

بررسی رفتار پانلهای بنایی غیر مسلح تحت بارهای متمرکز خارج از مرکز

محمد سعید کریمی^۱، میلاد کریمیان^۲

۱- استادیار و عضو هیات علمی دانشگاه سمنان mskarimi@semnan.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه سمنان

خلاصه

پانل های بنایی نقش مهمی را در سازه بعنوان میانقاب ، دیوار باربر و... ایفا می کنند. این پانلها بصورت مسلح و غیر مسلح بارهای گسترده و متمرکز را در محل خرپاها، تیرهای سقف و... تحمل می کنند. بارهای متمرکز خارج از مرکز علاوه بر ایجاد بار محوری تولید لنگر خمشی نیز می نمایند که این امر مقاومت دیوار را به شدت کاهش می دهد. این مسئله در پانل غیرمسلح به طرز بحرانی تری مشهود است. ضعف این پانلها در کشش می باشد که این امر موجب بوجود آمدن ترک در بندهای پانل می شود. بررسی این ترکها و نحوه ایجاد آنها با آزمایشات تجربی و نیز مدلسازی های عددی امکان پذیر می گردد. با ایجاد خروج از مرکزیت های متفاوت و بررسی ترکهای ایجاد شده می توان به رابطه بین این خروج از مرکزیت ها و تنش های منتهی پی برد و در نتیجه عملکرد این پانلها را بطور دقیق تر مورد بررسی قرار داد.

کلمات کلیدی : المان گسسته ، معیار ترک ، خروج از مرکزیت بار

مقدمه:

سازه های بنایی سازه هایی هستند که از آجر، سنگ، بتن غیر مسلح ، خشت و گل و ملات بعنوان اتصال دهنده یا چسب آنها تشکیل شده اند. باتوجه به سابقه کاربرد دیوارهای بنایی در سازه ها و پیشینه تاریخی استفاده از آنها در کشورمان و بخصوص در ابنیه تاریخی می بایست عملکرد آنها در سازه را مورد بررسی قرار داد. ساختمانهای بنایی اکثرا دارای ضعف در مقاومت برشی داخل صفحه و کمانش خارج از صفحه می باشند و همچنین دارای شکل پذیری مطلوب نمی باشند، از اینرو در برابر نیروهای جانبی و قائم به شدت آسیب پذیر می باشند و زینهای مالی و جانی فراوانی پدید می آورند. در این زمینه می توان به تخریب سازه های بنایی در زلزله ترکیه (۱۹۹۹) یا تخریب سازه های بنایی آجری و سنگی در ایتالیا تحت بارهای ثقلی گسترده و یا متمرکز تیر ریزی سقف ها اشاره نمود. از نشانه های گسیختگی سازه های بنایی بوجود آمدن ترک در آنها می باشد. شکل ترکها باتوجه به نوع بار اعمالی متفاوت می باشند. ترکهای ناشی از بارهای گسترده ثقلی شکلی متفاوت از ترکهای ناشی از بارهای متمرکز دارند و ترکهای مودهای متفاوت زلزله نیز با یکدیگر تفاوت دارند. دیوارهای بنایی کاربردهای زیادی در مهندسی عمران دارند. علاوه بر سازه های بنایی یک طبقه دو طبقه موجود، که صرفه اقتصادی زیادی دارند می توان به کاربرد پانلهای بنایی بعنوان میانقاب جهت افزایش سختی قاب (مانند میانقابهای آجری که با صرفه تر از بتن می باشند) و همچنین دیوارهای برشی با مصالح بنایی اشاره کرد.

خصوصیات سازه بنایی :

مقاومت فشاری سازه بنایی بستگی به عوامل زیادی از جمله مقاومت فشاری واحدهای بنایی (آجر یا بلوک)، مقامت فشاری ملات مصرفی، خروج محورت بار قائم، وارد به سازه و چسبندگی بین ملات و واحدهای بنایی دارد، در صورتی که مقاومت کششی و برشی سازه بنایی فقط به چسبندگی ملات مصرفی بستگی دارد که این مقاومت، درصد کمی از مقاومت فشاری آن می باشند. هرچه نسبت سیمان و آهک ملات به ماسه بالاتر باشد میزان مقاومت کششی و برشی سازه بنایی افزایش خواهد یافت. معمولا مقاومت فشاری و کششی و برشی سازه بنایی را با آزمایش بر روی یک نمونه آزمایشگاهی شامل دو آجر و یک لایه ملات ما بین آنها تعیین می کنند. [۱]

مصالح بنایی موادی ترد و شکننده می باشند از اینرو تحت بارهای وارده دچار ترک خوردگی می شوند ولی ترک خوردگی لزوماً دال بر گسیختگی نمی باشد، چرا که المانهایی که در کشش ترک برداشته اند هنوز قابلیت باربری فشاری و برشی خود را از دست نداده اند. از سوی دیگر رفتار غیرخطی مصالح بنایی پس از مشاهده اولین ترک آغاز می شود، از اینرو فرمول بندی ترک اهمیت زیادی پیدا می کند چرا که بدون توجه به آن مدلسازی مصالح بنایی از دقت لازم برخوردار نخواهد بود. هدف نهایی از مدلسازی رفتار سازه های بنایی این می باشد که توانایی باربری دیوارهای آجری غیرمسلح را مشخص نماید و این امر بدون مشخص کردن الگوی ترک دیوارها امکان پذیر نمی باشد. بطور کلی می توان گفت که مقاومت پانلهای آجری غیرمسلح تحت اثر بارهای متمرکز خارج از مرکز به عواملی نظیر رفتار آجری تحت تنشهای فشاری، مقاومت آجر، ابعاد آجر، مقاومت ملات، سختی نسبی آجر و ملات، کلفتی بند و... بستگی دارد. [۳]

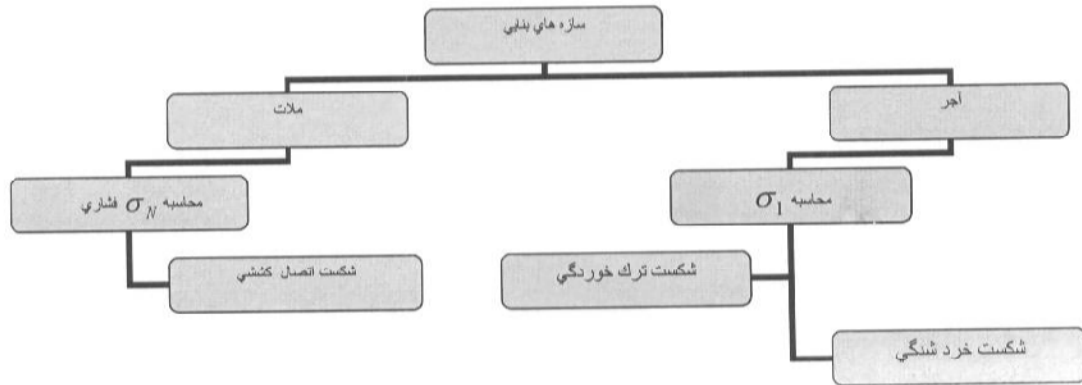
مقدمه ای بر مدلسازی سازه های بنایی :

نیاز به حفظ و مرمت بناهای تاریخی که عموماً دارای مصالح بنایی هستند ما را به سوی تحقیقات هرچه بیشتر برای تحلیل بارهای وارده بر آنها و علل خرابیها و ترکهای موجود در آنها سوق می دهد. همانطور که می دانیم هنوز جنبه های مختلف ارزیابی رفتار سازه های بنایی برای ما آشکار نمی باشد و مطالعات انجام شده تفاوتی را بین پیش بینی های تئوری و نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد. این مسئله همواره ما را به سوی تحقیقات وسیع و بیشتر در این زمینه، به منظور فهم و درک بهتر رفتار مکانیکی سازه های بنایی و راه حل های عددی سوق می دهد. شناسایی روند به وجود آمدن ترک در سازه های بنایی بسیار مشکل است زیرا این سازه ها از دو ماده ترد و شکننده (آجر و ملات) با خصوصیات کاملاً متفاوت تشکیل شده اند. در این سازه ها المان ضعیف ملات است و ترک عموماً در آن ایجاد می شود ولی این ترکها می توانند در آجر هم بوجود بیایند. اتصالات (ملات) مسیرهای عمودی و افقی ای به شمار می آیند که ترک در آنها امکان گسترش یافتن می یابد. این مسیرها می توانند در عین حال باعث بوجود آمدن ترکهای کششی و برشی در پانل گردند در واقع ما هنوز به ابزارهای قابل اعتماد برای پیش بینی و انجام آزمایشات در مقیاس و ابعاد واقعی دست نیافته ایم. تحقیقاتی که تاکنون انجام شده به منظور دست یابی به برخی جنبه های مدل های مصالح بنایی و برپایی (Set up) تجهیزات آزمایشگاهی مناسب برای کاهش خسارتهای وارده به این سازه ها تحت بارهای وارده بوده است. [۴] در مدل های عددی بررسی رفتار سازه های بنایی علاوه بر روش اجزای محدود از روش المان گسسته نیز استفاده شده است. بعنوان مثال در مدلسازی در یک دیوار آجری، آجر بعنوان جسم صلب بجای ملات بعنوان المانهایی سطح مشترک تماس (interface) افقی و عمودی استفاده می شوند. در اینگونه مدلها ترکها تنها در ملات بوجود می آیند و گسترش می یابند و رفتار اجزای تشکیل دهنده فقط در مرحله الاستیک بررسی می شود. بسته به مقیاس، مدلسازی سازه های بنایی می تواند با دقتهای متفاوتی از مدلسازی جزئیات آجر و ملات (برای یک آنالیز کلی) و یا همگن و غیرهمگن بودن مصالح و پیوسته یا گسسته بودن اجزای مدل در نظر گرفته شود. دقت آنالیز بسته به نوع مسئله می تواند انجام گیرد. در سازه های بزرگ، در نظر گرفتن اجزای محدود و پیوسته همگن برای بدست آوردن تغییر مکانها و تغییر شکلهای کافی بنظر می رسد ولی همین مدل همگن برای بررسی ترکها و خرابیها مناسب نمی باشد، در این مورد، تمرکز تنش باعث گسترش ترکهای کششی که در تماس ملات و آجر شده و باعث شکست آجر نیز می گردد. ملاحظه می شود که تحلیل این مسئله با مدل کردن همگن سازه امکان پذیر نمی باشد. [۵] Giambanco دو دیدگاه اصلی را برای بررسی شکستگی و ترک در پانلهای بنایی مطرح کرد که شامل مدل ماکروسکوپی و مدل میکروسکوپی می باشد. در بسیاری از مدلها، پانلهای بنایی را بصورت میکروسکوپی که در آن پانل به عنوان مجموعه ای از بلوکهای گسسته که با اتصالات ملاتی به یکدیگر وصل شده اند در نظر گرفته می شود. در فرمول بندی این مدلها را گسسته می خوانند. در این حالت توزیع مجدد تنش، پس از ترک خوردن مستقیماً از غیرخطی شدن سازه بدست می آید (۷) در مدلسازی گسسته سازه های بنایی، بلوکهای آجری بعنوان مجموعه ای از اجسام گسسته و مجزا از هم که می توانند بطور مستقل نسبت به یکدیگر حرکت کنند، در نظر گرفته می شوند. نیروها به اجسام از طریق سطح تماس مشترک آنها اعمال می شوند. مدل کردن مصالح بصورت کامل و واقع بینانه، احتیاج به شرح و تشخیص تماس های رخ داده بین اجزاء تشکیل دهنده در قبل و بعد از شکست، و همچنین یک معیار شکست مناسب دارد. تماس بین اجزاء تشکیل دهنده بصورت وابسته به وضعیت تنش و همچنین خرابیهای محلی آجر و ملات یا اتصالات اختیار شده است. (۱)

معیارهای شکست پانلهای بنایی :

اگر از اثرات تنش سه بعدی صرف نظر شود، سه نوع شکست در پانل های بنایی امکان رخ دادن دارند:

- ۱- شکست بندها در سطح مشترک آجر و ملات: این وضعیت هنگامی اتفاق می افتد که تنش قائم (نرمال) که به سطح مشترک آجر و ملات وارد می شود کششی باشد.
 - ۲- ترک خوردن کششی ملات یا آجر: این وضعیت هنگامی اتفاق می افتد که وضعیت تنش یکی از دو حالت کشش دو محوره یا کشش - فشار دو محوره باشد.
 - ۳- خرد شدن آجر یا ملات: این وضعیت تحت تنشهای فشاری رخ می دهد. (هر کدام از فشارهای یک محوره یا دو محوره). (۱)
- انواع شکستهایی که ذکر شد در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: انتخاب معیار شکست از تطابق تنشهای کششی و فشاری (σ_N : تنش نرمال مسطح، σ_1 : تنش اصلی حداکثر)

هنگامیکه آجر و ملات بصورت جداگانه مدل می شوند یک سری از معیارهای شکست مورد نیاز می باشند. برای پیش بینی شکست در سطح تماس مشترک ملات و آجر یک سطح شکست سه محوره با ترمهای تنش قائم، تنش افقی و تنش برشی مورد نیاز می باشد. $(\tau, \sigma_p, \sigma_n)$ این سطح شکست از یک سری آزمایشات دو محوره بر روی اجزای سه گانه پانلهای بنایی با اتصالات افقی و شیبدار بدست می آید. برای بدست آوردن نسبتهای مختلف τ, σ_p, σ_n ، شیب های متفاوت بندها مورد آزمایش قرار می گیرد و نیروهای متفاوت بصورت دو محوره بر آن اعمال می شود. [۶] در مدلسازی به روش المان گسسته، اگر آجر را عضوی غیر قابل شکست و ترک خوردن و ملات را بعنوان عضو ضعیف مدل کنیم می توانیم از دو معیار شکست برای المانهای آجر استفاده کنیم: ۱- معیار فون مایزس ۲- معیار رانکین در حالت معیار فون مایزس تنش تسلیم المانهای بلوک را همان مقاومت کششی بلوک در نظر می گیریم. تنش تسلیم در معیار رانکین که تنش اصلی حداکثر کششی می باشد می تواند برای کنترل ترک خوردگی در آجر بکار رود. [۸]

مدلسازی پانلهای بنایی به روش المان گسسته:

روش های المان گسسته یک خانواده از روشهای عددی هستند که برای نمایش عملکرد متقابل فیزیکی سیستمهای از جهت مصالح و هندسه اجزا ناپیوسته مصالح و عملکرد بکار می روند. در اصل، روش المان گسسته خصوصیات زیر را داراست:

- اجازه تغییر مکانهای بزرگ (به وسیله جمع تغییر مکانهای کوچک) و چرخشهای بزرگ را می دهد.
- بطور اتوماتیک، اندرکنش بین اجسام مجاور هم در سیستم مدل شده را رصد کرده و نیرو و تغییر مکانهای حاصله را مشخص می کند. این فرآیند بعنوان contact detection شناخته می شود.

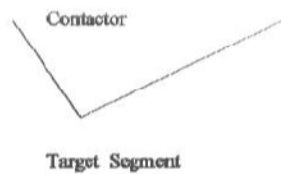
همچنین برخی اندازه گیریها برای مشخص کردن سختی نرمال و سختی برشی اجسام در تماس با یکدیگر الزامی است. مطابق قرارداد، نیروهای تماسی بین اجسام از صفر (در نقطه ای که المان ها در اولین تماس با یکدیگر قرار دارند) شروع می شود. ضمناً نیروهای تماسی وابسته به تغییر مکان هستند، باید حتماً یک بدنه در بدنه دیگر فرو رود تا نیروی تماسی مقداری غیر از صفر اختیار کند. (شکل ۲)

فاکتورهای سختی قائم و برشی (K_s, K_n) از مشخصات مصالح یعنی عنصر تشکیل دهنده سازه بنایی (ملات و آجر یا سنگ و...) و ضخامت بند ملات بدست می آیند فاکتورهای K_s و K_n مطابق فرمولهای زیر بدست می آیند [۱]:

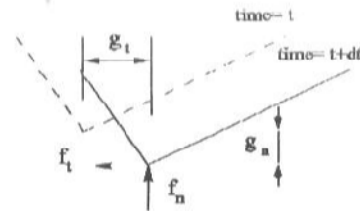
$$K_n = \{E_u \times E_m\} / \{hm \times (E_u - E_m)\} \quad (1)$$

$$K_s = \{G_u \times G_m\} / \{hm \times (G_u - G_m)\} \quad (2)$$

که E_u و E_m مدول یانگ و G_u و G_m مدول برشی به ترتیب برای المانهای آجر و ملات و hm ضخامت واقعی درز ملات است.



a) Before contact

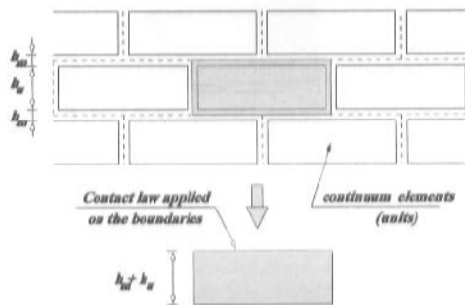


b) Possible normal and tangential impenetration

شکل ۲: نیروهای تماسی مصالح

مدلسازی ترک :

ضعف مصالح بنایی در برابر کشش و در نتیجه آن بوجود آمدن ترک در سازه مهمترین فاکتوری است که در بوجود آمدن رفتار غیر خطی پائل بنایی شرکت دارد. بنابراین مدلسازی ترک مهمترین عامل برای تحقیق در مورد عملکرد غیر خطی پانلهای بنایی می باشد. جزئیات مدلسازی ترک معمولا با توجه به هدف از بررسی پائل بوسیله روش عددی و با فرضیات ساده کننده انتخاب می شود. یک مدل ترک باید شامل سه ترکیب باشد: یک تعریف برای آشنایی با ترک و نوع آن، یک روش برای نشان دادن ترک و یک معیار برای پیشروی ترک. برای تعریف ترک دو روش ترک پخش شده و دیگری ترک گسسته (Discrete) بکار می رود که برای وقوع ترک (smeared) ترک خوردن مصالح با اختصاص گره هایی جداگانه به المانهای مجاور هم مدل می شود. در این روش، معیارهای شکست متفاوتی را برای وقوع ترک در نظر می گیرند که از آنجا که در مدلسازی ترک در المانهای مجزا انتساب گره ها به المانهای مجاور هم بصورت غیر پیوسته است تغییر مکان جدید المانهای سازه تعیین می شود و مسئله حل می گردد. [۱]



شکل ۳: مدلسازی ساده شده در روش المان گسسته

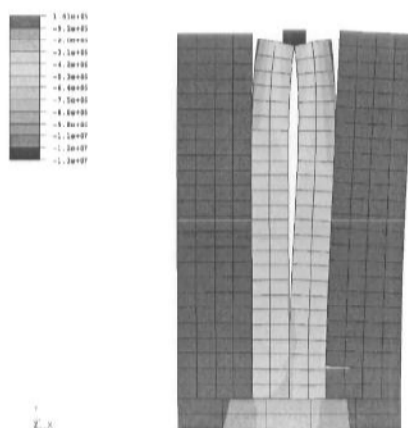
تمام المانها (هم آجر و هم بندهای ملات) هم برای قابلیت ترک در بندها و هم برای قابلیت ترک خوردن در آجر و هم برای امکان شکست در حالت کششی - فشاری یا کششی - کششی دو محوره چک می شوند.

پس از معرفی ترک، پیشروی آن تحت وضعیت تنش (تنشی که در بالای منطقه ترک خورده موجود است) معرفی می شود. دو روش برای پیش بینی رشد ترک بطور طبیعی می تواند استفاده گردد. روش اول بر پایه برای مقاومت ذاتی و چسبندگی ماده و وضعیت تنش موضعی ای است و روش دوم بر پایه نظریه شکست مصالح استوار است. استفاده از تجربیات آزمایشگاهی مکانیزم شکست، مهندسان را به این نتیجه رساند که پیش بینی گسترش ترکها بدون کار آزمایشگاهی ممکن نیست. [۳] مدلسازی پانلهای بنایی تحت بار متمرکز به روش المان گسسته :

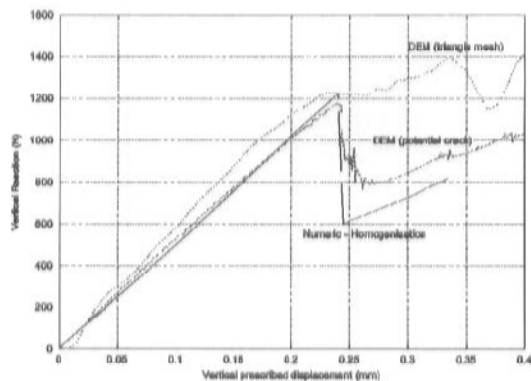
برای مدل کردن یک پائل بنایی بصورت عددی یک مدل مناسب پائل متشکل از بلوک و ملات و همچنین یک مدل واقع گرایانه از پیشروی ترک در آن ضروری به نظر می رسد. روش المان گسسته به خوبی قادر به همانندسازی ترک در اطراف مرزی بلوکهای مجزا از هم می باشد، اما شکست بلوکهای مجزا از هم تنها برای یک نوع شبکه بندی خاص و تنها در گدهای محدود با مصالح حاضر آماده شده از قبل، رخ می دهد. در یک مدلسازی ساده شده به طول و عرض هر آجر به اندازه نصف ضخامت ملات از هر طرف اضافه می گردد. این امر به دلیل ضعیف بودن ملات و از بین بردن

ناهمگونی دیوار با دو مصالح با جنسهای متفاوت می باشد. (شکل ۳) در این روش می توان هر المان آجر را بصورت مربعی و یا مثلثی شبکه بندی کرد در این مثال باید طولی از بالای پانل را بعنوان عرض وارد شدن بار در نظر گرفت و آنرا با پارامتر β که برابر با نسبت طول محل اثر بار اعمالی به کل عرض دیوار است نمایش داد. این نسبت هر چه کمتر باشد بار وارده به حالت بار نقطه ای نزدیکتر می شود. اینک یک مدل المان گسسته از پانل فوق (متشکل از شش ردیف افقی و ۱۲ ردیف قائم آجر $10 \times 20 \times 5$) را با β برابر با ۰.۱ و بارگذاری متغیر در نظر می گیریم. مصالح بلوکها در این مورد الاستیک فرض شده اند. تغییرات بار تغییر مکان قائم در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شده منحنی قبل از نقطه ماکزیمم مطلق خود بصورت خطی است و پس از آن یک سقوط تحت ترک خوردن در محلهای تعبیه شده را نشان می دهد. باز شدن ترک پس از 16 mm تغییر مکان قائم در ورق بارگذاری فوقانی شروع می شود، اما این مساله تاثیری بر مقاومت پانل ندارد. پس از باز شدن کامل ترک (با 25 mm تغییر مکان قائم) پانل شروع به افزایش مقاومت خود و در برابر تغییر مکان بار قائم مقاومت می کند. همانطور که شکل ۴ نشان می دهد پس از باز شدن ترک در زیر ورق بارگذاری تمام بار قائم توسط بخش مرکزی پانل تحمل می شود. سپس باربرداری پانل و مقاومت برشی آن هم می تواند توسط روابط مخصوص کنترل گردد. [۱]

[



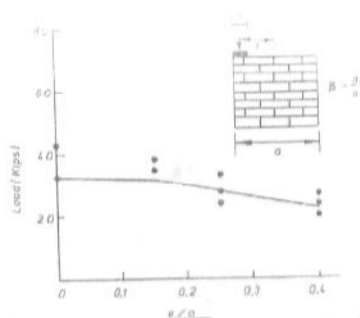
شکل ۴: نمونه دیوار تحت بار در برنامه UDEC



شکل ۵: نمودار بار قائم - تغییر مکان قائم پانل تحت بار متمرکز

مدلسازی پانل بارگذاری شده با خروج از مرکزیت :

در اینجا همان سازه قبلی را با خروج از مرکزیت e مورد بررسی قرار می دهیم. با توجه شکل ۵ می توان به اثر نسبت خروج از محوریت بار نسبت به محور تقارن دیوار پی برد. (۳)



شکل ۶: منحنی بار-نسبت خروج مرکز به طول دیوار

نتیجه گیری :

مقدار پراکندگی زیاد در نتایج برای خروج از مرکزیت های ۵۰ و ۶۰ سانتیمتر مشاهده شده که آن در پانل ها نیز بیشترین مقدار خرابی را داشتند در خروج از مرکزیت های بسیار بزرگ تنها به بررسی مقدار خروج از مرکزیت اکتفا نمی شود، بلکه نسبت خروج از مرکزیت به تغییر شکل و خرابی اهمیت می یابد که می توانیم در آن پدیده تمرکز تنش در اطراف نقاط خرابی را بررسی کنیم. همینطور در کلیه پانلهای بنایی کاهش مقاومت سطح مقطع که بطور بیوسنه در زیر بار صورت می پذیرد پیامد رفتار غیر خطی این مصالح در فشار است. برعکس حالت رفتار خطی، این اتفاق هنگامی می افتد که جرخش مقطع بلبل زیاد و برآیند نیروهای داخلی به سمت مرکز هندسی مقطع متمایل می شوند. [۱]

مراجع :

- 1.M.S.Karimi, Ph.D., Dept. of Civil Eng., Semnan University, "Masonry Panel Under Point Load"
- 2.S.Ali and A.W. Page, "Cracking Analysis of Solid Concrete Masonry Subjected to Concentrated Loads", (1990)
- 3.J.S.Lee, G.N.Pande and J.Middleton, "Numerical Modelling of Cracking in Masonry Structures", (1990)
- 4.Sk.Sekender Ali and Adrian W.Page, "Finite Element Model for Masonry subjected to Concentrated Loads", (1990)
- 5.M.Corradi, A. Borri, A. Vignoli, "Experimental study on the determination of strength of masonry walls", construction and building Materials 17 (2003) 325-337
- 6.Giovanni Formica, Vittorio Sansalone, Raffaele Casciaro, "A mixed solution strategy for the nonlinear analysis of brick masonry walls", comput.Methods Appl.Mech.Engg.191(2006)5847-5876
- 7.Krit Chaimoon, Mario M. Atard, "Modelling of unreinforced masonry walls under shear and compression" Engineering Structures 29(2007)2056-2068