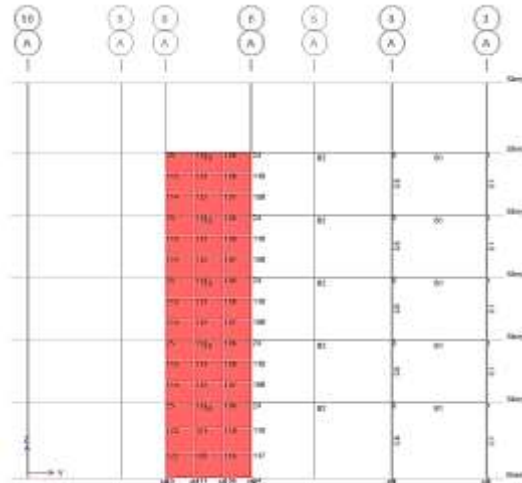


دیوارهای برشی و تیرهای همبند (کوپلینگ) در برنامه ETABS

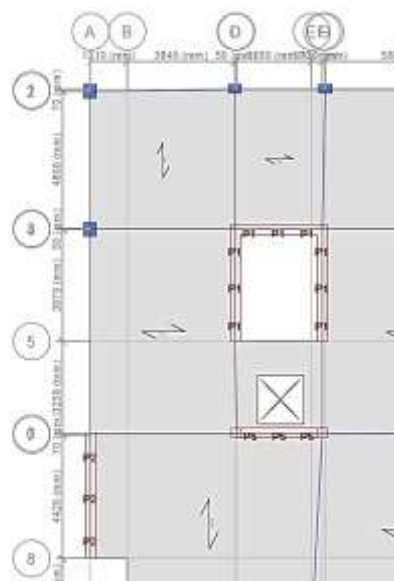
۱. دیوارهای برشی

برنامه ETABS از المان Shell برای مدل‌سازی تحلیلی دیوار برشی استفاده می‌کند. علاوه بر اینکه برنامه به صورت داخلی دیوارها را مش بندی می‌کند (اتوماتیک) کاربر می‌تواند با غیرفعال کردن این قابلیت اقدام به مش بندی دستی دیوار برشی کند که در مورد دیوارهای نامنظم یا دارای بازشو و همچنین انطباق مش بندی المان‌های مختلف در مدل‌های پیچیده‌تر مفید است.



شکل ۱. مش بندی دیوار برشی در برنامه ETABS

پس از مدل‌سازی دیوار (انتخاب المان مناسب، ترسیم هندسه دیوار و مش بندی) برای اینکه برنامه بتواند دیوار برشی را طراحی کند باید نام‌گذاری گردد، به این کار اختصاص Pier به دیوارها گفته می‌شود. تمام دیوارهایی که در یک طبقه دارای Pier یکسان هستند با هم طراحی می‌شوند. در صورتی که ستونی با دیوار برشی مدل شود (به آن چسبیده است) باید دارای Pier همانم با دیوار مجاور خود باشد.



شکل ۲. Pier ها در یک طبقه

پس از تحلیل سازه دیوار برشی، نوبت به طراحی دیوار می‌رسد. برنامه ETABS نیروهای هر یک از زیر المان‌های دیوار برشی را انتگرال‌گیری کرده و به صورت یک نیروی محوری (P)، لنگرهای خمشی (M3, M2) و نیروهای برشی در مرکز سطح مقطع Pier برای طراحی مورد استفاده قرار می‌دهد. طراحی خمشی برای کل دیوار (کل مقطع Pier موردنظر) و طراحی برشی یا محاسبات المان مرزی، برای هر یک از پایه‌های Pier (leg) جداگانه انجام می‌شود.

- طرح خمشی Pier ها. برنامه ETABS سه روش برای طرح خمشی Pier ها ارائه می‌کند. روش کششی-فشاری ساده شده T/C، روش میلگرد گذاری یکنواخت و روش عمومی. در این میان روش کششی-فشاری ساده که ضرورتاً پیاده‌سازی یک روش ساده دستی است کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، تلاش‌های داخل صفحه دیوار (خمشی/محوری) به نیروهای کششی و فشاری دو سر دیوار تقسیم می‌شود. با سعی و خطا مساحت میلگرد و طولی از دو سر دیوار که می‌تواند این نیروها را تحمل کند، محاسبه می‌شود. روش میلگرد گذاری یکنواخت (Uniform Reinforcing) و روش عمومی (General) بر مبنای تولید سطح اندرکنشی نیروی محوری - لنگر خمشی دیوار استوار است. از روش میلگرد گذاری یکنواخت برای طراحی مقدماتی دیوارها استفاده می‌شود. در این روش، یک توزیع یکنواخت برای دیوار انتخاب می‌شود و برنامه کفایت دیوار را برای تلاش‌های داخلی آن کنترل می‌کند. روش میلگرد گذاری یکنواخت در مورد مقاطع مستطیلی کاربرد دارد و در مورد سایر مقاطع با تقریب همراه است ضمن آنکه امکانی برای در نظر گرفتن مساحت بالاتر میلگردها در دو سر دیوار در اختیار نمی‌گذارد و در این مواقع تنها روش مؤثر همان روش سوم (عمومی) است. در حقیقت روند طراحی دو روش اخیر مشابه طرح و تحلیل ستون‌هاست. روش عمومی که کلی‌ترین روش است و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد بر مبنای تعریف دقیق مقطع pier (هندسه و میلگرد گذاری) استوار است. عموماً طراح ابتدا با استفاده از روش میلگرد گذاری یکنواخت تخمینی از میلگردهای موردنیاز دیوار به دست می‌آورد، سپس با استفاده از برنامه‌های کمکی یا سعی و خطا ترکیب میلگردهای موردنظر خود را در برنامه داخلی Section Designer تعریف می‌کند. سپس این تعریف را به pier موردنظر اعمال می‌کند. حال، برنامه ETABS کفایت خمشی/محوری مقطع را بررسی و گزارش می‌کند. معمولاً در طراحی‌ها از این روش استفاده می‌شود. شکل ۳ نمونه گزارش خمشی - محوری دیوار برشی مربوط به شکل ۲ را نشان می‌دهد.

Flexural Design for P, M₃ and M₂

Station	D/C	Flexural	P _v N	M _{u2} N-mm	M _{u3} N-mm
Top	0.527	UDWal-DYN2-9	1354347.27	-17911254.46	6189836137
Bottom	0.947	UDWal-DYN2-9	1489560.12	28869359.18	9659243974

شکل ۳ نمونه خروجی کنترل خمشی/محوری دیوار برشی. D/C نسبت تقاضا به ظرفیت دیوار برای بالا و پایین دیوار جداگانه گزارش می‌شود.

- طرح برشی. برای هر پایه (leg) دیوار، نیروی ظرفیت برشی دیوار برابر با حداقل سه مقدار زیر خواهد بود:

aci 11.5.4.6d	$V_c = 0.27\sqrt{f'_c}hd + \frac{N_u d}{4l_w}$	$\phi = 0.75$
aci 11.5.4.6e	$V_c = \left[0.05\sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left(0.1\sqrt{f'_c} + \frac{0.2N_u}{l_w h} \right)}{4l_w} \right] hd$	$\phi = 0.75$
aci 18.10.4.1	$V_c = A_{cv}(\alpha_c \sqrt{f'_c})$	$\phi = 0.60$

در شکل ۴ نمونه گزارش طرح برشی دیوار برای شکل ۲ آورده شده است.

Shear Design

Station Location	ID	Rebar mm ² /mm	Shear Combo	P _u N	M _u N-mm	V _u N	ΦV _c N	ΦV _n N
Top	Leg 1	0.88	UDWal-DYN2-9	1354347.27	6189836137	909171.3	876276.47	1819176.47
Bottom	Leg 1	0.88	UDWal-DYN2-9	1489580.12	9659243974	909171.3	592871.88	1535771.88

شکل ۴. گزارش برنامه ETABS برای کنترل برش پایه‌های مختلف یک دیوار مربوط به بالا و پایین آن.

- المان مرزی دیوار. برنامه ETABS برای هر یک از پایه‌های تشکیل‌دهنده Pier دیوار به صورت جداگانه کنترل وضعیت المان مرزی را کنترل می‌کند (شکل ۵). تمام این کنترل‌ها برای تمامی ترکیبات بارگذاری شامل بار جانبی زلزله انجام و بحرانی‌ترین حالت گزارش می‌شود. برای هر پایه دیوار محاسبات زیر انجام می‌شود:

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (mm)	Governing Combo	P _u N	M _u N-mm	Stress Comp MPa	Stress Limit MPa	C Depth mm	C Limit mm
Top-Left	Leg 1	383.8	UDWal11	2107158	-4101290018	4.83	5	767.6	997.8
Top-Right	Leg 1	391.9	UDWal11	2223730.08	5758557113	6.31	5	783.9	997.8
Bottom-Left	Leg 1	403.5	UDWal7	2389107.78	-2971044276	4.05	5	807	997.8
Bottom-Right	Leg 1	404.5	UDWal7	2404040.55	8203900385	8.51	5	809.1	997.8

شکل ۵. خروجی کنترل المان مرزی دیوارهای برشی

- تنش فشاری حداکثر در دورترین تار فشاری دیوار (Stress Comp شکل ۵).
- حد تنش فشاری (Stress Limit شکل ۵) این مقدار مطابق آیین‌نامه برابر $0.2f'_c$ شد.
- δ_e مربوط به تحلیل الاستیک دیوار ثبت می‌شود. این مقدار در C_d/I ضرب می‌شود تا تغییر مکان نهایی δ_u بالای دیوار به دست آید. ضریب بزرگنمایی تغییر مکان برای تبدیل تغییر مکان‌های حاصل از تحلیل خطی به واقعی (جدول ۳-۴ آیین‌نامه ۲۸۰۰) و α ضریب اهمیت ساختمان (جدول ۳-۳ آیین‌نامه ۲۸۰۰) است، این مقادیر قبلاً توسط طراح در تنظیمات طراحی دیوار وارد می‌شود).
- عمق محور خنثی با استفاده از نیروهای وارده به پایه (ترکیب بار مورد مطالعه) موردنظر توسط برنامه محاسبه می‌شود (C depth شکل ۵).

- با استفاده δ_u ، حد بالای C محاسبه می‌شود (aci 18.10.6.2): $C_{limit} = \frac{l_w}{600(\frac{1.5\delta_u}{h_w})}$ (C limit شکل ۵).

- در صورتی که تنش در دورترین تار فشاری از $0.2f'_c$ بیشتر باشد یا $C \geq C_{limit}$ باشد، طول المان مرزی مطابق aci 18.10.6.4 تعیین می‌شود (Edge Length شکل ۵). این مقدار برابر است با $\max(\frac{C}{2}, c - 0.1l_w)$.

۲. تیرهای همبند

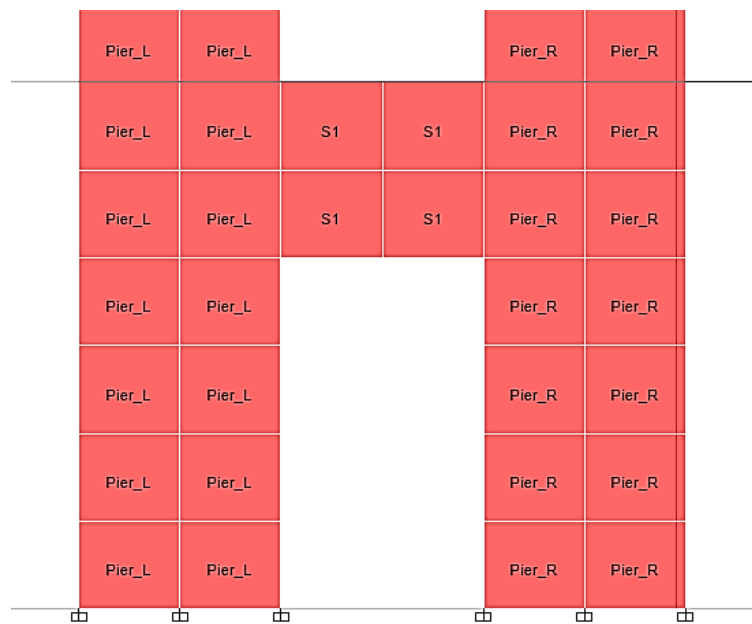
الف. مدل‌سازی

هرچند اغلب تیرهای همبند در برنامه ETABS با المان Shell مدل می‌شوند ولی می‌توان در صورتی که نسبت طول (آزاد) به عمق تیر حداقل برابر ۴ باشد به صورت المان خطی Frame نیز مدل‌سازی کرد. هرچند در این حالت، توجه به شرایط مرزی

در محل اتصال به المان‌های Shell دیوارها مهم است (مگر اینکه دیوارها نیز به صورت ستون مدل شده باشند). در عمل، اغلب طراحان از المان‌های Shell (مشابه دیوار) برای مدل‌سازی تیرهای همبند استفاده می‌کنند. مراحل کلی مدل‌سازی تیرهای همبند در ETABS به قرار زیر است:

۱. ترسیم دیوار با المان Shell
۲. مش بندی اولیه (به صورت دستی)
۳. حذف قسمت باز شو از دیوار
۴. اختصاص برچسب Pier ها به دیوارهای دو طرف باز شو (هر دیوار Pier جداگانه)
۵. اختصاص برچسب Spandrel به تیر همبند (مابین دو دیوار)
۶. ریز کردن مش بندی‌ها (در مورد تیرهای همبند بهتر است مش‌ها ریزتر در نظر گرفته شوند تا دقت محاسبات مناسب باشد)
۷. بررسی تنظیمات پیش فرض طراحی، ابعاد و فعال کردن الزامات طراحی لرزه‌ای

در شکل ۶ نمونه‌ای از مش بندی و برچسب‌گذاری یک دیوار با تیر همبند نشان داده شده است. بهتر است مش بندی طوری انجام شود که حتی‌الامکان گره‌ها بر هم منطبق باشند. در غیر این صورت، برنامه ETABS با باز تعریف نواحی مرزی (Constraint)، امکان ادامه محاسبه را فراهم کند که ممکن است در برخی موارد از دقت محاسبه بکاهد.



شکل ۶. مش بندی و برچسب‌گذاری تیر همبند

ETABS می‌تواند تیرهای همبند را بدون در نظر گرفتن ملاحظات لرزه‌ای نیز طراحی کند، هرچند در بیشتر اوقات مدنظر طراح قرار ندارد. بنابراین بهتر است، پس از مدل‌سازی اولیه تیرهای همبند و قبل از تحلیل، تنظیمات تیرهای همبند را مورد بررسی قرار داد (View\Revise spandrel overwrites). نمونه‌ای از این تنظیمات در شکل ۷ نمایش داده شده است. بررسی کلی گزینه‌ها قبل از شروع طراحی مناسب است. بررسی مشخصات هندسی تشخیص داده شده توسط برنامه نخستین مرحله این بررسی‌هاست. جدول ۱ برخی گزینه‌های مهم شکل ۷ را به صورت مختصر نشان می‌دهد.

	Item	Value
01	Design this Spandrel	Yes
02	LL Reduction Factor	1
03	Design is Seismic?	Yes
04	Length	149.667
05	Thick Left	35
06	Depth Left	130
07	Cover Bottom Left	13
08	Cover Top Left	13
09	Slab Width Left	0
10	Slab Depth Left	0
11	Thick Right	35
12	Depth Right	130
13	Cover Bottom Right	13
14	Cover Top Right	13
15	Slab Width Right	0
16	Slab Depth Right	0
17	Material	C25
18	Consider Vc?	Yes

شکل ۷. تنظیمات تیرهای همبند

جدول ۱ بررسی تنظیمات مهم تیرهای همبند

توضیح	گزینه
در صورت فعال بودن گزینه ملاحظات لرزه‌ای در طرح تیر همبند وارد می‌شود (توضیح در ادامه همین بخش کتاب)	Design In Seismic?
ضخامت و عمق تیر همبند در دو سر آن (سر چپ یا Left و سر راست یا Right) تعریف می‌شود. عموماً Thick با ضخامت دیواری که تیر همبند به آن وصل می‌شود یکسان است. برای دو سر تیر همبند، در صورت نیاز، می‌توان پوشش میلگردهای متفاوتی برای بالا و پایین مقطع منظور کرد (Cover Top, Cover Bottom)	Thick, Depth
ETABS می‌تواند تیرهای همبند را به صورت تیر T شکل برای خمش طرح کند بنابراین، در صورت نیاز می‌توان ضخامت و عرض مؤثر دال را تعریف کرد تا در طراحی تیر همبند به صورت تیر T شکل وارد شود. در صورتی که نسبت طول به عمق تیر همبند حداقل ۴ باشد این اقدام، مناسب است.	Slab Width, Slab Depth
در صورت فعال بودن این گزینه، برنامه ETABS از مقاومت برشی بتن در طرح برشی تیر همبند صرف نظر می‌کند.	Consider Vc?

ب. روند طراحی تیرهای همبند در برنامه ETABS

برنامه ETABS پس از انتگرال‌گیری، نیروی برشی و لنگر خمشی دو سر تیر همبند را محاسبه می‌کند، کلیه طراحی‌ها فقط برای دو سر تیر همبند انجام می‌شود (هیچ طراحی یا کنترلی برای وسط تیر همبند انجام نمی‌شود، در صورت لزوم طرح یا کنترل برای این قسمت باید توسط طراح مستقل از نرم‌افزار انجام شود).

۱. طراحی خمشی

طرح خمشی برای مقاطع دو سر تیر همبند دقیقه مشابه با تیرهای معمولی انجام می‌شود، همان‌طور که در جدول ۱ بیان شده است برنامه می‌تواند در صورت تعریف دال، تیر را به صورت مقطع T نیز طراحی کند. در صورت نیاز آرماتور فشاری نیز برای

تیرها طراحی می‌شود، حداکثر نسبت آرماتور مجاز فشاری توسط برنامه به ۴ درصد محدود می‌شود. پس از آنکه برای کلیه ترکیبات بارگذاری، طراحی میلگرد خمشی بالا (برای لنگر منفی) و میلگرد خمشی پایین (برای لنگر مثبت) و برای دو سر تیر همبند انجام شد، مقادیر حداکثر مشابه خروجی شکل ۸ گزارش می‌شود.

نتایج طرح خمشی برای لنگر منفی (میلگرد بالایی) Spandrel Flexural Design—Top Reinforcement

Station Location	Reinf Area cm ²	Reinf Percentage	Reinf Combo	Moment, M _u kgf-cm
Left	10.06	0.22	UDWal11	-3185391.87
Right	10.12	0.22	UDWal10	-3204205.55

نتایج طراحی خمشی برای لنگر مثبت (میلگرد پایینی) Spandrel Flexural Design—Bottom Reinforcement

Station Location	Reinf Area cm ²	Reinf Percentage	Reinf Combo	Moment, M _u kgf-cm
Left	10.44	0.23	UDWal-DYN2-9	3301247.19
Right	10.33	0.23	UDWal-DYN2-9	3266918.87

شکل ۸. خروجی طراحی خمشی تیر همبند

برنامه ملاحظات خاصی برای تیرهای عمیق یا سایر موارد مشابه ناشی از آن، در طرح خمشی تیر همبند در نظر نمی‌گیرد. علاوه بر این در صورت وجود نیروی محوری قابل توجه در تیر همبند یا لنگر در جهت دیگر، برنامه در طراحی آن ملاحظات اندرکنشی خاصی را در نظر نمی‌گیرد؛ مشابه این موضوع در مورد پیچش نیز صادق است.

۲. طراحی برشی

برنامه ETABS دو دسته میلگرد برشی برای تیر همبند طراحی می‌کند. دسته نخست، میلگرد عرضی قائم (خاموت‌ها) مشابه تیرهای معمولی و میلگردهای افقی برای مقادیر برش دو سر ابتدا و انتهای تیر همبند است. دسته دوم، میلگردهای قطری است که فقط در صورت فعال بودن گزینه طرح لرزه‌ای دیوار (جدول ۱)، توسط برنامه طراحی می‌شود. همان‌طور که گفته شد (جدول ۱) می‌توان از مقاومت برشی بتن در طرح برشی تیر همبند چشم‌پوشی کرد. توصیه شده است در صورتی که شرایط صرف‌نظر کردن از مقاومت برشی در بتن در دیوارهای مدل برقرار است، در مورد تیر همبند بین دیوارها نیز به صورت مشابه عمل شود.

۲،۱ محاسبه میلگردهای برشی افقی و قائم

در شکل ۹ خروجی نرم‌افزار برای میلگردهای برشی افقی و قائم آورده شده است.

Spandrel Shear Design

Station Location	A _{vert} cm ² /m	A _{horz} cm ² /m	ShearCombo	V _u kgf	φV _c kgf	φV _s kgf	φV _n kgf
Left	13.4433	8.75	UDWal18	57907.68	19414.5	38493.16	57907.68
Right	13.239	8.75	UDWal19	57348.55	19440.47	37808.08	57348.55

شکل ۹. خروجی طرح برشی (برای میلگردهای غیر قطری)

محاسبه مقاومت برشی بتن

برنامه ETABS مقاومت برشی بتن ϕV_c (در صورت فعال کردن استفاده از آن توسط کاربر) را مطابق جدول ۲ محاسبه می‌کند.

جدول ۲ محاسبه مقاومت برشی بتن برای تیرهای همبند

رابطه	شرایط
$V_c = 0.17 \sqrt{f'_c} t_s d_{spandrel}$	در صورتی که تیر همبند نیروی محوری نداشته باشد
$V_c = 0.17 \sqrt{f'_c} \left(1 + \frac{N_u > 0}{14A_g}\right) t_s d_{spandrel}$	در صورتی که به تیر همبند نیروی محوری فشاری وارد شود.
$V_c = 0.17 \sqrt{f'_c} \left(1 + \frac{N_u < 0}{3.5A_g}\right) t_s d_{spandrel}$ ≥ 0	در صورتی که به تیر همبند نیروی محوری کششی وارد شود.

t_s : ضخامت تیر همبند (عمود بر صفحه تیر همبند) میلی‌متر
 $d_{spandrel}$: عمق مؤثر تیر همبند به میلی‌متر با توجه به میزان کاور (جدول ۲)
 $\sqrt{f'_c} \leq 8.3 \text{ MPa}$

محاسبه سطح مقطع میلگردهای برشی افقی و قائم:

برای هر ترکیب بارگذاری و هر یک از دو انتهای تیر همبند (Left, Right)، میلگردهای برشی افقی A_{horiz} و میلگردهای برشی افقی A_{vert} محاسبه می‌شود. در انتها، مقادیر حداکثر برای هر یک از دو انتها گزارش می‌شود (شکل ۱۰).

میلگردهای برشی افقی A_{horiz} فقط برای حالت $\frac{L_s}{d_{spandrel}} \leq 4$ گزارش می‌شود (L_s طول تیر همبند است). در این حالت لازم است $V_u \leq 0.83 \sqrt{f'_c} t_s d_{spandrel}$ (aci 9.9.2.1) باشد در غیر این صورت خطا توسط برنامه گزارش می‌شود. در صورت برقرار بودن این شرط حداقل میلگردهای برشی عمودی و افقی به ترتیب زیر گزارش می‌شود (aci 9.9.3.1):

$$A_{v,min} = 0.0025t_s, \quad A_{h,min} = 0.0025t_s$$

برای حالتی که $\frac{L_s}{d_{spandrel}} > 4$ ، فقط میلگردهای برشی قائم محاسبه می‌شود. در این حالت مراحل محاسبه دقیقه مشابه تیرهای معمولی است.

صرف نظر از نسبت $\frac{L_s}{d_{spandrel}}$ همواره لازم است که $V_s = V_n - V_c \leq 0.66 \sqrt{f'_c} t_s d_{spandrel}$ باشد؛ در غیر این صورت پیغام خرابی مقطع توسط برنامه داده می‌شود (aci 22.5.1.2). مقدار \emptyset برای طرح لرزه‌ای برابر ۰٫۶ در نظر گرفته می‌شود.

محاسبه سطح مقطع میلگردهای قطری

برای طرح لرزه‌ای تیرهای همبند، میلگردهای قطری توسط برنامه محاسبه می‌شود. سطح مقطع میلگرد برشی قطری A_{vd} از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_{vd} = \frac{V_u}{2\emptyset_s f_{ys} \sin \alpha}$$

که:

$$\sin \alpha = \frac{0.8h_s}{\sqrt{L_s^2 + (0.8h_s)^2}}$$

h_s ضخامت تیر همبند و L_s طول آن است.

هنگامی که $V_u \geq 0.3A_{cw}\lambda\sqrt{f'_c} = V_{u,limit}$ و $\frac{L_s}{d_{spandrel}} \leq 2$ باشد؛ برنامه استفاده از میلگرد گذاری همبند را به صورت اجباری گزارش می‌دهد (ستون سمت راست Diag Reinf Manatory شکل ۱۰).

Spandrel Shear Design—Diagonal Reinforcement

Station Location	A _{diag} cm ²	Shear Combo	V _u kgf	V _{uLimit} kgf	L/H Ratio	Seismic Design	Diag Reinf Mandatory
Left	14.92	UDWal11	59040.92	69346.21	1.151	Yes	No
Right	15.11	UDWal10	59790.45	69346.21	1.151	Yes	No

شکل ۱۰. خروجی طراحی میلگردهای قطری برنامه ETABS

همان‌طور که بیان شد محاسبه V_u برای ترکیبات بارگذاری مختلف، فقط در دو سر تیر همبند انجام می‌شود. مقادیر گزارش شده، بیشترین مقدار محاسبه شده برای ترکیبات بارگذاری مختلف است.

۳. مدل‌سازی دیوارهای تراز زیرزمین

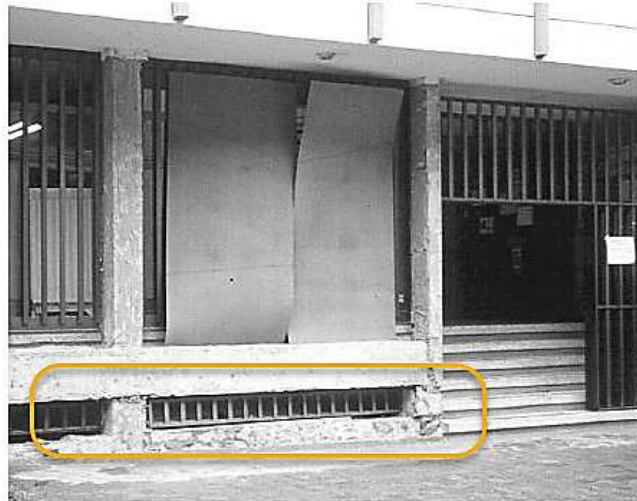
در ساختمان‌های دارای طبقات زیرزمین، عموماً دیوارهای نگهدارنده مجاور خاک گود به صورت بتنی طراحی می‌شوند. این دیوارها در صورتی که به سازه متصل باشند نیازمند ارزیابی بیشتری هستند. در صورتی که این دیوارها تا زیر سقف تراز لرزه‌ای ادامه پیدا نکنند لازم است از عدم ایجاد مکانیسم ستون کوتاه اطمینان حاصل شود، یا با تعبیه درز مناسب از ایجاد این پدیده مخرب جلوگیری به عمل آید (شکل ۱۱).

مطابق بند ۳-۳-۱-۲ آیین‌نامه ۲۸۰۰:

۳-۳-۱-۲ تراز پایه

تراز پایه، بنا به تعریف، به تراز در ساختمان اطلاق می‌شود که در هنگام زلزله از آن تراز به پایین اختلاف حرکتی بین ساختمان و زمین وجود نداشته باشند. تراز پایه برای طراحی ساختمان‌ها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

- ۱- برای ساختمان‌های بدون زیرزمین یا ساختمان‌های دارای زیرزمینی که دیوارهای نگهدارنده آن به سازه متصل نباشند، تراز پایه باید در سطح بالای شالوده در نظر گرفته شود.
- ۲- برای ساختمان‌های دارای زیرزمینی که دیوارهای نگهدارنده آن به سازه متصل باشند و فضای بین خاکبرداری و دیوار نگهدارنده زیرزمین یا خاک متراکم پر شده باشد، تراز پایه می‌تواند در نزدیک‌ترین سقف زیرزمین به زمین طبیعی اطراف در نظر گرفته شود، منوط بر آنکه اولاً خاک طبیعی موجود در اطراف ساختمان متراکم باشد و ثانیاً دیوارهای نگهدارنده زیرزمین بتن‌آرمه بوده و آخرین سقف زیرزمین نیز دارای صلبیت کافی باشد. در این راستا می‌توان از صلبیت تیرها و یا مجموعه تیر و دال سقف‌ها برای افزایش صلبیت سقف استفاده نمود.



شکل ۱۱. اتصال دیوار نگهدارنده بتنی به سازه بدون توجه به پدیده ستون کوتاه و آسیب ناشی از آن

در صورت اتصال دیوارهای نگهدارنده به سازه، شرایط خاک پشت دیوار حائز اهمیت است. در صورتی که خاک پشت دیوارهای نگهدارنده بتنی کاملاً متراکم باشد، می‌توان از عدم دخالت طبقه یا طبقات زیرزمین در پاسخ لرزه‌ای ساختمان اطمینان حاصل کرد (در این حالت طبقات زیرزمین زلزله‌ای تجربه نخواهد کرد مشروط بر آنکه طبقات کاملاً مدفون باشند؛ زلزله عموماً پس از رسیدن به سطح زمین و تشدید با روسازه اثرات خود را نشان می‌دهد). در غیر این صورت کلیه دیوارهای نگهدارنده باید مدل شده و تراز پایه در پایین‌ترین طبقه منظور شود. در این حالت کلیه دیوارهای نگهدارنده بتنی، مشابه دیوار سازه‌ای رفتار کرده و طراحی و تأثیر آن در پاسخ سازه باید ارزیابی گردد. در صورتی که شرایط خاک پشت دیوار نگهدارنده مناسب باشد ولی قسمتی از دیوار به دلایلی بیرون از زمین قرار گیرد، لازم است تأثیر قسمت غیر مدفون در پاسخ لرزه‌ای سازه در نظر گرفته شود.

برای طراحی ساختمان با طبقات زیرزمین و با دیوار حائل بتنی متصل به سازه مدل‌سازی دو مرحله‌ای توصیه شده است:

الف. مدل‌سازی ساختمان روی دیوار حائل به‌تنهایی. در این حالت فقط قسمت فوقانی سازه مدل می‌شود. محاسبات وزن سازه و زمان تناوب برای طرح لرزه‌ای فقط با در نظر گرفتن قسمت فوقانی انجام شده و از دخالت دادن طبقات زیرزمین در پاسخ لرزه‌ای خودداری می‌شود. بنابراین طراحی قسمت فوقانی با مدل‌سازی قسمت الف برای جمع تأثیرات لرزه‌ای و غیر آن انجام می‌شود.

ب. مدل‌سازی قسمت تحتانی به‌تنهایی با وجود دیوارهای حائل. در این حالت عکس‌العمل‌های ناشی از بار لرزه‌ای در قسمت الف به‌صورت دستی به مدل ب وارد می‌شود. در اینجا - با توجه به برقرار بودن شرایط خاک پشت دیوارهای نگهدارنده - نیازی به در نظر گرفتن اثرات مستقل لرزه‌ای برای قسمت تحتانی نیست و تنها انتقال عکس‌العمل‌های ناشی از مدل‌سازی قسمت الف کافی است.

لازم به یادآوری است، طراحی دیوار برای بارهای ناشی از فشار جانبی خاک کماکان ضروری است، و لازم است بارهای مربوطه در مدل‌سازی ب وارد شود. روند دو مرحله‌ای فوق در بند ۳-۳-۵-۹-۲ آیین‌نامه ۲۸۰۰ نیز مورد اشاره قرار گرفته است.

نویسنده: عبدالمهدی عباسی