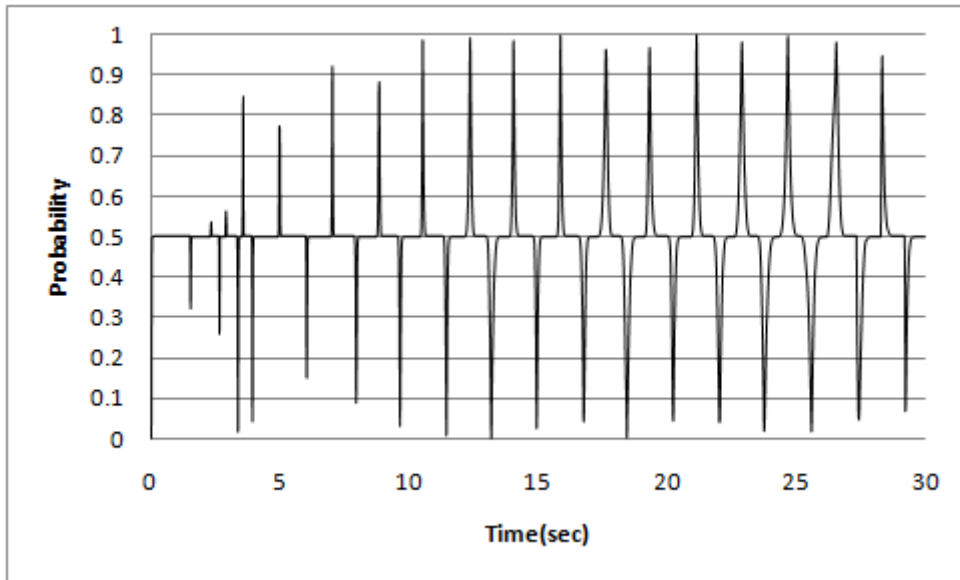
جدول 5-23 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی

حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	بیشینه انحراف معیار (mm)
	سختی	ضریب پراکندگی	
Case 1	0.03	1	33.03
Case 2	0.06	2	59.70
Case 3	0.09	3	80.63

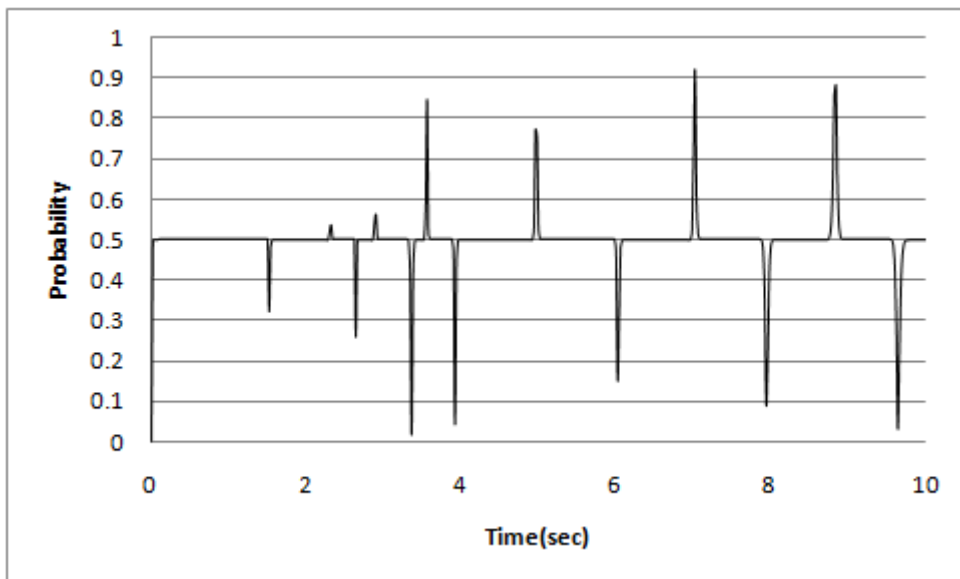
5-4-1-3- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

شکل‌های 5-61 و 5-62 نمودار احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی در حالت

اول با ضریب پراکندگی 0/03 برای سختی سازه را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه در بعضی از گام‌های زمانی به صد در صد نیز می‌رسد.



شکل 5-61 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1



شکل 5-62 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت

جدول 5-24 درصد گام‌های زمانی که احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده‌های مشخصی قرار دارد را برای سه حالت متفاوت ضریب پراکندگی (جدول 5-21) نشان می‌دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که در اکثر گام‌های زمانی احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در دو محدوده میانی یعنی محدوده‌های 25 تا 50 درصد و 50 تا 75 درصد قرار دارد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش ضریب پراکندگی‌های متغیرهای تصادفی از مقادیر محدوده‌های میانی کاسته شده و به مقادیر محدوده‌های اطراف افزوده می‌شود.

جدول 5-24 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی

محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	1.87	2.94	4.07
$0.10 < P < 0.25$	2.6	5.13	7.53
$0.25 < P < 0.50$	44.67	40.67	37.34
$0.50 < P < 0.75$	46.6	43.53	41
$0.75 < P < 0.90$	2.86	5.37	6.33
$0.90 < P < 1.00$	1.4	2.46	3.73

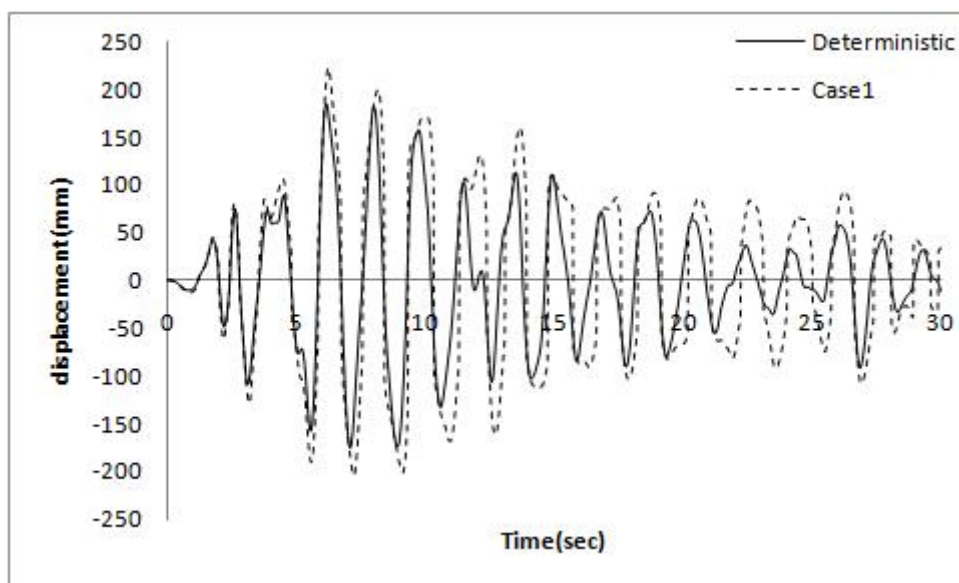
5-4-2- تحلیل در حالت جرم غیرقطعی

در دومین حالت متغیر جرم به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود و اثر غیرقطعی بودن این عامل روی تغییر مکان بام سازه نه درجه آزادی بررسی می‌گردد.

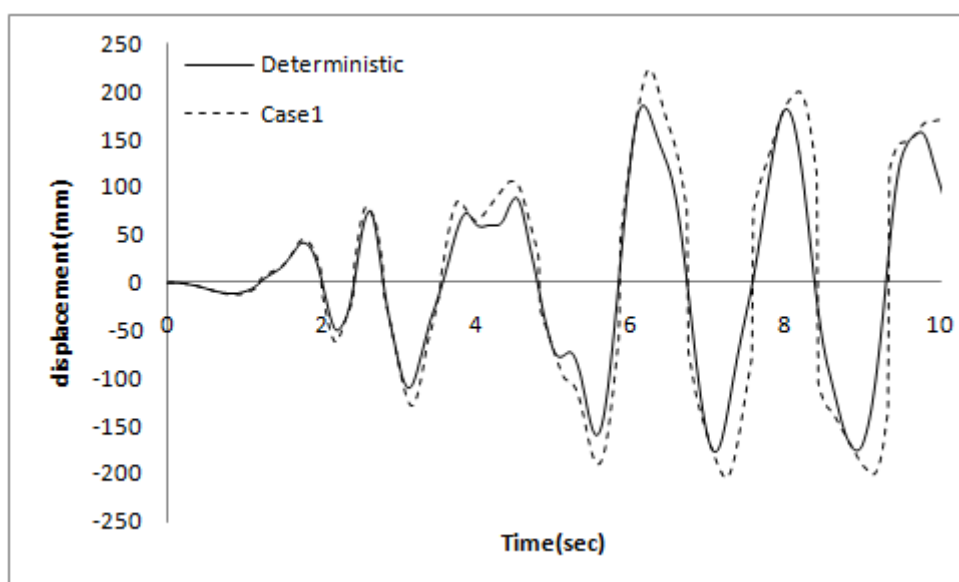
5-4-2-1- پاسخ سازه

تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای جرم انجام می‌گیرد. میانگین متغیر تصادفی جرم برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. پاسخ قطعی سازه در شکل 5-54 نشان داده شده است. مقدار بیشینه پاسخ 185 میلیمتر می‌باشد که در گام زمانی 6/16 ثانیه اتفاق افتاده

است. میانگین پاسخ غیرقطعی در حالت اول (ضریب پراکندگی 0/04 برای جرم) در شکل‌های 5-63 و 5-64 با پاسخ قطعی مقایسه شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌گردد مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی در زمان 6/24 ثانیه برابر 222 میلیمتر رخ می‌دهد.

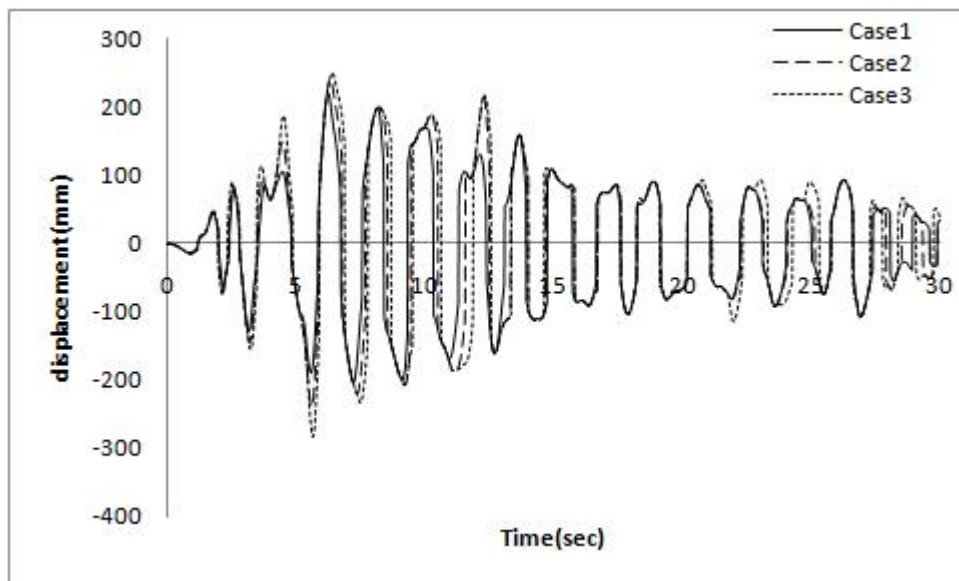


شکل 5-63 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1

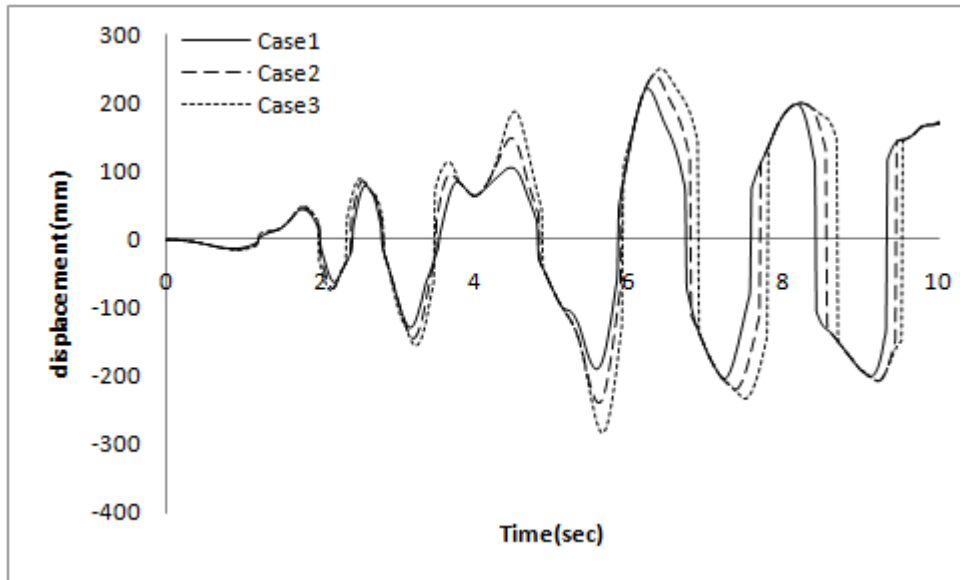


شکل 5-64 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

نمودارهای میانگین پاسخ غیرقطعی و پاسخ قطعی سازه در حالت‌های دوم و سوم با ضریب پراکندگی‌های داده شده در جدول 5-21 در پیوست موجود می‌باشند. مطابق این شکل‌ها میانگین مطلق پاسخ غیرقطعی در حالت دوم برابر 242 میلیمتر و در حالت سوم برابر 283 میلیمتر می‌باشد. شکل‌های 5-65 و 5-66 و جدول 5-25 میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (جرم غیرقطعی) در سه حالت (جدول 5-21) را نشان می‌دهند. طبق این نمودارها در سازه نه درجه آزادی خطی با افزایش ضریب پراکندگی متغیرهای تصادفی میانگین پاسخ‌های غیرقطعی نیز افزایش می‌یابند. نتایج جدول 5-25 نشان می‌دهند که در حالت اول بیشینه مطلق پاسخ سازه نسبت به بیشینه پاسخ قطعی 20 درصد، با دو برابر شدن ضریب پراکندگی $30/81$ درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی 53 درصد افزایش می‌یابد.



شکل 5-65 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در حالت‌های مختلف



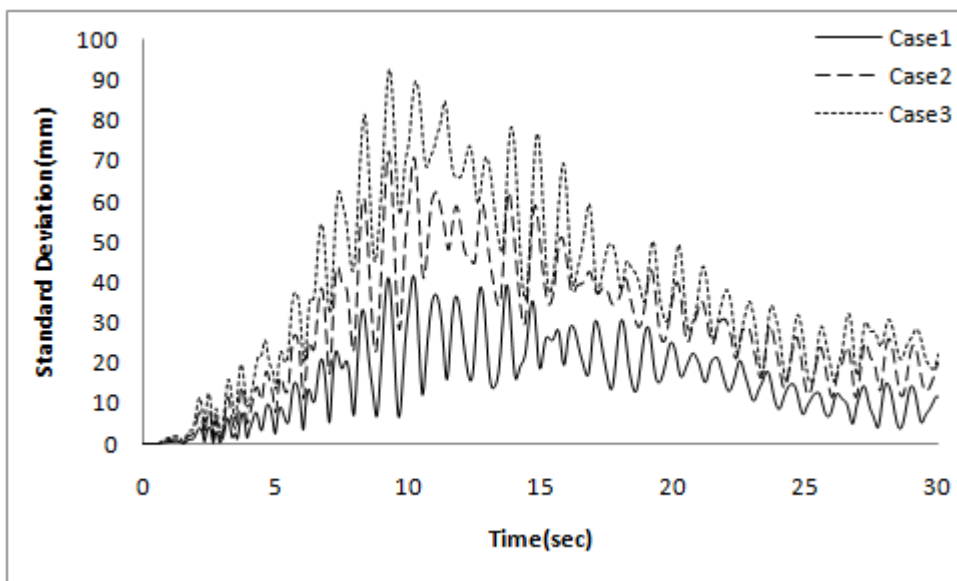
شکل 5-66 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

جدول 5-25 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

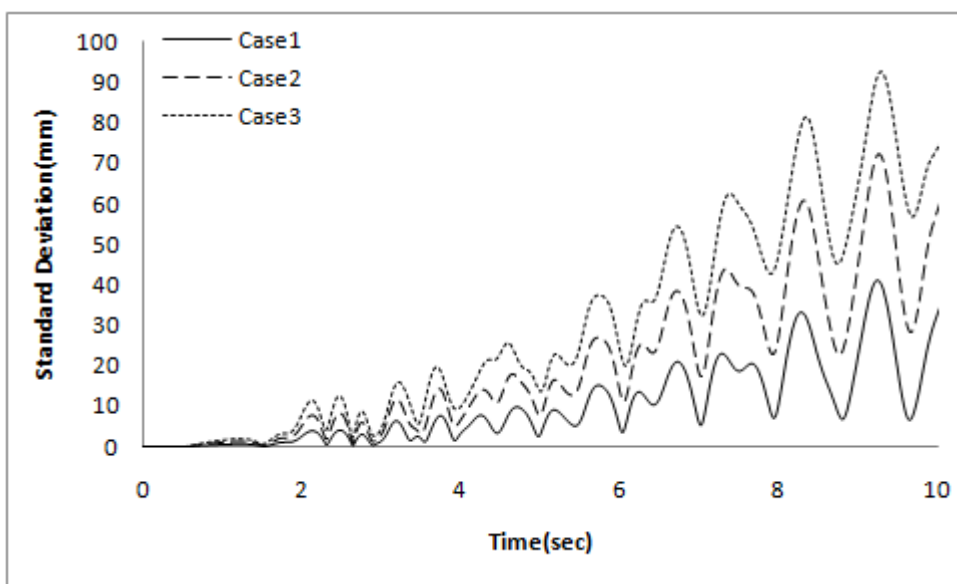
حالت	ضریب پراکندگی	بیشینه پاسخ (mm)	درصد افزایش مقدار بیشینه پاسخ	
	جرم			
قطعی	-	185	-	
غیرقطعی	Case 1	0.04	222	20
	Case 2	0.08	242	30.81
	Case 3	0.12	283	53

5-4-2-2-4-5-2 انحراف معیار پاسخ سازه

انحراف معیار پاسخ سازه در سه حالت مختلف ضریب پراکندگی (جدول 5-21) در شکل 5-67 با یکدیگر مقایسه شده است. مقدار انحراف معیار در 10 ثانیه نخست که شتاب وارد بر سازه زیاد است، زیاد می‌باشد، اما از ثانیه 10 به بعد روند آن کاهشی می‌شود. با مقایسه نمودارها مشخص است که با افزایش ضریب پراکندگی متغیر تصادفی انحراف معیار پاسخ سازه افزایش می‌یابد.



شکل 5-67 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت جرم غیرقطعی



شکل 5-68 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت جرم غیرقطعی

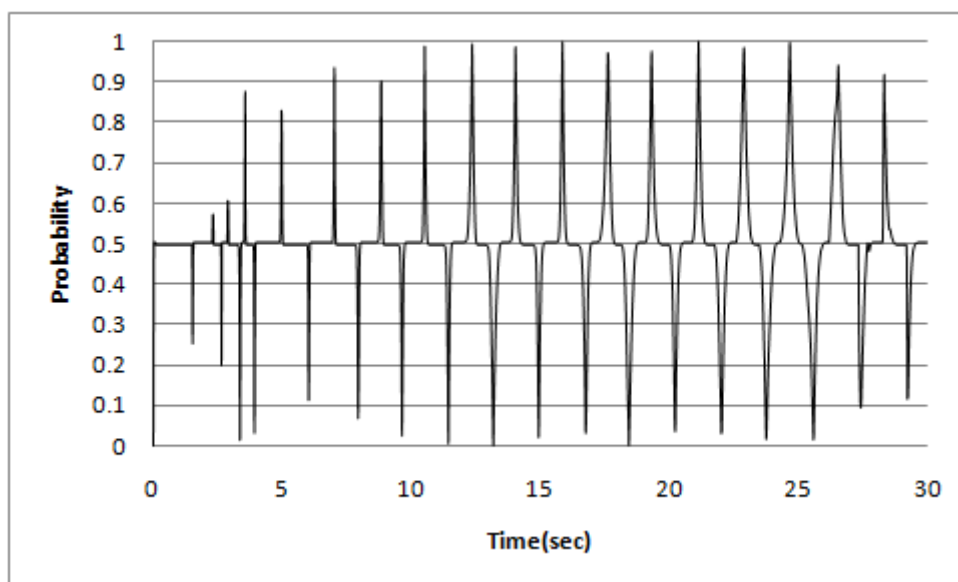
جدول 5-26 مقادیر بیشینه انحراف معیار را برای سه حالت تحلیل نشان می‌دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار 73 درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار بیش از صد درصد افزایش می‌یابد.

جدول 5-26 پیشینه انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی

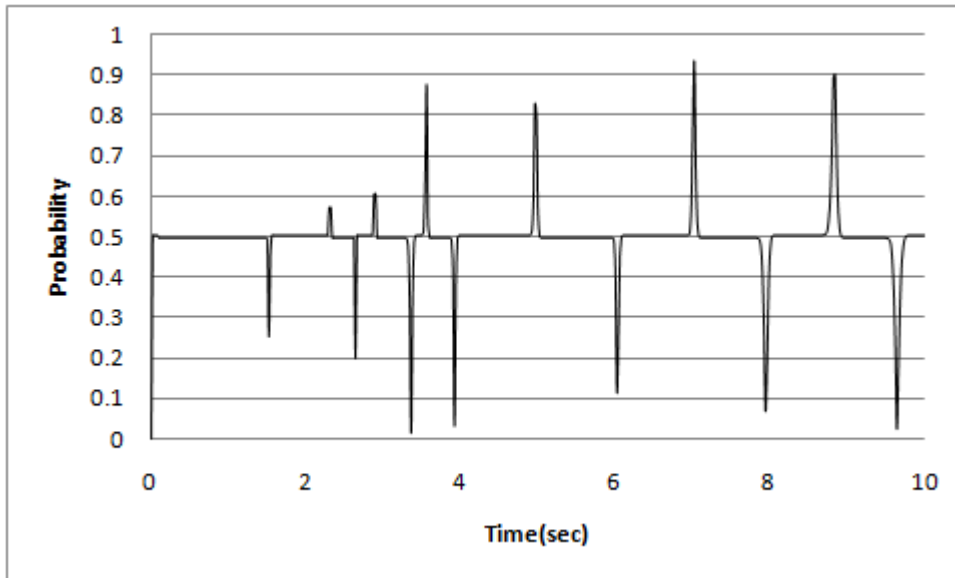
حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	پیشینه انحراف معیار (mm)
	جرم	ضریب پراکندگی	
Case 1	0.04	1	41.81
Case 2	0.08	2	72.34
Case 3	0.10	3	92.52

5-4-2-3- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

شکل‌های 5-69 و 5-70 نمودار احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی در حالت اول با ضریب پراکندگی 0/04 برای جرم سازه را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه در بعضی از گام‌های زمانی به صد در صد نیز می‌رسد.



5-69 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1 شکل



شکل 5-70 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت

1

جدول 5-27 درصد گام‌های زمانی که احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده‌های مشخصی قرار دارد را برای سه حالت متفاوت ضریب پراکندگی (جدول 5-21) نشان می‌دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که در اکثر گام‌های زمانی احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در دو محدوده میانی یعنی محدوده‌های 25 تا 50 درصد و 50 تا 75 درصد قرار دارد. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش ضریب پراکندگی‌های متغیرهای تصادفی از مقادیر محدوده‌های میانی کاسته شده و به مقادیر محدوده‌های اطراف افزوده می‌شود.

جدول 5-27 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی

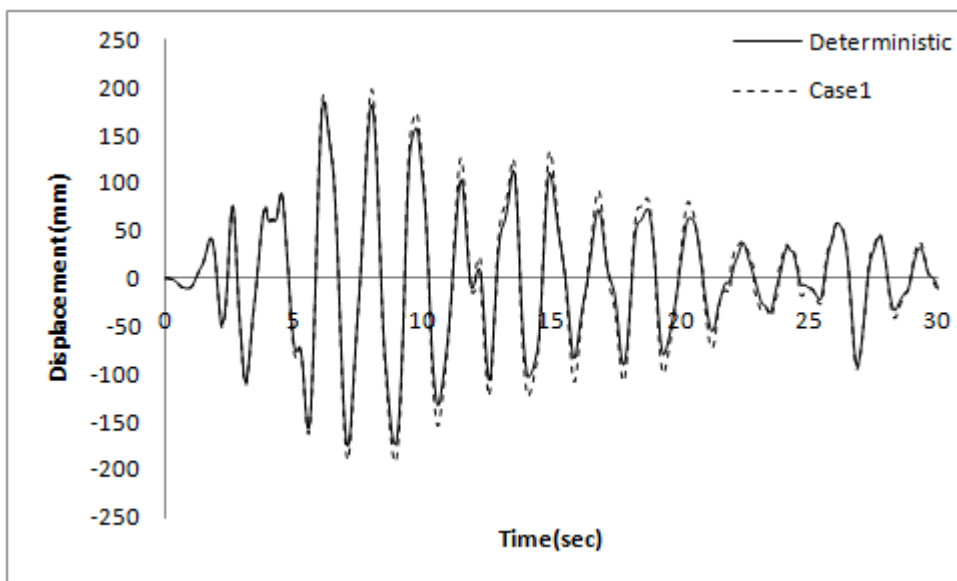
محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	1.94	3.27	4.74
$0.10 < P < 0.25$	3.6	6.87	8.73
$0.25 < P < 0.50$	45.8	41.6	38.4
$0.50 < P < 0.75$	43.26	39	35.87
$0.75 < P < 0.90$	3.74	6.06	8
$0.90 < P < 1.00$	1.66	3.2	4.26

5-4-3- تحلیل در حالت نسبت میرایی غیرقطعی

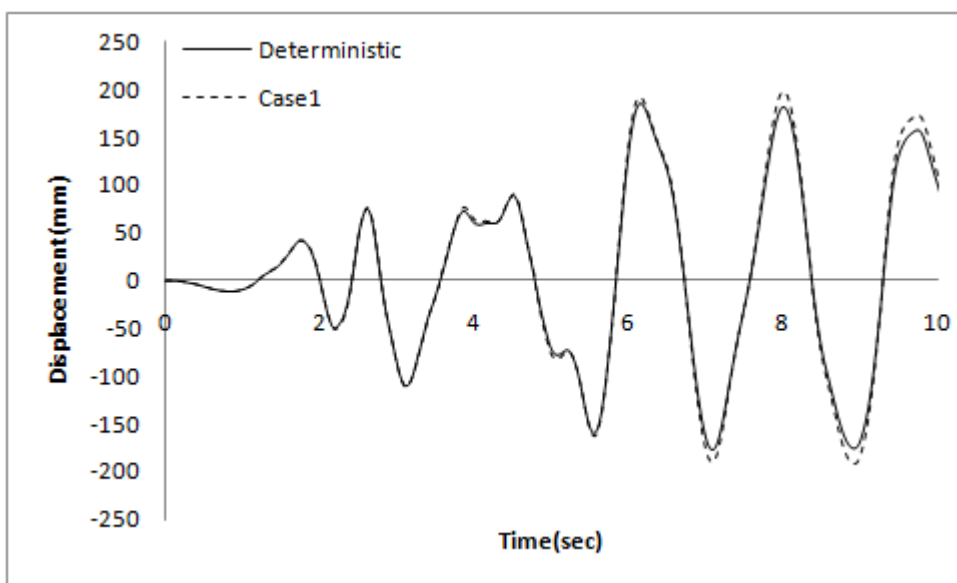
در حالت سوم متغیر نسبت میرایی به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به جدول 5-21 تحلیل با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای نسبت میرایی انجام می‌گیرد و اثر غیرقطعی بودن این عامل روی تغییر مکان بام سازه نه درجه آزادی بررسی می‌گردد.

5-4-3-1- پاسخ سازه

تحلیل در سه حالت با ضریب پراکندگی‌های متفاوت برای نسبت میرایی انجام می‌گیرد. میانگین متغیر تصادفی نسبت میرایی برابر مقدار قطعی متغیر در نظر گرفته می‌شود. پاسخ قطعی سازه در شکل 5-54 نشان داده شده است. مقدار بیشینه پاسخ 185 میلی‌متر می‌باشد که در گام زمانی 6/16 ثانیه اتفاق افتاده است. میانگین پاسخ غیرقطعی در حالت اول (ضریب پراکندگی 0/05 برای نسبت میرایی) در شکل‌های 5-71 و 5-72 با پاسخ قطعی مقایسه شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌گردد مقدار بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی در زمان 8 ثانیه برابر 197 میلی‌متر رخ می‌دهد.



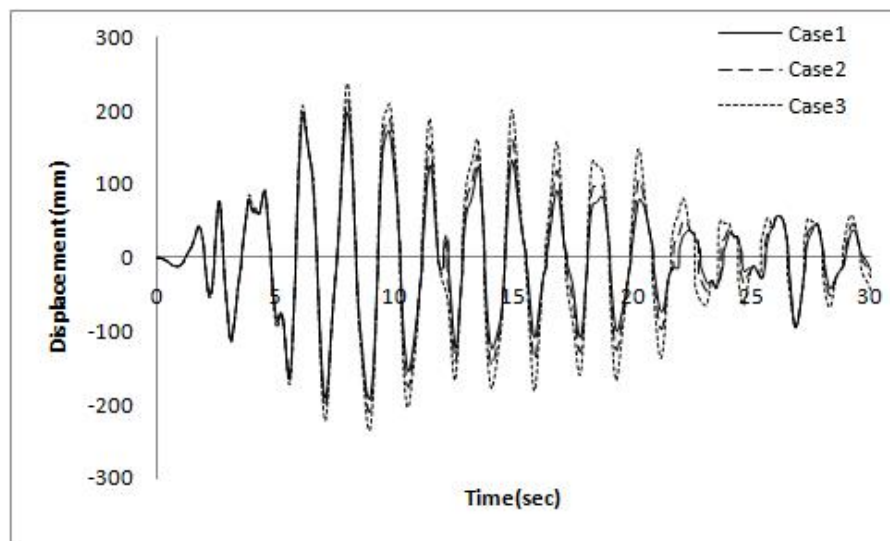
شکل 5-71 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1



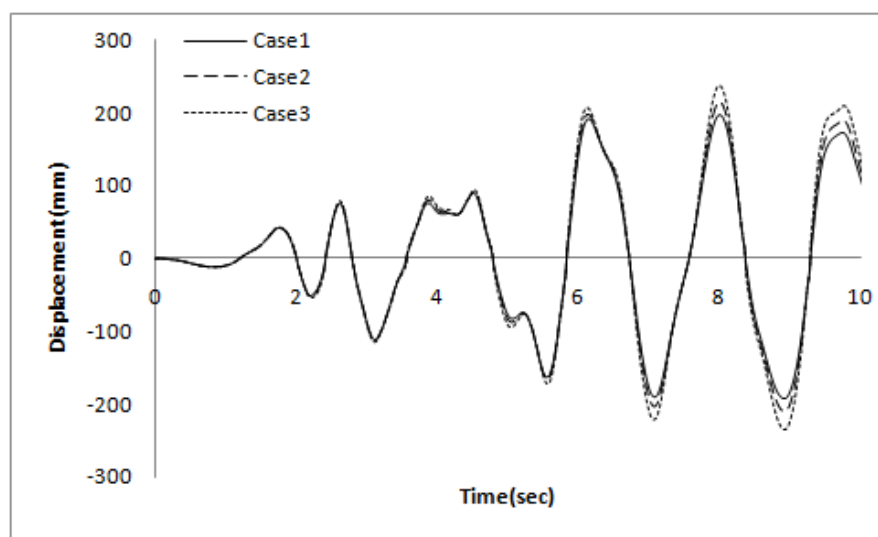
شکل 5-72 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

نمودارهای میانگین پاسخ غیرقطعی و پاسخ قطعی سازه در حالت‌های دوم و سوم با ضریب پراکندگی‌های داده شده در جدول 5-21 به ترتیب در شکل‌های پ 25 و پ 26 و شکل‌های پ 27 و پ 28 رسم شده‌اند. مطابق این شکل‌ها بیشینه مطلق پاسخ غیرقطعی در حالت دوم برابر 216 میلی‌متر و در حالت سوم برابر 238 میلی‌متر می‌باشد.

شکل‌های 73-5 و 74-5 و جدول 28-5 میانگین پاسخ غیرقطعی سازه (نسبت میرایی غیرقطعی) در سه حالت (جدول 21-5) را نشان می‌دهند. طبق این نمودارها در سازه نه درجه آزادی خطی با افزایش ضریب پراکندگی متغیرهای تصادفی میانگین پاسخ‌های غیرقطعی نیز افزایش می‌یابند. نتایج جدول 28-5 نشان می‌دهند که در حالت اول بیشینه مطلق پاسخ سازه نسبت به بیشینه پاسخ قطعی 6/48 درصد، با دو برابر شدن ضریب پراکندگی 16/75 درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی 28/65 درصد افزایش می‌یابد.



شکل 73-5 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در حالت‌های مختلف



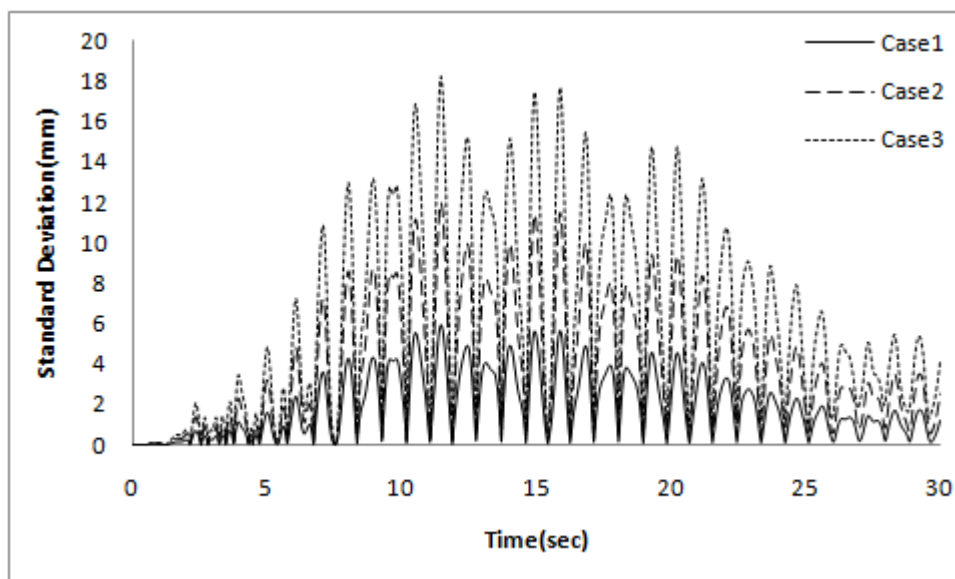
شکل 74-5 نمودار میانگین پاسخ‌های غیرقطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت‌های مختلف

جدول 5-28 مقایسه بیشینه مطلق پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت‌های قطعی و غیرقطعی

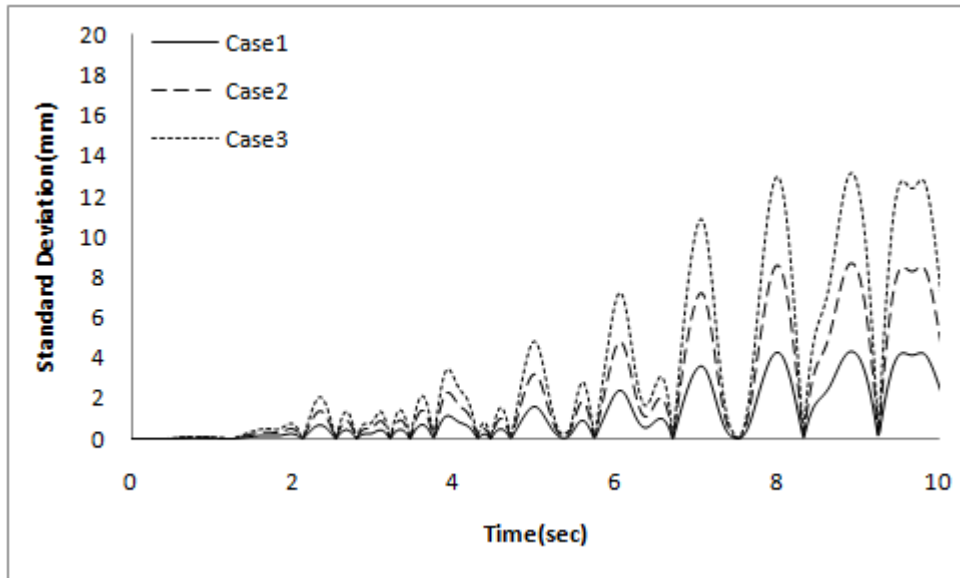
حالت	ضریب پراکندگی	بیشینه پاسخ (mm)	درصد افزایش	
	نسبت میرایی		مقدار بیشینه پاسخ	
قطعی	-	185	-	
غیرقطعی	Case 1	0.05	197	6.48
	Case 2	0.10	216	16.75
	Case 3	0.15	238	28.65

5-4-3-2- انحراف معیار پاسخ سازه

انحراف معیار پاسخ سازه در سه حالت مختلف ضریب پراکندگی (جدول 5-21) در شکل 5-75 با یکدیگر مقایسه شده است. مقدار انحراف معیار در 12 ثانیه نخست به تدریج افزایش می‌یابد و بعد از 12 ثانیه روند آن کاهشی می‌شود. با مقایسه نمودارها مشخص است که با افزایش ضریب پراکندگی متغیر تصادفی انحراف معیار پاسخ سازه افزایش می‌یابد.



شکل 5-75 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی



شکل 5-76 نمودار انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی در حالت نسبت میرایی غیرقطعی

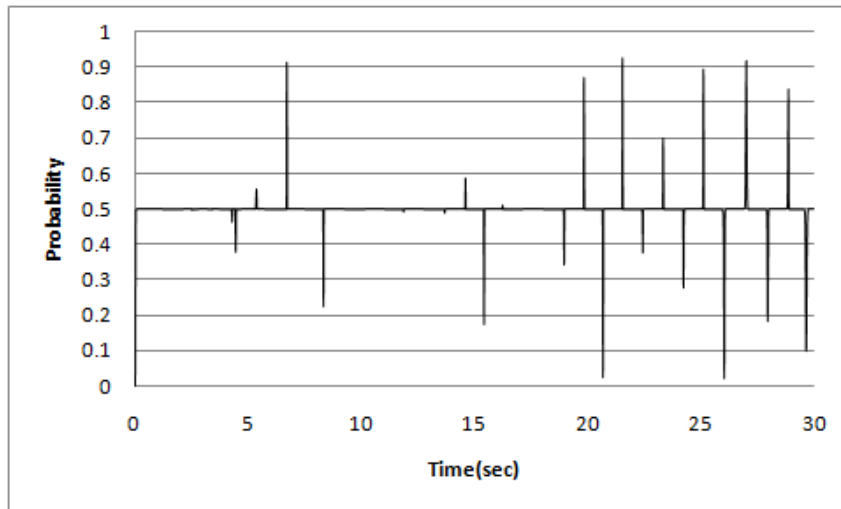
جدول 5-29 مقادیر بیشینه انحراف معیار را برای سه حالت تحلیل نشان می‌دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار 100 درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار بیش از سه برابر افزایش می‌یابد.

جدول 5-29 بیشینه انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی

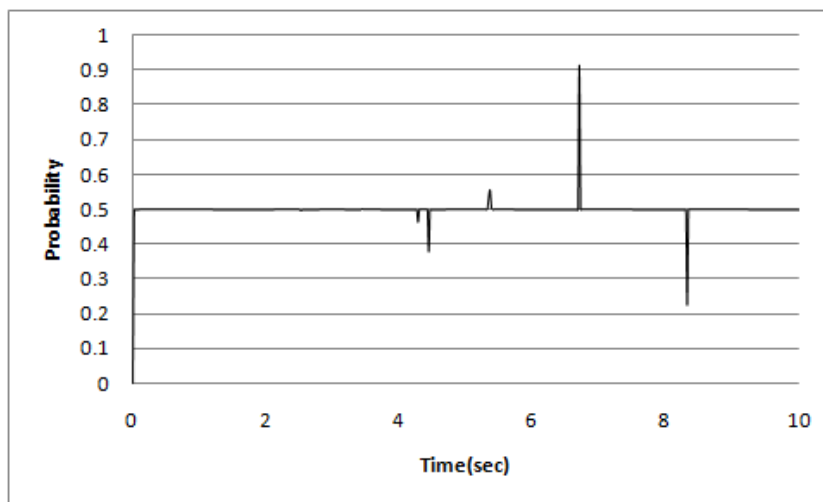
حالت	ضریب پراکندگی	ضریب افزایش	بیشینه انحراف معیار (mm)
	نسبت میرایی	ضریب پراکندگی	
Case 1	0.05	1	5.95
Case 2	0.10	2	12
Case 3	0.15	3	18.28

5-4-3-3- احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی

شکل‌های 5-77 و 5-78 نمودار احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی در حالت اول با ضریب پراکندگی 0/05 برای نسبت میرایی سازه را نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌گردد امکان افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی در هر گام زمانی نسبت به پاسخ قطعی سازه در گام‌های زمانی اندکی ممکن است به 93 درصد نیز برسد و در اکثر گام‌های زمانی این مقدار 50 درصد می‌باشد.



شکل 5-77 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 1



شکل 5-78 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 1

جدول 5-30 درصد گام‌های زمانی که احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در محدوده‌های مشخصی قرار دارد را برای سه حالت متفاوت ضریب پراکندگی (جدول 5-21) نشان می‌دهد. با توجه به این جدول ملاحظه می‌گردد که در اکثر گام‌های زمانی احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی در دو محدوده میانی یعنی محدوده‌های 25 تا 50 درصد و 50 تا 75 درصد قرار دارد و در محدوده‌های دیگر این مقدار ناچیز می‌باشد.

جدول 5-30 درصد گام‌های زمانی با احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی

محدوده احتمال	درصد گام‌های زمانی		
	Case 1	Case 2	Case 3
$0.00 < P < 0.10$	0.14	0.4	0.54
$0.10 < P < 0.25$	0.33	0.67	0.8
$0.25 < P < 0.50$	48.8	47.87	48.13
$0.50 < P < 0.75$	50.27	50.33	49.33
$0.75 < P < 0.90$	0.25	0.33	0.74
$0.90 < P < 1.00$	0.21	0.4	0.46

فصل ششم

نتیجه‌گیری

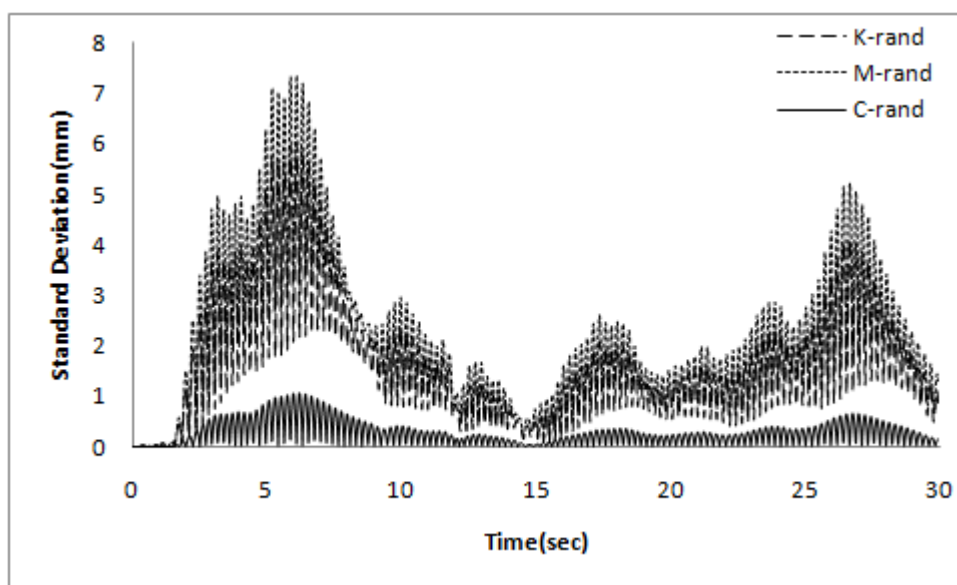
6-1- خلاصه

به دلیل طبیعت متغیر بودن عامل‌های موثر در تحلیل دینامیکی سازه‌ها مانند جرم، سختی و میرایی، در این پژوهش اثر عدم قطعیت این متغیرها در رفتار دینامیکی سازه‌ها بررسی گردید. ابتدا در فصل اول مقدمه و تاریخچه کوتاهی از کارهای انجام شده بیان گردید و در فصل دوم به اصول و مبانی تحلیل احتمال‌اندیشانه پرداخته شد. در فصل سوم تئوری دینامیکی سازه‌ها بیان شد و چند برنامه تحلیل دینامیکی سازه‌های یک و چند درجه آزادی که در محیط MATLAB نوشته شده بود بیان گردید. در فصل چهارم کمیت‌های جرم، سختی و میرایی سازه به عنوان متغیر تصادفی فرض شدند. تحلیل احتمال‌اندیشانه در سه حالت و با سه نوع ضریب پراکندگی متفاوت در هر حالت انجام گردید و اثر عدم قطعیت این کمیت‌ها در پاسخ سازه یک درجه آزادی دارای رفتار خطی بررسی گردید. در فصل پنجم تحلیل احتمال‌اندیشانه مطابق با حالات بیان شده در فصل چهارم برای سازه‌های چند درجه آزادی دارای رفتار خطی انجام گردید.

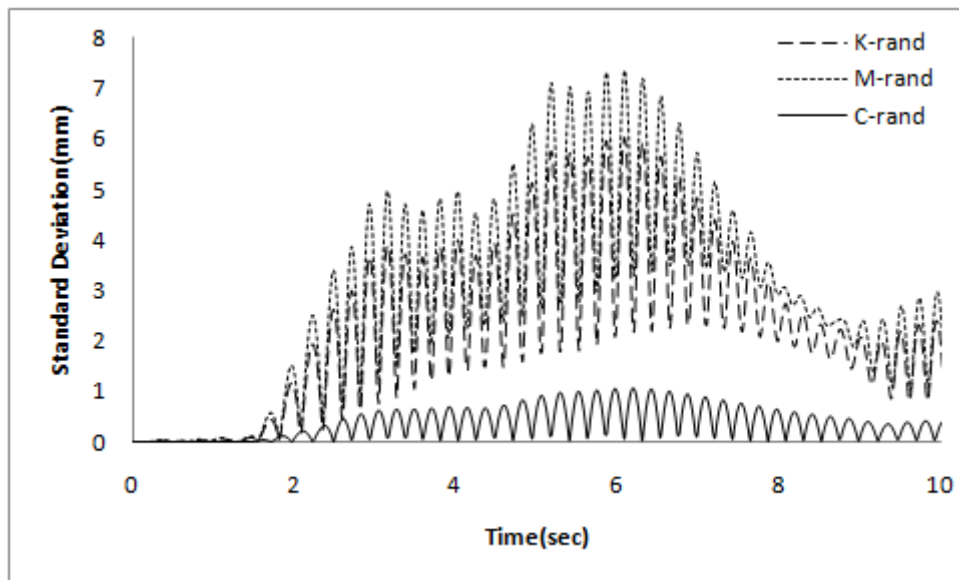
6-2- نتیجه‌گیری

همان‌طور که گفته شد در فصل چهارم به بررسی اثر عدم قطعیت متغیرهای جرم، سختی و میرایی در پاسخ سازه‌ی یک درجه آزادی خطی پرداخته شد. برای این کار با توجه به نوع تابع توزیع احتمال و فرض سه حالت سختی غیرقطعی، جرم غیرقطعی و نسبت میرایی غیرقطعی با سه ضریب پراکندگی مختلف در هر حالت، تعدادی مقدار تصادفی برای متغیرهای جرم، سختی و نسبت میرایی سازه تولید شد. سپس با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو سازه یک درجه آزادی تحلیل احتمالاتی گردید و اثر عدم قطعیت در تغییر مکان آن بررسی گردید و نتایج به صورت نمودارها و جدول‌هایی ارائه گردید. نتایج نشان داد که میانگین پاسخ‌ها در تحلیل غیرقطعی نسبت به تحلیل قطعی افزایش می‌یابد. همچنین ملاحظه گردید که با افزایش ضریب پراکندگی متغیرهای تصادفی مقدار میانگین پاسخ‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در عمل مقدار واقعی میانگین

پاسخ سازه بیشتر از مقدار محاسبه شده در تحلیل‌های قطعی می‌باشد. نتایج نشان دادند که این مقدار تا 22 درصد مقدار بیشینه قطعی نیز افزایش می‌یابد و با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر این مقدار تا 45 درصد نیز افزایش خواهد یافت. جهت مشاهده‌ی تاثیرپذیری پاسخ سازه از متغیرهای دارای عدم قطعیت، هر متغیر تصادفی به طور جداگانه وارد تحلیل دینامیکی شد. نتایج بیانگر تاثیرپذیری بیشتر پاسخ سازه از متغیر جرم می‌باشد و این تاثیرپذیری در متغیر سختی بیشتر از متغیر میرایی می‌باشد. مقدار انحراف معیار در هر گام زمانی که بیانگر مقدار پراکندگی پاسخ‌ها است، تابعی از مقدار نیروی وارده به سازه می‌باشد. به عنوان مثال که در 10 ثانیه نخست زلزله السنترو که مقادیر بیشینه نیرو به سازه وارد می‌شود بیشترین انحراف معیار نیز دیده می‌شود. انحراف معیار پاسخ سازه با افزایش ضریب پراکندگی افزایش می‌یابد به عنوان مثال در سازه یک درجه آزادی هنگامی که سختی غیرقطعی باشد با دو برابر شدن ضریب پراکندگی انحراف معیار بیشینه 65 درصد و با سه برابر شدن ضریب پراکندگی 113 درصد افزایش می‌یابد. انحراف معیار پاسخ سازه در حالتی که جرم غیرقطعی فرض شود، بیشترین مقادیر را نسبت به حالات دیگر دارا می‌باشد. این در حالیست که حالت میرایی غیرقطعی کمترین مقادیر را به خود اختصاص می‌دهد. نتایج در حالت Case1 برای حالت‌های سختی غیرقطعی، جرم غیرقطعی و میرایی غیرقطعی در شکل‌های 6-1 و 6-2 نشان داده شده است.



شکل 6-1 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی در حالت‌های مختلف Case1

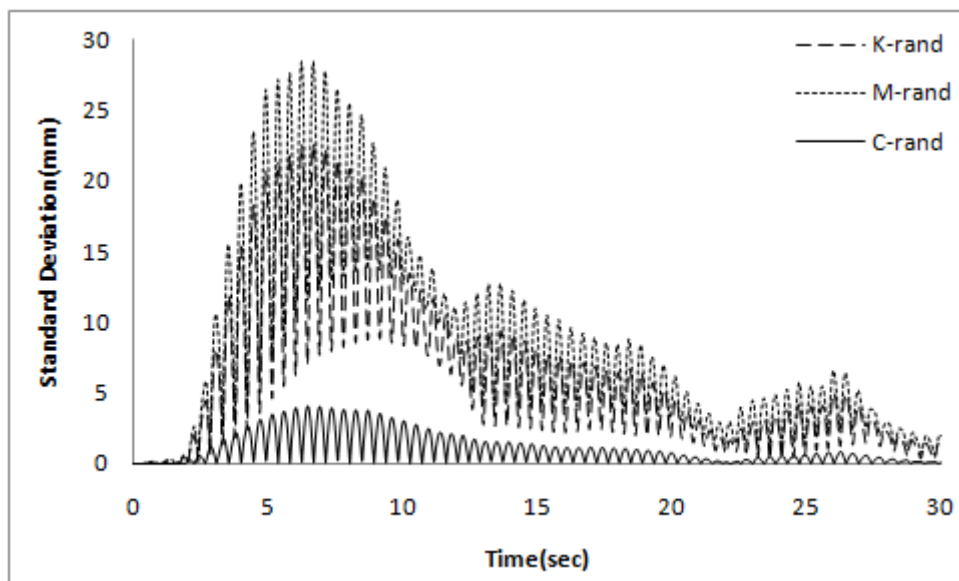


شکل 6-2 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه یک درجه آزادی حالت‌های مختلف در 10 ثانیه ابتدایی Case1

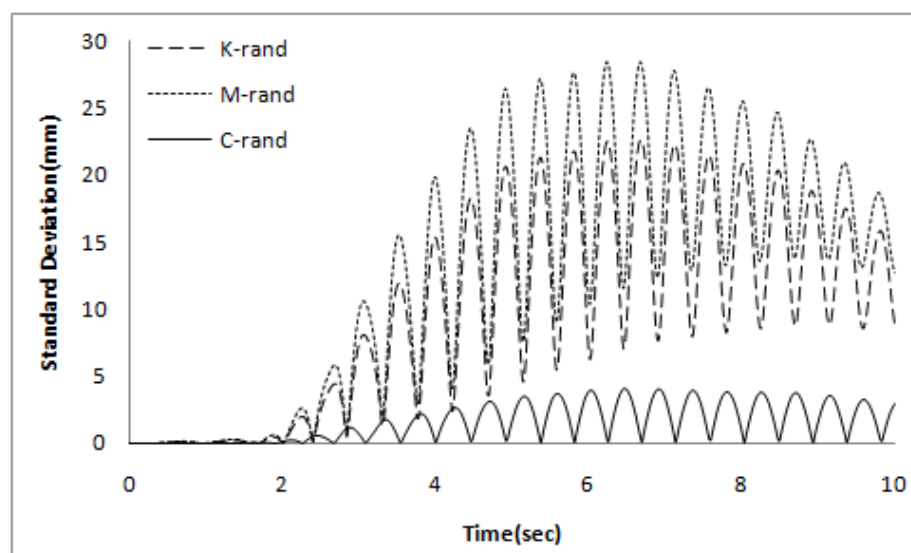
بررسی احتمال افزایش پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی نشان داد که احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه دارای تغییرات زیادی می‌باشد و با افزایش ضریب پراکندگی، این احتمال در گام‌های زمانی بیشتری در محدوده‌های 75 تا 90 و 90 تا 100 قرار خواهد گرفت و می‌توان گفت احتمال خرابی سازه افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده گردید در حالت جرم غیرقطعی احتمال خرابی سازه از دیگر حالات بیشتر می‌باشد و در حالت میرایی غیرقطعی احتمال خرابی سازه نسبت به دیگر حالات کمتر می‌باشد.

در فصل پنجم به بررسی تاثیر عدم قطعیت در سازه‌های چند درجه آزادی با رفتار کشسان پرداختیم. در این فصل نیز متغیرهای جرم، سختی و نسبت میرایی غیرقطعی فرض شدند و هر متغیر با توجه به نوع توزیع با سه ضریب پراکندگی مختلف تولید شد و در سه حالت سختی غیرقطعی، جرم غیرقطعی و نسبت میرایی غیرقطعی، به بررسی تاثیر عدم قطعیت در تغییر مکان بام سه سازه سه،

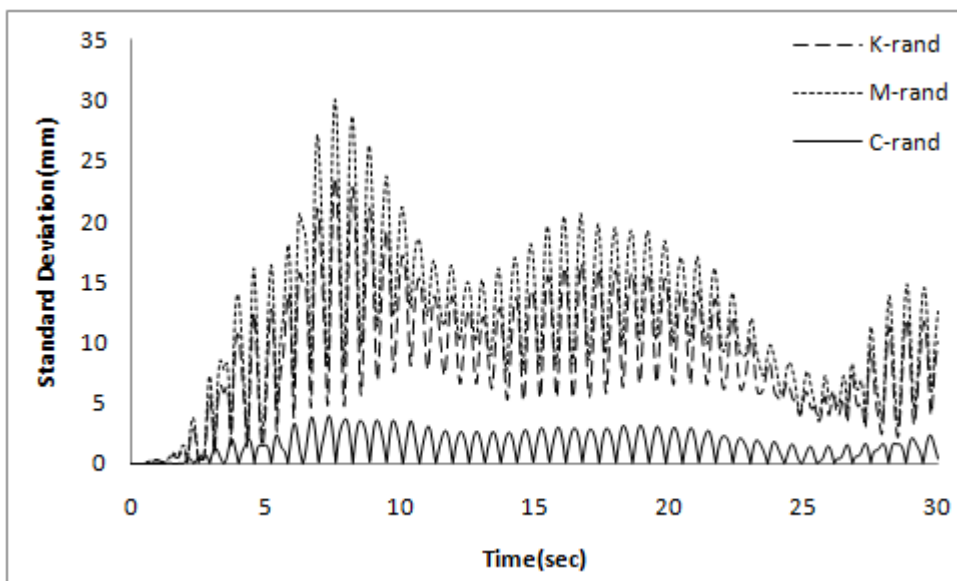
پنج و نه درجه آزادی پرداخته شد و نتایج به صورت نمودارهایی ارائه گردید. نتایج بیانگر افزایش پاسخ سازه در حالت غیرقطعی نسبت به حالت قطعی می‌باشد. این افزایش میانگین پاسخ با افزایش ضریب پراکندگی بیشتر می‌شود به عنوان مثال در سازه سه درجه آزادی این مقدار تا 8 درصد مقدار بیشینه قطعی نیز افزایش می‌یابد و با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر این مقدار تا 30 درصد نیز افزایش خواهد یافت. در سازه پنج درجه آزادی این مقدار تا 6 درصد مقدار بیشینه قطعی افزایش می‌یابد و با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر این مقدار تا 32 درصد نیز افزایش خواهد یافت و در سازه نه درجه آزادی این مقدار تا 20 درصد مقدار بیشینه قطعی افزایش می‌یابد و با افزایش ضریب پراکندگی تا سه برابر این مقدار تا 53 درصد نیز افزایش خواهد یافت. مقدار انحراف معیار با افزایش تعداد درجه‌های آزادی افزایش می‌یابد به طوری که مقدار بیشینه انحراف معیار در سازه سه درجه آزادی تا 57 میلیمتر و در سازه نه درجه آزادی تا 92 میلیمتر می‌رسد. همچنین با افزایش تعداد درجه آزادی‌ها حساسیت انحراف معیار بیشینه به مقدار ضریب پراکندگی افزایش می‌شود. به طوری که با دو برابر شدن ضریب پراکندگی مقدار بیشینه انحراف معیار در حالت سختی غیرقطعی در سازه سه درجه آزادی 70 درصد، در سازه پنج درجه آزادی 76 درصد و در سازه نه درجه آزادی 80 درصد افزایش می‌یابد. حساسیت انحراف معیار پاسخ سازه به متغیر دارای عدم قطعیت نیز برای پارامتر جرم بیشتر از سایر پارامترهای دارای عدم قطعیت می‌باشد. نتایج در حالت Case1 برای حالت‌های سختی غیرقطعی، جرم غیرقطعی و میرایی غیرقطعی در شکل‌های 3-6 تا 6-2 برای سازه‌های سه، پنج و نه درجه آزادی نشان داده شده است.



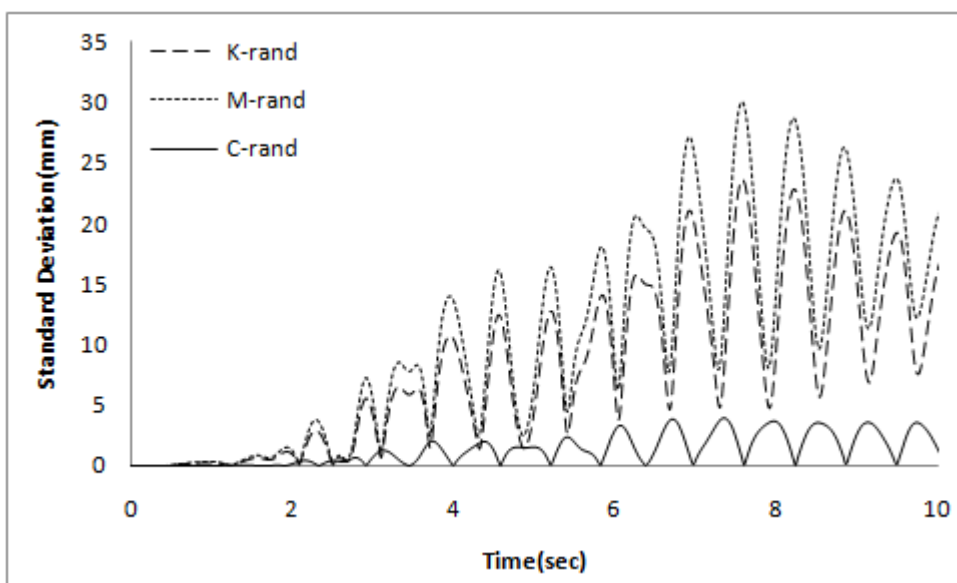
شکل 3-6 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی در حالت‌های مختلف Case1



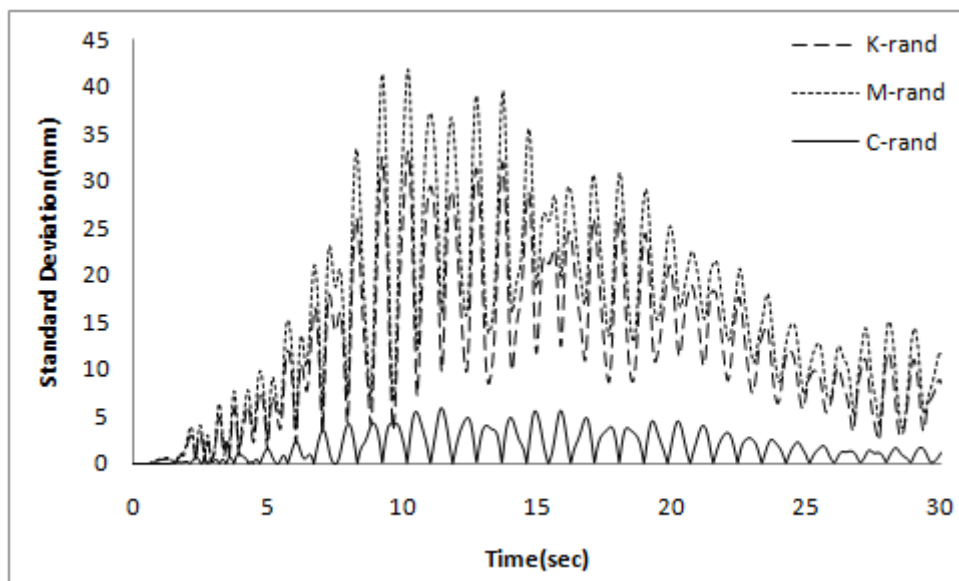
شکل 4-6 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه سه درجه آزادی حالت‌های مختلف در 10 ثانیه ابتدایی Case1



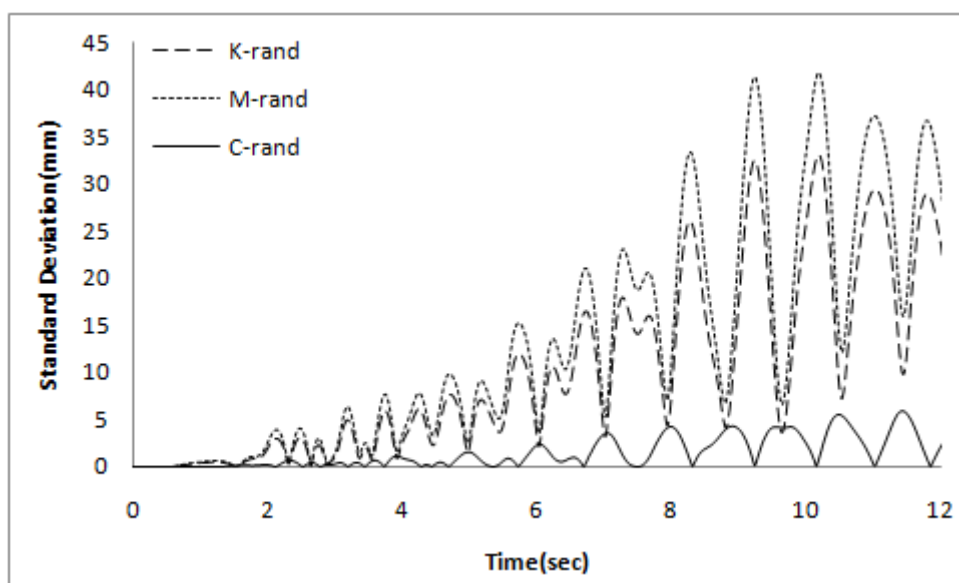
شکل 5-6 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی در حالت‌های مختلف Case1



شکل 6-6 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه پنج درجه آزادی حالت‌های مختلف در 10 ثانیه ابتدایی Case1



شکل 6-7 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی در حالت‌های مختلف Case1



شکل 6-8 نمودار مقایسه انحراف معیار پاسخ سازه نه درجه آزادی حالت‌های مختلف در 10 ثانیه ابتدایی Case1

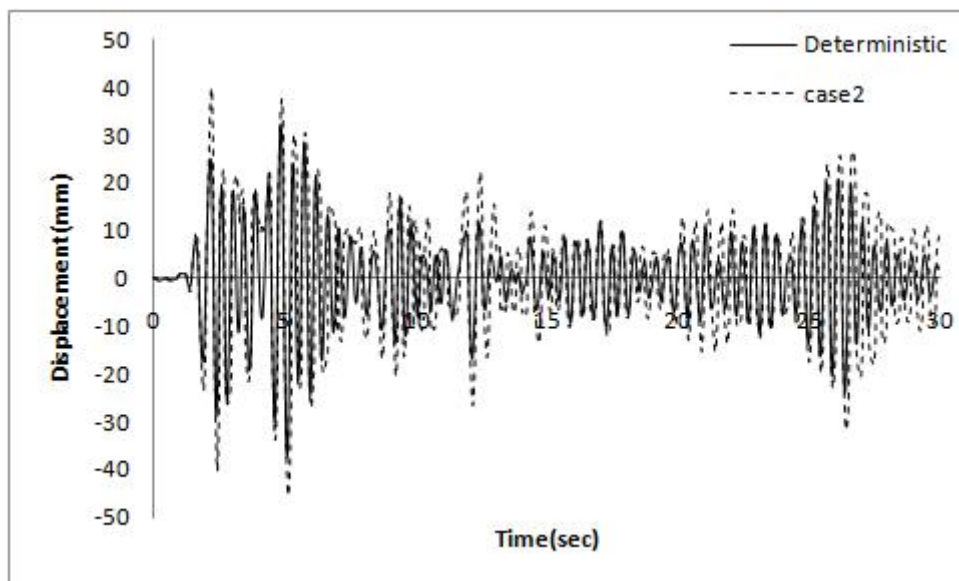
بررسی نمودارهای احتمال افزایش پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی در سازه‌های سه، پنج و نه درجه آزادی نشان داد که با افزایش تعداد درجات آزادی سازه، تغییرات احتمال افزایش پاسخ غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه کمتر می‌باشد و همانند سازه یک درجه آزادی با افزایش ضریب

پراکندگی، این احتمال در گام‌های زمانی بیشتری در محدوده‌های 75 تا 90 و 90 تا 100 قرار خواهد گرفت و می‌توان گفت احتمال خرابی سازه افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده گردید در سازه‌های چند درجه آزادی در حالت جرم غیرقطعی احتمال خرابی سازه از دیگر حالات بیشتر می‌باشد و در حالت میرایی غیرقطعی احتمال خرابی سازه نسبت به دیگر حالات کمتر می‌باشد.

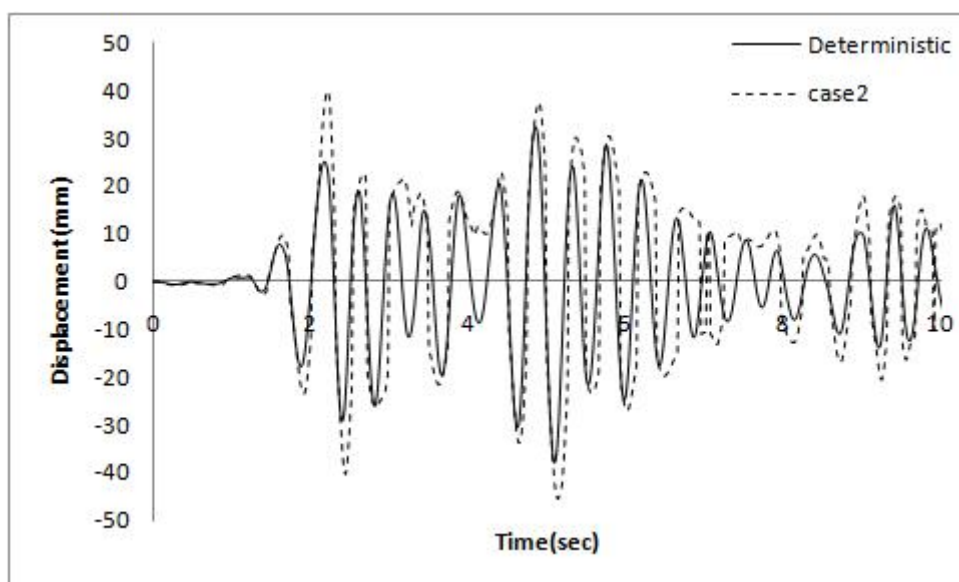
3-6- پیشنهاد برای ادامه کار

- 1- بررسی و مقایسه حساسیت سازه‌ها به سایر متغیرهای موثر در تحلیل رفتار دینامیکی سازه‌ها نظیر: هندسه سازه، مقاومت مومسانی و غیره در فضای عدم قطعیت.
- 2- تحلیل دینامیکی غیرخطی سازه‌های یک و چند درجه آزادی با مشخصات تصادفی.
- 3- تحلیل و بررسی تاثیرات ناشی از پدیده عدم قطعیت در سازه‌های مختلف نظیر: تیرها، صفحه‌ها، پوسته‌ها و مانند آن تحت اثر بارهای دینامیکی.

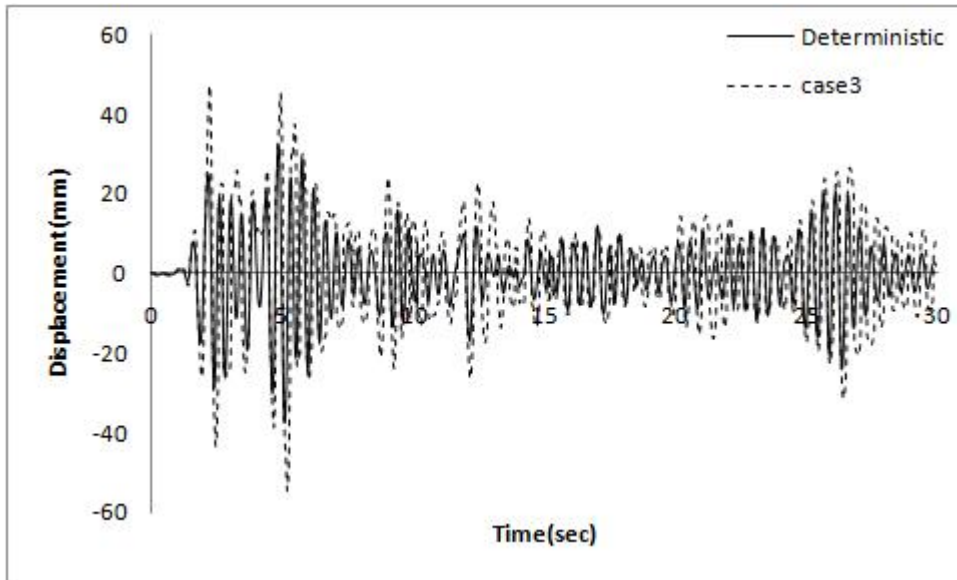
پیوست



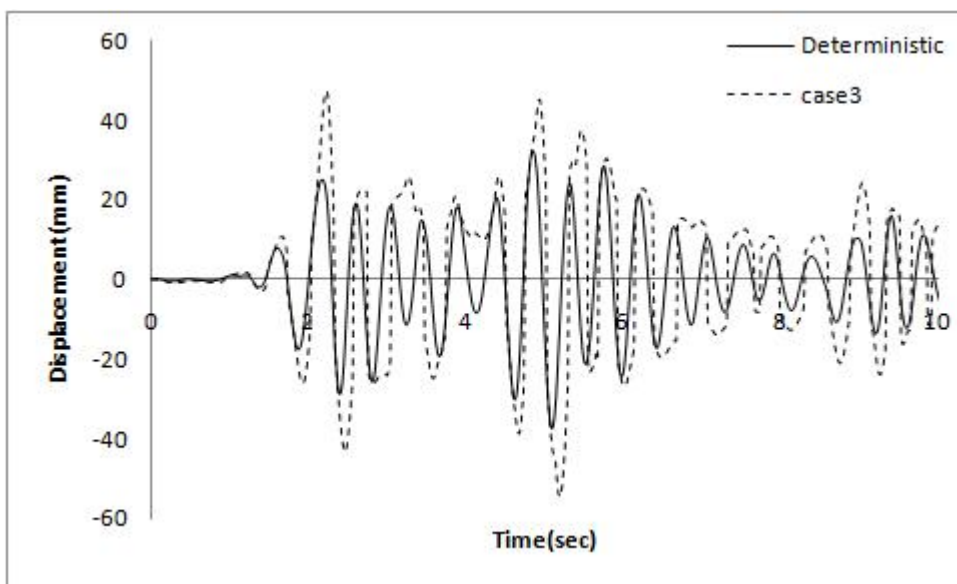
شکل پ 1 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (سختی غیرقطعی)



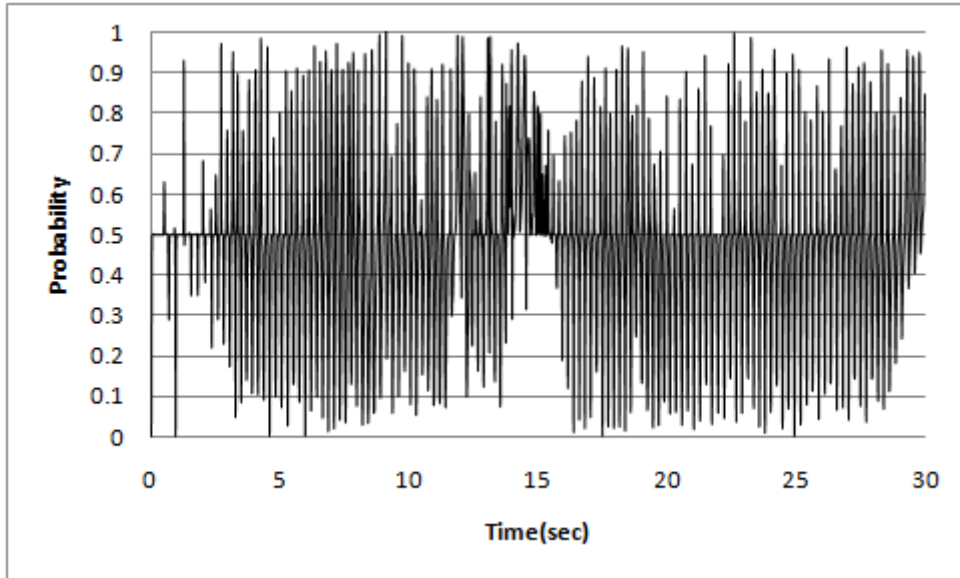
شکل پ 2 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (سختی غیرقطعی)



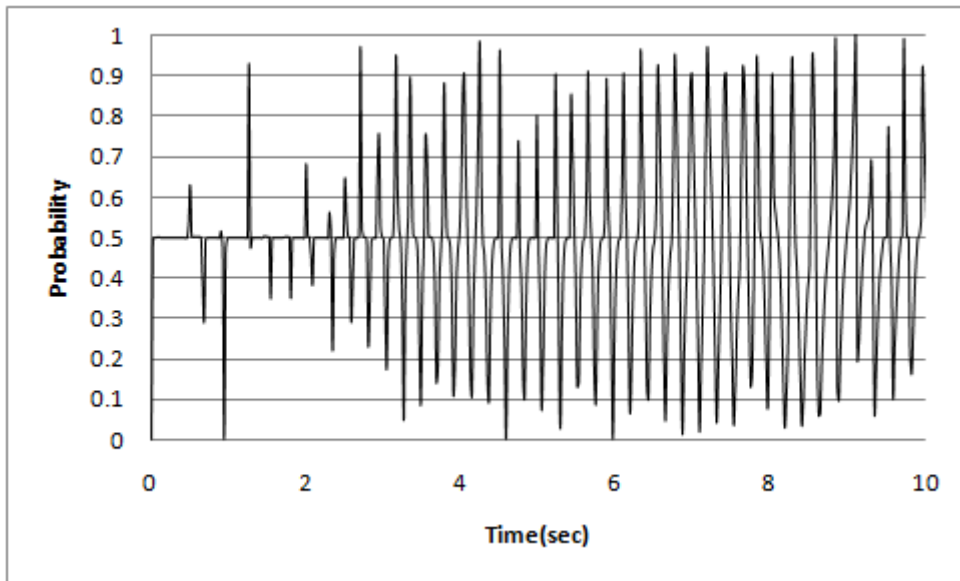
شکل پ 3 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (سختی غیرقطعی)



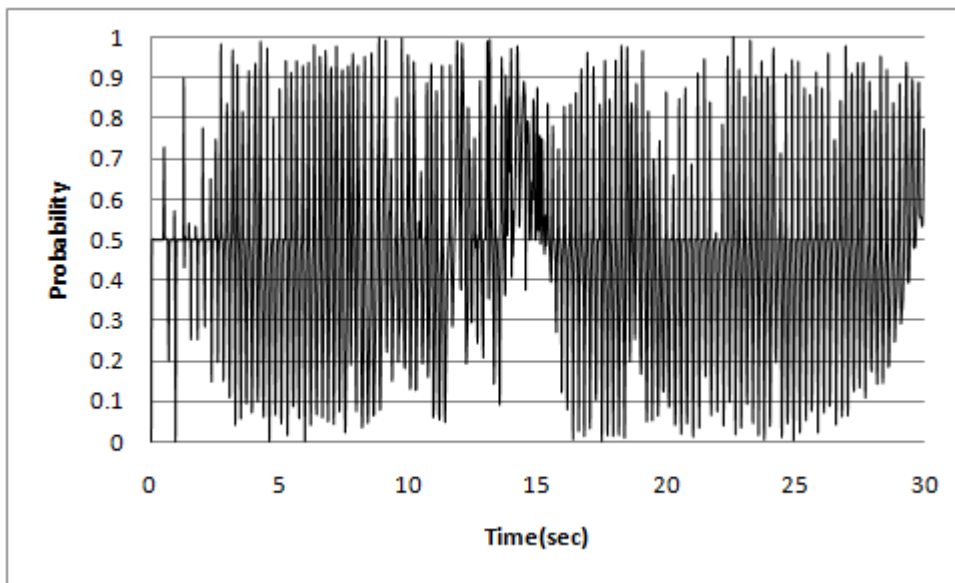
شکل پ 4 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (سختی غیرقطعی)



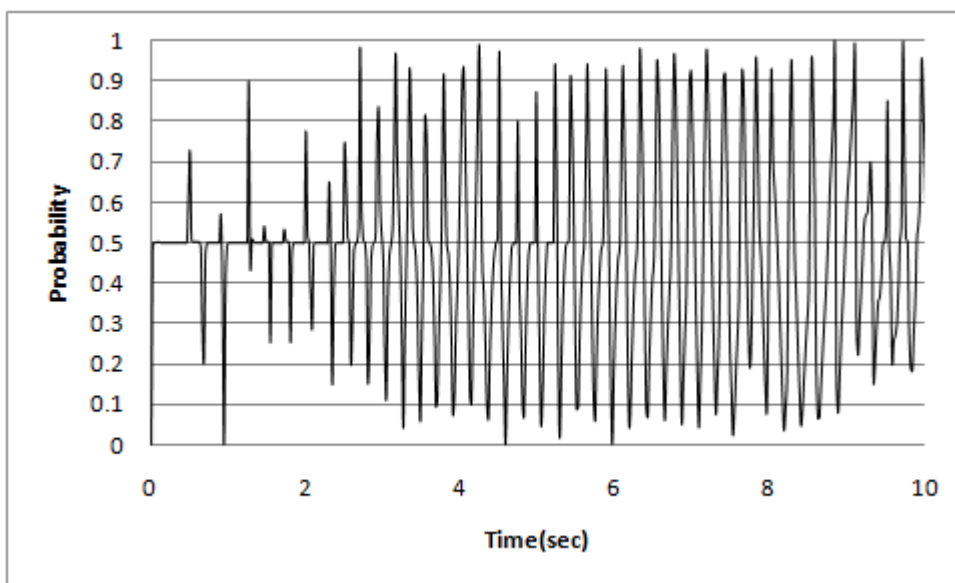
شکل پ 5 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (سختی غیرقطعی)



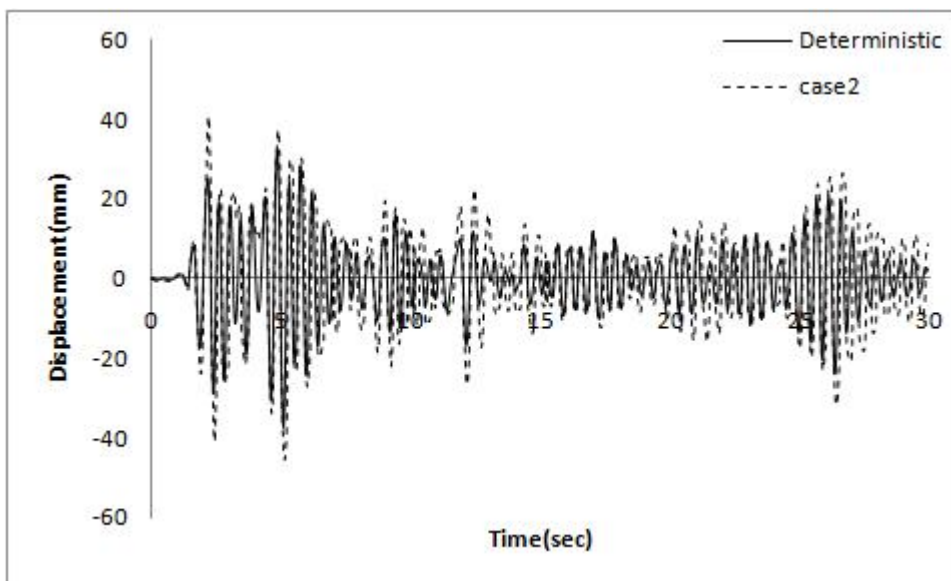
شکل پ 6 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (سختی غیرقطعی)



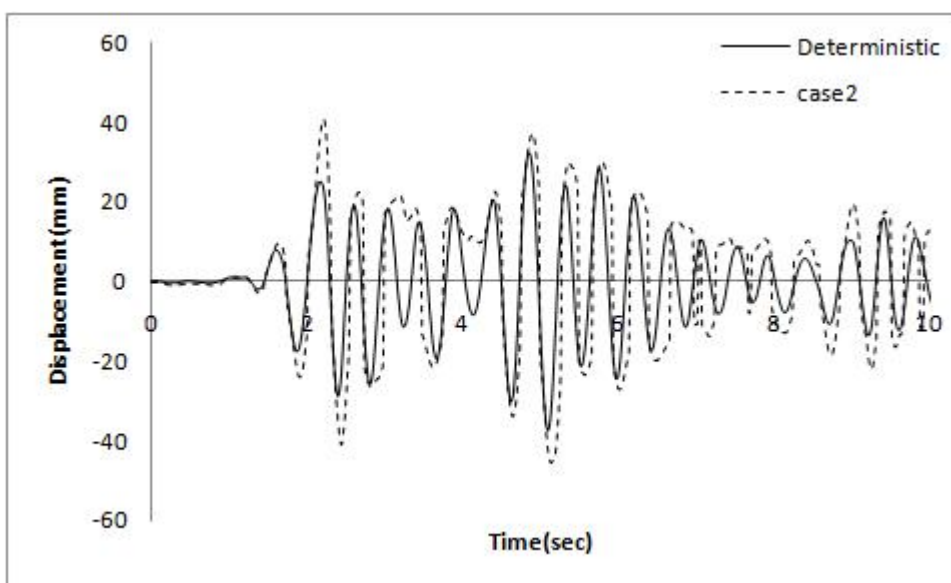
شکل پ 7 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (سختی غیرقطعی)



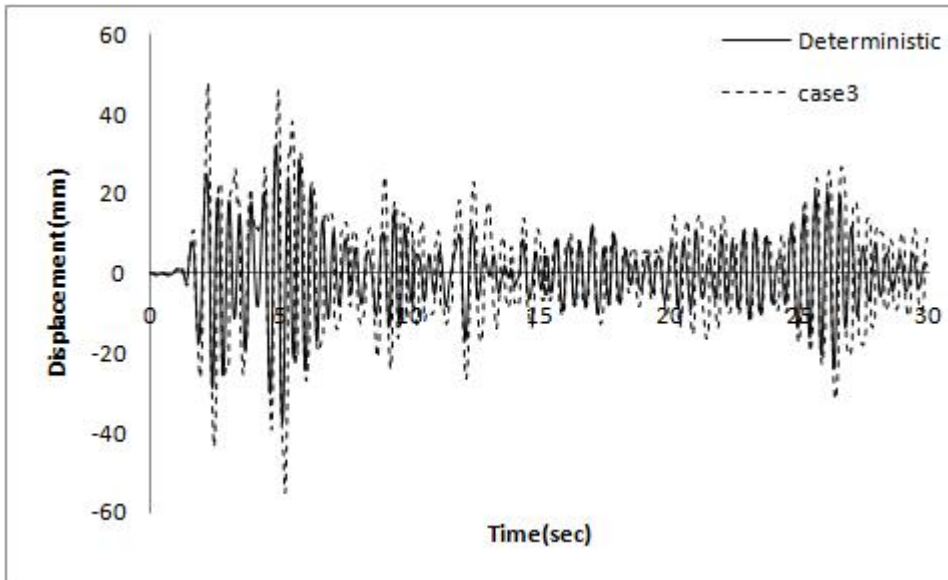
شکل پ 8 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (سختی غیرقطعی)



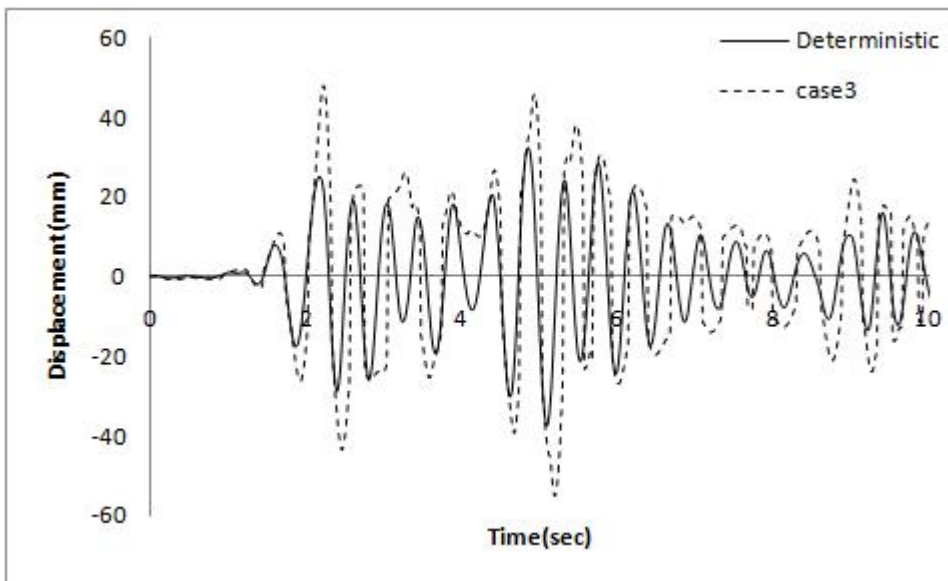
شکل پ 9 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (جرم غیرقطعی)



شکل پ 10 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (جرم غیرقطعی)

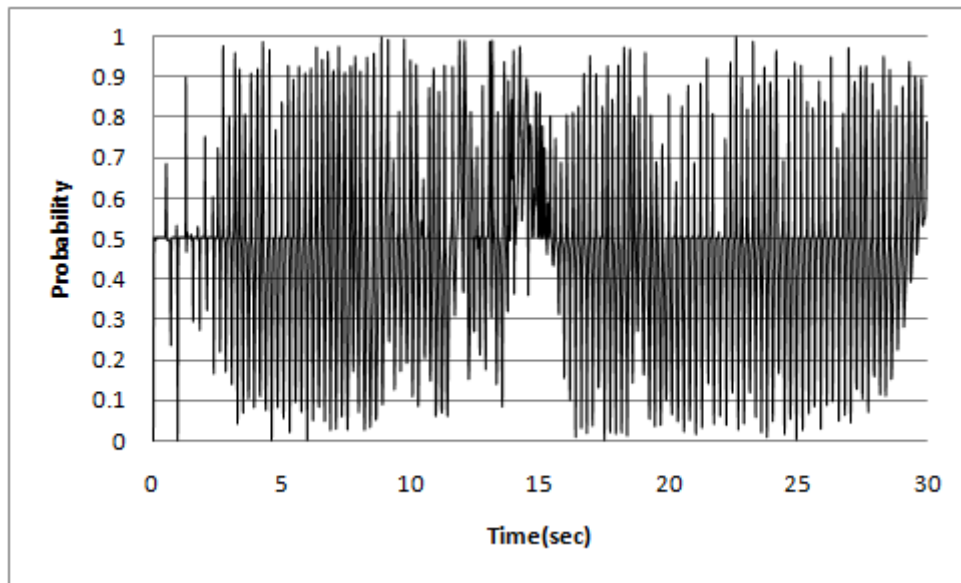


شکل پ 11 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (جرم غیرقطعی)

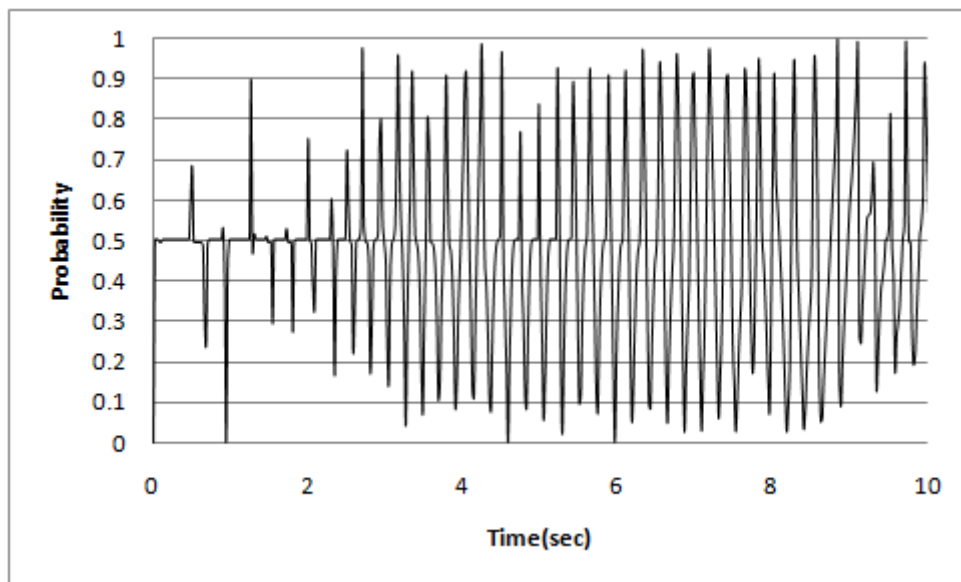


شکل پ 12 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (جرم

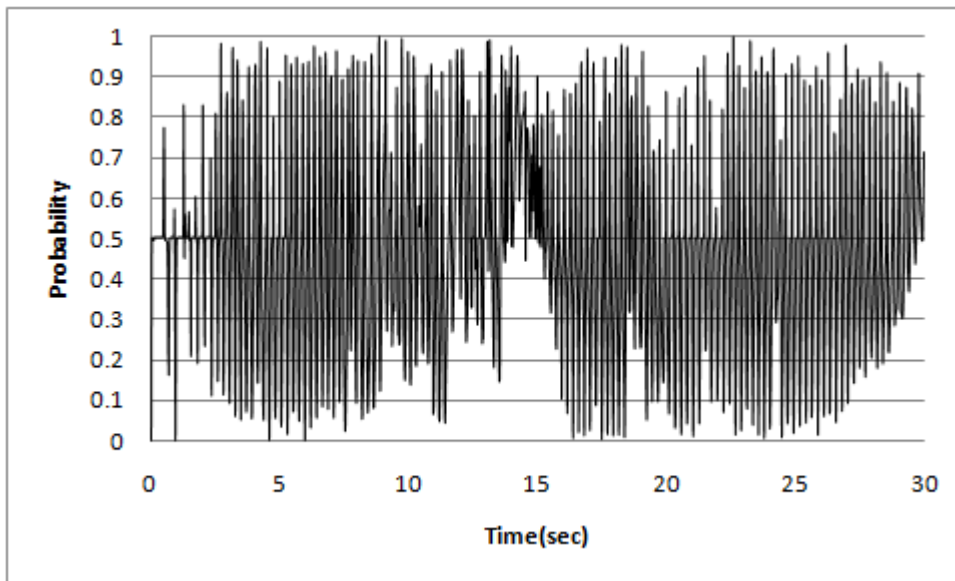
غیرقطعی)



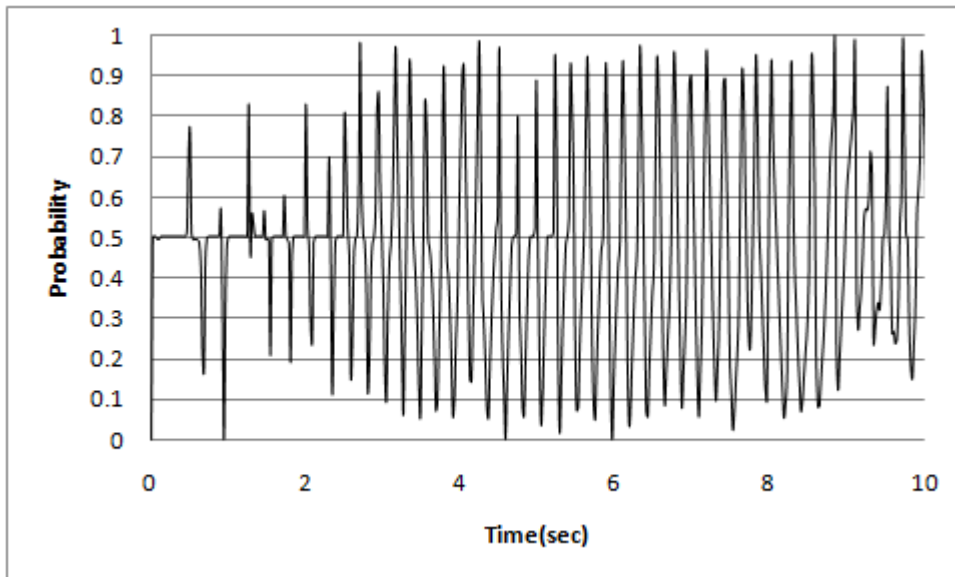
شکل پ 13 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (جرم غیرقطعی)



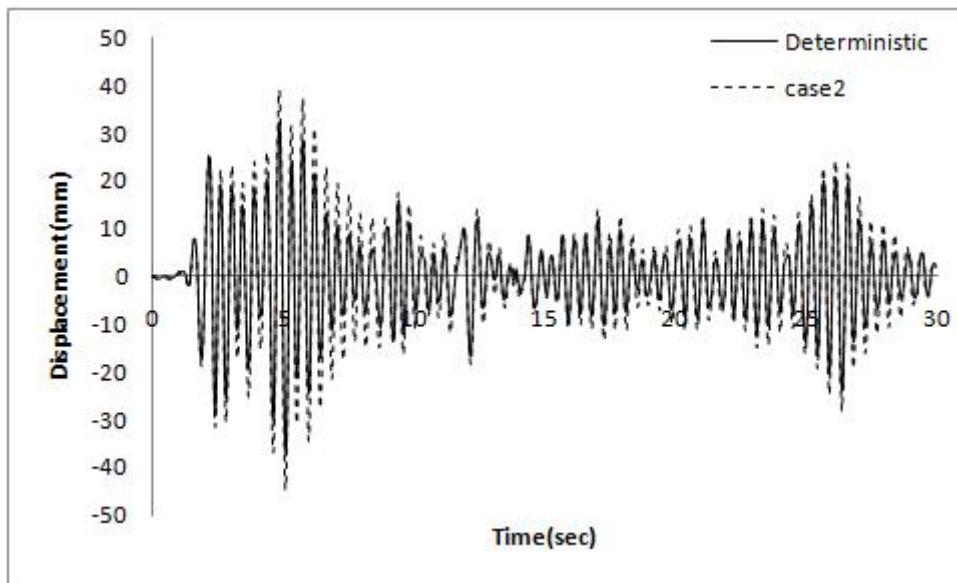
شکل پ 14 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (جرم غیرقطعی)



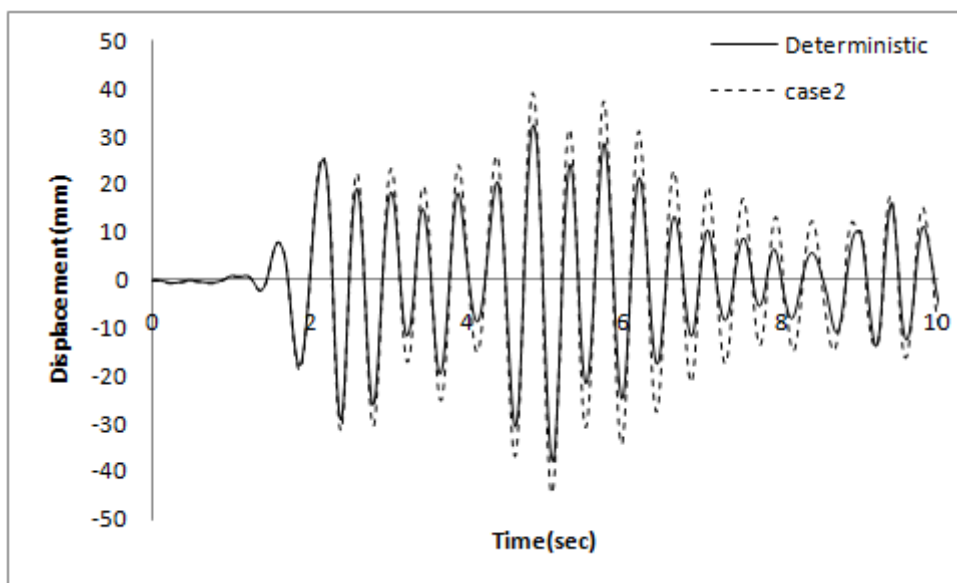
شکل پ 15 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (جرم غیرقطعی)



شکل پ 16 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (جرم غیرقطعی)

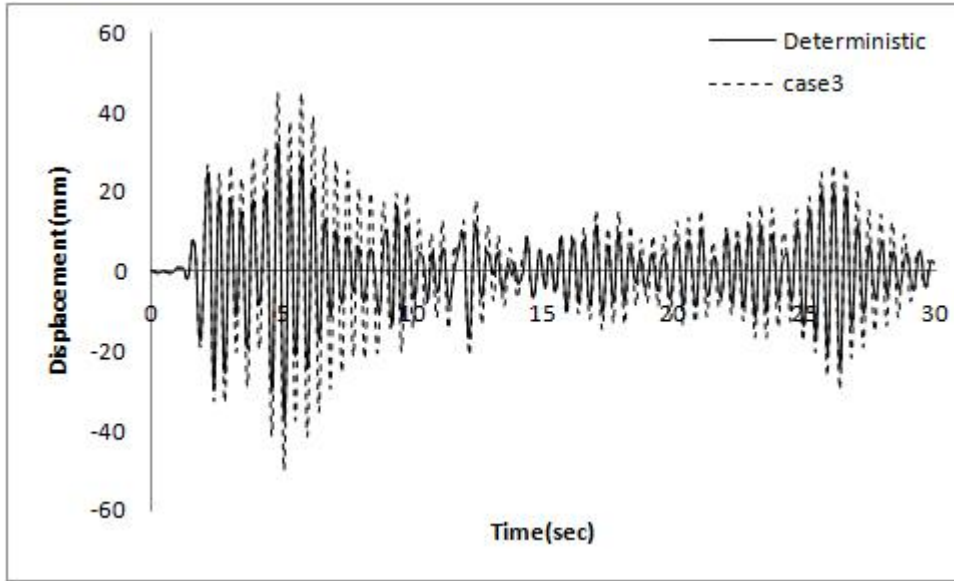


شکل پ 17 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (میرایی غیرقطعی)

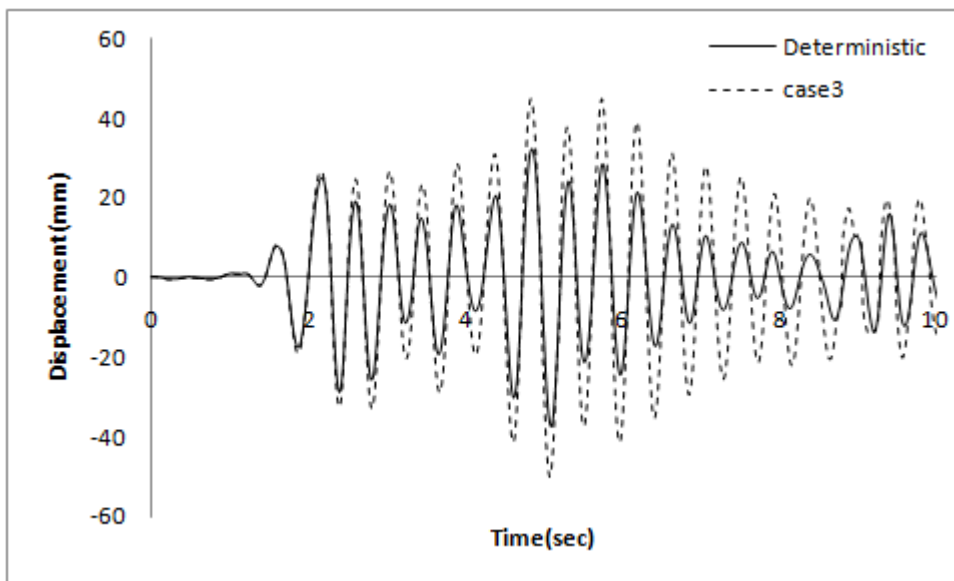


شکل پ 18 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2

(میرایی غیرقطعی)

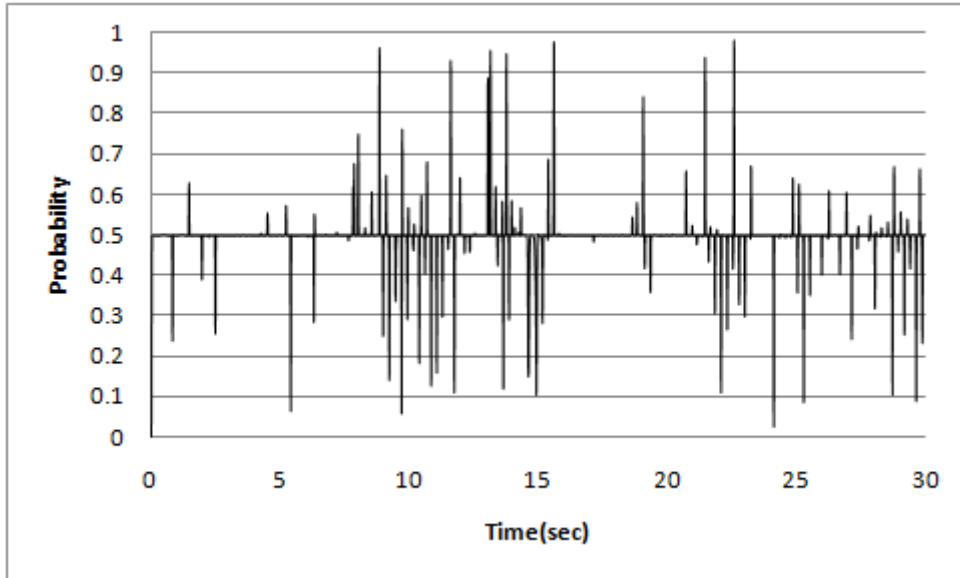


شکل پ 19 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (میرایی غیرقطعی)

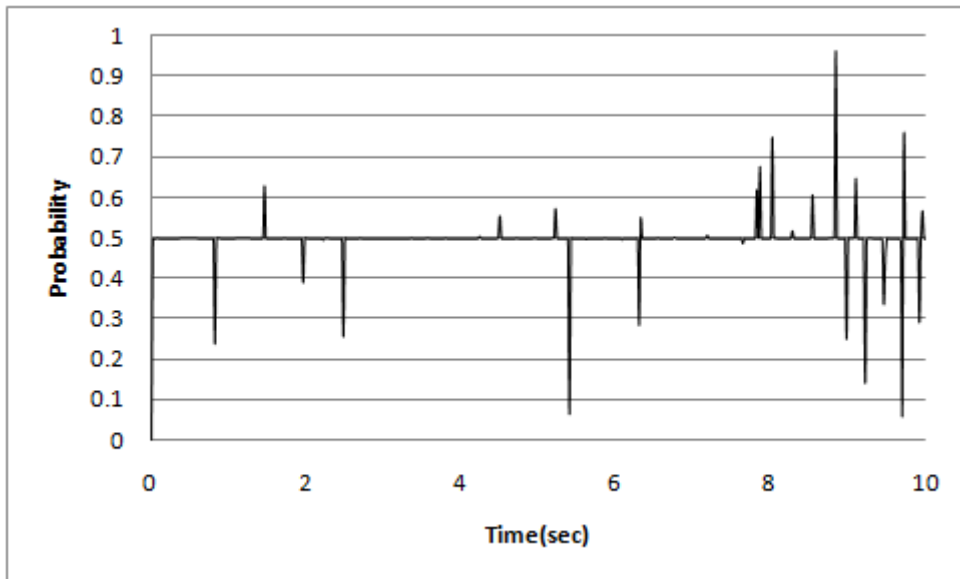


شکل پ 20 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3

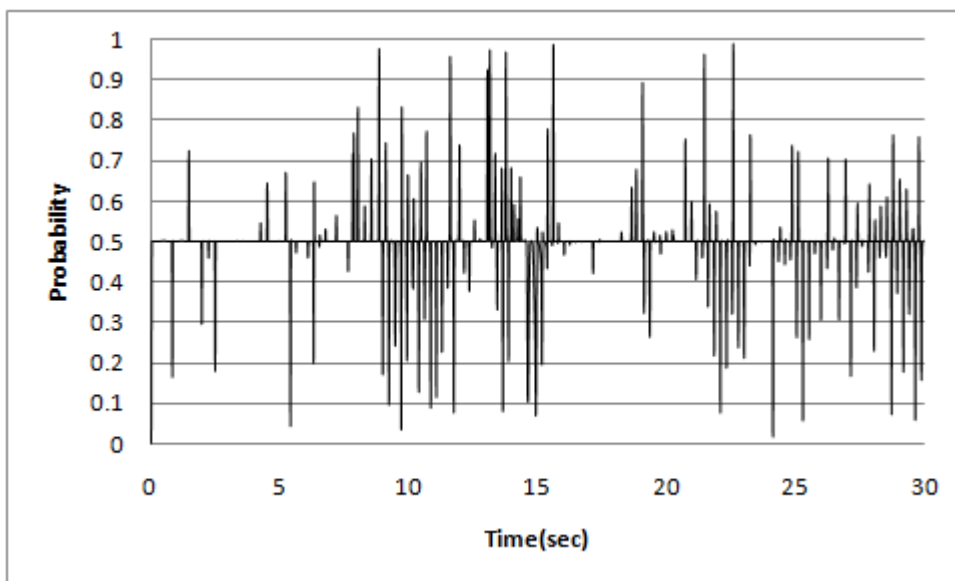
(میرایی غیرقطعی)



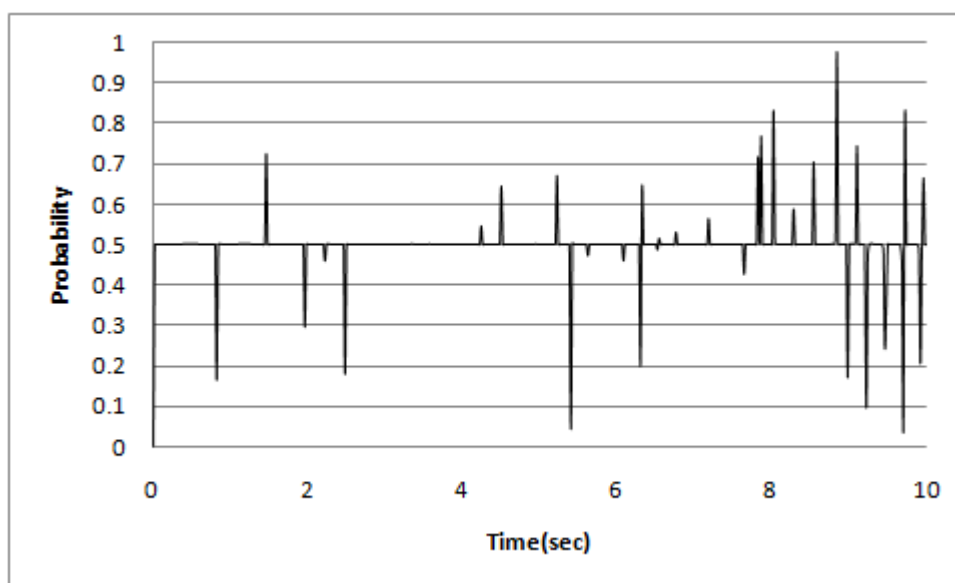
شکل پ 21 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 2 (میرایی غیرقطعی)



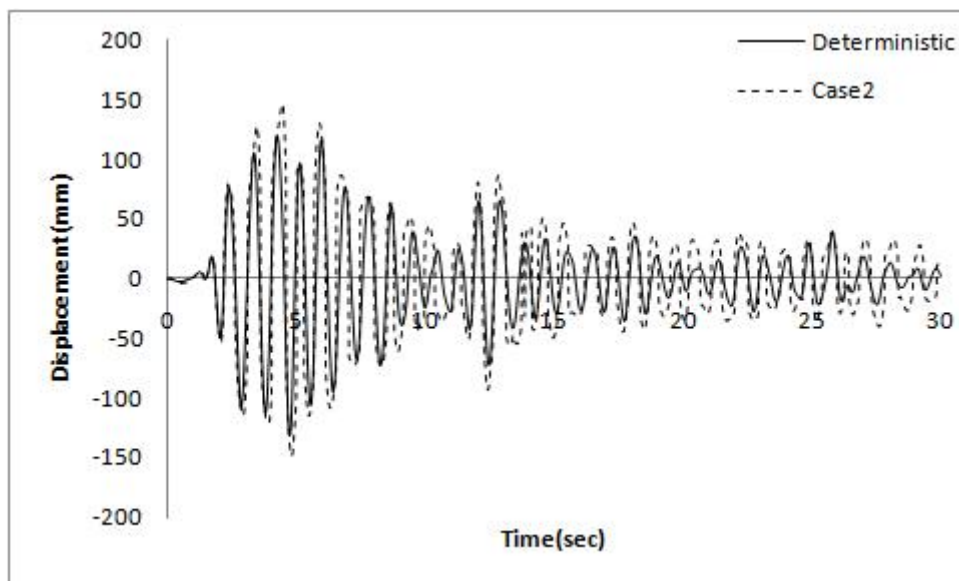
شکل پ 22 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (میرایی غیرقطعی)



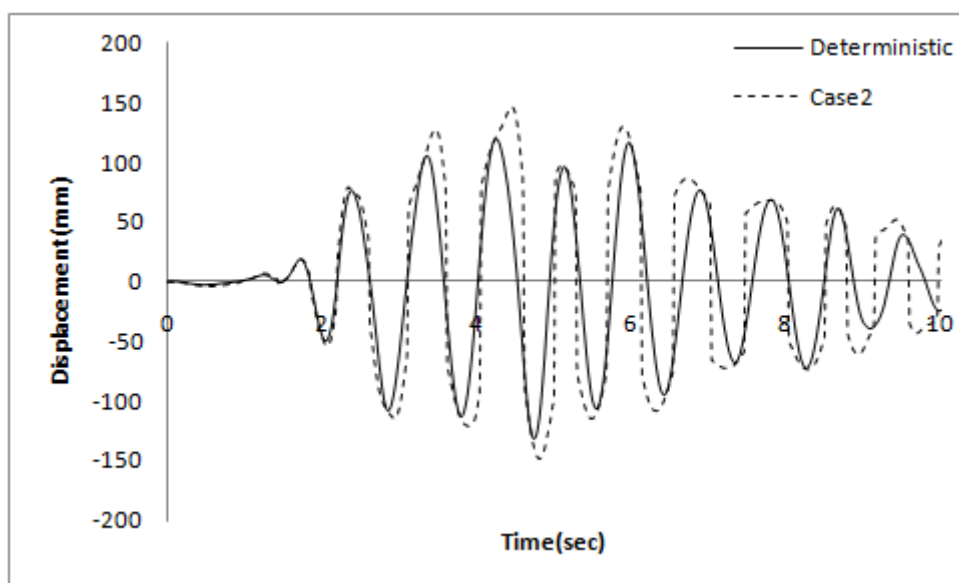
شکل پ 23 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در حالت 3 (میرایی غیرقطعی)



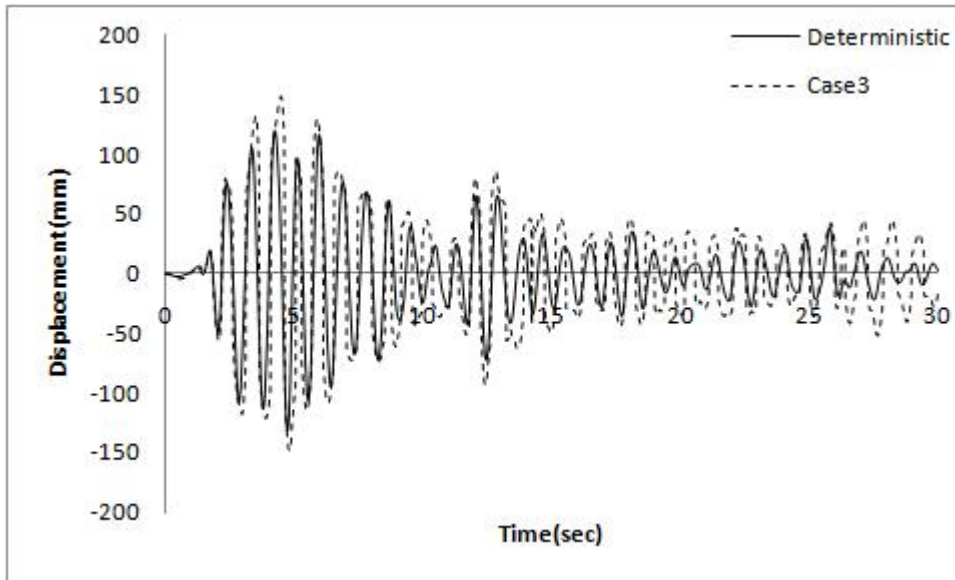
شکل پ 24 احتمال افزایش تعداد پاسخ‌های غیرقطعی از پاسخ قطعی سازه یک درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (میرایی غیرقطعی)



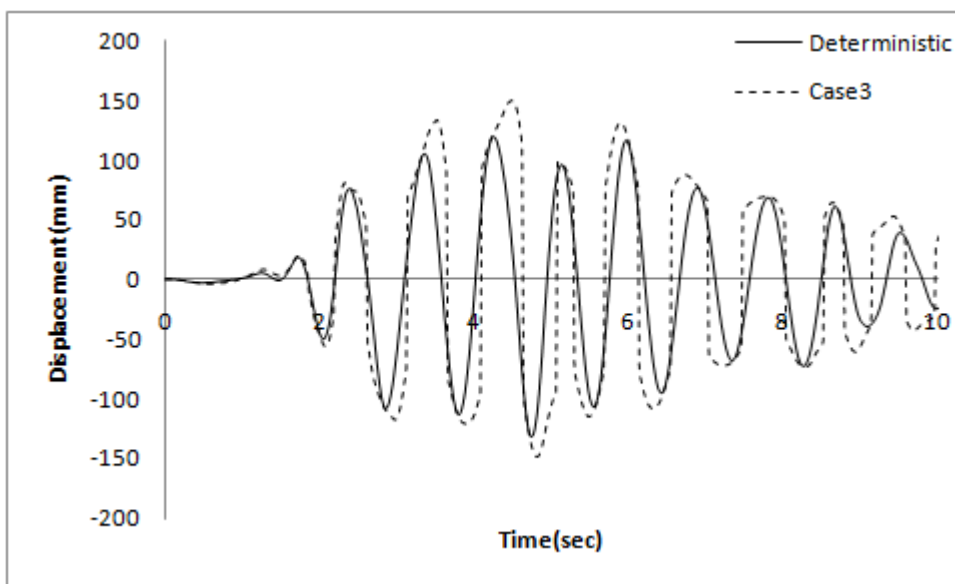
شکل پ 25 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 2 (سختی غیرقطعی)



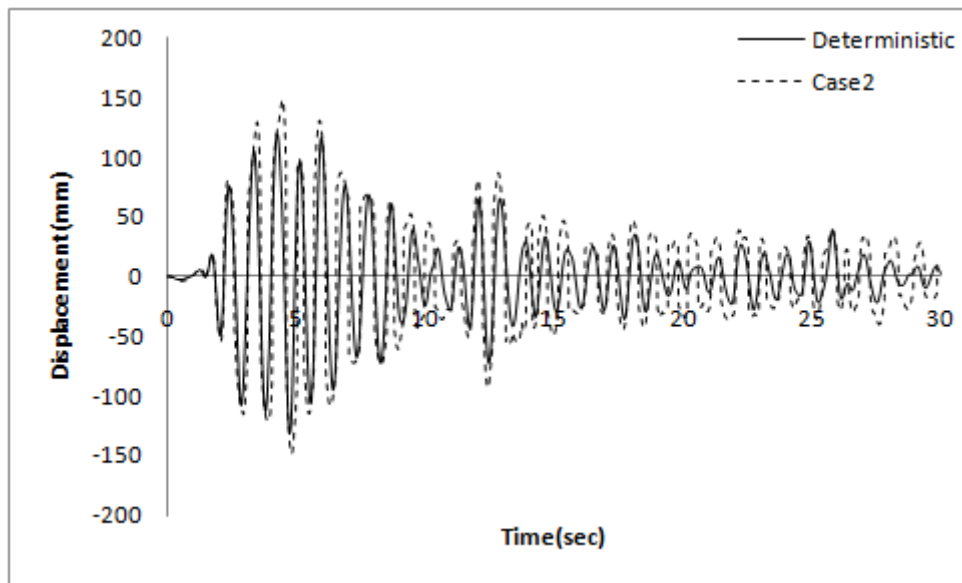
شکل پ 26 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (سختی غیرقطعی)



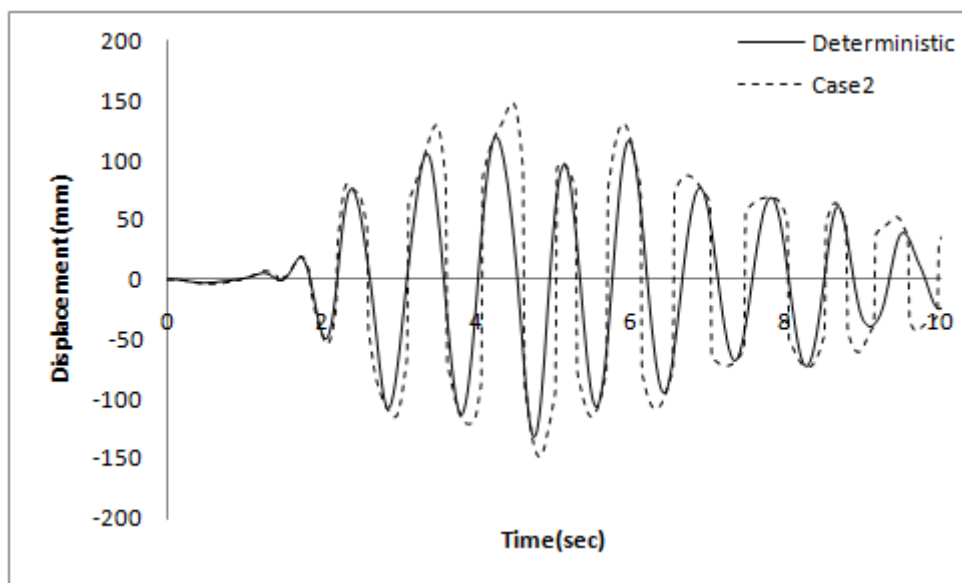
شکل پ 27 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 3 (سختی غیرقطعی)



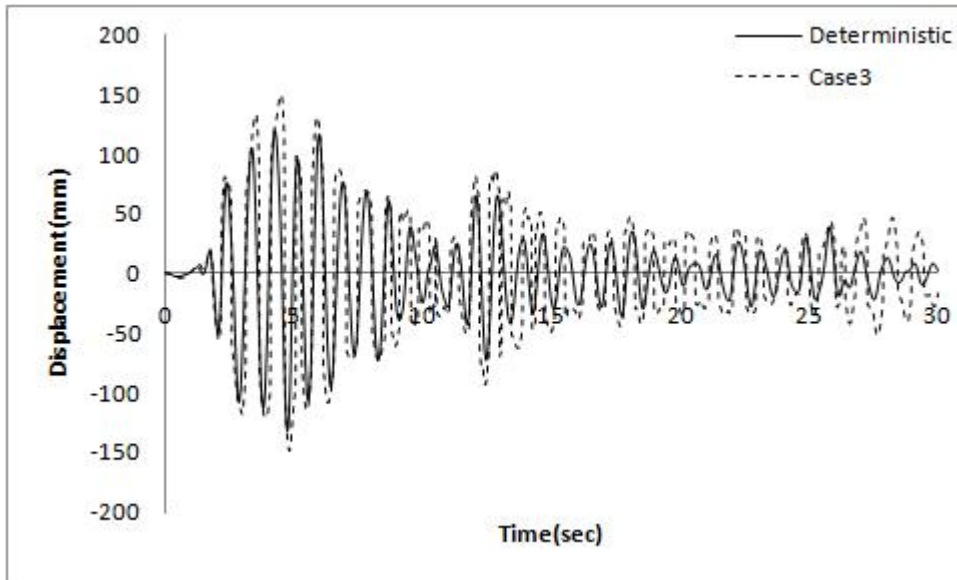
شکل پ 28 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (سختی غیرقطعی)



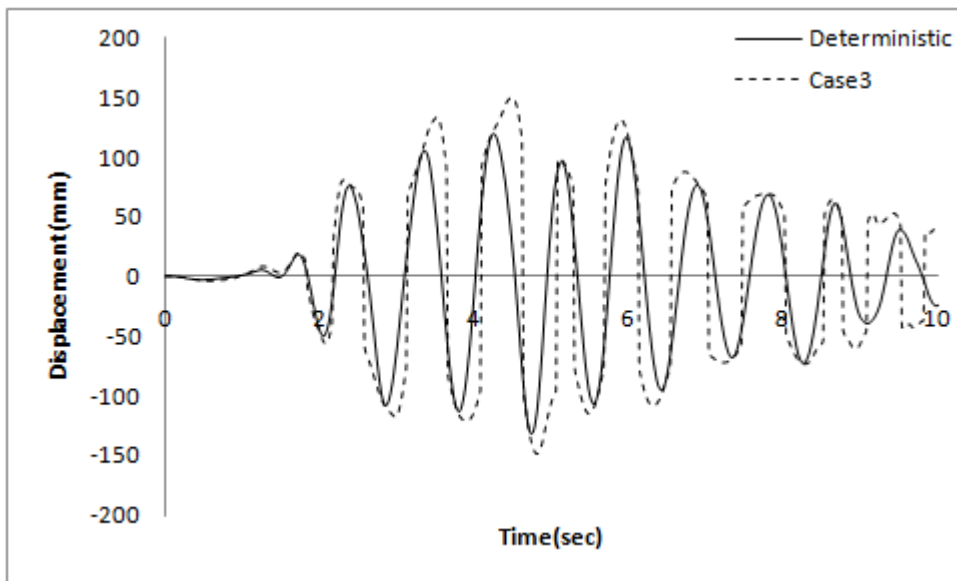
شکل پ 29 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 2 (جرم غیرقطعی)



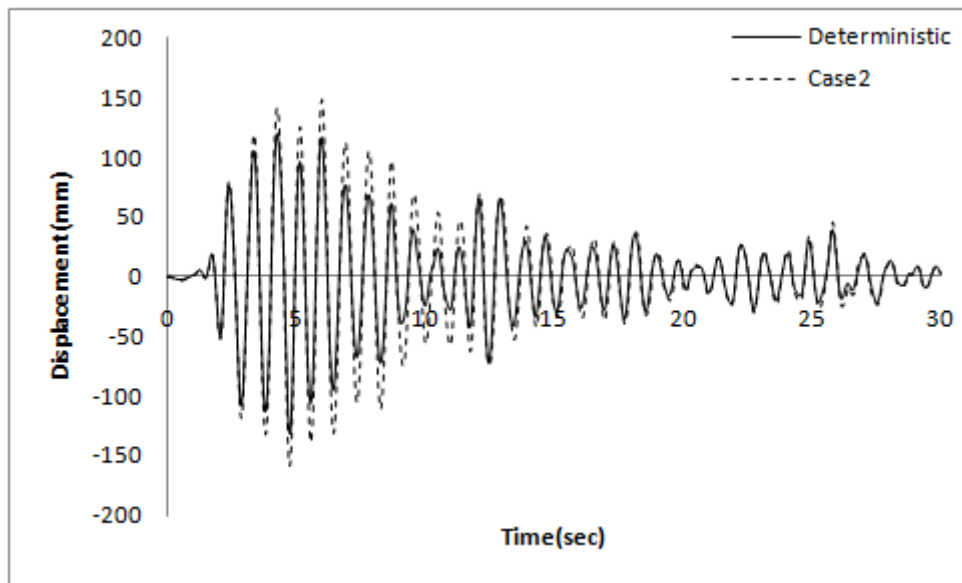
شکل پ 30 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (جرم غیرقطعی)



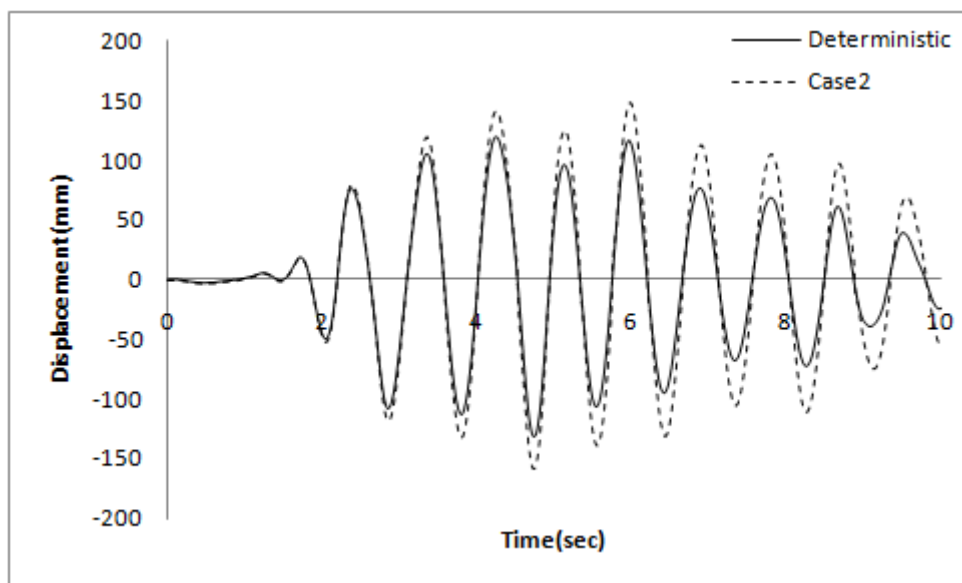
شکل پ 31 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 3 (جرم غیرقطعی)



شکل پ 32 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (جرم غیرقطعی)

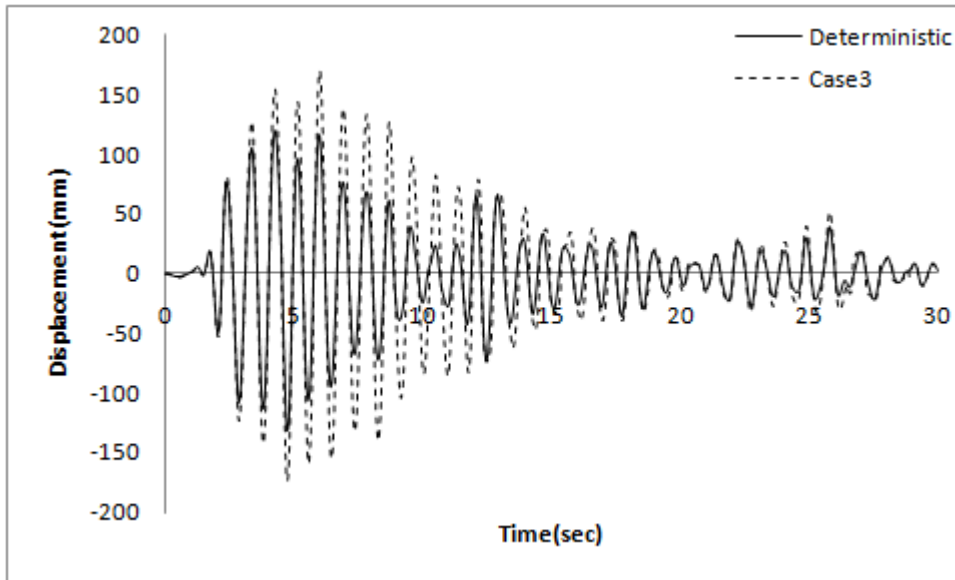


شکل پ 33 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 2 (میرایی غیرقطعی)

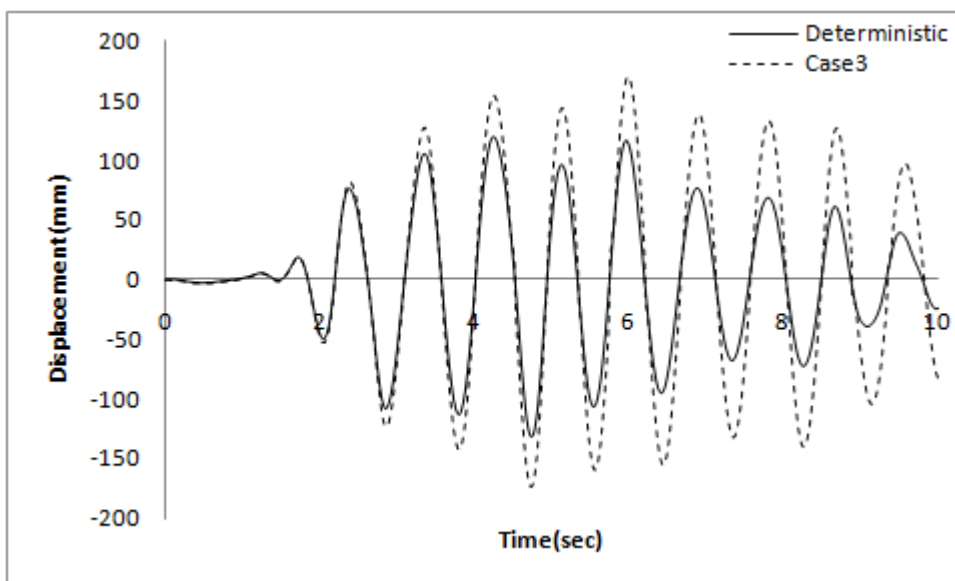


شکل پ 34 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2

(میرایی غیرقطعی)

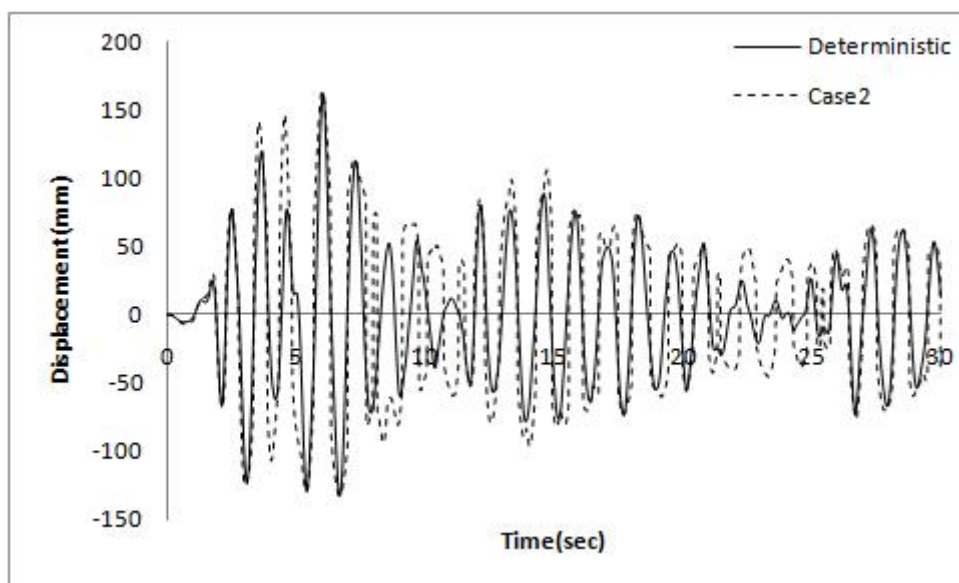


شکل پ 35 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در حالت 3 (میرایی غیرقطعی)

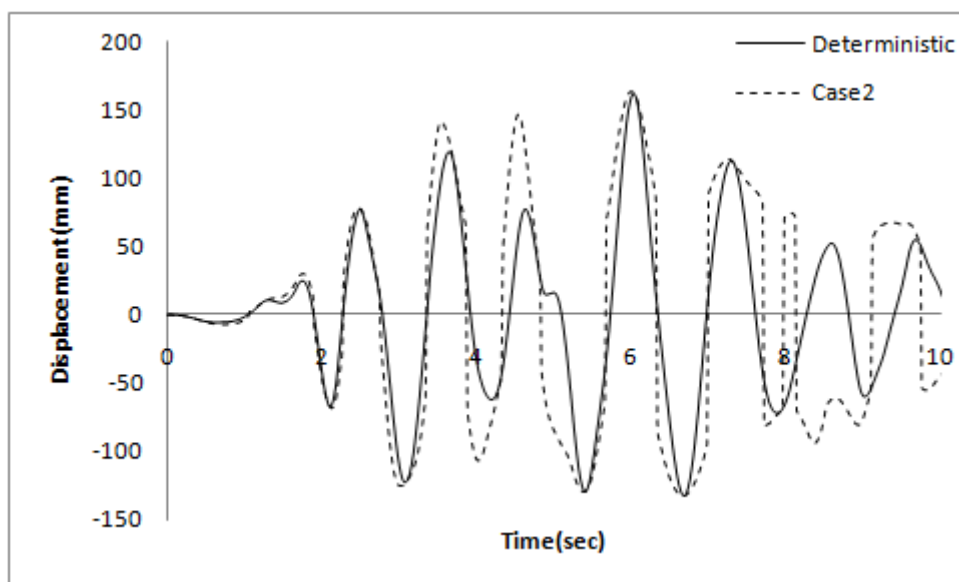


شکل پ 36 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه سه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3

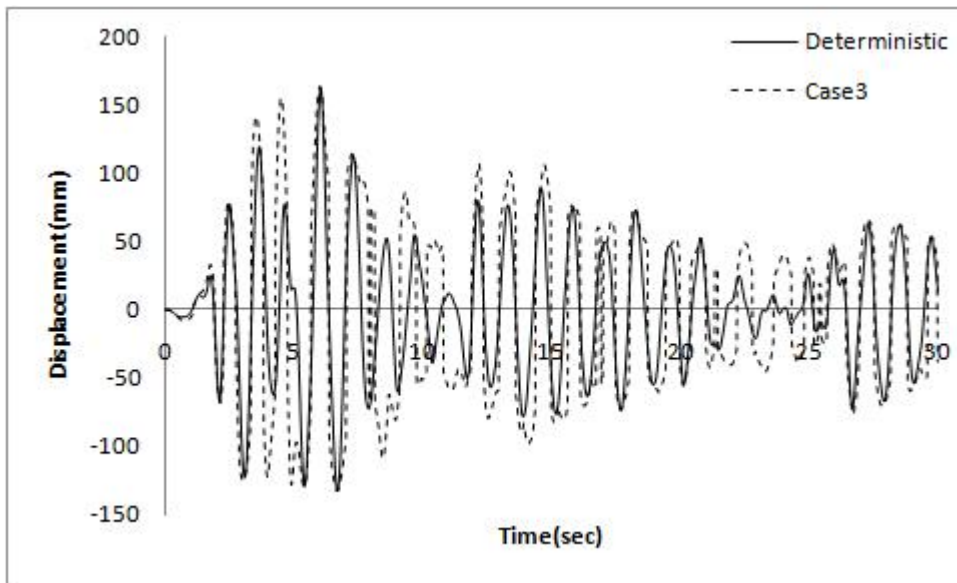
(میرایی غیرقطعی)



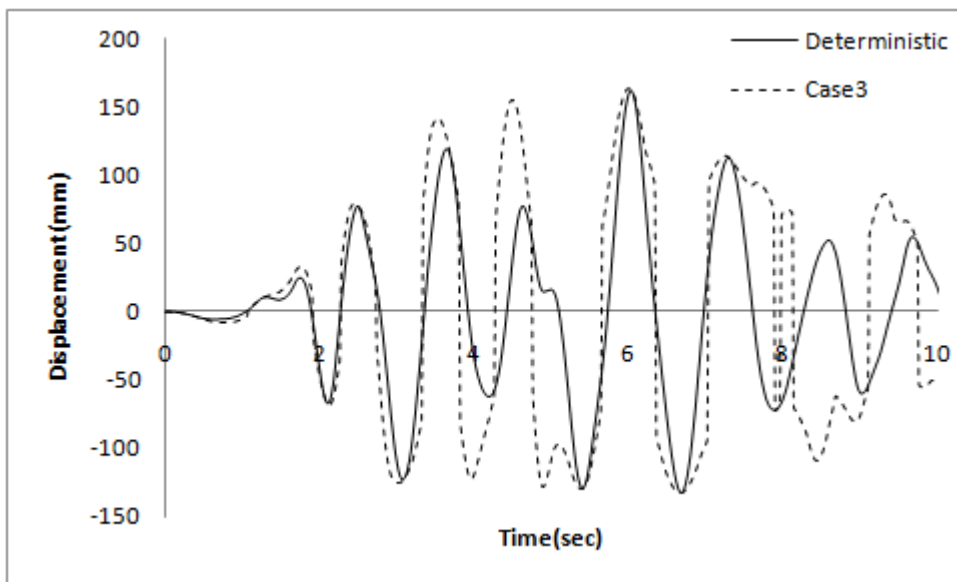
شکل پ 37 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 2 (سختی غیرقطعی)



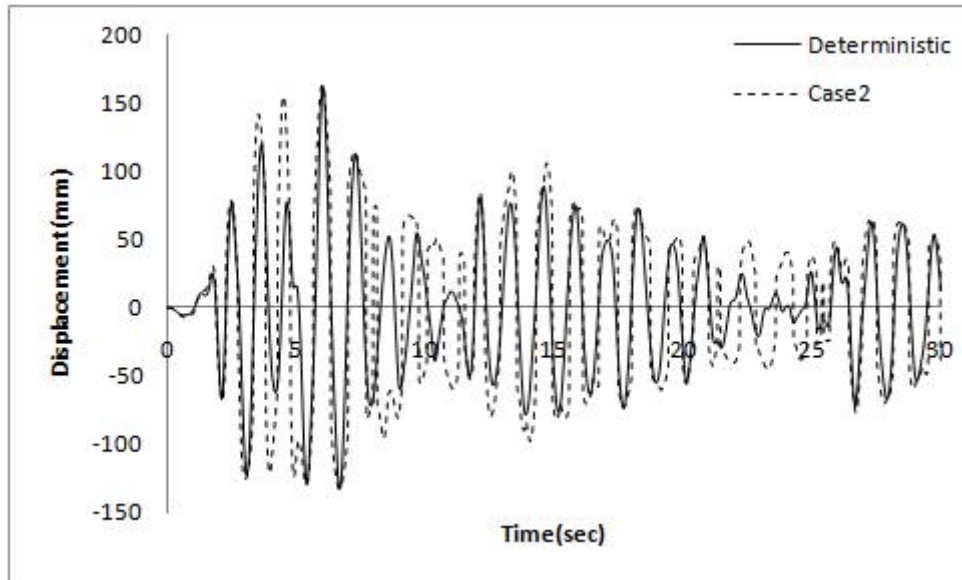
شکل پ 38 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (سختی غیرقطعی)



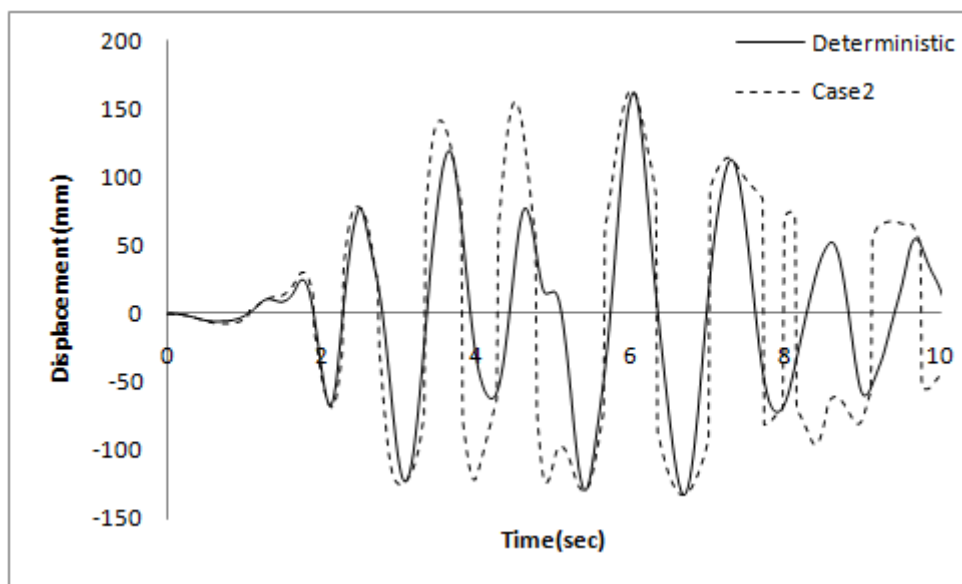
شکل پ 39 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 3 (سختی غیرقطعی)



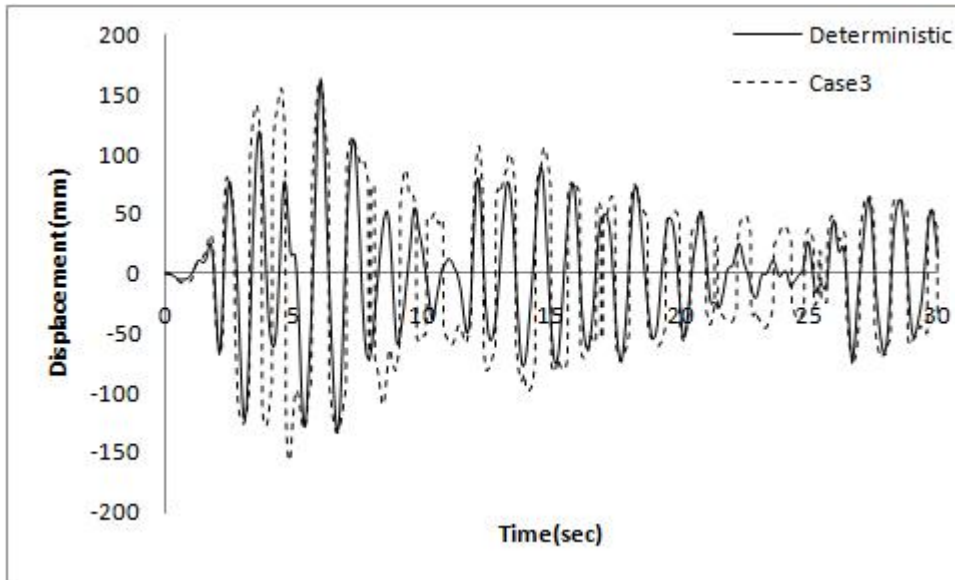
شکل پ 40 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (سختی غیرقطعی)



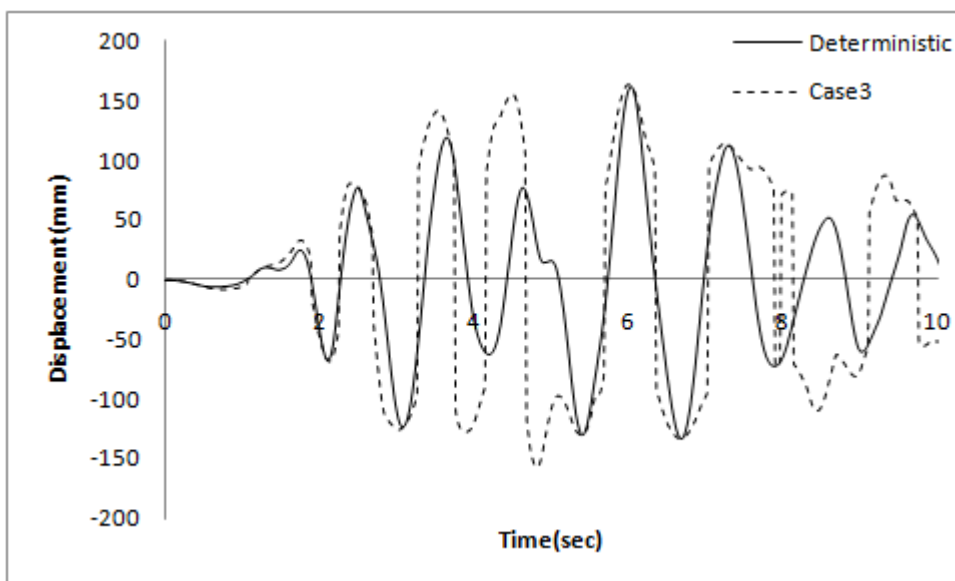
شکل پ 41 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 2 (جرم غیرقطعی)



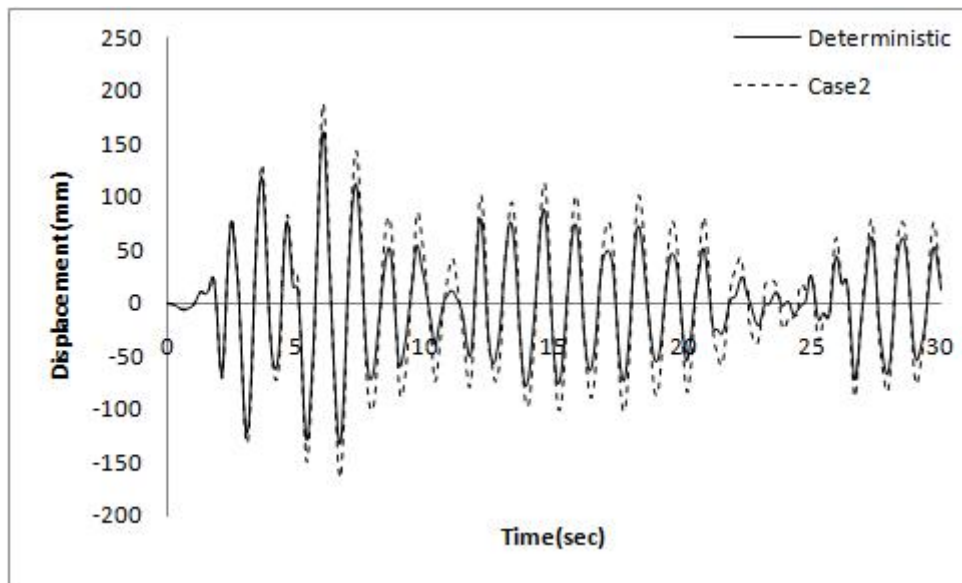
شکل پ 42 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (جرم غیرقطعی)



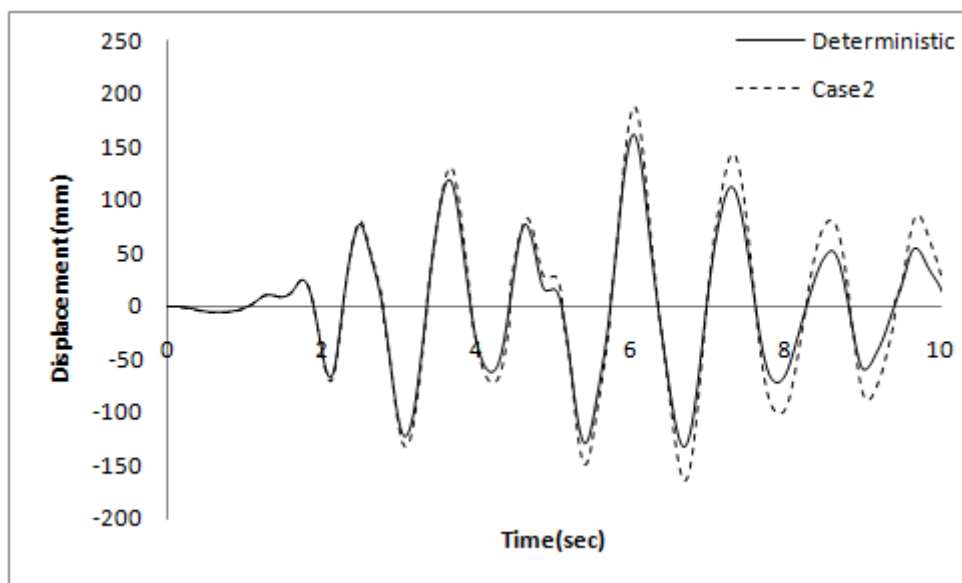
شکل پ 43 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 3 (جرم غیرقطعی)



شکل پ 44 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (جرم غیرقطعی)

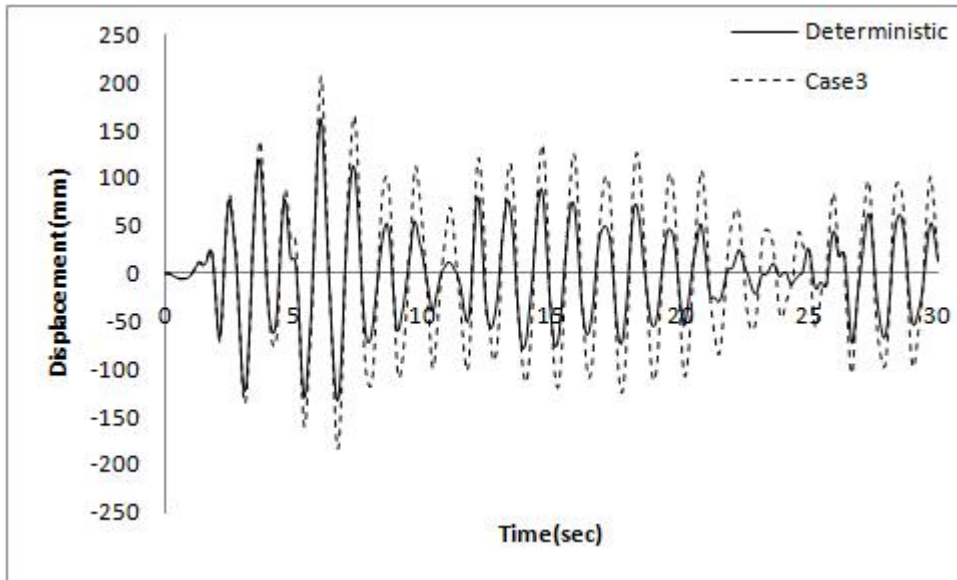


شکل پ 45 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 2 (میرایی غیرقطعی)

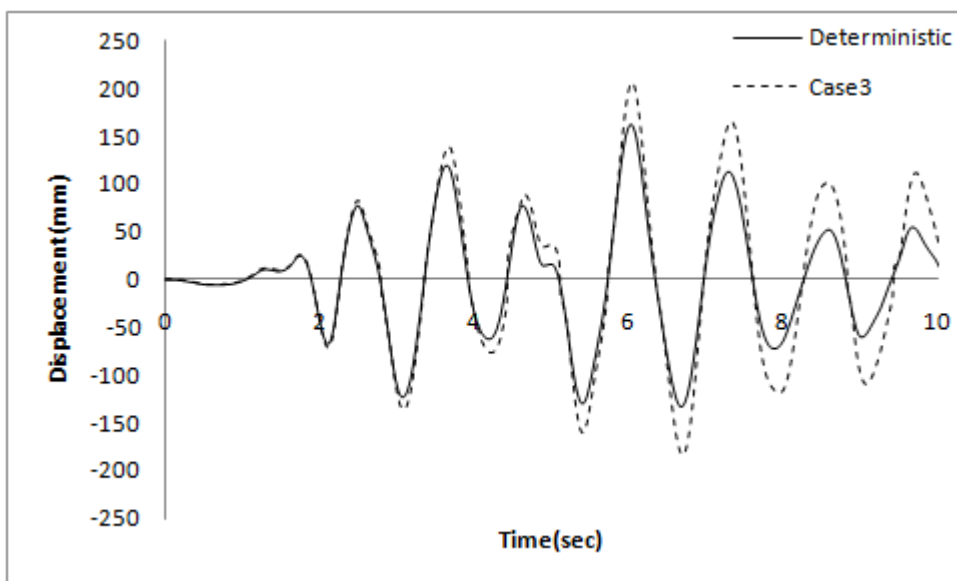


شکل پ 46 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2

(میرایی غیرقطعی)

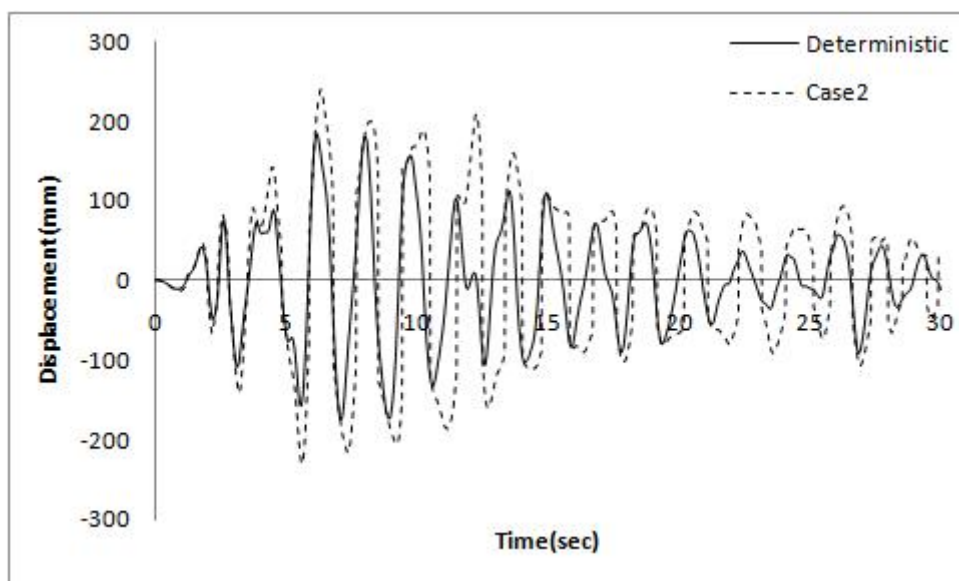


شکل پ 47 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در حالت 3 (میرایی غیرقطعی)

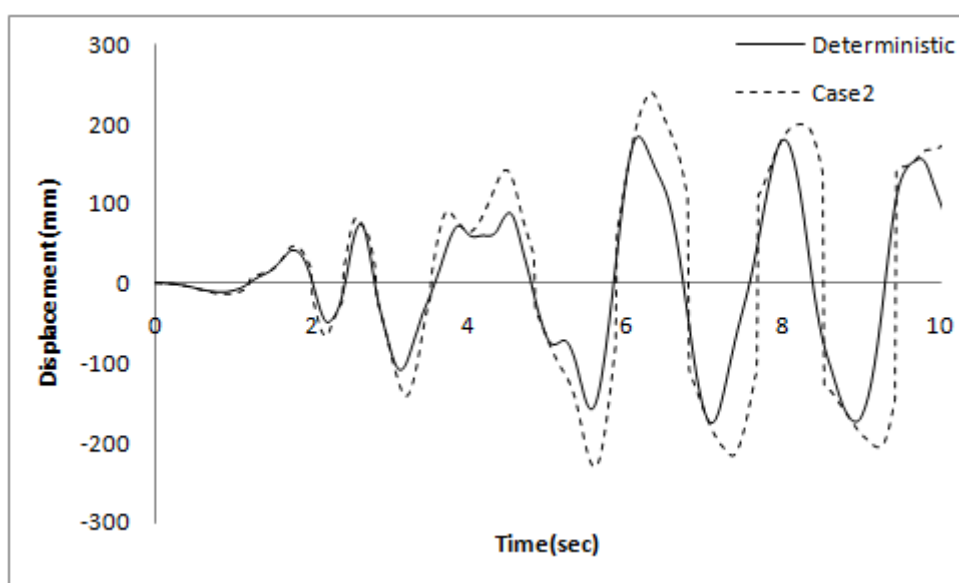


شکل پ 48 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه پنج درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3

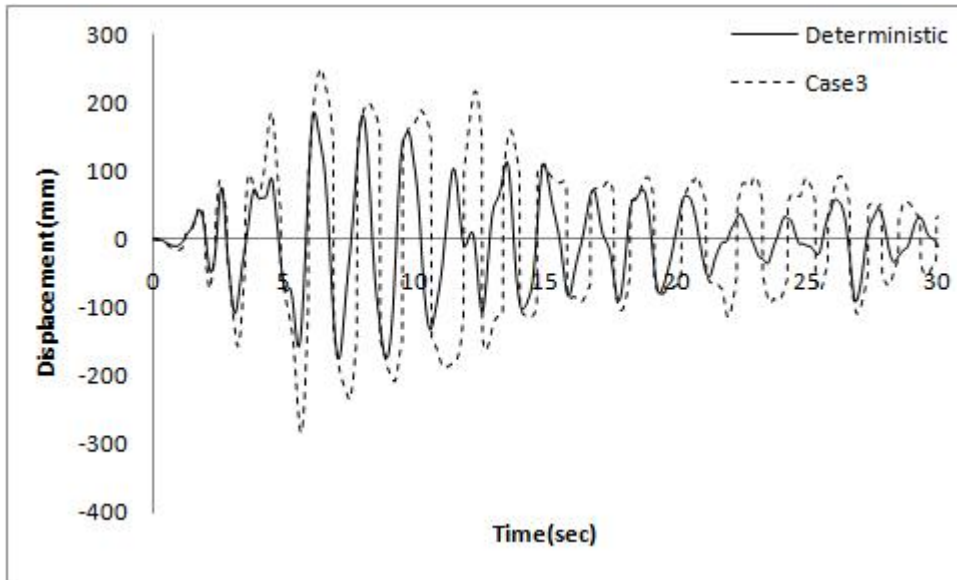
(میرایی غیرقطعی)



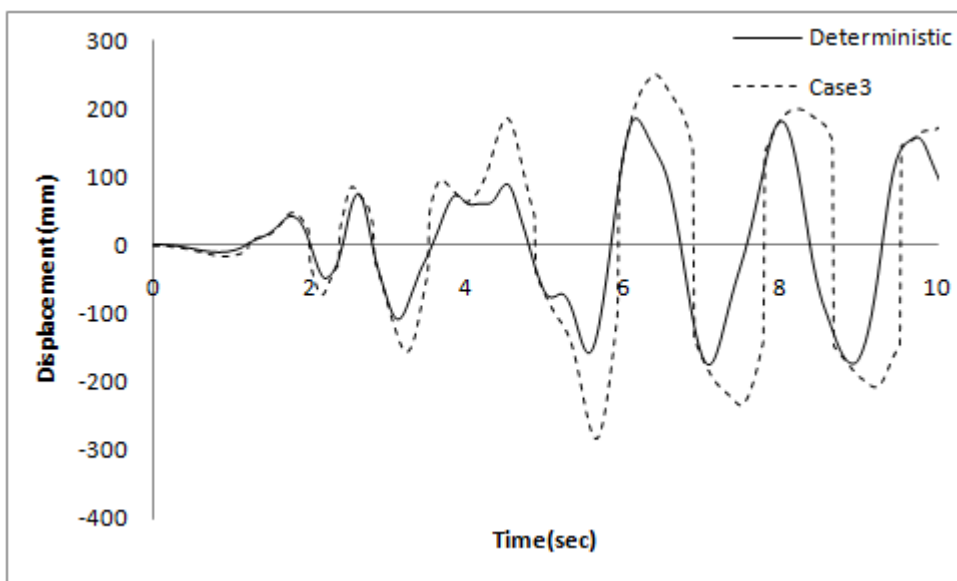
شکل پ 49 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 2 (سختی غیرقطعی)



شکل پ 50 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (سختی غیرقطعی)

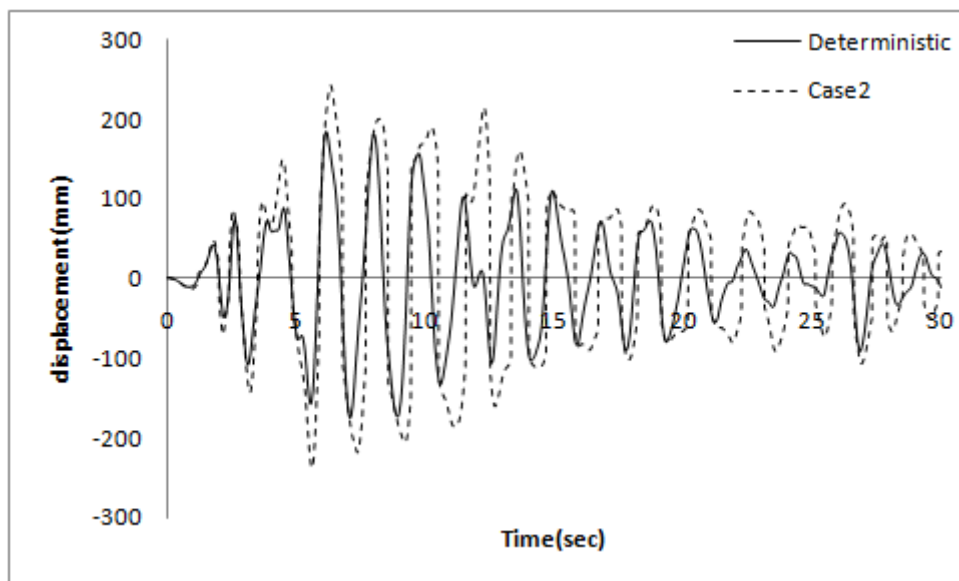


شکل پ 51 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 3 (سختی غیرقطعی)

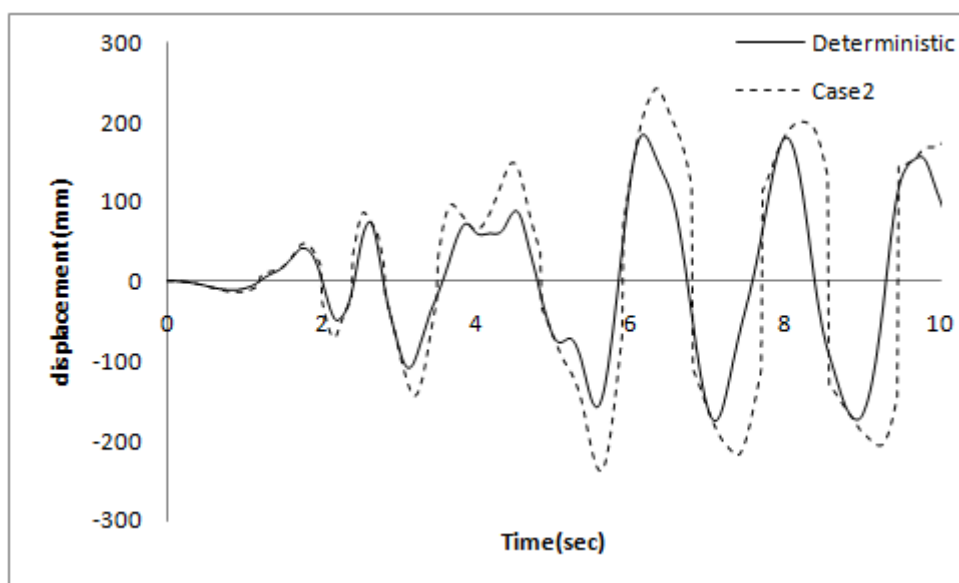


شکل پ 52 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (سختی

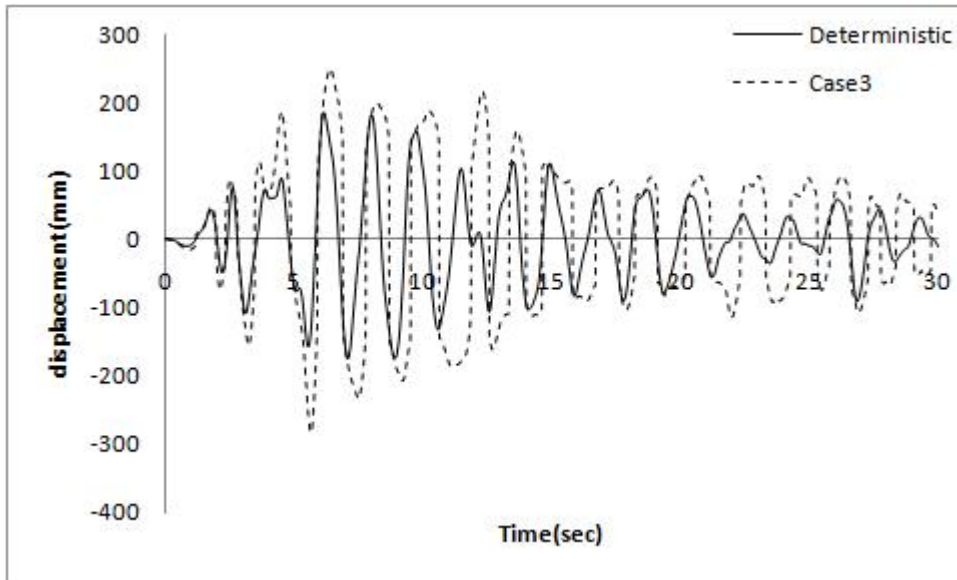
غیرقطعی)



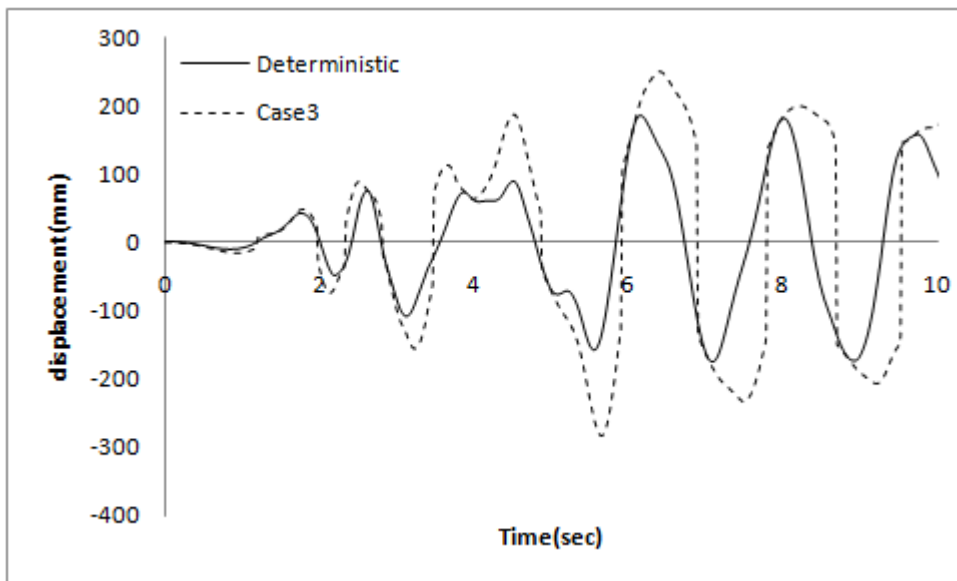
شکل پ 53 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 2 (جرم غیرقطعی)



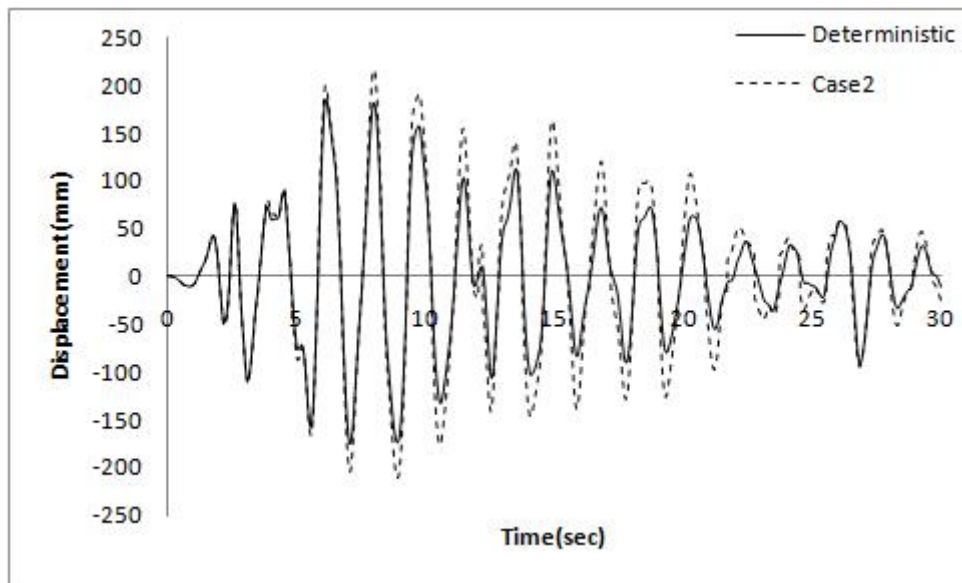
شکل پ 54 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (جرم غیرقطعی)



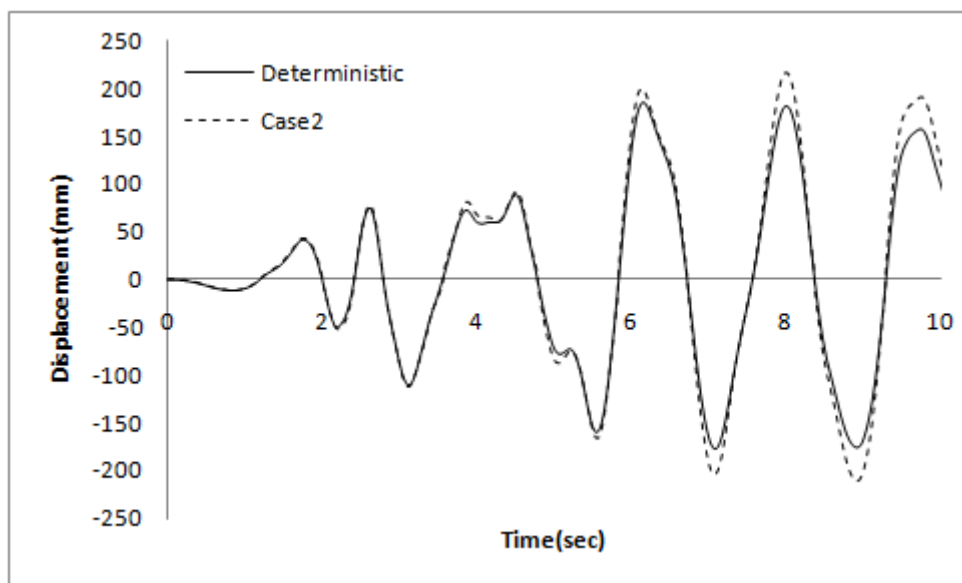
شکل پ 55 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 3 (جرم غیرقطعی)



شکل پ 56 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (جرم غیرقطعی)

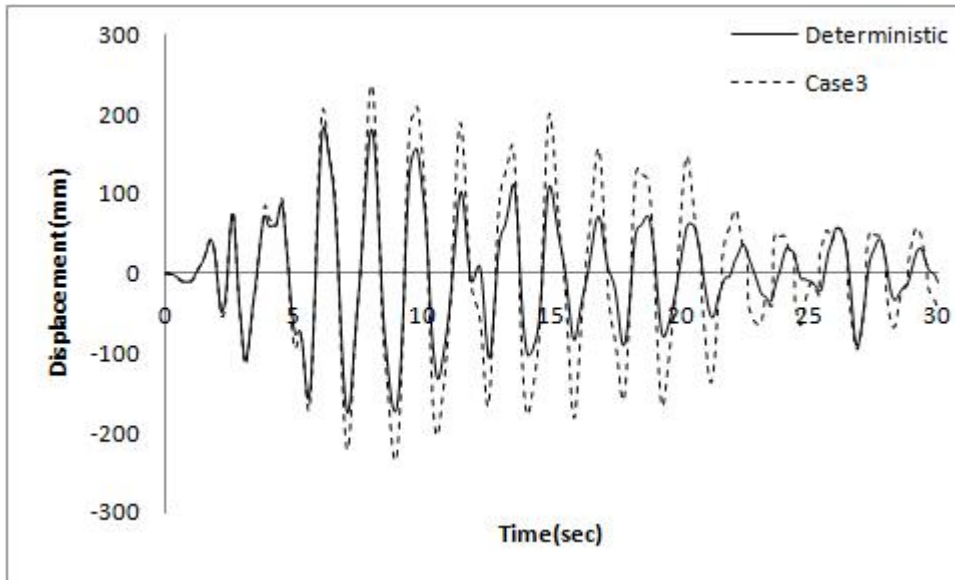


شکل پ 57 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 2 (میرایی غیرقطعی)

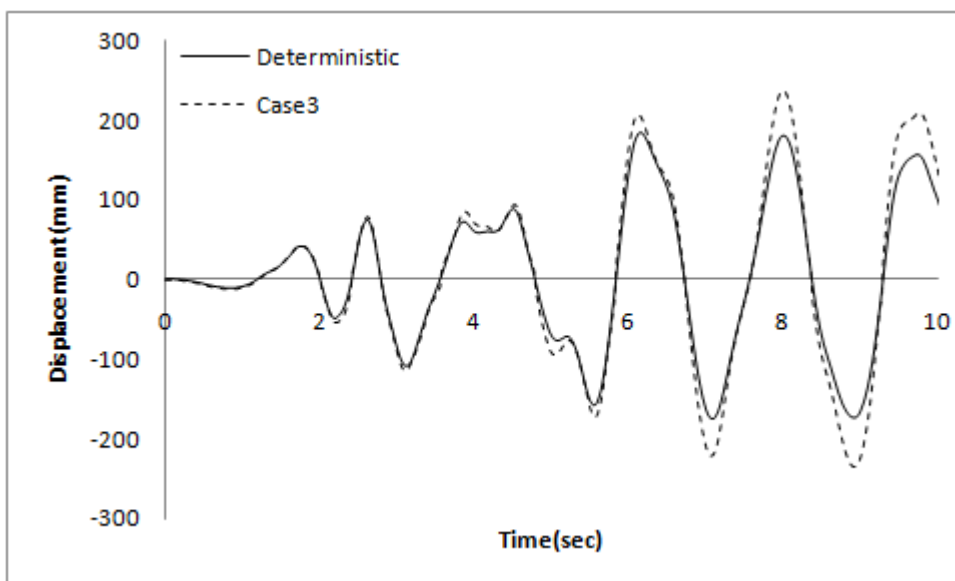


شکل پ 58 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 2 (میرایی

غیرقطعی)



شکل پ 59 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در حالت 3 (میرایی غیرقطعی)



شکل پ 60 مقایسه میانگین پاسخ غیرقطعی با پاسخ قطعی سازه نه درجه آزادی در 10 ثانیه ابتدایی حالت 3 (میرایی

غیرقطعی)

فصل هفتم

مراجع

1. Papadrakakis, M., Kotsopoulos, A., (1999). "Parallel solution method for stochastic finite element analysis using Monte-Carlo simulation", *Computer Methods in Applied Mechanical Engineering*, Vol. 168 , PP. 305-320.
2. Bucher, C.G., (1988). "Adaptive sampling—An iterative fast Monte-Carlo procedure", *Structural Safety*, Vol. 5 , PP. 119-126.
3. Moens, D., Vandepitte, D., (2005). "A survey of non-probabilistic uncertainty treatment in finite element analysis", *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* , Vol. 194, PP. 1527–1555.
4. Liu, K.L., Mani, A., Belytschko, T., (1987). "Finite element methods in probabilistic mechanics", *Probab. Engrg. Mech.*, Vol. 2 (4), PP. 201–213.
5. Stefanou, G., Papadrakakis, M., (2004). "Stochastic finite element analysis of shells with combined random material and geometric properties", *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, Vol. 193, PP. 139–160.
6. Yamazaki, F., Shinozuka, M., Dasgupta, G., (1988). "Neumann expansion for stochastic finite element analysis", *J. Engrg. Mech.*, Vol. 114 (8), PP. 1335-1354.
7. Falsone, G., Ferro, G., (2007). "An exact solution for the static and dynamic analysis of FE discretized uncertain structures", *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, Vol. 196, PP. 2390–2400.
8. Nowak, A.S., Collins, K.R., (2000). "Reliability of structures" , Mc-Graw Hill, USA.
9. Paola, M.D., Pirrotta, A., Zingales, M., (2004). "Stochastic dynamics of linear elastic trusses in presence of structural uncertainties", *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 19, PP. 41–51.
10. Tsompanakis, Y., Papadopoulos, V., Lagaros, N., Papadrakakis, M., (2002). "Reliability analysis of structures under seismic loading", *Fifth World Congress on Computational Mechanics*, July 7-12, Vienna, Austria.
11. Hosseini, S.A.A., Khadem, S.E., (2007). "Vibration and reliability of a rotating beam with random properties under random excitation", *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 49, PP. 1377–1388.
12. Rollot, O., Elishakoff, I., (2003). "Large variation finite element method for beams with stochastic stiffness", *Chaos, Solitons and fractals*, Vol. 17, PP.749–779.

13. Zhang, J., Foschi, R.O., (2004). "Performance-based design and seismic reliability analysis using designed experiments and neural networks", *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 19, PP. 259–267.
14. Marano, G.C., (2005). "Probabilistic seismic response and reliability assessment of isolated bridges", *Earthquake engineering and engineering vibration*, Vol. 4(1), PP. 95-106.
15. Chaudhuri, A., Chakraborty, S., (2003). "Realibility evaluations of 3-D frame subjected to non-stationary earthquake ", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 259(4), PP. 797–808.
16. Chen, J., Lio, W., Peng, Y., Li, J., (2007). "Stochastic seismic response and reliability analysis of base-isolated structures", *Journal of earthquake engineering*, Vol. 11, PP. 903–924.
17. Waisman, F., Gurley, K., Kareem, A., Grigoriu, M., (2002). "Non-Gaussian model for ringing phenomena in offshore structures", *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 128, PP. 730–741.
18. کاوه، ع، "نظریه قابلیت اعتماد و کاربرد آن در مهندسی سازه"، دانشگاه علم و صنعت، 1373.
19. لاپین، ل، "آمار و احتمال برای مهندسی مدرن"، ترجمه تیموری یانسری، م، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، 1386.
20. رانگاناتان، "تحلیل قابلیت اعتماد و طراحی ساختمان"، ترجمه فریدون، ع، دانشگاه سمنان، 1379.
21. برگی، خ، "دینامیک سازه‌ها"، انتشارات دانشگاه تهران، 1386.
22. Paz, M., (1985). "Structural Dynamics", Van Nostrand Reinhold Company Inc.
23. JCSS (2001-2), Probabilistic Model Code.

Abstract

Because of the many uncertainties in the structures, using methods based on knowledge of probability and statistics widely used in the analysis and Design and construction of the probability of failure has been found.

In recent years the study of structures in the environment of uncertainty has been the focus of many researchers. In this study, the effects of uncertainty and change in the standard deviation between mass, stiffness and damping on the displacement of several typical linear behavior of structures with one, three, five and nine of degrees of freedom has been investigated.

In order to observe the influence of structural variables with uncertainty, Dynamic analysis is compiled for each variable separately. The results showed a 53% increase in the mean response to the risk analysis is sighted.

Keywords: Dynamic analysis of structures, Analysis sighted Chance, Monte-Carlo method, The probability of failure



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

Dynamic parametric study of structures using stochastic approach

Hamed Hajizadeh

Supervisors:

Dr Ali Keyhani

Dr Seyed Mahdi Hosseini

September 2014