

Analysis of Seismic Response Modification Factor of Concrete Silos and its Effective Parameters

Mohammad Reza Aram

Assistant Professor of Research Institute of Nuclear Science And Technology, Tehran, Iran
mharam@aeoi.org.ir

Samieh Sadat Mirhosseini*

Master of Earthquake Engineering, Department of Civil Engineering, Ale-taha University, Tehran, Iran
mirhosseini524@gmail.com

Abstract

In this research, in order to evaluate the effect of parameters such as geometry, stored material, concrete strength, silo wall thickness and FE mesh size on seismic response modification factor, finite element modeling is generated in three conditions: full, half-filled and empty. In this way finite element Abaqus is used for modeling and static nonlinear pushover analysis. As a sample, two types of models are created: the clinker silo (without basis) and by pass clinker silo (legged). Then, the mentioned models are subjected to nonlinear finite element method and the base shear-displacement diagrams are extracted. All of the mentioned graphs are evaluated by Young method to be bilinear. The response modification factor and the connected parameters such as plasticity, added resistance and plasticity ratio have been calculated.

The calculated response factors are more than that of the design regulation of seismic buildings code (standard of 2800) and also the Code of IBC (Asce-7-16) and it can be said that regulations are conservative.

The results show that the parameters of the geometry (diameter to height) and filled or emptiness of the silos are not very effective in the amount of response modification factor. However, the response behavior factor does not change significantly by increasing the strength of the concrete and it can be concluded that the response factor is not related to the concrete strength.

Increasing the thickness of the silos due to increased plastic capacity increases the R Value and increasing the mesh size due to the reduction of the accuracy of the calculations, reduces R and it indicates that the change of the response factor obtained from the initial value is small and does not affect the behavior much.

Keywords: Response Modification Factor, Concrete Silos, Nonlinear Static Analysis, Pushover, Parametric Study, Finite Element Method.

محاسبه ضریب رفتار لرزه‌ای سیلوهای بتنی و عوامل موثر بر آن

دریافت مقاله: ۱۳۹۷-۱۰-۱۹

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸-۰۸-۱۳

محمد رضا آرم

استادیار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران

نمیه سادات میرحسینی*

کارشناسی ارشد زلزله، گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آل‌طه، تهران، ایران

mirhosseini524@gmail.com

چکیده

در این تحقیق ضریب رفتار (R) سیلوه‌ها به منظور ارزیابی اثر پارامترهای: هندسه، مواد داخل سیلو، مقاومت بتن، ضخامت جداره سیلو و ابعاد مش‌بندی در سه حالت پر، نیمه‌پر و خالی مدل‌سازی و محاسبه می‌شود. به عنوان نمونه، دو مدل سیلوهای اجرایی کلینکر (بدون پایه) و بای‌پس کلینکر (پایه‌دار) از نرم افزار المان محدود آباکوس جهت مدل‌سازی و آنالیز استاتیکی غیرخطی استفاده شده است. سپس مدل‌های مذکور در نرم‌افزار آباکوس، تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش‌آور قرار گرفته و نمودارهای برش پایه-تغییر مکان آنها استخراج شده است. تمامی نمودارهای مذکور به روش یانگ، دوخطی شده و ضریب رفتار و پارامترهای مربوط به آن محاسبه گردیده است.

ضریب رفتار بدست آمده در سیلوه‌ها از مقدار آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ و IBC (Asce-7-16) بیشتر است و می‌توان گفت آیین‌نامه‌ها به طور محافظه‌کارانه کمترین مقدار را در نظر گرفته است.

نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که پارامترهای هندسه (قطر به ارتفاع)، پر یا خالی بودن مواد داخل سیلو در مقدار R چندان مؤثر نمی‌باشد. با افزایش مقاومت بتن، ضریب رفتار تغییر چشمگیری نمی‌کند و می‌توان گفت ضریب رفتار تابع مقاومت بتن نمی‌باشد.

افزایش ضخامت جداره سیلو به دلیل افزایش ظرفیت پلاستیک، موجب افزایش R می‌شود و افزایش ابعاد مش‌بندی به دلیل کاهش دقت محاسبات، موجب کاهش بسیار ناچیز R می‌شود و زیاد تأثیرگذار نیست. کلید واژه‌ها: ضریب رفتار، سیلوهای بتنی، تحلیل استاتیکی غیرخطی، پوش‌آور، سیلو پایه‌دار و بدون پایه.

سیلوها از سازه‌های مهم صنعتی در رشته عمران به شمار می‌آیند، که برای ذخیره کردن مصالح دانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه سیلوها در تامین مایحتاج ضروری مردم نقش مهمی را ایفا می‌کنند و هزینه‌های زیادی جهت ساخت آنها صرف می‌شود در زمره طرح‌های مهم ملی به شمار می‌رود. به این جهت لازم است که سیلوها بعد از وقوع زلزله شدید، کارکرد خود را حفظ نمایند. این موارد نشان دهنده اهمیت زیاد مطالعه اثر زلزله بر سیلوها مخصوصاً برای کشور ما که خطر لرزه‌خیزی زیادی دارند، می‌باشد.

میزان شکست سیلوه‌های سراسر جهان در مقایسه با میزان شکست دیگر سازه‌های صنعتی بسیار بالاتر است. قابلیت اطمینان و ثبات این سازه‌های خاص تحت بارهای لرزه‌ای به یک نگرانی اساسی تبدیل شده است و باید توسط افراد چند رشته‌ای در طراحی، پیاده‌سازی و مدیریت قابل درک باشد [۱]. سه عامل مهم طراحی سیلوها، مواد ذخیره شده، هندسه و ساختار آن می‌باشد و همچنین در حالت زلزله چگونگی سازه سیلو از جمله پایه‌دار یا بدون پایه، بسیار مهم است.

در مناطق زلزله خیز سیلوها باید برای مقاومت در برابر بارهای ناشی از زلزله طراحی شوند، که در این طراحی مسئله ترک ناشی از فشار مواد و تنش‌های حاصل از زلزله مطرح است. سه نوع بارهای ناشی از مواد ذخیره شده درون سیلو وجود دارد، که تحت ایجاد فشار عمودی برکف سیلو، فشار افقی بر روی جداره‌های جانبی و ایجاد نیروی اصطکاک بین مواد ذخیره شده و جداره سیلو قرار می‌گیرند. مقدار و توزیع آنها به خواص مواد و اینکه سیلو پر یا تخلیه شود، بستگی دارد. سیلو در حالت پر نسبت به حالت نیمه پر یا خالی، تحمل جانبی بالایی دارد [۲].

در بررسی مقالات مربوطه، سیلوه‌های بتنی و فولادی با در نظر گرفتن سیستم‌های دیواربرشی، مهاربند و همچنین بدون سیستم‌های مقاومت در نرم‌افزار تحت‌تأثیر بارهای جانبی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و در نتیجه به علت افزایش سختی و کاهش تغییر مکان، سیستم دیوار برشی و همچنین سیستم مهاربند به عنوان سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی یا نیروهای زلزله مؤثرتر است [۳-۶].

تجربه تأثیر زلزله بر سازه‌ها نشان می‌دهد که سازه‌ها در هنگام زلزله رفتاری غیرخطی دارند و به این دلیل مقدار قابل توجهی از انرژی ورودی زلزله را به صورت انرژی میرایی و پسماند تلف می‌کنند. بنابراین سازه‌ها می‌توانند برای نیروی زلزله بسیار کمتر از نیروی لازم در حالت خطی طراحی گردند. تحلیل و طراحی دقیق سازه‌ها در این حالت با تحلیل غیرخطی میسر می‌باشد، اما با توجه به سهولت و گستردگی روش تحلیل و طراحی سازه در محدوده خطی و با نیروهای کوچک شده زلزله می‌باشد. نیروی زلزله برای طراحی خطی سازه‌ها، از یک طیف خطی زلزله بدست می‌آید و به منظور اعمال کاهش که در نیروی اعمالی زلزله به دلیل عواملی مانند شکل‌پذیری، مقاومت افزون، میرایی و... به وجود می‌آید، نیروی خطی محاسبه شده از طیف خطی با استفاده از ضریبی به نام ضریب کاهش یا ضریب رفتار، کاهش پیدا می‌کند [۷].

ضریب رفتار، یکی از پارامترهای مهم و اساسی در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد. طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها به این صورت است که طرح باید به گونه‌ای باشد تا ساختمان‌ها در هنگام وقوع زلزله‌های کوچک در محدوده خطی و بدون خسارت بمانند. در زلزله‌های متوسط، خسارت غیر سازه‌ای بینند و در هنگام وقوع زلزله‌های شدید و بزرگ خسارت‌های سازه‌ای و غیر سازه‌ای داشته باشند ولی پایداری کلی آنها حفظ شود. بر اساس مواردی که گفته شد ضریب رفتار پل ارتباطی بین رفتار غیرخطی سازه با رفتار خطی سازه می‌باشد.

بسیاری از محققین مانند (براون، ایبل، مسکوریس و هولر)^۱ سعی کرده‌اند رفتار سیلوها تحت اثر زلزله را بصورت خطی مدل‌سازی کنند. ولی آقایان ناطقی و یخچالیان در بررسی عددی رفتار لرزه‌ای، سیلوه‌های بتنی را بصورت غیرخطی در نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی نمودند و اندرکنش مصالح دانه‌ای ذخیره شده و دیواره سیلو را مورد بررسی قرار دادند [۸].

1- Braun, Eibl, Meskouris, Holler

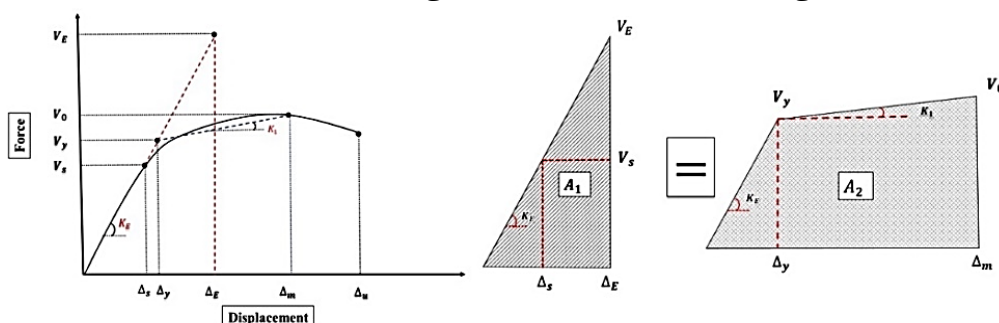
هدف این مقاله ارائه اطلاعات مفید در مورد بررسی محاسبه ضریب رفتار با در نظر گرفتن اثر پارامترهای مختلف از جمله هندسه، مقاومت بتن، مواد داخل سیلو، ... می‌باشد. در این راستا جهت مدل‌سازی سیلوها از نرم‌افزار آباکوس ورژن ۲۰۱۷ که قابلیت حل مسائل از یک تحلیل خطی ساده تا پیچیده‌ترین مدل‌سازی غیرخطی را دارا می‌باشد، استفاده شده و جهت محاسبه ضریب رفتار، یک سیلوی بتنی در برابر نیروی زلزله تحلیل غیرخطی خواهد شد و اثرات رفتار مصالح درون سیلو در ضریب رفتار لرزه‌ای سیلو در نظر گرفته خواهد شد و با مقایسه رفتار غیر خطی و رفتار الاستیک خطی، ضریب رفتار سیلو بدست خواهد آمد.

۲- مفاهیم تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش آور

تحلیل استاتیکی غیرخطی پوش آور یک نوع تحلیل افزایشی است که نیرو به صورت گام به گام زیاد می‌شود و باعث هل دادن سازه می‌شود. این افزایش بارگذاری تا جایی ادامه می‌یابد که سازه دچار اولین مفصل پلاستیک شود. پس از تشکیل اولین مفصل پلاستیک، سازه همچنان مقاوم است و می‌توان بارگذاری را افزایش داد. این افزایش نیرو تا جایی ادامه پیدا می‌کند، که سازه دچار فرو ریزش شود [۷].

۲-۱- روش یانگ

برای بدست آوردن مقادیر ضریب رفتار و پارامترهای مؤثر بر آن از روش یانگ استفاده کرده که در این روش منحنی دو خطی با ادامه دادن محدوده الاستیک و به دست آوردن برش پایه تسلیم و سپس وصل کردن آن به برش پایه حداکثر به نحوی که انرژی کرنشی ذخیره شده تغییری ننماید حاصل می‌شود [۹].



شکل ۱: دوخطی‌سازی نمودار برش پایه-تغییر مکان به روش یانگ [۱۰]

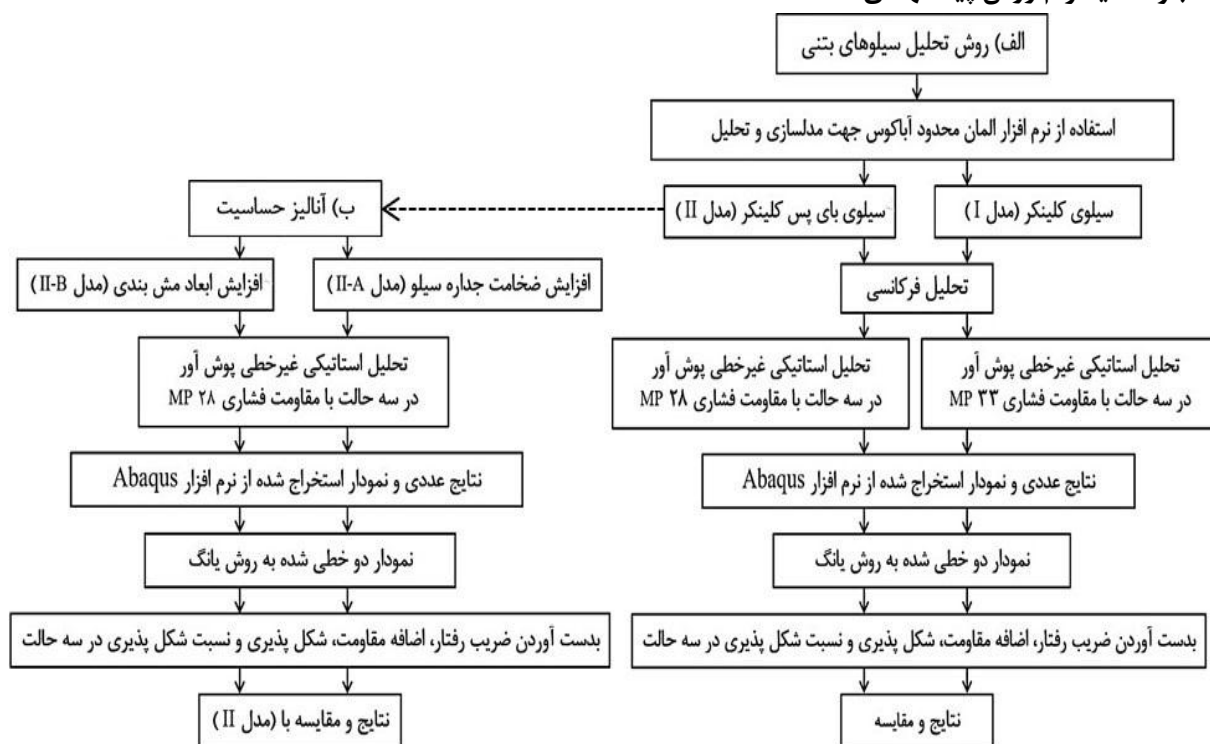
۲-۲- پارامترهای مؤثر بر ضریب رفتار

تحقیقات محققین دانشگاه برکلی نشان داده است که اجزا تشکیل دهنده ضریب رفتار از چهار ضریب تشکیل می‌شوند که در رابطه (۱) ذکر شده است [۹].

$$R = R_S R_\mu R_R R_\xi \quad (1)$$

در رابطه فوق R_S ضریب اضافه مقاومت، R_μ ضریب ناشی از شکل‌پذیری، R_R ضریب نامعینی و R_ξ ضریب میرایی می‌باشد.

۳- بلوک دیاگرام روش پیشنهادی

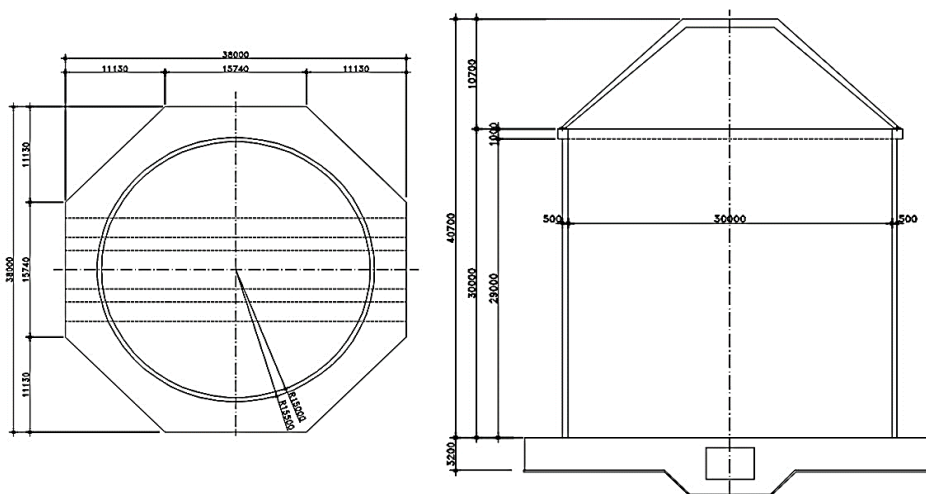


شکل ۲: روش تحلیل سیلوهای بتنی

۴- معرفی مدل پیشنهادی

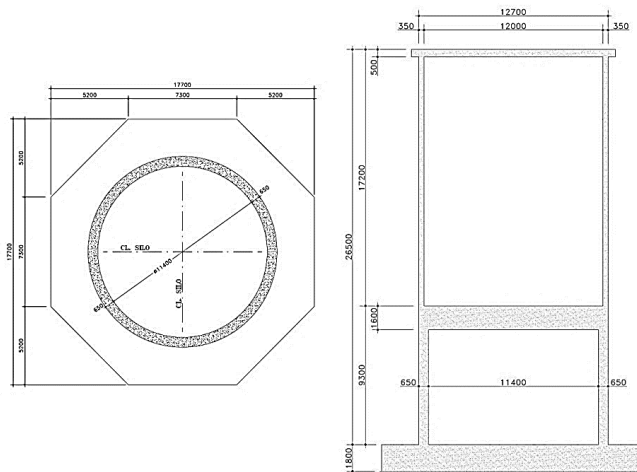
به منظور کنترل تحلیل پوش آور و ضریب رفتار، ۲ نمونه از سیلوهای خط تولید سیمان از لحاظ هندسه (قطر به ارتفاع) و (پایه دار و بدون پایه)، سیلوی کلینکر و سیلوی بای پس کلینکر در خط تولید سیمان که توسط شرکت مهندسیین مشاور قبلاً تهیه و اجرا شده است، به جهت تطابق با آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) و آیین نامه جهانی ساختمانی IBC (Asce-7-16) در نظر گرفته شده است.

۴-۱- سیلوی کلینکر (مدل I)



شکل ۳: پلان و مقطع از فونداسیون و جداره سیلوی کلینکر [۱۱]

۴-۲- سیلوی بای پس کلینکر (مدل II)



شکل ۴: پلان و مقطع از فونداسیون و جداره سیلوی بای پس کلینکر [۱۱]

۵- مدل سازی در نرم افزار آباکوس

در این پژوهش از نرم افزار المان محدود آباکوس جهت مدل سازی و آنالیز تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده شده است. این نرم افزار توانایی حل محدوده وسیعی از مسائل مهندسی از تحلیل های خطی ساده تا شبیه سازی های غیرخطی پیچیده را دارد. به عنوان نمونه دو مدل سیلوهای اجرایی پایه دار و بدون پایه در نرم افزار آباکوس با در نظر گرفتن پارامترها، جداگانه تحت استاتیکی غیرخطی پوش آور قرار گرفته می شود. همچنین جهت ایجاد مدل ها در نرم افزار فرضیات زیر در نظر گرفته می شود.

(A) المان های اختصاص داده شده در نرم افزار آباکوس برای سیلوها از نوع Solid، برای میلگردها از نوع Truss استفاده شده و تکیه گاه های سیلوها در نرم افزار صلب در نظر گرفته شده است.

(B) طبق محاسبات انجام شده و مبحث نهم، فولاد مورد استفاده از نوع S400 است.

(C) حداقل مقاومت بتن برای سیلوها طبق آیین نامه ACI 313، ۲۸ مگاپاسکال می باشد [۱۲]. در این مقاله علاوه بر مقاومت بتن ۲۸ مگاپاسکال، مقاومت بتن ۳۳ مگاپاسکال برای مقایسه ضریب رفتار در نظر گرفته شده است.

جدول ۱: مشخصات مکانیکی فولاد مورد استفاده

چگالی (ρ)	مدول ارتجاعی (E)	ضریب پواسون (ν)	تنش تسلیم (σ_y)	تنش نهایی (σ_y)	کرنش نهایی (ϵ_p)
7850 kg/m ³	235 GPa	0.3	400 MPa	600 MPa	0.18

جدول ۲: مشخصات محدوده پلاستیک بتن

ψ	ϵ	$\frac{f_{b0}}{f_c}$	k	μ
35	0.1	1.16	0.666	0.01

جدول ۳: مشخصات مکانیکی بتن مورد استفاده

(E)	(ν)	(ρ)	مقاومت بتن
24.46 GPa	0.2	2400 kg/m ³	28
25.97 GPa			33

جدول ۴: مشخصات بتن ۲۸ مگا پاسکال تنش-کرنش فشاری

Compressive Behavior					
	Yield stress	Inelastic strain		Yield stress	Inelastic strain
1	8.58158	0	12	14.82188	0.00351
2	15.88064	0.00032	13	12.81317	0.00383
3	21.61857	0.00064	14	11.10291	0.00415
4	25.43643	0.00096	15	9.65764	0.00447
5	27.43562	0.00128	16	8.43905	0.00479
6	28	0.0016	17	7.41057	0.00511
7	27.17761	0.00192	18	6.54005	0.00543
8	25.13577	0.00224	19	5.80027	0.00575
9	22.50065	0.00256	20	5.16871	0.00607
10	19.74432	0.00288	21	4.62689	0.00639
11	17.14315	0.00319	22	4.15976	0.00671

جدول ۵: مشخصات بتن ۲۸ مگا پاسکال تنش-کرنش کششی

Tensile Behavior					
	Yield stress	Inelastic strain		Yield stress	Inelastic strain
1	2.8	0	9	0.43257	0.00092
2	1.5534	0.00011	10	0.39551	0.00103
3	1.10054	0.00023	11	0.36473	0.00114
4	0.8618	0.00034	12	0.33873	0.00126
5	0.71291	0.00046	13	0.31645	0.00137
6	0.61056	0.00057	14	0.29713	0.00149
7	0.53558	0.00069	15	0.28021	0.0016
8	0.47811	0.0008	16	0.26525	0.00172

جدول ۶: مشخصات بتن ۳۳ مگا پاسکال تنش-کرنش فشاری

Compressive Behavior					
	Yield stress	Inelastic strain		Yield stress	Inelastic strain
1	11.41556	0	12	16.46052	0.00346
2	19.06992	0.00031	13	13.99139	0.00377
3	25.37189	0.00063	14	11.92021	0.00408
4	29.81359	0.00094	15	10.1971	0.0044
5	32.27405	0.00126	16	8.76701	0.00471
6	33	0.00157	17	7.57874	0.00503
7	31.99118	0.00189	18	6.58817	0.00534
8	29.44041	0.0022	19	5.75871	0.00566
9	26.11258	0.00251	20	5.06059	0.00597
10	22.62534	0.00283	21	4.46982	0.00628
11	19.35192	0.00314	22	3.96713	0.0066

جدول ۷: مشخصات بتن ۳۳ مگا پاسکال تنش-کرنش کششی

Tensile Behavior					
	Yield stress	Inelastic strain		Yield stress	Inelastic strain
1	3.3	0	9	0.50981	0.00102
2	1.83079	0.00013	10	0.46614	0.00114
3	1.29706	0.00025	11	0.42986	0.00127
4	1.01569	0.00038	12	0.39922	0.0014
5	0.84021	0.00051	13	0.37296	0.00152
6	0.71959	0.00064	14	0.35019	0.00165
7	0.63122	0.00076	15	0.33025	0.00178
8	0.56349	0.00089	16	0.31262	0.00191

(D) طبق آیین‌نامه Aci-313، ۸۰ درصد حالت پر سیلو را برای طراحی سیلو در برابر زلزله فرض می‌شود و مقادیر فشارهای جانبی و قائم مواد ذخیره شده استاتیکی به روش جنسن در سه حالت را جهت بدست آوردن ضریب رفتار محاسبه شده است [۱۲].

جدول ۸: مشخصات مصالح [۱۳]

نوع مصالح	جرم مخصوص مصالح (kg/m^3)	زاویه ریزش (درجه) p	ضریب اصطکاک μ'
			در مقابل بتن
سیمان کلینکر	1410	33	0.6

جدول ۹: مشخصات بارگذاری فشاری مدل I و II در سه حالت

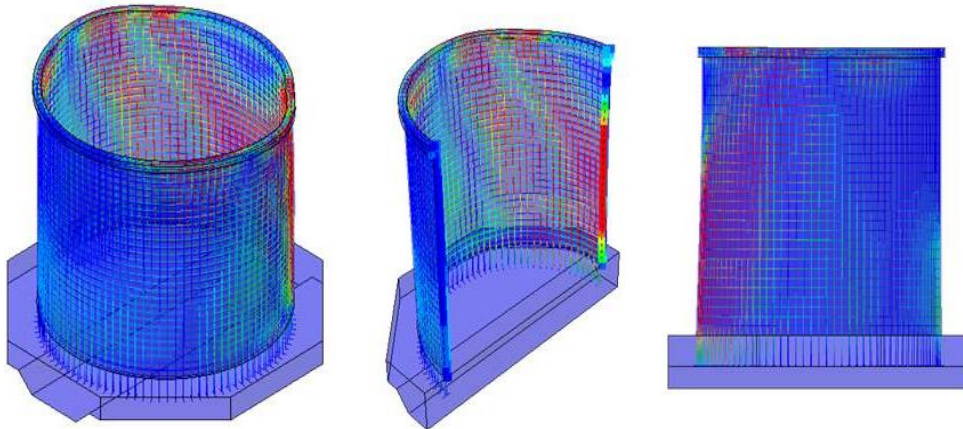
W_{CL} وزن مواد	q فشار قائم	P فشار جانبی	مدل II	W_{CL} وزن مواد	q فشار قائم	P فشار جانبی	مدل I
2996.5 t	$16.02 \frac{t}{m^2}$	$4.73 \frac{t}{m^2}$	حالت پر	33136 t	$32.49 \frac{t}{m^2}$	$9.58 \frac{t}{m^2}$	حالت پر
1498.23 t	$10.17 \frac{t}{m^2}$	$3 \frac{t}{m^2}$	حالت نیمه پر	14942 t	$18.20 \frac{t}{m^2}$	$4.77 \frac{t}{m^2}$	حالت نیمه پر
0	0	0	حالت خالی	0	0	0	حالت خالی

(E) برای مونتاژ قطعات و انتقال همه نمونه قطعات از دستگاه مختصات محلی به مختصات کلی لازم است در ماژول Assembly قطعات موردنظر را در موقعیت خود در مونتاژ اصلی با ابزارهایی که در این ماژول وجود دارد قرار دهد. وقتی قطعه‌ای ساخته می‌شود این قطعه در مختصات محلی می‌باشد و برای اینکه در مدل اصلی در کنار هم قطعات دیگر قرارگیرد، لازم است کلیه قطعات از مختصات محلی به مختصات واحدی به نام مختصات کلی بروند تا بتوانند وارد عمل شده و شکل نهایی مدل را بسازند.

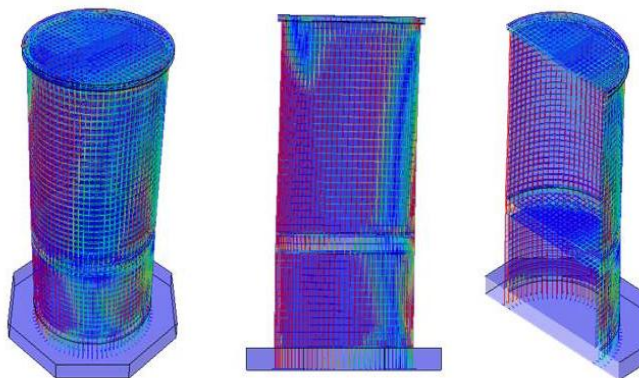


شکل ۵: شکل نهایی سیلویا در مختصات کلی

(F) سپس مدل‌های مذکور در نرم‌افزار، تحت استاتیکی غیرخطی پوش‌آور قرار گرفته و مشاهده می‌شود که تنش von mises در سه حالت پس از تشکیل اولین مفصل پلاستیک وارد فاز پلاستیک شده است.



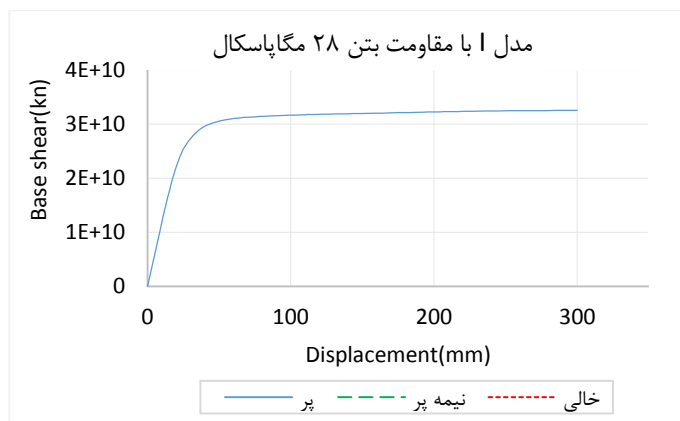
شکل ۶: مدل ساخته شده سیلوی کلینکر در نرم‌افزار و توزیع تنش فون میسز در المان



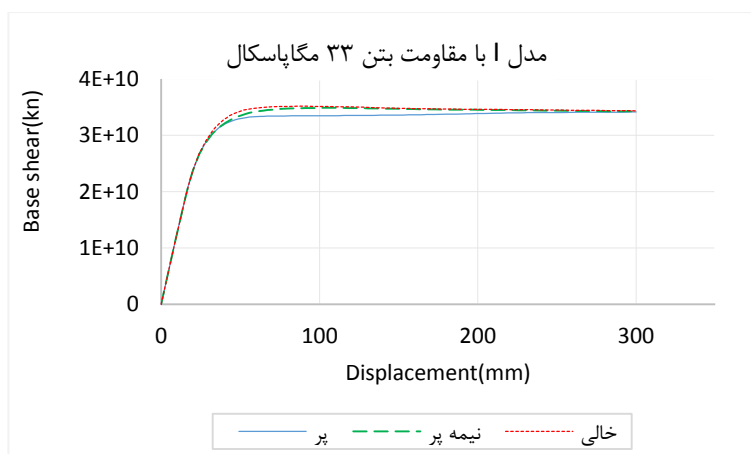
شکل ۷: مدل ساخته شده سیلوی بای‌پس کلینکر در نرم‌افزار و توزیع تنش فون میسز در المان

۶- نتایج عددی

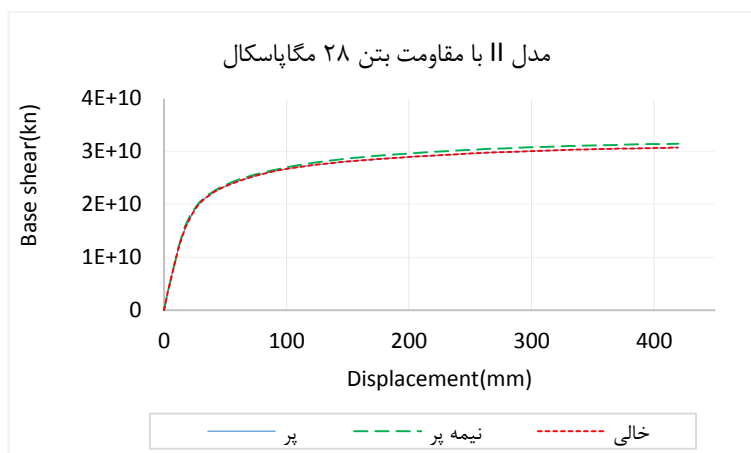
در شکل‌های (۸ تا ۱۳) نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی به صورت نمودارهای نیرو-تغییرمکان نشان داده شده و در ناحیه الاستیک، رفتار خطی و برش پایه اولین مفصل پلاستیک و در ناحیه غیر الاستیک در سه حالت نزدیک به هم هستند.



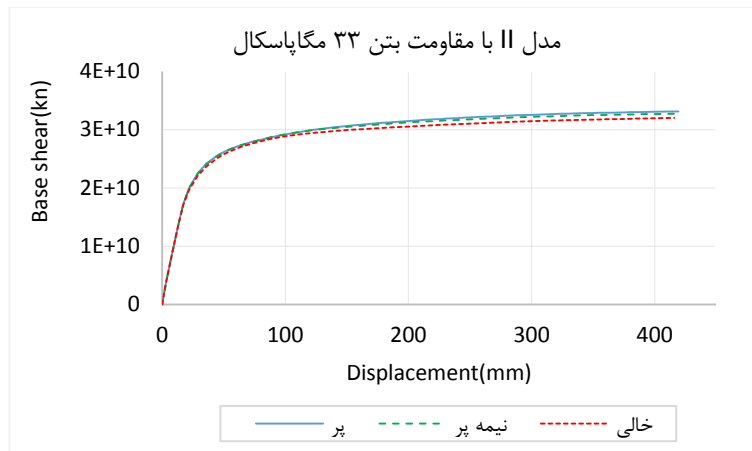
شکل ۸: نمودار نیرو-تغییرمکان سیلوی کلینگر (مدل I) با مقاومت بتن ۲۸ مگاپاسکال در سه حالت



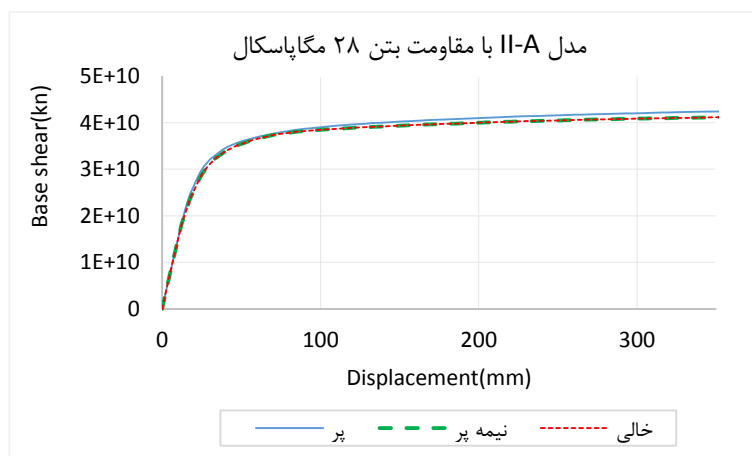
شکل ۹: نمودار نیرو-تغییرمکان سیلوی کلینگر (مدل I) با مقاومت بتن ۳۳ مگاپاسکال در سه حالت



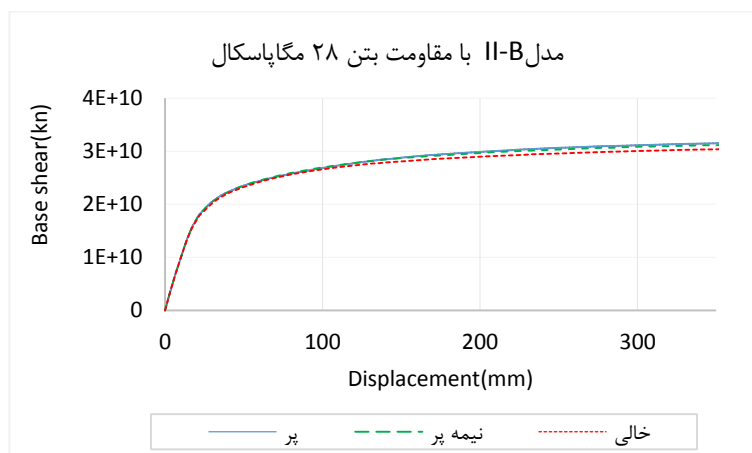
شکل ۱۰: نمودار نیرو-تغییرمکان سیلوی کلینگر (مدل II) با مقاومت بتن ۲۸ مگاپاسکال در سه حالت



شکل ۱۱: نمودار نیرو-تغییر مکان سیلوی کلیتاً (مدل II) با مقاومت بتن ۳۳ مگاپاسکال در سه حالت

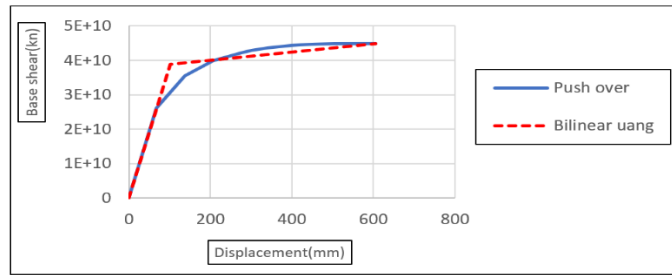


شکل ۱۲: نمودار نیرو-تغییر مکان مدل II-A با مقاومت بتن ۲۸ مگاپاسکال در سه حالت



شکل ۱۳: نمودار نیرو-تغییر مکان مدل II-B با مقاومت بتن ۲۸ مگاپاسکال در سه حالت

همانطور که گفته شد پس از تحلیل استاتیکی غیرخطی پوشش آور نمودار برش پایه-تغییر مکان تمام مدل‌ها استخراج شده و به روش یانگ دوخطی شده و در نهایت مقادیر ضریب رفتار بدست آمده است. در شکل (۱۴) نمونه‌ای از نمودار دوخطی شده نشان داده شده است.



شکل ۱۴: نمودار دو خطی شده به روش یانگ

۱-۶- نتایج بدست آمده سیلوی مدل I با مقاومت بتن ۲۸ و ۳۳ مگا پاسکال

جدول ۱۰: نتایج بدست آمده از نمودار دو خطی شده سیلوی کلینگر (مدل I) در سه حالت

نتایج مدل I (مقاومت بتن)			μ	R_{μ}	R_S	R	R_{2800}	$R_{Asce-7-16}$
-	مقاومت بتن ۲۸mp	خالی	10.21	4.46	1.30	5.81	3	3
		نیمه پر	10.38	4.50	1.28	5.78	3	3
		پر	10.19	4.45	1.30	5.79	3	3
-	مقاومت بتن ۳۳mp	خالی	9.57	4.24	1.30	5.53	3	3
		نیمه پر	10.00	4.26	1.24	5.45	3	3
		پر	9.74	4.27	1.29	5.55	3	3



شکل ۱۵: نمودار ضریب رفتار محاسبه شده و آیین نامه‌ها در مدل I با مقاومت بتن ۲۸ و ۳۳ مگا پاسکال

۲-۶- نتایج بدست آمده سیلوی مدل II با مقاومت بتن ۲۸ و ۳۳ مگا پاسکال

جدول ۱۱: نتایج بدست آمده از نمودار دو خطی شده سیلوی بای پس کلینگر (مدل II) در سه حالت

نتایج مدل II (مقاومت بتن)			μ	R_{μ}	R_S	R	R_{2800}	$R_{Asce-7-16}$
=	مقاومت بتن ۲۸mp	خالی	9.44	4.38	1.31	5.77	3	3
		نیمه پر	9.31	4.35	1.31	5.72	3	3
		پر	9.33	4.37	1.31	5.74	3	3
=	مقاومت بتن ۳۳mp	خالی	9.62	4.39	1.28	5.63	3	3
		نیمه پر	9.47	4.36	1.28	5.61	3	3
		پر	9.95	4.48	1.25	5.62	3	3



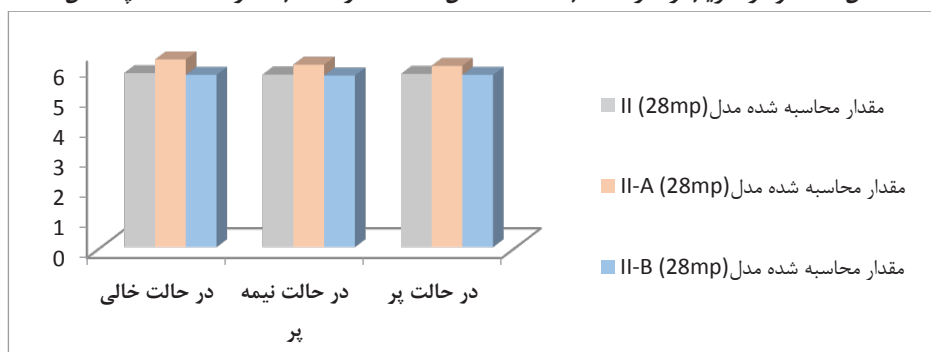
شکل ۱۶: نمودار ضریب رفتار محاسبه شده و آیین‌نامه‌ها در مدل II با مقاومت بتن ۲۸ و ۳۳ مگا پاسکال

۳-۶- نتایج بدست آمده سیلوی مدل II-A و II-B با مقاومت بتن ۲۸ مگا پاسکال

جدول ۱۲: نتایج بدست آمده از تحلیل حالت‌های مختلف مدل II-A و II-B

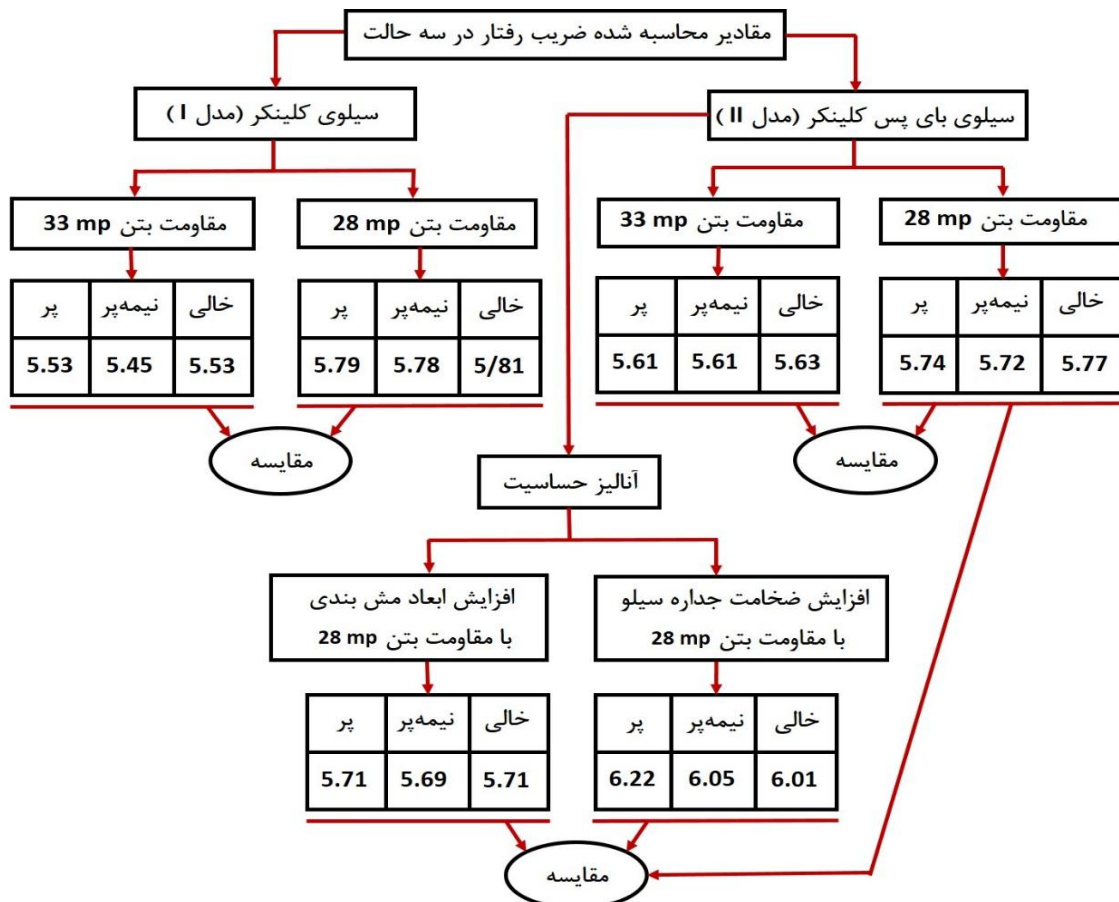
مدل II	مدل II-B و II-A		حالت	μ	R_{μ}	R_S	R	R_{2800}	$R_{Asce-7-16}$
	II-A	II-B							
ضخامت جداره سیلو = ۶۵۰ ابعاد مش‌بندی = ۵۰۰	II-A	ضخامت جداره سیلو = ۹۰۰	خالی	11.29	4.77	1.30	6.22	3	3
			نیمه پر	10.35	4.49	1.34	6.05	3	3
			پر	10.72	4.61	1.30	6.01	3	3
	II-B	ابعاد مش‌بندی = ۱۰۰۰	خالی	9.19	4.33	1.32	5.71	3	3
			نیمه پر	9.21	4.35	1.31	5.71	3	3
			پر	9.16	4.31	1.32	5.69	3	3

شکل ۱۷: نمودار ضریب رفتار محاسبه شده ۳ مدل II-A و II-B با مقاومت ۲۸ مگا پاسکال



۸- جمع بندی نتایج

در این تحقیق به منظور ارزیابی اثر پارامترهای: هندسه، مواد داخل سیلو، مقاومت بتن، ضخامت جداره سیلو و ابعاد مش‌بندی در مدل‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفت و مقدار ضریب رفتار R در حالت‌های مختلف بدست آمد.



شکل ۱۸: بلوک دیاگرام نتایج تحلیل سیلوهای بتنی

ضریب رفتار بدست آمده در سیلوها از مقدار آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) و آیین نامه جهانی ساختمان IBC (Asce-7-16) بیشتر است و می توان گفت آیین نامه ها به طور محافظه کارانه کمترین مقدار را در نظر گرفته است.

پارامترهای هندسه (قطر به ارتفاع)، پر یا خالی بودن مواد داخل سیلو در مقدار R چندان مؤثر نمی باشد. با افزایش مقاومت بتن، ضریب رفتار تغییر چشمگیری نمی کند و می توان گفت ضریب رفتار تابع مقاومت بتن نمی باشد.

برای کنترل آنالیز حساسیت تأثیر افزایش ضخامت جداره سیلو و افزایش ابعاد مش بندی نسبت به ضریب رفتار در حالت های مختلف، سیلوی بای پس کلینکر را در نظر گرفته و نتایج بدست آمده نشان می دهد که با افزایش ضخامت جداره بدلیل افزایش ظرفیت پلاستیک سازه، ضریب رفتار و تغییر مکان نهایی سازه کمی افزایش می یابد.

با افزایش ابعاد مش بندی تغییر مکان نهایی کاهش یافته که ممکن است ناشی از کاهش دقت محاسبات اجزاء محدود باشد. لذا در نتیجه ضریب رفتار نیز کمی کاهش می یابد. در نتایج کنترل آنالیز حساسیت، نشان می دهد که تغییر ضریب رفتار بدست آمده نسبت به مقدار اولیه کم است و زیاد تأثیر گذار نیست.

- [1] R. Livaoglu, A. Durmus, (2015). "A simplified approximation fo seismic analysis of silo-bulk material system". Doi 10.1007/s10518-015-9851-x.
- [2] Suvarna Dilip Deshmukh, Rathod S. T., (2013). "COMPARISON OF DESIGN & SEISMIC BEHAVIOR OF RCC SILO". Professor, Pune University, Imperial College of Engineering & Research, Wagholi, Pune, Maharashtra, India, Vol. 6.14, Issn 2319-7064, pp 2214-2217
- [3] Washuda I. Dhundasi, M.B. Iswhwaragol, (2016). " STATIC AND DYNAMIC BEHAVIOR OF CIRCULAR SILO WITH DIFFERENT LATERAL LOAD RESISTING SYSTEMS". BLDEA's V.P. Dr. P.G. Halakatti College of Engineering & Technology, Vijayapur, Vol. 4, Issue 06, Issn 2321-0613, pp 93-100
- [4] Ms Rini Riyansi.E, Mrs. Abida Justus, (2017). "COMPARATIVE STUDY OF SILO SUPPORTING STRUCTURE USING RCC & STEEL". Department of Civil Engineering, Sathyabama University, Chennai – 600 119, Tamil Nadu, India, Vol. 3, Issue 35, Issn 2456-5717, pp 133-145
- [5] Ashwini Bidari, K.N. Vishwanath, (2014). "ANALYSIS OF SEISMIC AND WIND EFFECT ON STEEL SILO SUPPORTING STRUCTURE". Dept of Civil Engineering , DSCE , Bangalore, Karnataka, India, Vol. 2, Issn 2321-9637, pp 11-19
- [6] Rajani S Togarsi, (2015). "SEISMIC RESPONSE OF REINFORCED CONCRETE SILOS ". Asst. Professor, Department of Civil Engineering, KLS GIT Belagavi, Karnataka, India, Vol.04, Issue 09, pp 174-178
- [۷] س.م. حسینی بای، م. غلام زاده، "دو خطی کردن منحنی پوش آور و تعیین ضریب رفتار به روش چوپرا"، سومین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری.
- [8] F. Nateghi, M. Yakhchalian, (2011). "SEISMIC BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE SILOS CONSIDERING GRANULAR MATERIAL-STRUCTURE INTERACTION". International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran, pp 3050-3058
- [9] Uang, Chia-Ming; "Establishing R (or RW) and Cd factor for building seismic provisions" , Journal of Structural Engineering ; vol. 117, NO.1, pp, 1991.
- [10] Structural response modification factor (Applied Technology Council NO. 19, 1995).
- [۱۱] شرکت مهندسی مشاور سازه اندیشان (رتبه سازه ۱)، تهران، ایران.
- [12] American Concrete Institute, "ACI 313, Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular materials," 1997.
- [۱۳] نشریه ۱-۲۳۵، ضوابط و معیارهای طرح و اجرای سیلوهای بتنی، ۱۳۸۲.