**مقدمه**

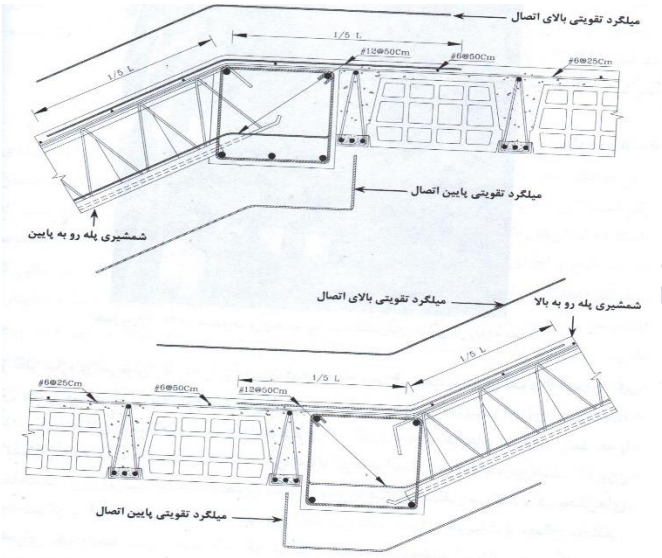
از وظایف اصلی راه پله در ساختمانها فراهم نمودن امکان حرکت افراد از طبقه ای به طبقه ی دیگر است.با این همه کم دقتی در طرح و اجرای راه پله صدمات جانی و سازه ای جبران ناپذیری را میتواند در هنگام وارد شدن نیروهای دینامیکی به ساختمان ایجاد کند که این پروسه در زلزله های اخیر در ایران از جمله زلزله های کرمانشاه،ورزقان،و یا بم به دفعات مشاهده شد.و این امرموجبات حساسیت بیشتری را نسبت به طراح و اجرای این المان در بین مهندسین و دفتر مقررات ملی ساختمان داشته است.

پله در ساختمان از نظر سازه ای نقش ثانویه دارد در حالی که هنگام خدمت رسانی در نقش اول ظاهر می شود.اما با توجه به تجربیات زلزله های اخیر و صدمات جدی این این بخش از سازه در می یابیم که نه تنها این اعضا نخواهند توانست به وظیفه ذاتی خود هنگام وقوع زلزله که همان تخلیه ساکنین است جامعه عمل بپوشانند بلکه با عملکرد غیر اصولی خود جان ساکنین و پایداری سازه را نیز به خطر می اندازند.

پیرو این عرایض در کل جزئیات و مصالح مختلفی برای اجرای یک راه پله میتواند وجود داشته باشد که می توان به روش تیرچه بلوک،دال بتنی،کامپوزیت(مرکب)، و پیش ساخته اشاره کرد که میشود گفت تا حدودی روشهای فوق پاسخ های نبستا جالبی به نیروهای دینامیکی نداده اند.

## ۱-روش تیرچه بلوک

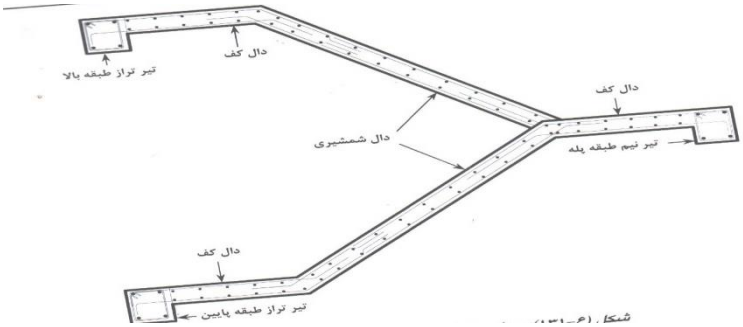
اجرای غیر اصولی و وزن سنگین این روش در زلزله بم صدمات جبران ناپذیری را به بار آورد.(شکل ۱)




**شکل ۱-روش اجرای راه پله به صورت تیرچه بلوک**

## ۲-روش دال بتنی

این روش در سالهای اخیر بخاطر سهولت اجرا و اقتصادی بودن و عدم نیاز به تجهیزات و نیروی کار متخصص در بالاترین کاربرد خود در صنعت ساختمان قرار گرفت،اما فرضیاتی که در طراحی این روش بکار برده میشد به سختی در اجرا کالیبره و پیدا میشد که مهمترین آن اجرای تیر نیم طبقه به صورت دو سر مفصل بود که عملاً در سازه های بتنی ابقا این فلسفه که بتوان در اجرا یک تیر دو سر مفصل را اجرایی کرد بسیار سخت و گاها غیرممکن بود.(شکل ۲)

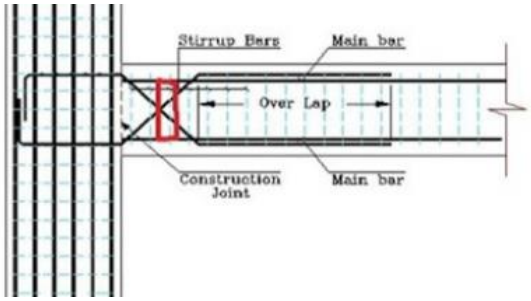



**شکل ۲-روش دال بتنی**

با توجه به اهمیت ابقا تیر دو سر مفصل و جلوگیری از ایجاد ستون کوتاه در سازه های بتنی در تراز میان طبقه محققان بر آن شدن که پیشنهاداتی مبنی بر ارضا این فلسفه بدهند که در زیر بصورت بسیار مختصر به آن پرداخته میشود.

## ۲-۱-روش اتصال (X)

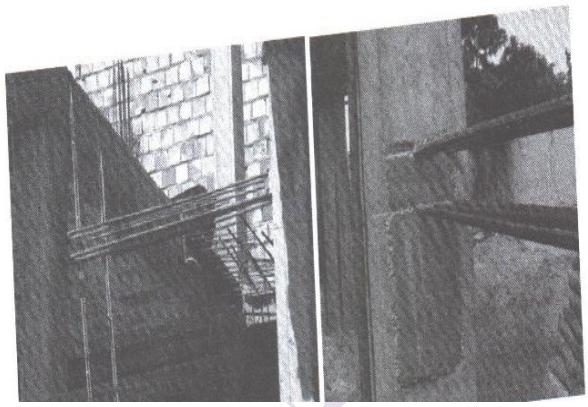
این روش به بدترین شکل ممکن با فلسفه مفصلی بودن تیر بتنی در سالهای اخیر در بین طراحان محترم باب شده بود که امری اشتباه محسوب میشد. لازم به توضیح است فلسفه مزبور اول بار توسط پرفسور نعیم در سال ۱۹۷۵ ارائه شده و هدف از آن با اضافه کردن چند آرماتور ضربدری در نزدیک ستون با عدم تغییر در سایر آرماتورها عملا مقاومت برشی تیر در محدوده ضربدری افزایش یافته و آز انجا که این محدوده از تیر مستعد تشکیل مفصل پلاستیک است برش تیر در هنگام زلزله به این صورت کنترل می شود.(شکل ۳)




**شکل۳-روش اتصال x**

## ۲-۲-روش تیر میان طبقه به ضخامت دال

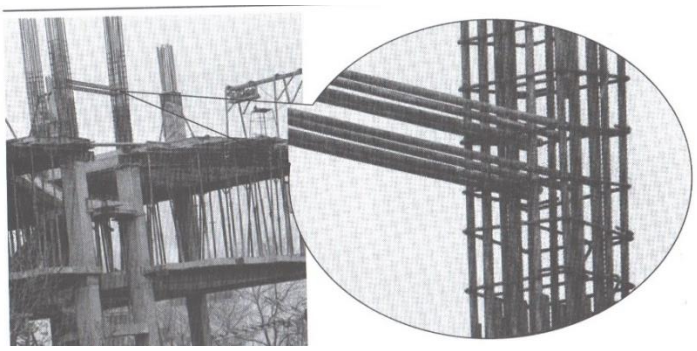
در این طرح کاهش ارتفاع تیر بدون تغییر در مقادیر میلگردهای طولی تیر انجام می شود، لیکن میلگردهای عرضی تیر به علت ضخامت اندک دال حذف میشود.در این طرح با کاهش ارتفاع موثر تیر عملا ظرفیت خمشی آن کاهش یافته و لنگر زیادی به ستون وارد نمی شود.(شکل ۴)



**شکل۴—روش تیر میان طبقه به ضخامت دال**

## ۲-۳-تیر میان طبقه با حذف مهار میلگرد تیر

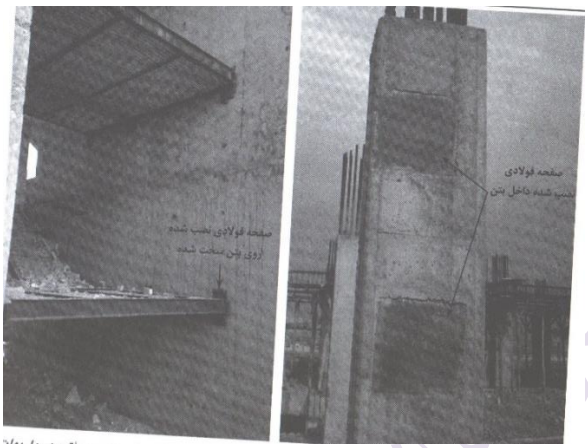
در این روش برای کاهش ظرفیت خمشی تیر مهار میلگرد در ستون حذف و انتظار میرود در هنگام وارد شدن لنگر این میلگردها بر اثر کشش در جای خود بلغزند(به شرط قلوه سنگ نشدن) و نیروی منتقل نشود.(شکل ۵)



**شکل ۵- تیر میان طبقه با حذف مهار میلگرد تیر**

## ۲-۴-روش تیر میان طبقه فولادی

این روش را میتوان روش بهتری نسبت به روشهای قبلی توصیف کردکه با تعبیه صفحات فولادی بر وجه ستون به صورت درجا یا کاشت بولت و بوسیله نبشی های بالا و پایین تیر فولادی اجرا کرد.(شکل۶)

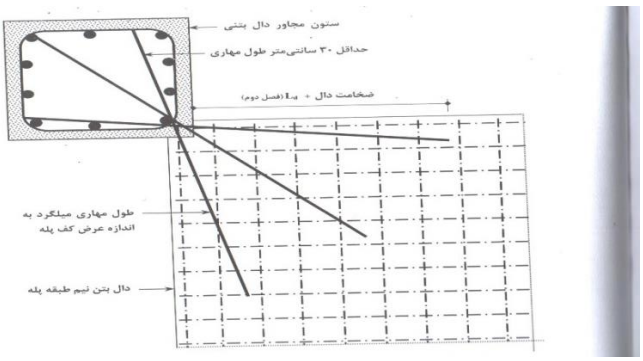



**شکل ۶- روش تیر میان طبقه فولادی**

## ۲-۵-اتصال نقطه ای

پس از بررسی های مدل های گذشته طرح اتصال برشی-اصطکاکی مطرح شد دراین روش بخش اعظم نیروی برشی توسط میلگرد و بخش اندکی از آن در صورت رعایت ضوابط اجرایی اتصال بتن جدید به قدیم توسط اصطکاک بتن به ستون منتقل میشود.در این متد مقدار میلگردهای مورد نیاز توسط رابطه زیر تعیین میشود.(شکل ۷)

$$V_r = \mu \varphi_s A_{Vf} f_y$$

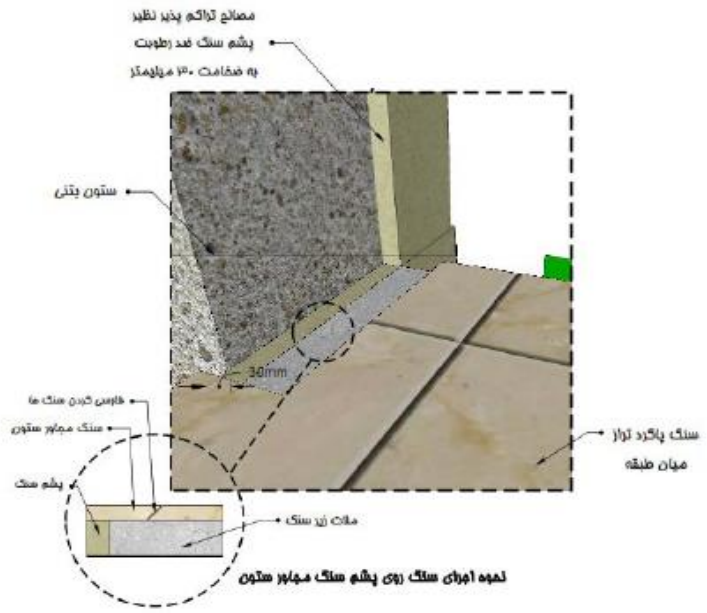


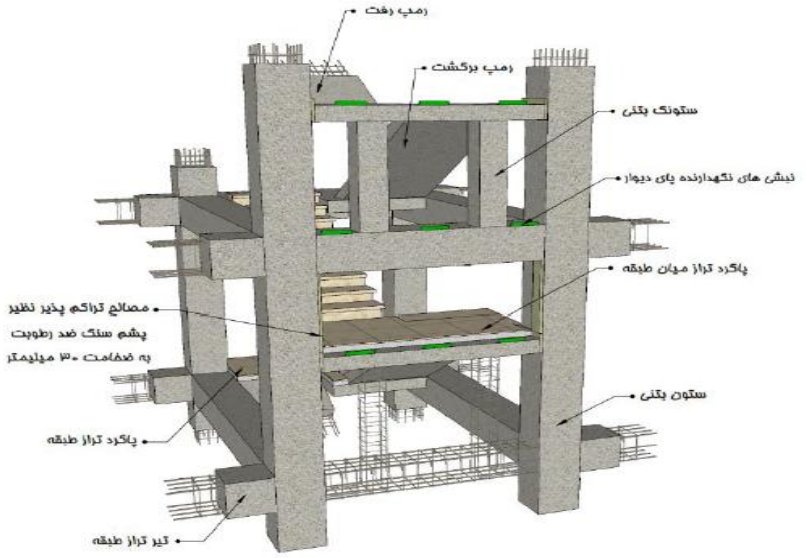

**شکل ۷- اتصال نقطه ای و اتصال ستون به دال راه پله**

روشهایی اجرایی دیگری هم وجود داشت که به علت پرداختن به روشهای ایراد شده در پیوست ششم آیین نامه ۲۸۰۰ از ذکر آنها خودداری بعمل می آید.

در پیوست ششم آیین ۲۸۰۰ پله ها به دو گروه پله هایی که جزئی از سازه اصلی ساختمان میباشد و پله های فراری که جزئی از سازه اصلی ساختمان نمیباشد تقسیم بندی شده است.در پله هایی که جز اصلی ساختمان محسوب میشود و کالبد پیوست ششم نیز همین گروه را پوشش میدهد در صورت اتصال راه پله به سازه باید اثر آن بر باربر لرزه ای و نیروهای وارد بر تیر و ستونهای اطراف آن باید لحاظ شود بدین منظور سازه یکبار بدون مدل کردن راه پله طراحی و مدل شود و سیستم باربرجانبی سازه مستقلا بتواند در برابر نیروهای طرح به تنهایی مقاومت کند و یکبار دیگر سازه با مدل کردن اجزای پله و در نظر گرفتن سختی پله مورد ارزیابی قرار بگیرد و این اجزا به این نیروها طراحی بشود.

باید توجه شود در سازه های بتنی اجرای تیر و اتصال دال راه پله در تراز پاگرد میان طبقه باعث ایجاد ستون کوتاه در ستون های مجاور راه پله می شود. جهت جلوگیری از تشکیل ستون کوتاه می توان بجای اجرای تیر نیم طبقه، آن را در همان تراز طبقه اجرا نمود و بر روی آن دو ستونک اجرا کرد. سپس بر روی این ستونک ها تیری اجرا می شود که به ستون های اطراف متصل نبوده و انتهای آن با ستون های اطراف فاصله ای حداقل به اندازه۰/۰۱ارتفاع طبقه دارد. نهایتا دال پله و پاگردها در تراز نیم طبقه به این تیر قرار گرفته بر روی ستونک ها متصل می شوند. لازم به ذکر است تیر نشیمن قرار گرفته در تراز طبقه که ستونک ها بر روی آن قرار دارند بایستی تحت پیچش ایجاد شده ناشی از بارهای ثقلی و لرزه ای طراحی شود. اعمال ضریب کاهش سختی پیچشی بر روی این تیر مجاز نیست (شکل۸-دیتیل اجرایی اتوکد این روش در سایت سازمان بارگذاری شده است).




**شکل ۸-اجرای پاگرد راه پله ر روی ستونک جهت جلوگیری از ایجاد ستون کوتاه**

اما اخیراً با بررسی مدل پیشنهادی فوق ایراداتی توسط مهندسین فعال در این حوزه به این طرح وارد شده که در زیر به بیان این موارد پرداخته میشود.

**-فرازی بر سخنان دکتر رضا سلطان ابادی**

لیکن نقدهای بسیار مهم و جدی به این جزئیات وارد که آیا واقعا کار آزمایشگاهی با مقیاس واقعی روی میز لرزان انجام شده است؟ بنده برای مقاله سرچ کردم اما چیزی یافت نشد و بعید است کار آزمایشگاهی انجام شده باشد.

و اما از جمله اشکالات مهم این جزئیات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:(سخنان دکتر رضا سلطان آبادی)

۱-استفاده از دو ستونک برای نگه داری دال پاگرد نیم طبقه موجب اخلال در رفتار تیر اصلی در تراز طبقه خواهد شد. از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به عدم صحت فرض تیر برنولی (B-Region) اشاره کرد (منبع: فصل ۲۳ آیین نامهACI318-19 ، فصل ۱۷ کتاب طراحی سازه‌های بتنی Wight )به عبارت ساده تر فرض کرنش خطی برای این تیرها اصلاً صحیح نیست. بنابراین طراحی تیرهای که نقش تکیه گاه برای ستونک ها دارند با روابط معمول در نرم افزار ETABS با اخلال و تقریب بسیار دور از واقعیت همراه خواهد شد. این یک اشکال بسیار بزرگ برای این جزئیات پیشنهادی محسوب می شود.

۲-اتصال دو ستونک دقیقاً در محل تشکیل مفصل پلاستیک (ناحیه ویژه) تیرها طبقه به لحاظ رفتارلرزه ای کار مناسبی نیست.

۳-به جهت اتصال مناسب ستونک ها به تیر طبقه باید حداقل طول مهاری آرماتور طولی ستونک ها مد نظر قرار گیرد. همین مسئله موجب افزایش ضخامت تیر طبقه خواهد شد. در این مورد ممکن است حداکثر ارتفاع مجاز تیر که جزئی از سیستم لرزه ای است اقناع نگردد. (منبع: فصل ۱۸ آیین نامه (ACI318-19 )همچنین با توجه به اینکه احتمالاً ارتفاع تیر طبقه زیاد می‌شود، جذب انرژی این تیرها به شدت بالا رفته و احتمال خرابی آن‌ها و احتمالاً ستون‌های متصل به آن‌ها نیز بالاتر می‌رود. این یعنی احتمال آسیب به راه پله بیشتر می‌شود.

۴-به جهت اتصال مناسب ستونک به تیر طبقه عرض این تیر از یک حد مشخص نمی‌تواند کمتر باشد. این یعنی ممکن است تیر مذکور شانه گیر شود.

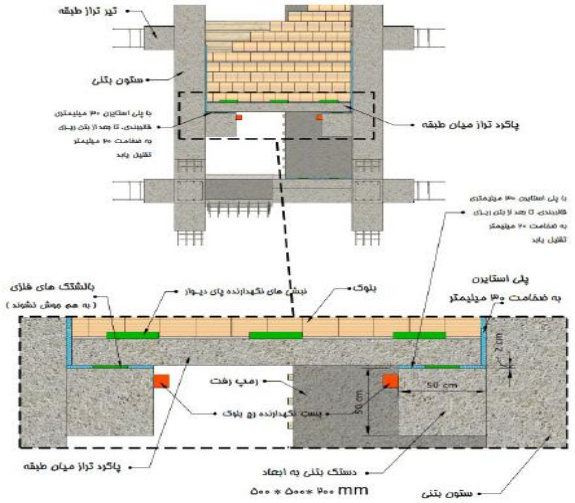
۵-استفاده از دو ستونک برای نگه داری دال پاگرد نیم طبقه ممکن است باعث ایجاد پانچ در خود دال پاگرد راه پله شود.

۶-در راستای عمود بر صفحه (جهت ترسیم شده در شکل) وقتی نیروی زلزله اعمال شود در این راستا اگر از بحث پایداری جانبی ستونک ها چشم پوشی کنیم، یک لنگر پیچشی قابل ملاحظه ای به تیر طبقه اعمال می‌شود که اتفاقاً از نوع تعادلی است. این لنگر پیچشی را چطور باید در محاسبات دید؟ مشخص نیست. توجه کنید دهانه کوتاه> برش ناشی از زلزله زیاد> پیچش زیاد> ترکیب این نیروها در این تیر بسیار زیاد و گاها از محدودیت‌های آیین نامه فراتر می روند.

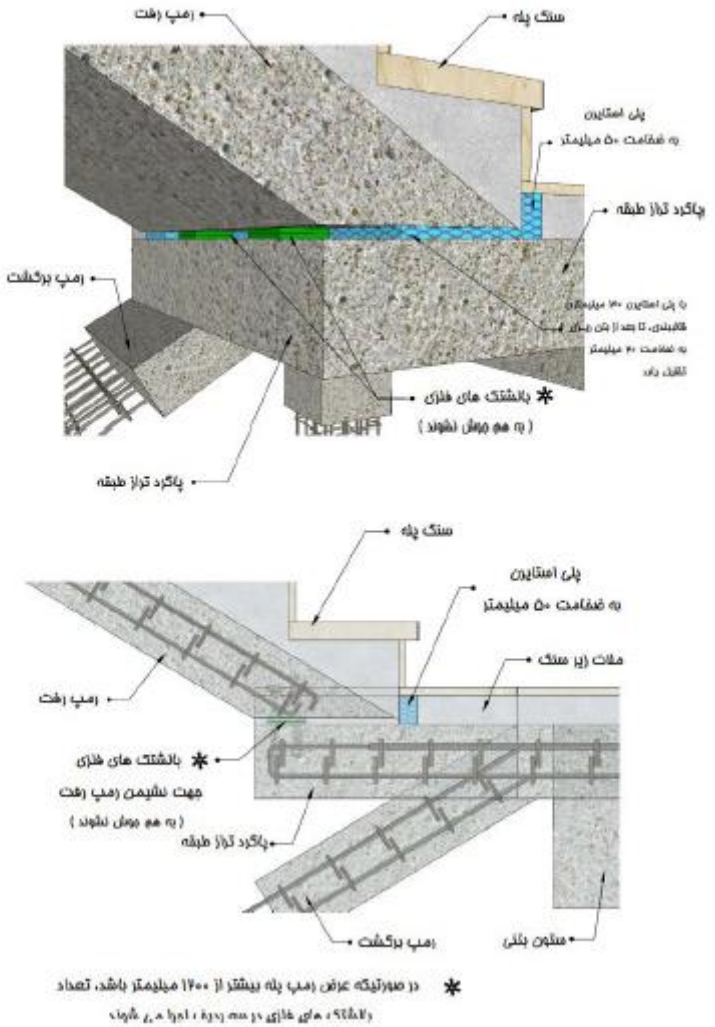
۷-طراحی خود ستونک ها اگر رمپ و پاگرد راه پله‌ها مدل سازی نشوند و شتاب به جرم آن‌ها اعمال نشود با چالش بسیار جدی روبه رو خواهد شد.

و چندین مورد دیگر که برای جلوگیری از طولانی شدن از بیان آن‌ها فعلاً امتناع کردم.(پایان سخنان دکتر سلطان ابادی)

در ادامه بحث پیوشت ششم روش دیگر را نیز برای پله ها مطرح نموده اند. دراین روش برای کاهش اندر کنش پله و سازه، جداسازی آن مطابق جزئیات ارائه شده در شکل های ۹و ۱۰ در تراز پاگرد میان طبقه و تراز پاگرد پایین هر طبقه می باشد. براساس این جزئیات از ایجاد ستون کوتاه در ستونهای مجاور راه پله و آسیب به راه پله به علت جذب نیروی جانبی توسط راه پله جلوگیری می شود (حداقل پهنا دستک بتنی برابر ۲۰ سانتی متر می باشد). رمپ راه پله فقط در تراز پاگرد طبقه از طریق بالشتک فلزی بر روی دال پاگرد می نشیند و اتصال رمپ و دال پاگرد در تراز میان طبقه به صورت پیوسته اجرا می شود. این بالشتکهای فلزی باید در داخل هسته بتنی مهار شده باشند



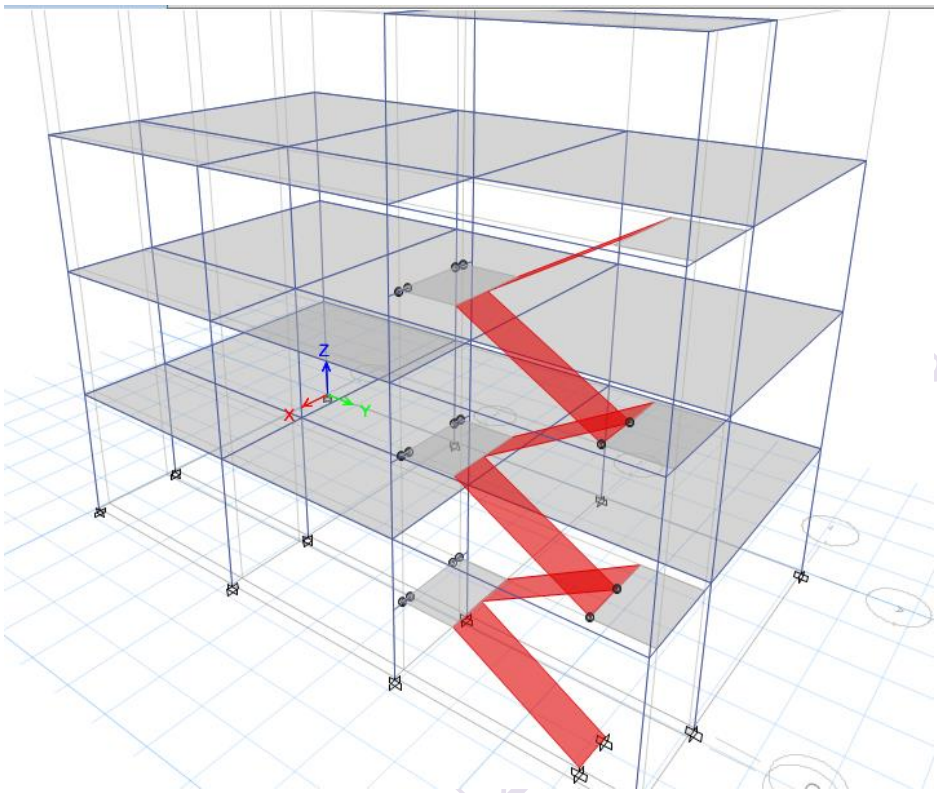

**شکل ۹-جزئیات اجرایی جداسازی نشیمن پاگرد راه پله در تراز نیم طبقه**

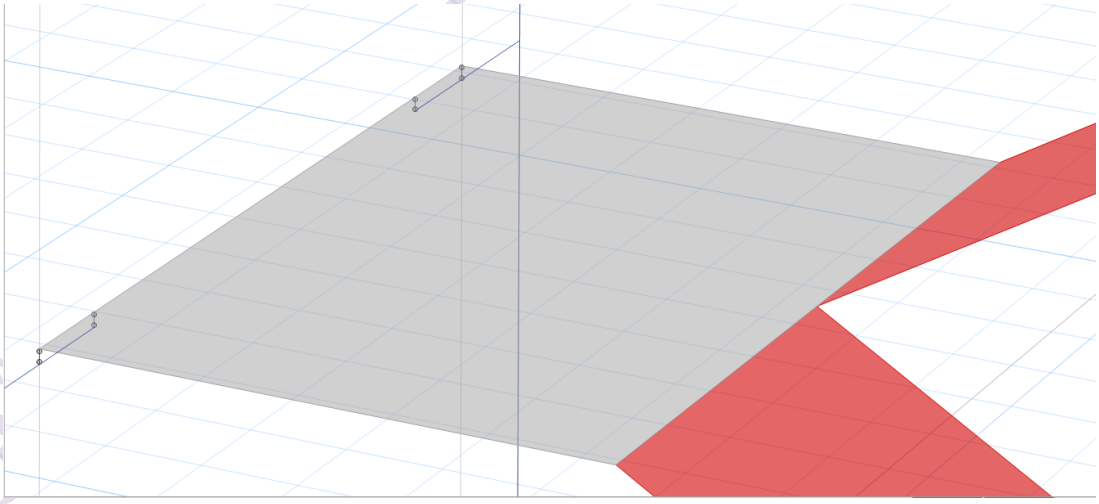



**شکل ۱۰- جزئیات اجرایی جداسازی نشیمن پاگرد راه پله در تراز نیم طبقه**

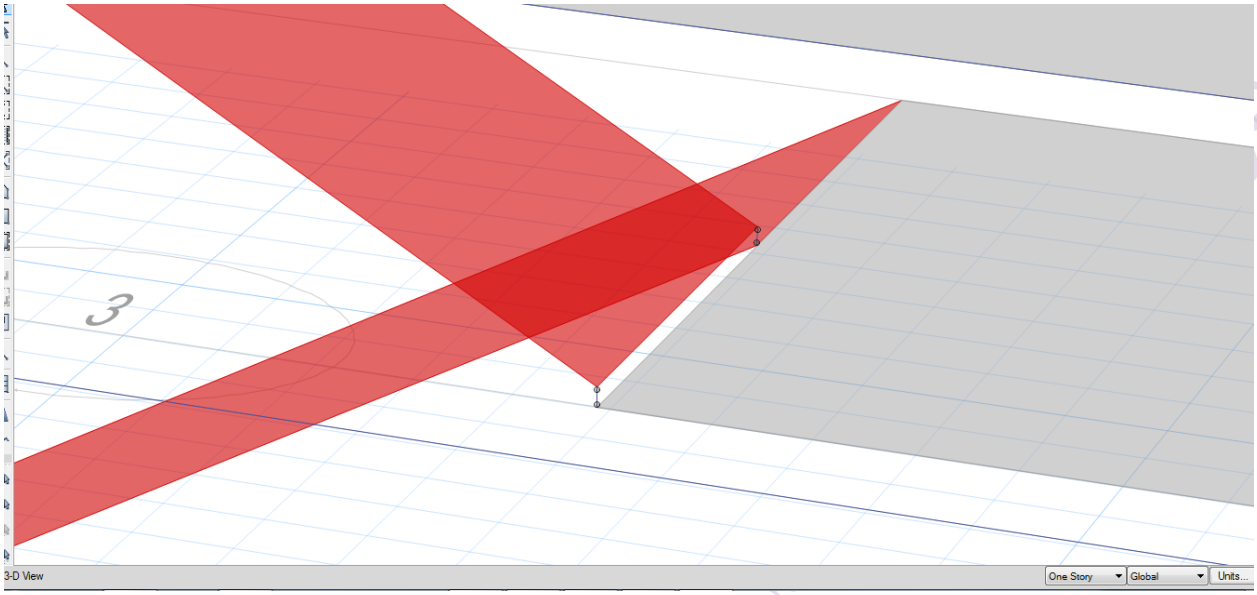
با توجه به موارد مبهم یا ایرادات احتمالی وارد شده به روش اول ،برای درک بهتر موضوع روش دوم را در نرم افزار ایتبس مدل کرده تا به بررسی نسبی عملکرد این روش(روش دوم)بطور خلاصه پرداخته شود.(دیتیلهای اتوکد این روش در سایت استان بارگذاری شده است) ضمن اینکه تفکر حاکم بر تشخیص استفاده از نوع پله و هم چنین محاسبات حاصل از ان به عهده طراح گرامی خواهد بود.

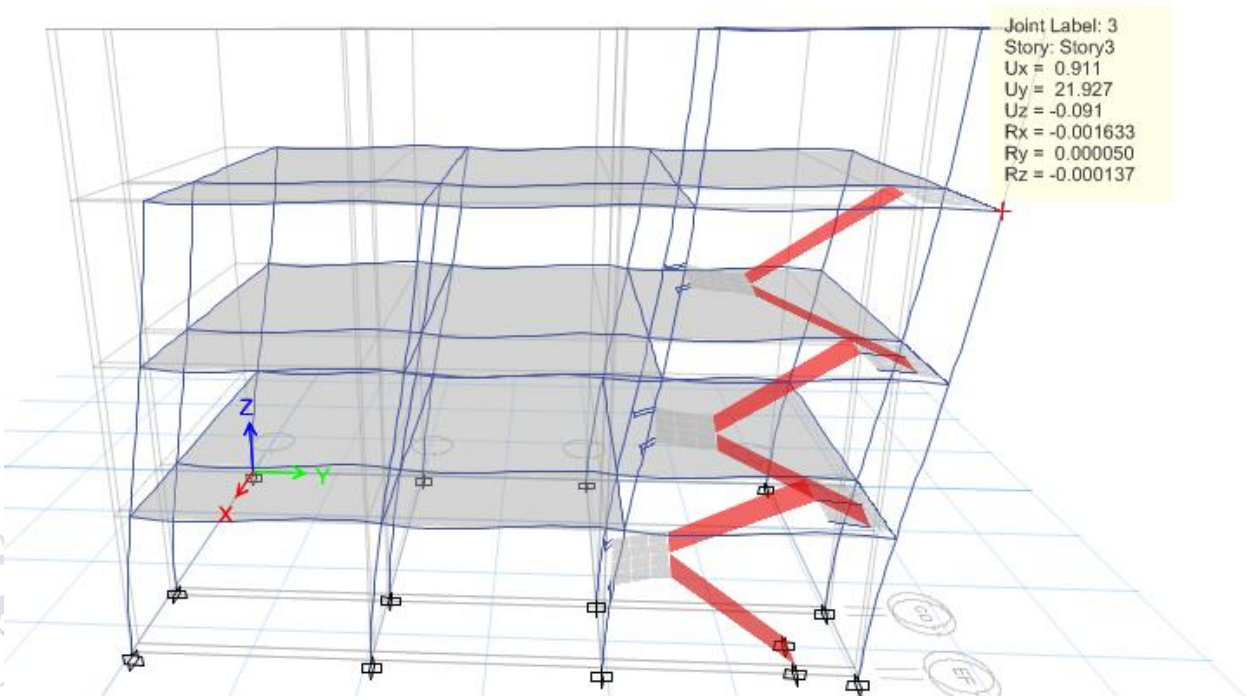
پیرو عرایض یک سازه سه طبقه(شکل ۱۱) یکبار مدل با وجود راه پله (شکل ۱۲) و بار دیگر بدون مدل کردن راه پله(شکل ۱۳) را مدل کردم تا نتایج را با هم مقایسه کنم .(راه پله توسط لینک دو سرمفصل اتکایی بر روی دستک بتنی در ایتبس مدل شده است)



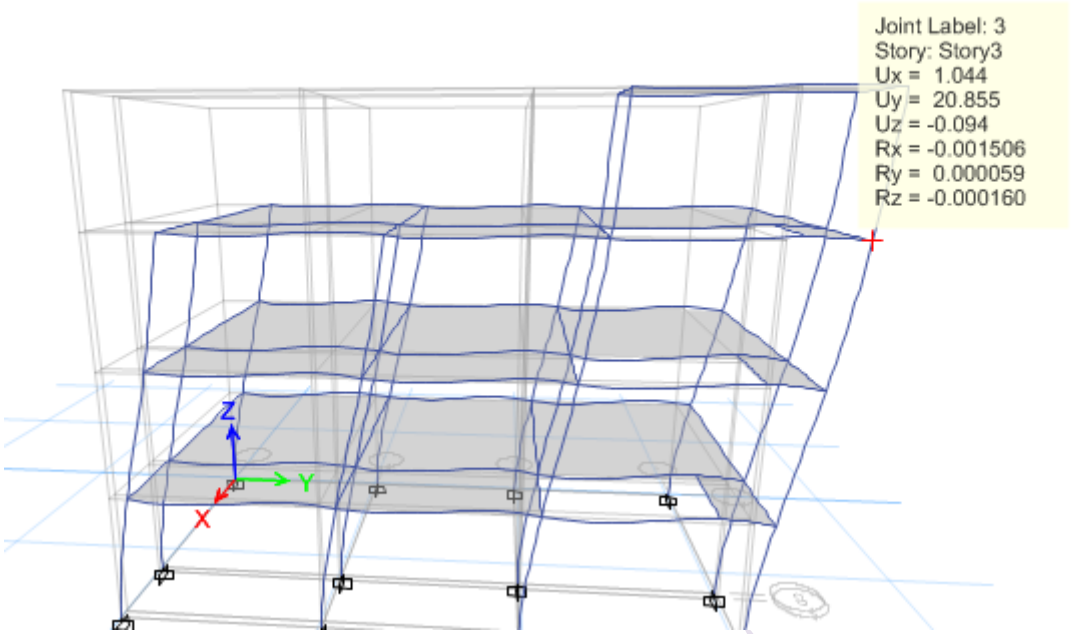



**شکل ۱۱-سازه سه طبقه مدل شده با راه پله توسط لینک دو سرمفصل اتکایی**



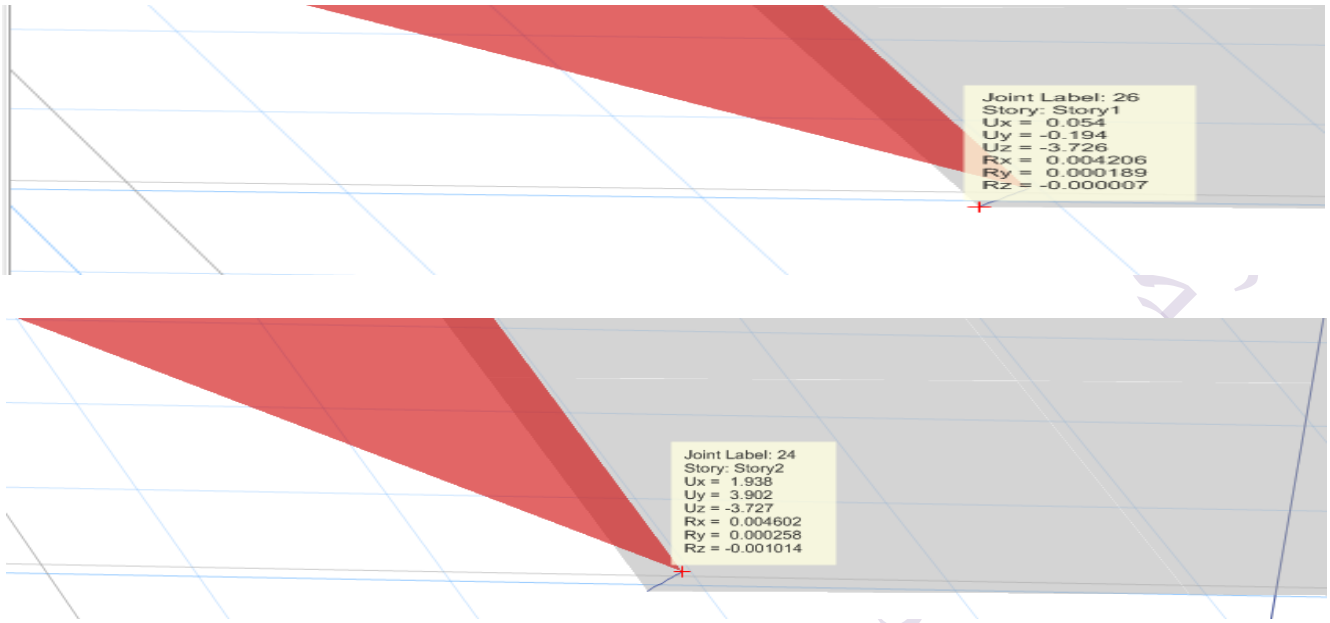

**ادامه شکل ۱۱-تغییر مکان نسبی طبقه با لحاظ کرد راه پله به روش دوم**




**شکل ۱۲ – تغییر مکان نسبی طبقه بدون لحاظ کردن راه پله**

درصد تفاوت تغییر مکان نسبی $\frac{21.927 - 20.855}{21.927} = 4.79\%$

همانطور که مشاهده میشود درصد تاثیر رمپ پله در تفاوت جابجایی کم بوده و مدل کردن راه پله در این مدل در سازه تاثیر چندانی در نتایج محاسباتی نخواهد داشت و این نشان دهنده جداسازی مناسب این تیپ پله از سازه خواهد بود.هر چند با مدل کردن راه پله به مقدار بسیار کم دریفت افزایش پیدا کرده که قابل چشم پوشی است و احتمالا بخاطر تغییر مکان نسبی دستگاه پله باشد بنابراین باید بصورت دیتیل ارائه شده در پیوست ۲۸۰۰مهار و جداسازی شود.




در دو شکل بالا تغییر مکان نسبی رمپ راه پله تحت بار مرده نشان داده شده (در جهت $Y$)که عددی در حدود ۴/۰۹۶میلیمتر می باشد.که با توجه به کتاب بتن آقای دکتر مستوفی نژاد خیز حدودا دو برابر این مقدار یعنی حدود ۸میلیمتر خواهد بود که باید در سفید کاری و نازک کاری سازه در نظر گرفته شود.(که احتمالا مشکل خاصی در نازک کاری ایجاد نخواهد کرد)

– نکاتی مورد توجه بوده که اگر این سیستم همانند دیتیل ارائه شده آیین نامه ۲۸۰۰ مهار نشود یحتمل در اثر زلزله های شدید تغییر مکان نسبی نسبتا بالایی به خود بگیرد.و یک نوع حرکت پاندولی ایجاد شود(در حد حدس)

– امکانا در طبقات تغییر مکانی نسبی بر اثر باره های مرد در جهات دیگر افزایش قابل توجهی داشته باشند که باید تدابیری اندیشیده شود(در حد حدس)

– این سیستم جدید است و میطلبد مطالعات بیشتری را تجربه کند.انشالله نتایج خوبی را در بر داشته باشد

## گروه مولفین(کار گروه تخصصی سازه استان آذربایجانغربی)

**۱-دکتر میر حسن موسوی اصل (مدیر گروه)**

**۲-مهندس بهزاد نعیمی (عضو)**

**۳-مهندس عبدالحمید بزرگ آبادی (عضو)**

**۴-مهندس شهاب دیلمقانیان (عضو)**

**۵-مهندس امیر نوری (عضو)**

**۶-مهندس آیدین پاویر (عضو)**

**با تشکر از ریاست محترم سازمان نظام مهندسی استان اذربایجانغربی جناب آقای مهندس امیر حسین مرادزاده**

### سخن پایانی

بدیهی است ممکن است تهیه این مطالب با توجه به محتوای دامنه دار خود با ایرادتی همراه باشد. و موارد مطرح شده در حد آشنایی برای عزیزان نگاشته شده لذا از تمامی خوانندگان گرانقدر تقاضا داریم با توجه به ماهیت پروژه خود، تصمیماتی منحصر بفرد با قضاوت مهندسی در چهارچوب مقررات ملی ساختمان و آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله و پیوست ششم اخذ کرده و در هر برهه ای که مطالب این نوشته با مطالب مقررات ملی ساختمان و آیین نامه ۲۸۰۰ و پیوستهای این آیین نامه تفاوتی داشت ملاک را مقررات ملی ساختمان و آیین نامه ۲۸۰۰ و پیوستهای آن در نظر بگیرند.

فایل های اتوکد پله طبق پیوست ششم آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله در سایت نظام مهندسی استان اذربایجانغربی آپلود شده است.

**با سپاس**

**مهندس بهزاد نعیمی**