

مطالعه ای بر روی رفتار دینامیکی صفحات RCC و SFRC با استفاده از روش اجزاء محدود

محمد مهدی حیدری¹

۱. دانشجوی دکتری سازه های آبی دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات اهواز
mehdiheydari1@yahoo.com

خلاصه

بتن مسلح با الیاف به عنوان مصالح ساختمانی کامپوزیتی و مرکب که معتبر و قابل اطمینان و نیز ویژگیهای اجرایی بسیار ممتاز نسبت به بتن معمولی، به اثبات رسیده است. نوشته های قابل توجه و زیادی، که به بررسی فنی خواص بتن مسلح با الیاف فولادی (SFRC) بر مبنای آزمایش های استاتیکی پرداخته است، موجود است. اطلاعات بسیار کمی در مورد رفتار دینامیکی SFRC منتشر شده است. گزارش های این مقاله، واکنش صفحات بتن مسلح با الیاف و بتن مسلح معمولی (RCC) تحت بار ضربه ای است که با استفاده از نرم افزار اجزاء محدود ANSYS 5.50 مدلسازی شده است. تحلیل دینامیکی بر روی ۳ ضخامت مختلف صفحه ها و با شرط تکیه گاهی ساده و گیردار تمام اضلاع انجام شده است. پارامترهای فرکانس، تغییر مکان، سرعت و شتاب بدست می آید و گرافها و نمودارهای نسبی برای تغییر مکان و شتاب ترسیم شده است.

کلید واژه ها: بتن، الیاف، بتن مسلح با الیاف فولادی

مقدمه

اصولاً، صفحات مورد استفاده در سازه مسطح و با ضخامت بسیار کم نسبت به سایر ابعاد بوده اند. این صفحات ممکن است به سه دسته طبقه بندی شوند: صفحات نازک با تغییر شکل خمشی کم، صفحات نازک با تغییر شکل خمشی زیاد و صفحات ضخیم. صفحات در جریان برخی شرایط بارهای دینامیکی، تغییر مکان بزرگی را در صفحات سازه ای بوجود می آید. این قبیل سازه ها ممکن است مستلزم تحلیل غیر خطی باشند، هر چند، برخی از این سازه ها را می توان بطور دلخواه و با تقریب، با معادلات خطی تحلیل کرد. در مکانیک ساختمان، یک مسئله در حالتی غیر خطی است اگر ماتریس سختی و یا بردار بار وابسته به تغییر مکان باشد. حالت غیر خطی در سازه ها می تواند بعنوان مصالح غیر خطی و یا شکل هندسی غیر خطی تقسیم بندی شود. صفحه ها و پوسته های نازک دسته ای از مسائل را که در حالت غیر خطی از نوع شکل هندسی است را مورد بررسی قرار می دهد. بیشترین مشکل در تقریبهای غیر خطی، فرمولبندی این مسائل است و حل این معادلات ممکن است هزینه های گزافی در مقایسه با تقریبهای خطی داشته باشد. بهر حال آنالیزهای غیر خطی نسبت به گذشته بعلت کاهش ارزش محاسباتی، بارها برداشت میشود. روش حل ناویر (Navier) برای صفحات مستطیلی با تکیه گاههای ساده احتمالاً اولین روش بوده که بعدها توسط لوی (Levy) این روش حل کامل تر گردید. بطور گسترده، چندین روش و تکنیک ریاضی مثل ریتز (Ritz)، گالرکین (Galerkin) و روشهای متغیر دیگر برای تعیین رفتار دینامیکی صفحات با شکل های متفاوت و شرایط مرزی و تکیه گاهی مختلف مورد استفاده قرار گرفت. تحقیقات اصولی و منظم بر روی رفتار دینامیکی SFRC تنها در چند سال گذشته انجام گرفته است. به این ترتیب، اطلاعات کمی در مورد رفتار دینامیکی آنها منتشر شده است. به اثبات رسیده که جهت گیری ناگهانی به سمت بتن مسلح با الیاف فولادی، مصالح ساختمانی کامپوزیتی قابل اطمینان و موثر و دارای کارایی و ویژگیهای بسیار عالی در مقایسه با بتن معمولی هستند. الیاف مجزا در بتن باعث می شود، مقاومت ضربه ای، مقاومت خمشی، مقاومت کششی مستقیم، مقاومت در برابر ترک خوردگی، سایش و فرسودگی، مقاومت لرزه ای و خردشدگی و نیز مقاومت خستگی بتن سفت شده افزایش و اصلاح گردد. مقاومت ضربه ای در این بتن در حدود ۳ برابر بتن معمولی است. پراکندگی یکنواخت الیاف فولادی در سرتاسر بتن، خصوصیات مقاومت ایزوتروپی را که در بتن آرمه معمولی وجود ندارد را فراهم می آورد. بتن مسلح با الیاف را می توان در مواردی که استفاده از بتن معمولی دارای دشواریهایی است اجرا کرد. از جمله موارد استفاده از بتن الیافی عبارتست از: مصالح سنگفرش، شاتکریت، اجرای تولیدات پیش ساخته، باند فرودگاه ها، اتاقک های پیش ساخته با تیرهای پیش تنیده، پوشش تونلها، پوشش بامها بصورت پیش ساخته، کف سازی، لوله ها و شمع ها و تیرهای پیش ساخته، کف پارک ماشین ها، دالهای بتنی پلها، کف پوشهای صنعتی، پانل های

دیوار برشی، مرمت سدها و پل ها. در محافظت زیست محیطی از رآکتورهای هسته ای و نیز در سطوح خارجی سازه های زیر دریا که در سطح مشترک هوا و آب هستند و دارای مقاومت کمی در برابر بارهای ضربه ای هستند استفاده می شود.

بررسی تحلیل مورد نظر

آنالیز صفحات RCC و SFRC با استفاده از ANSYS 5.50 انجام می شود. برای آنالیز این صفحه ها با نرم افزار ، مراحل زیر بترتیب انجام می شود : ایجاد مدل مورد نظر ، مش بندی مدل ، شرایط و قیدهای مد نظر ، اعمال بار بر مدل ، تعیین نوع آنالیز ، ورود داده ها برای تحلیل و استخراج نتایج تحلیل. صفحات به ۹۰۰ المان با استفاده از اصل همگرایی معیارها، تقسیم بندی می شوند. اندازه هر المان ۲۰×۲۰ میلیمتر است. المان ها از نوع پوسته ای (Shell) و ۴ گره ای ، دارای قابلیت خمش و تنشهای پوسته ای میباشند. هر گره ۶ درجه آزادی دارد. اندازه صفحات ۶۰۰×۲۰×۶۰۰ میلیمتر، ۶۰۰×۶۰۰×۳۰ میلیمتر و ۶۰۰×۶۰۰×۲۰ میلیمتر است. آنالیز مودال برای تعیین فرکانس طبیعی سیستم انجام میشود. آنالیز گذر برای محاسبه تغییر مکان، سرعت و شتاب دینامیکی سیستم انجام میشود. شرایط مرزی گیرداری تمام اضلاع است. خصوصیات مصالح صفحات RCC عبارتست از :

$$(v) = 0.20 \quad \text{ضریب پواسون} \quad (E) = 2.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{مدول الاستیسیته}$$

$$(\rho) = 2.5 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3 \quad \text{چگالی}$$

و خصوصیات مصالح صفحات SFRC عبارتست از :

$$(v) = 0.23 \quad \text{ضریب پواسون} \quad (E) = 2.8 \times 10^4 \text{ N/mm}^2 \quad \text{مدول الاستیسیته}$$

$$(\rho) = 2.6 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3 \quad \text{چگالی}$$

معادلات تئوری برای محاسبه فرکانس طبیعی صفحه مربعی عبارتست از :

$$P = \lambda \sqrt{\frac{D}{ma^4}} \quad \text{rad/s} \quad (1)$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \quad \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (2)$$

که در این رابطه D: ضریب خمشی، h: ضخامت صفحه (mm)، m: جرم واحد سطح، a: ضلع مربع (mm) می باشد.

$$m = \rho h \quad \frac{N \cdot s^2}{\text{mm}^2} \quad (3)$$

$$\lambda = \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \quad (4)$$

که $\lambda_1 = 36$ ، $\lambda_2 = 73.8$ ، $\lambda_3 = 73.8$ ، $\lambda_4 = 109$ می باشد.

معادلات تئوری برای محاسبه فرکانس طبیعی صفحه مربعی با تکیه گاه ساده عبارتست از :

$$P_{mn} = \sqrt{\frac{D}{m\pi^2 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{a^2} \right)}} \quad \text{rad/s} \quad (1)$$

تشریح نتایج آزمایش

برای آنالیز ، صفحه ای به ابعاد ۶۰۰×۶۰۰ میلیمتر با ضخامت های مختلف ۲۰ ، ۲۵ و ۳۰ میلیمتری با شرایط تکیه گاهی گیرداری و ساده در نظر گرفته شده است . آنالیز دینامیکی برای پارامترهای مختلفی چون فرکانس ، پیوند زمانی ، تغییر مکان و شتاب انجام شد. شرایط مرزی و خصوصیات مصالح نیز در قسمت قبل توضیح داده شد.

واکنش صفحه به تحلیل

با برسی نتایج ، مقادیر فرکانس طبیعی بدست آمده در جداول ۱ و ۲ وارد شده است . از این جداول میتوان اینگونه برداشت کرد که مقادیر فرکانس در صفحات SFRC بالاتر از صفحات RCC هستند. سختی صفحات SFRC نیز نسبت به صفحات RCC افزایشی را نشان می دهد . با مراجعه به مقادیر تغییر مکان و شتاب بدست آمده از تحلیل که در جداول ۳ تا ۶ آورده شده است ، نشان می دهد که تغییر مکان و شتاب کاهش می یابد و تغییرات بزرگتر در حالتی که صفحات SFRC با تکیه گاه گیردار هستند نسبت به صفحات RCC مشاهده می شود. با مشاهده مقادیر شتاب می توان دریافت که ، میزان شتاب صفحات SFRC کمتر از صفحات RCC است . رفتار مشابهی برای ضخامتهای مختلف صفحه ها دیده می شود. از مقادیر تغییر مکان بدست آمده از تحلیل چنین ملاحظه می شود که تغییر مکان صفحات SFRC کمتر از صفحات RCC است . این رفتار برای ضخامتهای مختلف صفحه ها مشابه است .

جدول ۱ - فرکانس صفحات از روی ANSYS

ضخامت صفحه ها	مدها	فرکانس (cyc/sec)			
		تکیه گاه گیردار		تکیه گاه ساده	
		SFRC	RCC	SFRC	RCC
20 mm	1	3.095	2.962	1.699	1.626
	2	6.310	6.039	4.245	4.063
	3	6.310	6.039	4.245	4.063
	4	9.294	8.896	6.787	6.496
25 mm	1	3.869	3.703	2.123	2.032
	2	7.887	7.549	5.306	5.079
	3	7.887	7.549	5.306	5.079
	4	11.617	11.119	8.484	8.120
30 mm	1	4.642	4.443	2.548	2.438
	2	9.465	9.059	6.367	6.094
	3	9.465	9.059	6.367	6.094
	4	13.941	13.343	10.181	9.744

جدول ۲ - تغییر مکان و شتاب صفحه RCC با گیرداری ۴ جهت

زمان	تغییر مکان $\times 10^{-2}$ (mm)			شتاب (mm/s^2)		
	20 mm	25 mm	30 mm	20 mm	25 mm	30 mm
0.1	0.256	0.155	0.079	21.23	19.86	15.21
0.2	0.581	0.297	0.172	-32.1	-21.115	-18.01
0.3	0.31	0.005	-0.101	49.32	37.254	24.091
0.4	-0.403	-0.241	-0.08	-50.101	-43.567	-28.067
0.5	0.29	-0.102	0.199	56.371	52.364	32.363
0.6	0.623	0.347	-0.151	-62.488	-54.343	-39.647
0.7	0.05	-0.296	0.24	75.118	58.297	44.024
0.8	-0.542	0.375	-0.201	-86.339	-67.238	-51.234
0.9	0.659	-0.321	0.288	107.419	97.846	72.324
1.0	-0.594	0.436	-0.234	-135.254	-112.34	-96.235

جدول ۳ - تغییر مکان و شتاب صفحه SFRC با گیرداری ۴ جهت

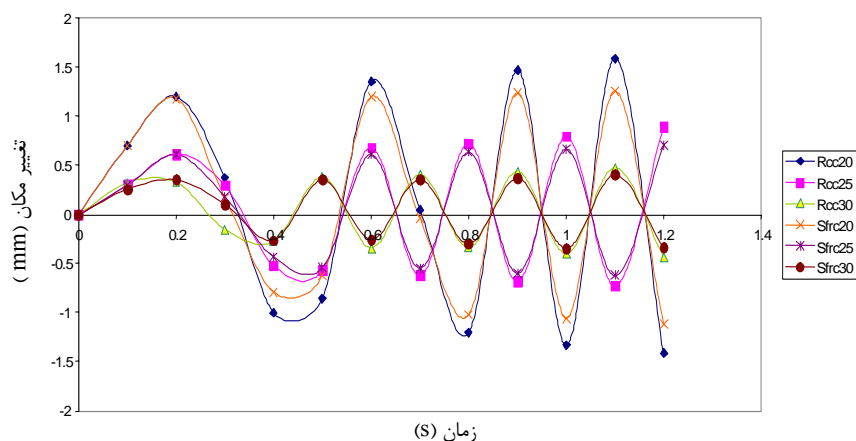
زمان	تغییر مکان $\times 10^{-2}$ (mm)			شتاب (mm/s^2)		
	20 mm	25 mm	30 mm	20 mm	25 mm	30 mm
0.1	0.241	0.154	0.06	15.487	10.257	4.023
0.2	0.575	0.295	0.17	-18.254	-13.945	-7.235
0.3	0.291	-0.012	-0.07	34.387	18.389	11.876
0.4	-0.322	-0.199	-0.04	-38.487	-26.143	-19.387
0.5	0.283	-0.05	0.176	47.253	34.251	24.102
0.6	0.58	0.298	-0.13	-53.431	-42.301	-32.78
0.7	0.001	-0.201	0.182	63.433	51.947	39.163
0.8	-0.472	0.304	-0.169	-70.178	-62.439	-46.972

جدول ۴ - تغییر مکان و شتاب صفحه RCC با تکیه گاه ساده در ۴ جهت

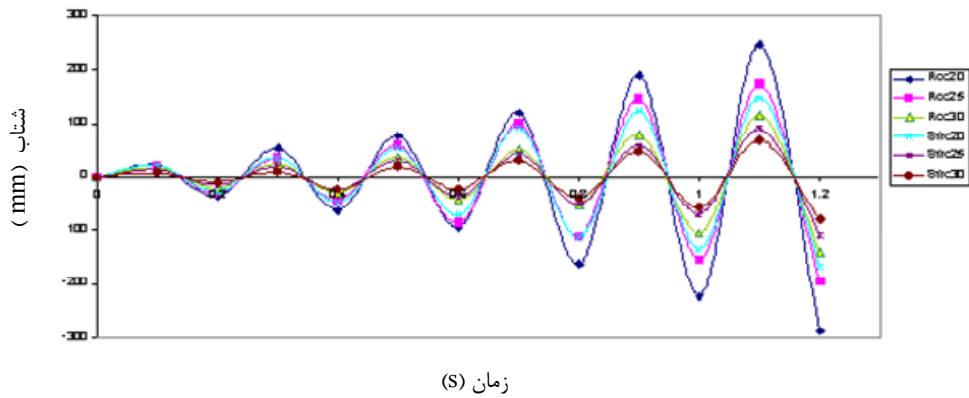
زمان	تغییر مکان $\times 10^{-2}$ (mm)			شتاب (mm/s^2)		
	20 mm	25 mm	30 mm	20 mm	25 mm	30 mm
Sec.						
0.1	0.701	0.301	0.325	22.31	20.325	16.232
0.2	1.2	0.614	0.327	-35.367	-29.661	-20.101
0.3	0.372	0.298	-0.152	52.844	34.432	24.259
0.4	-1.003	-0.523	-0.273	-61.193	-43.645	-29.451
0.5	-0.856	-0.568	0.378	76.873	58.697	37.471
0.6	1.354	0.683	-0.342	-94.949	-86.327	-42.763
0.7	0.05	-0.622	0.403	121.013	99.699	50.211
0.8	-1.206	0.723	-0.334	-163.185	-111.672	-52.364

جدول ۵ - تغییر مکان و شتاب صفحه SFRC با تکیه گاه ساده در ۴ جهت

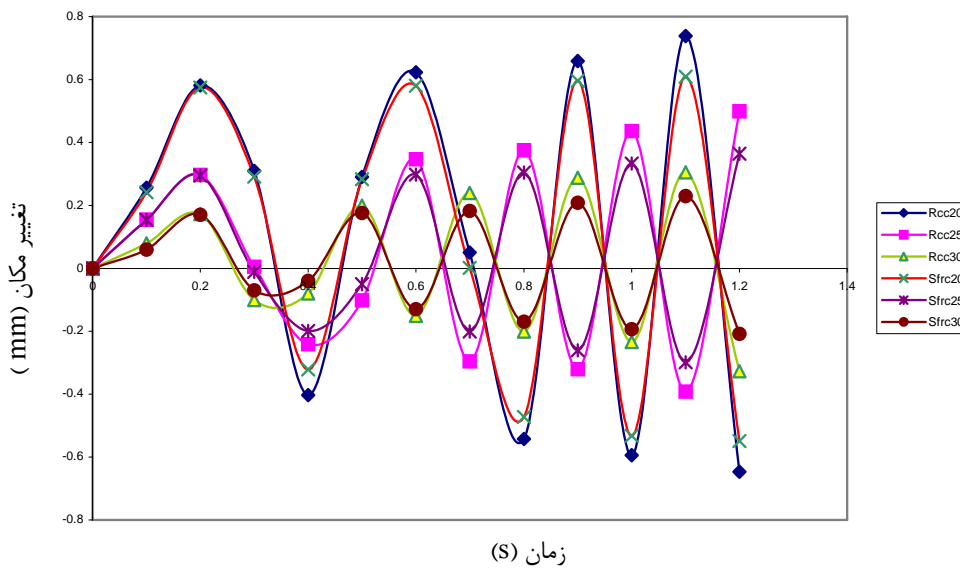
زمان	تغییر مکان $\times 10^{-2}$ (mm)			شتاب (mm/s^2)		
	20 mm	25 mm	Sec.	20 mm	25 mm	Sec.
0.1	0.701	0.298	0.254	20.888	12.498	7.438
0.2	1.18	0.608	0.352	-26.144	-14.561	-9.736
0.3	0.171	0.182	0.1	36.121	19.113	13.384
0.4	-0.791	-0.432	-0.264	-47.791	-24.291	-22.86
0.5	-0.623	-0.541	0.353	53.313	30.411	29.475
0.6	1.203	0.612	-0.256	-71.816	-36.787	-33.247
0.7	-0.04	-0.549	0.355	92.194	42.493	40.367
0.8	-1.02	0.635	-0.301	-113.216	-50.134	-48.366
0.9	1.24	-0.599	0.368	123.13	58.337	57.324
1.0	-1.06	0.667	-0.346	-135.576	-69.282	-68.347



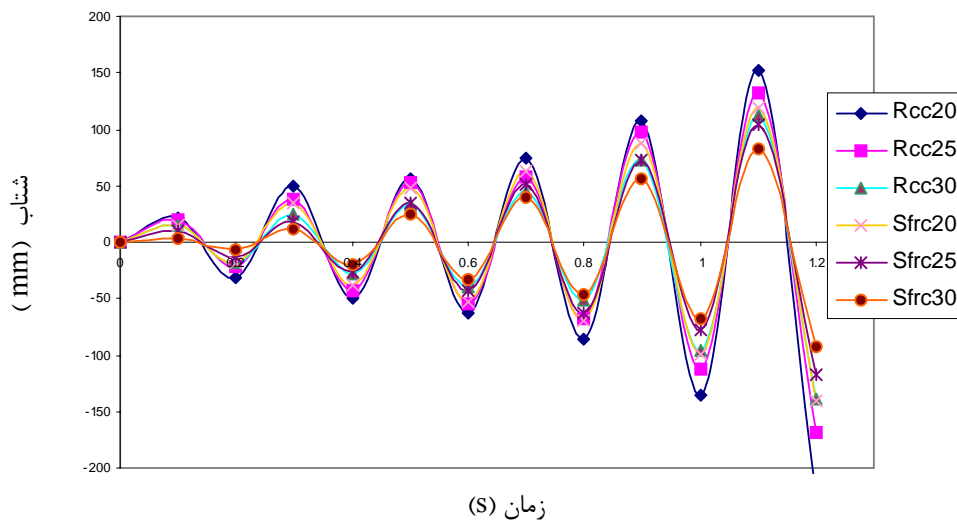
شکل ۱ - مقایسه تغییر مکان صفحات RCC و SFRC با ضخامتهای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلیمتر با تکیه گاه ساده در ۴ جهت



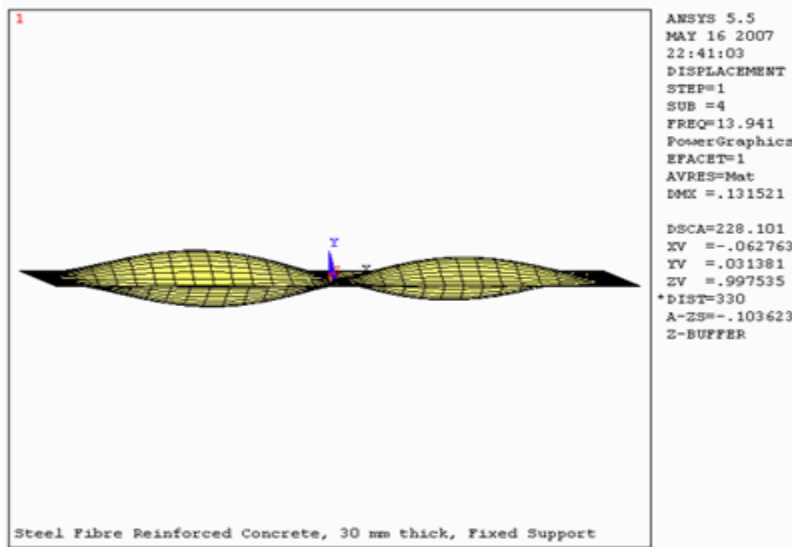
شکل ۲ - مقایسه شتاب صفحات RCC و SFRC با ضخامتهای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلیمتر با تکیه گاه ساده در ۴ جهت



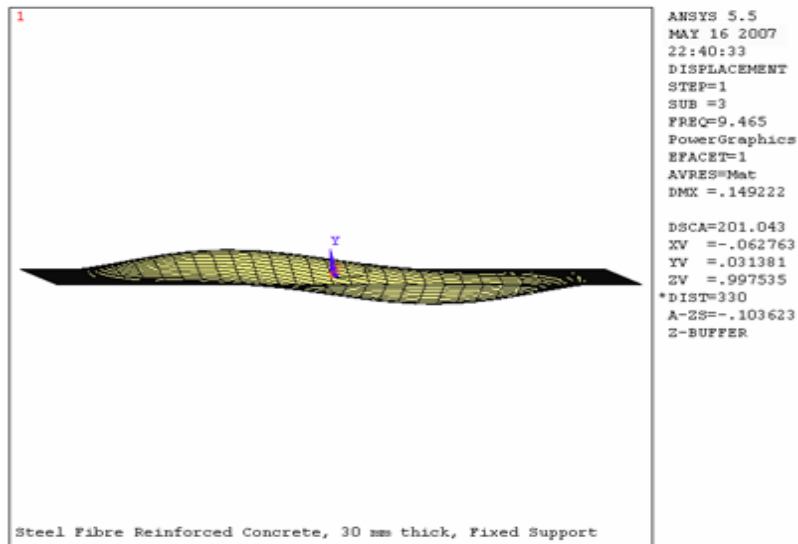
شکل ۳ - مقایسه تغییر مکان صفحات RCC و SFRC با ضخامتهای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلیمتر با تکیه گاه گیردار در ۴ جهت



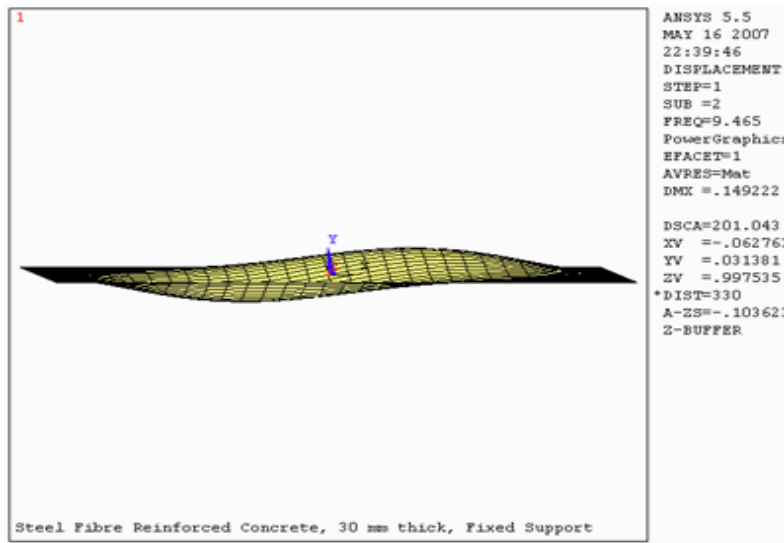
شکل ۴ - مقایسه شتاب صفحات RCC و SFRC با ضخامتهای ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلیمتر با تکیه گاه گیردار در ۴ جهت



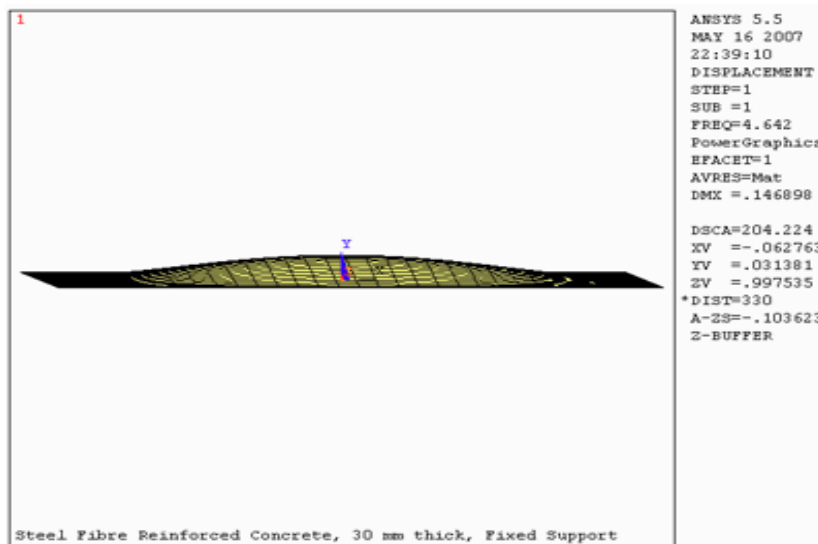
شکل ۵ - مد شکل شماره ۴ صفحه SFRC با ضخامت ۳۰ میلیمتر و گیردار



شکل ۶ - مد شکل شماره ۳ صفحه SFRC با ضخامت ۳۰ میلیمتر و گیردار



شکل ۷ - مد شکل شماره ۲ صفحه SFRC با ضخامت ۳۰ میلیمتر و گیردار



شکل ۸ - مد شکل شماره ۱ صفحه SFRC با ضخامت ۳۰ میلیمتر و گیردار

نتیجه گیری

با افزایش ضخامت صفحه ها به میزان ۲۵ درصد ، کاهش مقادیر متغیرهایی چون تغییر مکان و شتاب در حدود ۷۰ درصد است . صفحه SFRC ، تغییر مکان و شتاب کمتری نسبت به صفحه RCC به میزان ۲۲ درصد را نشان می دهد . کاهش تغییر مکان و شتاب صفحات با تکیه گاه گیردار نسبت به صفحات با تکیه گاه ساده بین ۳۵ تا ۵۰ درصد است . به نظر می رسد که صفحه SFRC در فرکانس های بالاتر دارای خصوصیات سختی بهتری نسبت به صفحه RCC می باشد .

مراجع

1. Duggon and Ochoa, Natural Frequency behaviour of damaged composite materials. Journal of Sound and Vibration. 1992;158(3):540– 545.

2. Straznicky et al. Damage resistance in composite material. in Proc., Tenth International Conference on composite materials, Whistler B.C., Canada, pp: 607-614,1995.
3. Nurick and conoly. Response of clamped single and doubled stiffened rectangular plates subjected to blast loads. in Proc.,Third International Conference on structures under shock and impact, Madrid, Spain, June 94, pp:207 – 220.
4. P. J. Deolasi, P.K.Data and D.L. Prabhakara,'Buckling and vibration of rectangular plates subjected to partial edge loading, Journal of Structural Engineering. 1955;22(3):135 – 144.
5. Mallikarjuna and T.Kant.Dynamics of fibre reinforced unsymmetrically laminated composite – Sandwich plates using a refined theory with finite elements. Journal of Structural Engineering, 1991;18 (3):89 – 98.
6. D.L.Prabakara and P.K.Datta. Static and Dynamic behaviour of rectangular plates with internal flaws subjected to a pair of concentrated loading, Journal of Structural Engineering.1997 ; 23 (4):183 – 187.