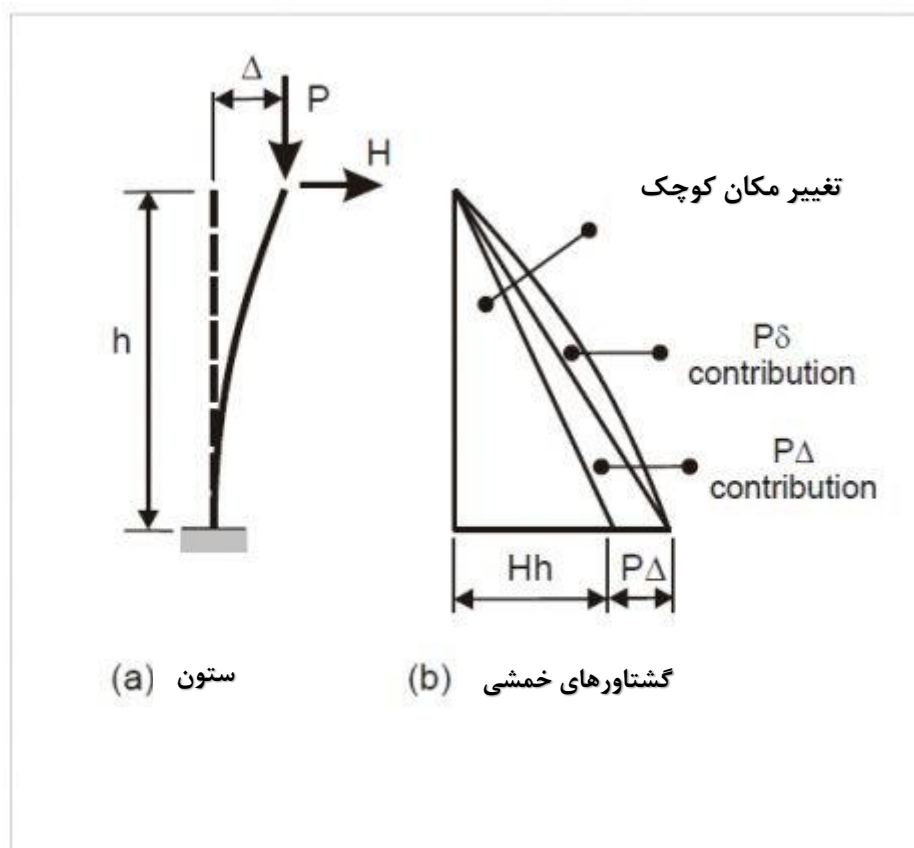


محاسبه گام به گام اثر P-Δ با استفاده از نرم افزار ETABS و آیین نامه ۷-۱۰ ASCE

در ابتدا اجازه دهید توضیح کوتاهی در خصوص اثر P-Δ و دلایل بررسی آن بر طبق CSI داشته باشیم:

اثر P-Δ که همچنین با نام غیرخطی هندسی شناخته می‌شود، شامل موازنه و انطباق پذیری معادله‌های سیستم باربر سازه‌ای در خصوص نحوه تغییر شکل است. نگرانی مهم در این خصوص، وارد شدن بارهای ثقلی بر سازه‌های چند طبقه با تغییر مکان جانبی است. این وضعیت هنگام کاهش ظرفیت تغییر شکل سبب شدت یافتن جابجایی جانبی طبقه و رفتارهای مکانیکی خاصی می‌شود.

اثر P-Δ معمولاً شامل نیروهای بزرگ خارجی در مقابل تغییر مکان‌های نسبتاً کوچک می‌شود. اگر تغییر شکل به اندازه کافی افزایش یابد تا روابط سازگاری خطی نقض شود، انجام تحلیل‌های تغییر شکل بزرگ و جابجایی بزرگ ضرورت پیدا می‌کند. دو منبع اثر P-Δ در شکل زیر توضیح داده می‌شود.



اکنون اجازه دهید کمی جلوتر برویم و نگاهی بر الزامات P-Δ در §۱۲,۸,۷ ASCE ۷-۱۰ داشته باشیم:

۱۲,۸,۷ اثرات P-Δ

در شرایطی که شاخص پایداری (θ) حاصل شده از فرمول زیر برابر و یا کمتر از ۰,۱ باشد، لزومی به در نظر گرفتن اثرات P-Δ روی برش‌ها و لنگرهای طبقه، نیروها و گشتاورهای حاصله اعضا و جابجایی جانبی طبقه که ناشی از این اثرات هستند، نیست.

$$\theta = \frac{P_x \Delta l_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (12.8-16)$$

در این فرمول،

P_x : کل بار عمودی طرح در تراز X و یا بالای آن (kip یا kN) است. هنگام محاسبه P_x ، ضریب هیچ بار تکی نباید بیش از ۱ باشد.

Δ : جابجایی جانبی طبقه در طرح که طبق توضیحات قسمت ۱۲،۸،۶ هم‌زمان با V_x رخ می‌دهد (in یا mm).

l_e : ضریب اهمیت تعریف شده در بخش ۱۱،۵،۱

V_x : نیروی برشی وابسته زمین لرزه بین تراز X و X-۱ (kip یا kN)

h_{sx} : ارتفاع طبقه زیر تراز X

C_d : ضریب افزایش تغییر شکل در جدول ۱۲،۲-۱

شاخص پایداری (θ) نباید بیش از θ_{max} باشد که از طریق فرمول زیر به دست می‌آید:

$$\theta_{max} = \frac{0.5}{\beta C_d} \leq 0.25 \quad (12.8-17)$$

در این فرمول β نسبت تقاضای برشی به ظرفیت برشی در طبقه بین تراز X و X-۱ است. این نسبت با محافظه کاری برابر با یک فرض می‌شود.

هنگامی که شاخص پایداری بزرگ‌تر از ۰،۱ و کمتر یا برابر با θ_{max} باشد، ضریب افزایشی مرتبط با اثرات P- Δ در جابجایی‌ها و نیروهای عضو باید به واسطه تجزیه و تحلیل‌های منطقی تعیین شود. روش دیگر ضرب جابجایی و نیروهای عضو در $\frac{1}{1-\theta}$ است. زمانی که θ بزرگ‌تر از θ_{max} باشد، سازه به طور بالقوه‌ای ناپایدار خواهد بود و باید تحت طراحی مجدد قرار گیرد.

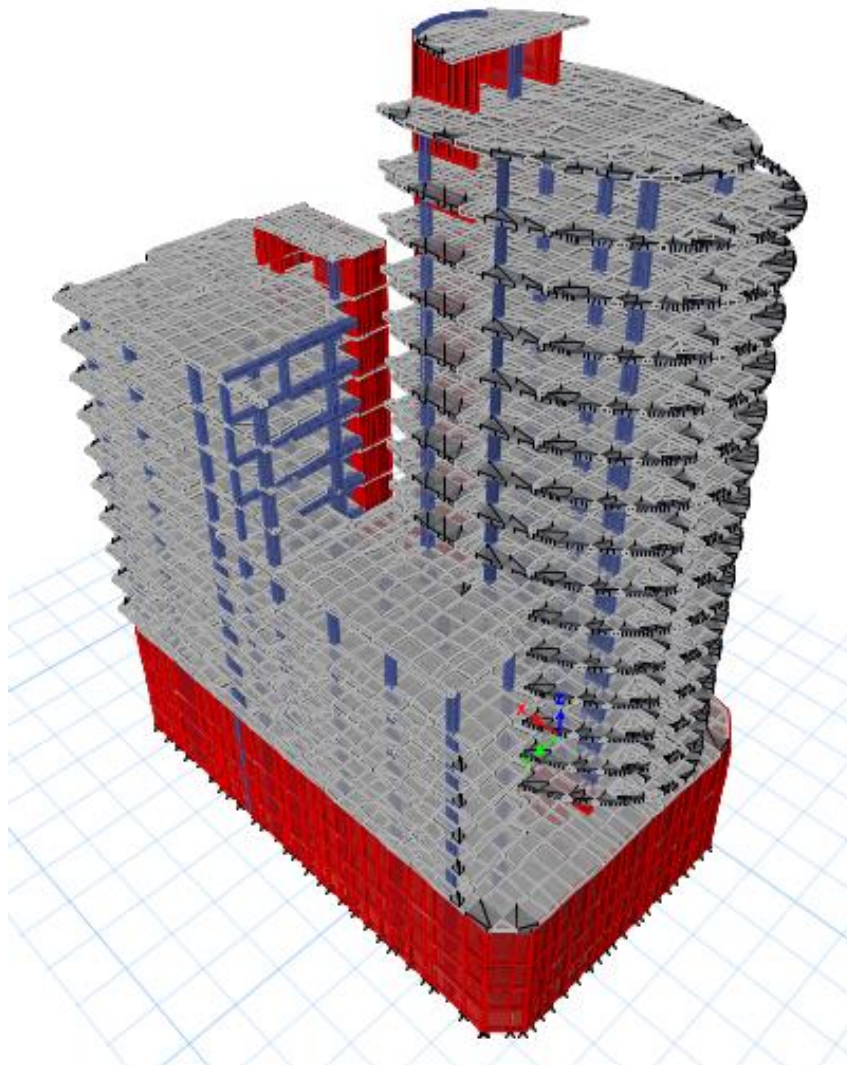
هنگامی که اثر P- Δ دربردارنده یک تجزیه و تحلیل خودکار باشد، معادله ۱۲،۸-۱۷ هنوز هم باید جوابگو باشد، با این حال، مقدار θ حاصل شده از معادله ۱۲،۸-۱۶ با استفاده از نتایج تجزیه و تحلیل‌های P- Δ را می‌توان قبل از بررسی معادله ۱۲،۸-۱۷ بر $\theta + 1$ تقسیم کرد.

اگر متن بالا را خوانده باشید، می‌توان نتیجه گرفت که ما سه گزینه داریم:

- ۱- $\theta < 0.1 =$ لزومی به در نظر گرفتن اثر P- Δ در تجزیه و تحلیل‌ها نیست.
- ۲- $0.1 < \theta < \theta_{max} =$ اثر P- Δ باید در تجزیه و تحلیل‌ها لحاظ شود.
- ۳- $\theta_{max} < \theta =$ سازه به طور بالقوه‌ای ناپایدار است و باید تحت طراحی مجدد قرار گیرد.

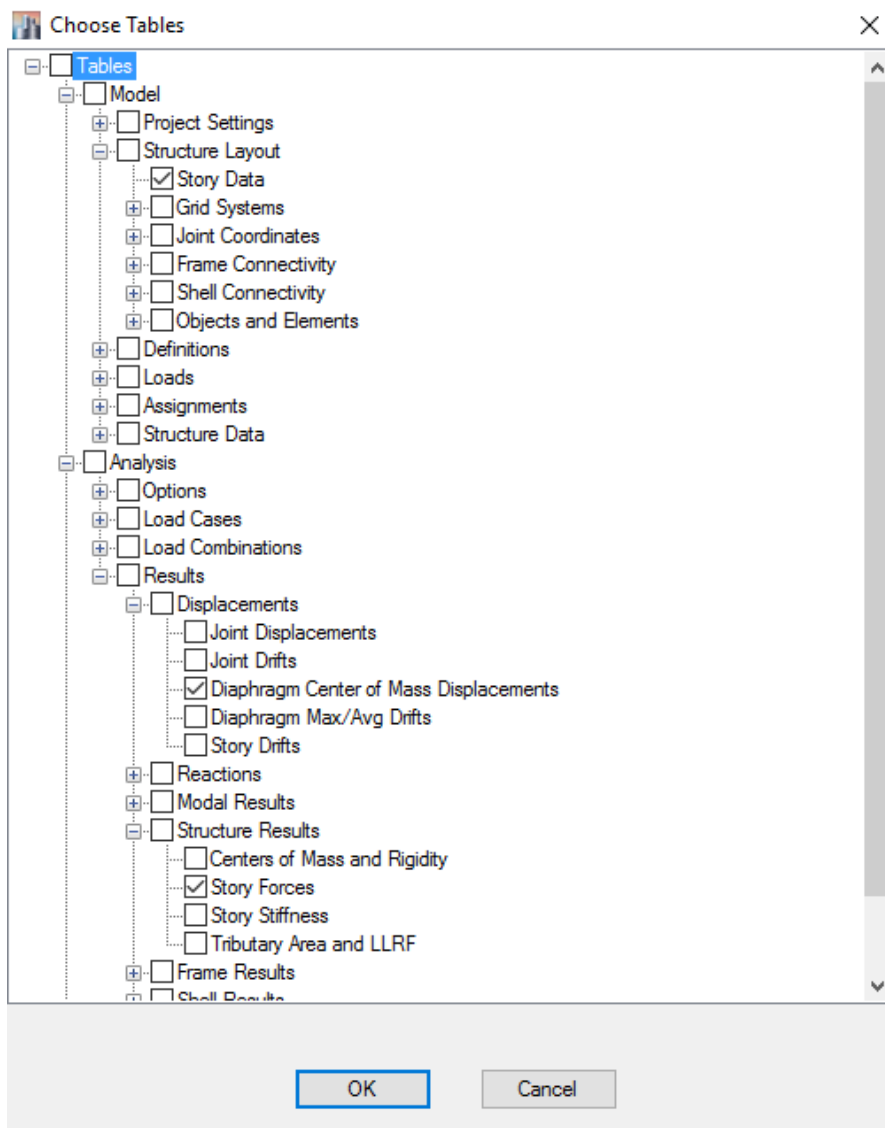
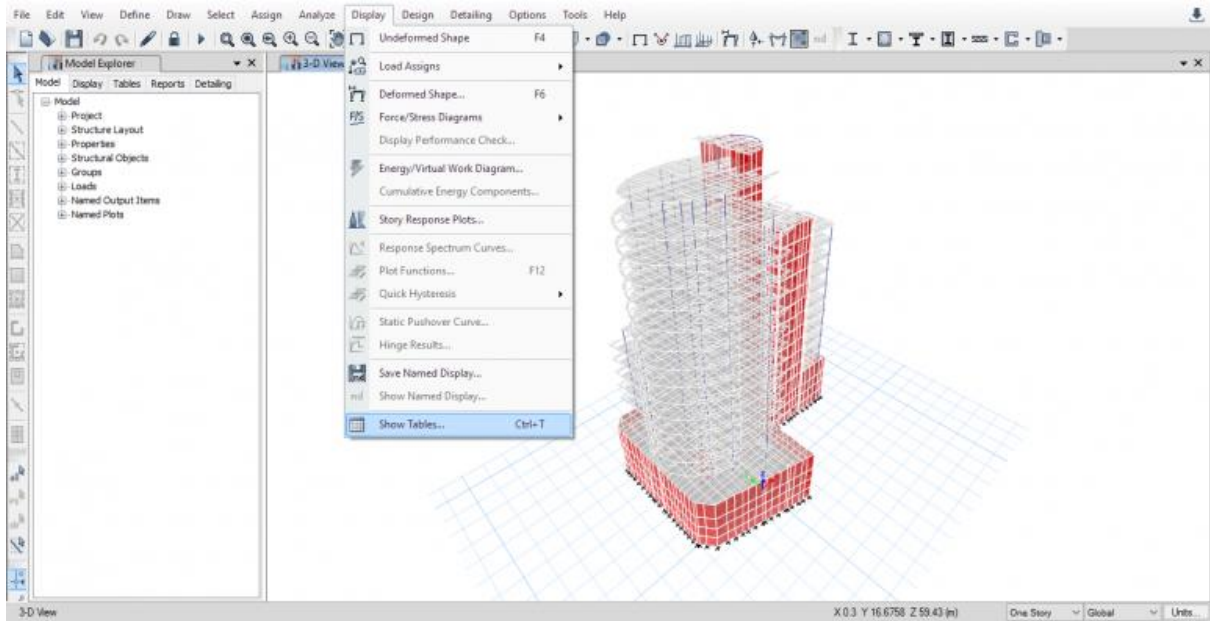
در زیر ما روند محاسبه θ را هنگام مدل سازی در ETABS تشریح خواهیم کرد.

این دو ساختمان متشکل از ۳ طبقه زیر زمین، یک طبقه همکف و ۱۴ طبقه روی طبقه همکف و یک سقف هستند.



داده‌هایی که لازم است از مدل استخراج شوند، عبارت‌اند از:

- ۱- h . ارتفاع طبقه در تراز X
- ۲- P_x . کل بار ثقلی عمودی طرح در تراز X
- ۳- V_x و V_y . مجموع برش افقی تحت بارهای لرزه‌ای در راستای X و Y و در تراز X
- ۴- U_x و U_y . تغییر شکل در مرکز جرم در تراز X در راستای X و Y
- ۵- D_x و D_y . جابجایی جانبی طبقه بین دو تراز X و $X-1$




از مسیر Show Tables..... Display ، ما می‌توانیم داده‌های طبقه، دیافراگم جابجایی تغییر مکان در مرکز جرم و نیروهای طبقه را در قالب جدول‌های اکسل استخراج کنیم.

ما ضریب θ را از طریق اکسل که شما می‌توانید جدول‌های مربوطه را از [اینجا](#) دانلود کنید، محاسبه خواهیم کرد.

	A	B	C	D	E	F
1	TABLE: Story Data					
2	Name	Height	Elevation	Master Story	Similar To	Splice Story
3		m	m			
4	TOP ROOF	3.17	62.6	No	None	No
5	ROOF	3.17	59.43	No	None	No
6	14TH	3.17	56.26	No	2ND	No
7	13TH	3.17	53.09	No	2ND	No
8	12TH	3.17	49.92	No	2ND	No
9	11TH	3.17	46.75	No	2ND	No
10	10TH	3.17	43.58	No	2ND	No
11	9TH	3.17	40.41	No	2ND	No
12	8TH	3.17	37.24	No	2ND	No
13	7TH	3.17	34.07	No	2ND	No
14	6TH	3.17	30.9	No	2ND	No
15	5TH	3.17	27.73	No	2ND	No
16	4TH	3.17	24.56	No	2ND	No
17	3RD	3.17	21.39	No	2ND	No
18	2ND	3.17	18.22	Yes	None	No
19	1ST	3.17	15.05	No	None	No
20	GROUND	3.87	11.88	No	BASEMENT3	No
21	BASEMENT1	2.67	8.01	No	BASEMENT3	No
22	BASEMENT2	2.67	5.34	No	BASEMENT3	No
23	BASEMENT3	2.67	2.67	Yes	None	No
24	BASE	0	0	No	None	No

از جدول نیروهای مربوطه در اکسل، ما می‌توانیم نیروی هر طبقه را در هر تراز که تحت بارهای سرویس و بارهای ثقلی است، استخراج کنیم.

	A	B	C	D
1	TABLE: Story Forces			
2	Story	Load Case/Coml	Locatio	P
103	BASEMENT3	SERV01	Top	20855.4483
263	BASEMENT2	SERV01	Top	19075.6905
423	BASEMENT1	SERV01	Top	17295.9328
583	GROUND	SERV01	Top	15287.072
743	1ST	SERV01	Top	13728.5303
903	2ND	SERV01	Top	12482.4994
1063	3RD	SERV01	Top	11203.747
1223	4TH	SERV01	Top	9924.995
1383	5TH	SERV01	Top	8646.2457
1543	6TH	SERV01	Top	7365.3656
1703	7TH	SERV01	Top	6176.1124
1863	8TH	SERV01	Top	5203.3533
2023	9TH	SERV01	Top	4230.5878
2183	10TH	SERV01	Top	3257.8248
2343	11TH	SERV01	Top	2337.1854
2503	12TH	SERV01	Top	1820.4525
2663	13TH	SERV01	Top	1357.0875
2823	14TH	SERV01	Top	893.7222
2983	ROOF	SERV01	Top	433.0197
3143	TOP ROOF	SERV01	Top	59.2731

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	 KickMYBrain.com <u>[Step by Step Series]</u>												
2													
3													
4	Story	h	P	X-Direction				Y-Direction					
5		m	ton	Vx	Ux	Dx	Bx	Vy	Uy	Dy	By		
6	BASE	0											
7	BASEMENT3	2.67	20855.45										
8	BASEMENT2	2.67	19075.69										
9	BASEMENT1	2.67	17295.93										
10	GROUND	3.87	15287.07										
11	1ST	3.17	13728.53										
12	2ND	3.17	12482.5										
13	3RD	3.17	11203.75										
14	4TH	3.17	9924.995										
15	5TH	3.17	8646.246										
16	6TH	3.17	7365.366										
17	7TH	3.17	6176.112										
18	8TH	3.17	5203.353										
19	9TH	3.17	4230.588										
20	10TH	3.17	3257.825										
21	11TH	3.17	2337.185										
22	12TH	3.17	1820.453										
23	13TH	3.17	1357.088										
24	14TH	3.17	893.7222										
25	ROOF	3.17	433.0197										
26	TOP ROOF	3.17	59.2731										

پس از آن، ما به سراغ جدول‌های مشابه دیگری (نیروهای طبقه) یعنی نیروی طبقه در هر تراز (V_x & V_y) تحت بار لرزه‌ای و در راستاهای اصلی (X & Y) در اکسل می‌رویم که این جدول مشابه شکل زیر است:

KickMYBrain.com [Step by Step Series]												
Story	h m	P ton	X-Direction				Y-Direction					
			V_x	U_x	D_x	B_x	V_y	U_y	D_y	B_y		
BASE	0											
BASEMENT3	2.67	20855.45										
BASEMENT2	2.67	19075.69										
BASEMENT1	2.67	17295.93										
GROUND	3.87	15287.07										
1ST	3.17	13728.53										
2ND	3.17	12482.5										
3RD	3.17	11203.75										
4TH	3.17	9924.995										
5TH	3.17	8646.246										
6TH	3.17	7365.366										
7TH	3.17	6176.112										
8TH	3.17	5203.353										
9TH	3.17	4230.588										
10TH	3.17	3257.825										
11TH	3.17	2337.185										
12TH	3.17	1820.453										
13TH	3.17	1357.088										
14TH	3.17	893.7222										
ROOF	3.17	433.0197										
TOP ROOF	3.17	59.2731										

اکنون ما تنها نیاز به بررسی U_x & U_y تحت هر بار لرزه‌ای در راستاهای اصلی (X & Y) داریم.

پس از آن ما به محاسبه D_x & D_y از طریق محاسبه تفاضل دو U_x به ترتیب در تراز X و تراز $X-1$ می‌پردازیم.

KickMYBrain.com [Step by Step Series]												
Story	h m	P ton	X-Direction				Y-Direction					
			V_x	U_x	D_x	B_x	V_y	U_y	D_y	B_y		
BASE	0			0				0				
BASEMENT3	2.67	20855.45	1280.831	0.000098	0.000098		1508.473	0.000211	0.000211			
BASEMENT2	2.67	19075.69	1268.913	0.000228	0.00013		1494.284	0.000492	0.000281			
BASEMENT1	2.67	17295.93	1245.077	0.000388	0.00016		1465.906	0.000848	0.000356			
GROUND	3.87	15287.07	1205.345	0.000753	0.000365		1418.602	0.001568	0.00072			
1ST	3.17	13728.53	1151.876	0.00245	0.001697		1354.944	0.005163	0.003595			
2ND	3.17	12482.5	1106.912	0.005271	0.002821		1301.41	0.010222	0.005059			
3RD	3.17	11203.75	1053.162	0.008843	0.003572		1237.417	0.016275	0.006053			
4TH	3.17	9924.995	990.0563	0.012934	0.004091		1162.285	0.023004	0.006729			
5TH	3.17	8646.246	917.5979	0.017422	0.004488		1076.017	0.030293	0.007289			
6TH	3.17	7365.366	835.6677	0.022039	0.004617		978.4729	0.037639	0.007346			
7TH	3.17	6176.112	749.806	0.028218	0.006179		876.2482	0.021304	-0.016335			
8TH	3.17	5203.353	671.72	0.02557	-0.002648		783.2807	0.070195	0.048891			
9TH	3.17	4230.588	586.3686	0.033033	0.007463		681.6631	0.024932	-0.045263			
10TH	3.17	3257.825	493.752	0.03226	-0.000773		571.3955	0.088168	0.063236			
11TH	3.17	2337.185	398.3477	0.037552	0.005292		457.8079	0.028499	-0.059669			
12TH	3.17	1820.453	335.5525	0.039498	0.001946		383.0457	0.106731	0.078232			
13TH	3.17	1357.088	278.5949	0.041446	0.001948		315.2331	0.031167	-0.075564			
14TH	3.17	893.7222	218.0209	0.047092	0.005646		243.1142	0.124831	0.093664			
ROOF	3.17	433.0197	154.1331	0.062955	0.015863		167.05	0.159277	0.034446			
TOP ROOF	3.17	59.2731	99.9411	0.070993	0.008038		102.5303	0.174753	0.015476			

اکنون برای محاسبه θ ، ما نیاز به ضریب اهمیت، I_e ، ($\S 11.5.1$) و ضریب افزایشی تغییر شکل C_d (جدول ۱.۱۲.۲) داریم.


$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{ix} C_d} \quad (12.8-16)$$

Table 1.5-2 Importance Factors by Risk Category of Buildings and Other Structures for Snow, Ice, and Earthquake Loads^a

Risk Category from Table 1.5-1	Snow Importance Factor, I_s	Ice Importance Factor—Thickness, I_t	Ice Importance Factor—Wind, I_w	Seismic Importance Factor, I_e
I	0.80	0.80	1.00	1.00
II	1.00	1.00	1.00	1.00
III	1.10	1.25	1.00	1.25
IV	1.20	1.25	1.00	1.50

^aThe component importance factor, I_p , applicable to earthquake loads, is not included in this table because it is dependent on the importance of the individual component rather than that of the building as a whole, or its occupancy. Refer to Section 13.1.3.

در این مثال ما I_e را برابر با یک، C_d را برابر با چهار در نظر خواهیم گرفت؛ بنابراین جدول‌های اکسل به صورت زیر خواهند شد:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	 KickMYBrain.com [Step by Step Series]												
2													
3													
4		h	P	X-Direction				Y-Direction					
5	Story	m	ton	V _x	U _x	D _x	θ _x	V _y	U _y	D _y	θ _y		
6	BASE	0			0				0				
7	BASEMENT3	2.67	20855.45	1280.831	0.000098	0.000098	0.000149	1508.473	0.000211	0.000211	0.000273		
8	BASEMENT2	2.67	19075.69	1268.913	0.000228	0.00013	0.000183	1494.284	0.000492	0.000281	0.000336		
9	BASEMENT1	2.67	17295.93	1245.077	0.000388	0.00016	0.000208	1465.906	0.000848	0.000356	0.000393		
10	GROUND	3.87	15287.07	1205.345	0.000753	0.000365	0.000299	1418.602	0.001568	0.00072	0.000501		
11	1ST	3.17	13728.53	1151.876	0.00245	0.001697	0.001595	1354.944	0.005163	0.003595	0.002873		
12	2ND	3.17	12482.5	1106.912	0.005271	0.002821	0.002509	1301.41	0.010222	0.005059	0.003827		
13	3RD	3.17	11203.75	1053.162	0.008843	0.003572	0.002997	1237.417	0.016275	0.006053	0.004322		
14	4TH	3.17	9924.995	990.0563	0.012934	0.004091	0.003234	1162.285	0.023004	0.006729	0.004532		
15	5TH	3.17	8646.246	917.5979	0.017422	0.004488	0.003335	1076.017	0.030293	0.007289	0.004619		
16	6TH	3.17	7365.366	835.6677	0.022039	0.004617	0.003209	978.4729	0.037639	0.007346	0.004361		
17	7TH	3.17	6176.112	749.806	0.028218	0.006179	0.004014	876.2482	0.021304	-0.016335	-0.00908		
18	8TH	3.17	5203.353	671.72	0.02557	-0.002648	-0.001618	783.2807	0.070195	0.048891	0.025614		
19	9TH	3.17	4230.588	586.3686	0.033033	0.007463	0.004246	681.6631	0.024932	-0.045263	-0.022154		
20	10TH	3.17	3257.825	493.752	0.03226	-0.000773	-0.000402	571.3955	0.088168	0.063236	0.028434		
21	11TH	3.17	2337.185	398.3477	0.037552	0.005292	0.002449	457.8079	0.028499	-0.059669	-0.024024		
22	12TH	3.17	1820.453	335.5525	0.039498	0.001946	0.000833	383.0457	0.106731	0.078232	0.029322		
23	13TH	3.17	1357.088	278.5949	0.041446	0.001948	0.000748	315.2331	0.031167	-0.075564	-0.025655		
24	14TH	3.17	893.7222	218.0209	0.047092	0.005646	0.001825	243.1142	0.124831	0.093664	0.027155		
25	ROOF	3.17	433.0197	154.1331	0.062955	0.015863	0.003515	167.05	0.159277	0.034446	0.007042		
26	TOP ROOF	3.17	59.2731	99.9411	0.070993	0.008038	0.000376	102.5303	0.174753	0.015476	0.000706		
27													
28							Max=	0.004246			Max=	0.029322	

همان طور که می‌بینید، ماکسیمم مقدار θ کمتر از ۰٫۱ است، بنابراین نیازی نیست اثر P- Δ در تجزیه و تحلیل‌ها لحاظ شود. امیدواریم که ما توانسته باشیم به صورت واضح نحوه بررسی الزامات اثر P- Δ را تشریح کنیم.

مترجم: بهاره بهرامی

منبع:

<http://kickmybrain.com/step-by-step-how-to-compute-p-delta-effect-using-etabs/>