بکارگیری المانهای محدود در بررسی اثر بازشو روی دالهای بتن آرمه

محمدعلی لطف اللهی یقین، استادیار گروه عمران، دانشگاه ارومیه

پست الکترونیکی ma.lotfollahi@mail.urmia.ac.ir

حمید رضا گلگون، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه ارومیه

پست الکترونیکی hr.gol@yahoo.com

چکیده

در طراحی و ساخت دال های تخت و در نظر گرفتن بازشوها به دلایل عبور لوله های تأسیساتی، داکتهای تهویه و گرمایشهای هواساز و داکتهای الکتریکی اجتناب ناپذیر می باشد. در مورد اثر بازشوها در کاهش مقاومت و تأثیر آن در تغییر شکل دالها و تحقیقات آزمایشگاهی صورت گرفته است که این آزمایشها به دلایل اقتصادی از محدودیت هائی برخوردار می باشد. در این تحقیق جهت تعمیم دادن اثر بازشو (شکل و فاصلهٔ بازشو از ستون) سوراخهائی با ابعاد مختلف که در فاصله های متفاوتی از بر ستون قرار داده شده و به کمک نرم افزار ANSYS مورد آنالیز قرار گرفته است. همچنین این آنالیزها با نتایج آزمایشگاهی که توسط برخی محققین کار شده و مورد مقایسه قرار گرفته است، تا با بررسی این نتایج و در صورت تطابق نتایج آزمایشگاهی با آنالیزهای انجام گرفته بتوان به یک سری نتایج کلی دست یافت.

کلید واژه ها: دال تخت، گسیختگی پانچینگ، المان محدود، بازشو، آرماتورگذاری، آنالیز غیرخطی

۱- مقدمه

متداول ترین نوع پوشش کف را در سازه های بتن آرمه، از دالها تشکیل می دهند. در چنین مواردی معمولاً پوشش کف متشکل است از تیرهای اصلی یا مجموعه تیرهای اصلی و فرعی که دال ها در میان آنها قرار می گیرند و سطح مورد نظر را می پوشاند. از انواع دیگر دالهای بتن آرمه، دال های تخت می باشد که از محاسن و معایبی برخوردارند. اجرای این دال ها به خاطر سادگی قالب بندی و سهولت آرماتورگذاری آسانتر از انواع دیگر دال های بتن آرمه بوده و نیز حداقل ضخامت مرده سقف را از نظر ارتفاع مفید ساختمان اشغال می کند. از معایب دال های تخت و انعطاف پذیری زیاد آنها و مشکل انتقال لنگر در محل اتصال دال به ستون است [1]. در کنار مسئلهٔ انتقال لنگر در محل اتصال ستون، مسئلهٔ برش دال نیز در اطراف ستونها مطرح می گردد. از آنجا که در دال های تخت، بار کف مستقیماً از دال به ستون منتقل می شود تنشهای برشی قابل ملاحظه ای در دال بوجود می آید. به طوری که در بسیاری موارد ضخامت دال در محل ستونها جوابگوی این تنشها نخواهد بود. در محل اتصال ستون به دال تخت، تنشهای برشی قابل توجهی که ناشی از انتقال لنگر و انتقال بارهای کف از دال به ستون می باشند بوجود می آیند. لذا در مواردی که در اطراف ستون بازشوئی وجود داشته باشد موضوع گسیختگی پانچینگ در حول ستون اهمیت پیدا میکند به عبارتی وجود بازشو در دال ایجاد نقطهٔ ضعف می نماید.

بـه دلـیل اهمـیت موضـوع، تحقیقات زیادی در بررسی تأثیر بازشوها صورت گرفته است [3,2]. از جمله در سال ۱۹۹۹ توسط سـالاکوی و همکـاران، تحقـیقات آزمایشگاهی روی اثر بازشو در دالهـای بـتن آرمه صورت گرفت [4]. در این تحقیق، نمونه های دال بـتن آرمـه بـا بازشـوهای مربعـی شکل ۱۵×۱۵ و ۲۵×۲۵ (سانتیمتر) که در فواصل ۹ و ۲۷ سانتیمتری از بر ستون بوده و یا ایـنکه چسـبیده بـه سـتون قـرار داشتند تحت بارگذاری تا مرحلهٔ گسیختگی قرار گرفت. در تحقیق حاضر، ابتدا بر روی نمونه های مشـابه با تحقیق فوق، مطالعات تحلیلی به روش المانهای محدود انجـام شده و با نتایج آزمایشگاهی مذکور مقایسه گردید. در ادامه بـا تغییـر در هندسـه و شرائط بازشوها سازه مجددا تحلیل شده و نتایج جدید ارائه گردیده است.

۲ - نحوهٔ مدل سازی بتن آرمه در نرم افزار ANSYS

بـا توجه به توسعهٔ وسیع کامپیوتر و روش های المان محدود اسـتفاده از ایـن ابزار برای آنالیز سیستم های مرکب، روش بسیار مناسـبی اسـت. مانـع اصـلی بکارگیری المانهای محدود در آنالیز سـازه هـای بـتن آرمـه محـدودیت در معرفـی خصوصـیات و مشخصـات مصالح می باشد. تلاش های زیادی در جهت تطبیق مـدل واقعـی بـرای پـیش بینـی کردن رفتار سازه های بتن آرمه صـورت گـرفته اسـت. بـه سـبب تـرکیب مصـالح بـا همدیگـر، خصوصـیت و ویژگـی مدل اینگونه سازه ها کار مشکلی می باشد [5].

مدلـی که در ANSYS برای بتن آرمه در نظر گرفته میشود بایسـتی شـامل، مـدل مصالح بتنی جهت پیش بینی شکست ترد باشـد، همچنـین ایـن مـدل بایسـتی خواص آرماتور را نیز شامل گـردد. بـا بکارگیـری المانهای سـه بعـدی Solid 65 این مـدل سـازی صـورت مـی گیرد. این موضوع بطورکلی در المان های بتن آرمه در دو حالت زیر می تواند انجام شود [6,7]:

الـف - حالتـی کـه در آن از المـان هـای مخـتص بتن آرمه اسـتفاده مـی شـود نـام ایـن المان های بتن آرمه Solid 65 می باشـد. ایـن المـان ها به صورت هشت گرهی بوده و آرماتورها در داخـل المـان هـا در جهـت های مختلف می تواند در نظر گرفته شـود. کـه از ایـن روش بـنام آرماتورگذاری مدفون (Smeared-Reinforcement) نام برده می شود.

ب ـ در حـالت دوم، مـدلسـازی بتـن با استفـاده از المـان هـای بتـن آرمـه Solid 65 انجام می گیرد ولی با این تفاوت که درصد آرماتورهای این المان، صفر در نظر گرفته می شوند و میلگردها با استفاده از المان دیگری بنام Link 8 مدل سازی می‌گردند. در این تحقیق برای مدل سازی نمونه های فوق، از همین روش یعنی از المانSolid 65 و Link 8 استفاده شده است.

۳ - روش تحقیق

در تحقـیق حاضـر نمـونه های دال بتنی به ابعاد ۱۲×۱۰۲× ۱۵۴ (سـانتی متـر) بـوده کـه از سه لبه روی تکیه گاه ساده قرار داشتـه و لبـهٔ چهارم آن به صورت آزاد بـوده و صـرفاً روی یـک سـتون بـه ابعاد ۲۵×۲۵ (سانتیمتر) که در وسط لبهٔ آزاد قرار دارد مـورد تحلـیل قـرار مـی گیـرد. ایـن دالهـا در مـرحلهٔ اول دارای بازشـوهای مربعـی بـه ابعـاد ۱۵×۱۵ و ۲۵×۲۵ (سانتی متر) می باشـد که مشابه تحقیقات آزمایشگاهی مندرج در مرجع [4] است. بارگذاری نمونه ها در چهار مرحله شامل بارهای سرویس، بارهای ضـریبدار، یـک و نـیم برابـر بارهـای ضـریبدار و بارهـای نهائی (گسـیختگی) می باشد. لازم به توضیح است که آنالیز نمونه های فـوق به صورت غیر خطی انجام گرفته و نحوهٔ گسیختگی بتن با معرفی سطح شکست انجام شده است.

در مرحله دوم تحقیق به جهت اهمیت موضوع و تعمیم دادن نـتایج آن، عـلاوه بر بازشوهای مربعی شکل، بازشوهای دایره ای شـکل نیز مورد آنالیز و مقایسه قرار گرفته است. لازم به یادآوری است که اولاً فاصلهٔ مرکز سطح بازشوهای دایره ای و مربعی از سـتون یکسـان در نظـر گرفته شده، ثانیا مساحت‌های بازشوهای دایره‌ای و مربعی نیز یکسان بوده است. ویژگیهـای نمـونـه های آنالیز شده را می توان به صورت جدول ۱ در نظر گرفت.

٤- بحث و بررسی

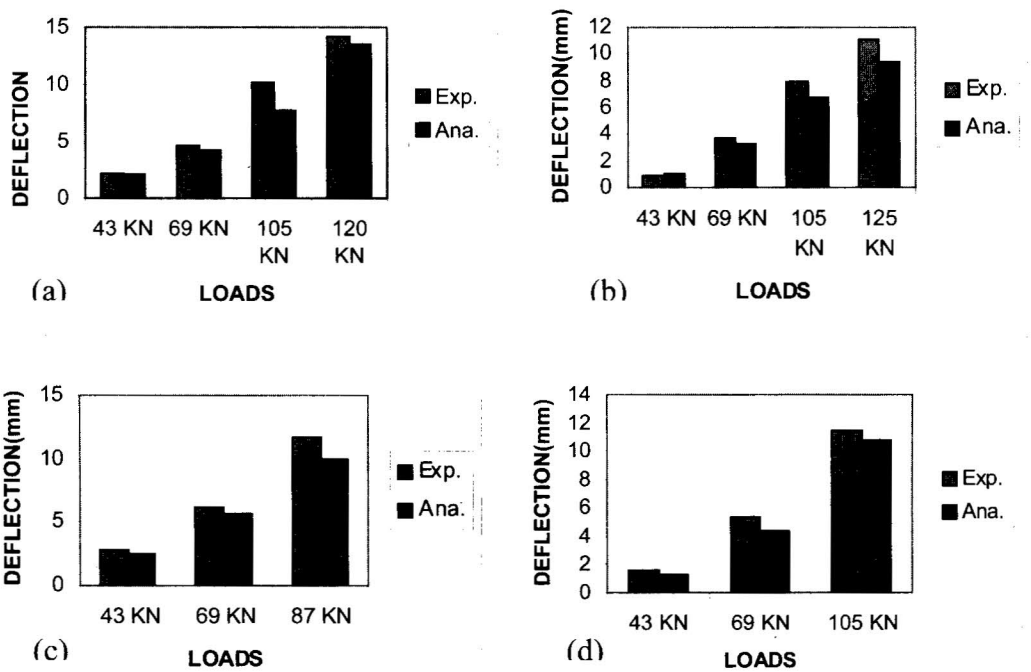
مـوارد مقایسـه ای بـین مـدلهای آنالیـز شـده را می توان به صورت زیر در نظر گرفت.

٤-۱- مقایسهٔ نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی

ابتدا نمودار تغییر شکل های نمونه های آنالیز شده با نتایج آزمایشگاهی موجود برای حالات مختلف بارگذاری ارائه و نتایج مقایسه می شوند که در شکل ۱ آمده است.

جدول ۱: ویژگیهای نمونه های آنالیز شده

ردیف	نمونه ها	شکل بازشو	ابعاد (قطر) سانتیمتر	موقعیت	فاصلهٔ بازشو از ستون ـ سانتیمتر
۱	XXX	–	–	–	–
۲	SFO	مربع	۱۵ × ۱۵	مقابل ستون	۰
۳	SEO	مربع	۱۵ × ۱۵	کنار ستون	۰
۴	SF1	مربع	۱۵ × ۱۵	مقابل ستون	۹
۵	SF2	مربع	۱۵ × ۱۵	مقابل ستون	۱۸
۶	SF3	مربع	۱۵ × ۱۵	مقابل ستون	۲۷
۷	CFO	مربع	۲۵ × ۲۵	مقابل ستون	۰
۸	C-SFO	دایره ای	۸/۴۶	مقابل ستون	۰
۹	C-SFO.1	دایره ای	۸/۴۶	مقابل ستون	۹
۱۰	C-SFO.2	دایره ای	۸/۴۶	مقابل ستون	۱۸
۱۱	C-SEO	دایره ای	۸/۴۶	کنار ستون	۰
۱۲	C-SEO.1	دایره ای	۸/۴۶	کنار ستون	۹
۱۳	C-SEO.2	دایره ای	۸/۴۶	کنار ستون	۱۸
۱۴	C-CFO	دایره ای	۱۴/۱۰	مقابل ستون	۰

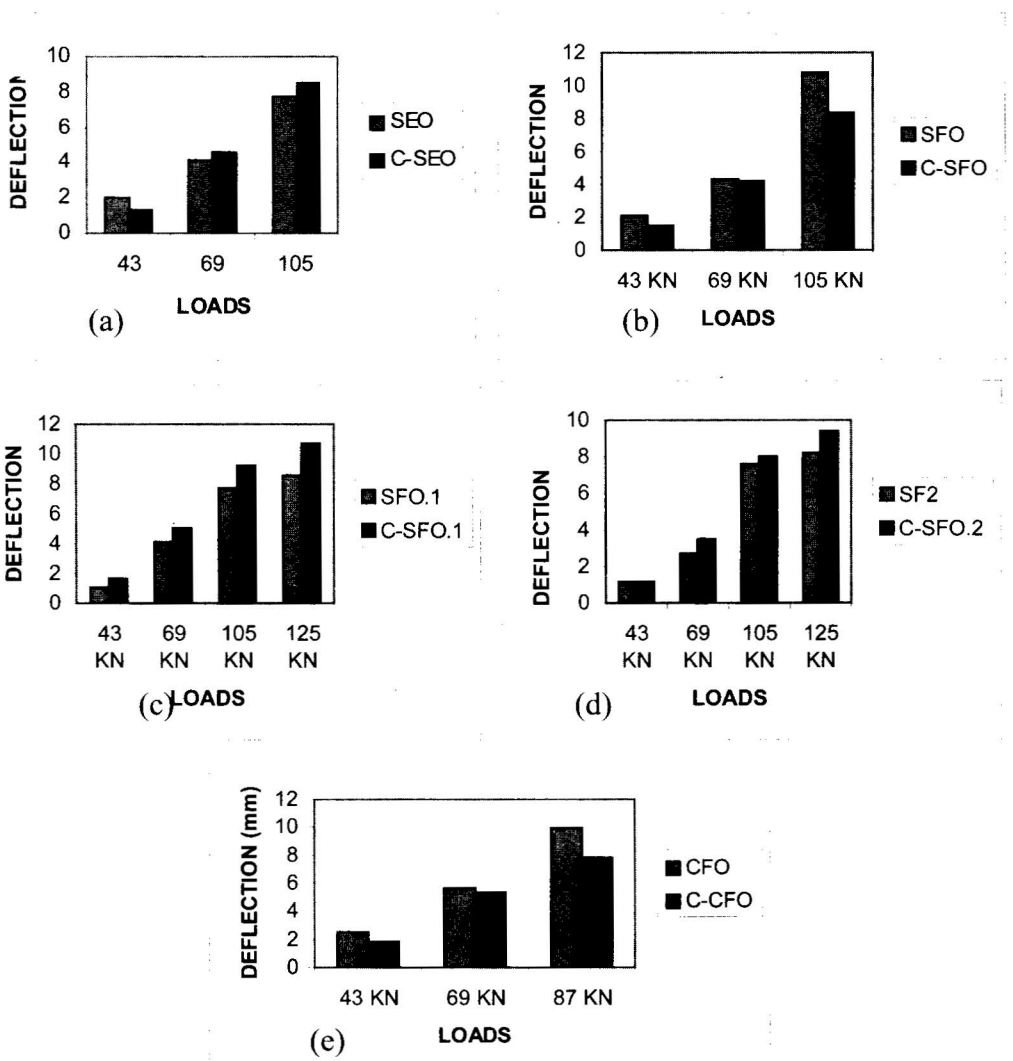


شکل ۱: مقایسهٔ نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی: a) SEO، b) XXX، c) CFO، d) SFO

با مطالعهٔ اشکال فوق میتوان به این نتیجه رسیدکه عموماً تغییرشکلهای نتایج تحلیلی کمتر از نتایج آزمایشگاهی میباشند. که علت آنرا میتوان غیرهمگن بودن بتن آزمایشگاهی و وجود نقاط ضعف اجرائی در بتن ساخته شده آزمایشگاهی و مواردی همچون افت و خزش بتن در این نمونهها درنظر گرفت.

٤-۲- مقایسهٔ نتایج تحلیل بازشوهای مربعی یادایرهای

در ایـن بخـش تغییـر شکلهـای نمـونـه هـای بازشوهای دایـره ای بـا بـازشـوهـای مـربعـی بـرای حـالات مخـتلف بـارگـذاری مـورد مقـایسـه قـرار گـرفتـه اسـت. بـرای ایـن مـنـظـور تحلـیل روی نمـونه های مورد نظر انجـام و نـمـودار بـارگـذاری ــ تغـیـیـر شکـل روی ایـن نـمـونـه هـا یعنی (C-SFO,SFO)، (C-SFO.1,SFO)، (C-SFO.2,SFO) و (CFO,C-CFO) در شکل۲ آمـده اسـت. با بررسی این شکل ها معلـوم می گردد که در نمونه های SFO و CFO بازشوی مربعی نسـبت بـه بازشوی دایره ای تغییر شکل بیشتری داشته در حالی کـه در سـایر نمـونه ها برعکس، بازشوهای دایره ای تغییر شکل بیشتری نسبت به بازشوهای مربعی داشته اند.

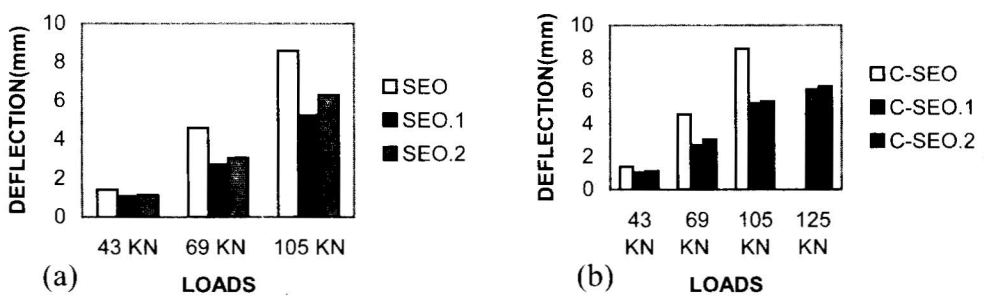


شکل۲: مقایسه بازشوی مربعی با دایره ای: a) SEO، b) SFO، c) SFO.1، d) SFO.2، e) CFO

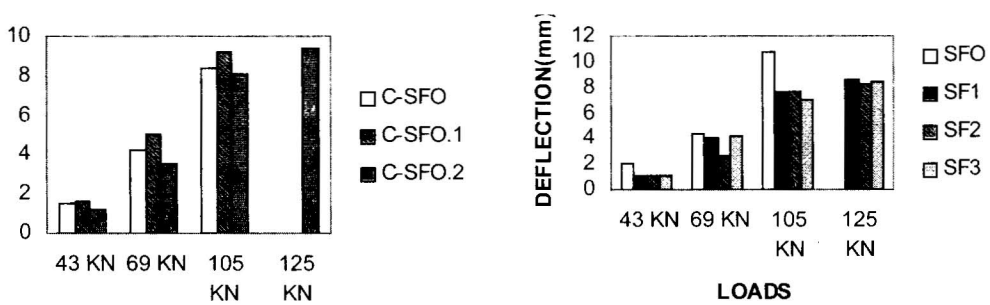
٤-۳- مقایسه نتایج تحلیلی برای بازشوهای با فاصله‌های مختلف

در شکل ۳ نمودار تغییرشکل نمونه‌های C-SEO و SEO که در فواصل مختلف از بر ستون قرار گرفته‌اند مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. با توجه به این نمودارها مشخص می‌گردد که بازشوئی که درست در بر کناری ستون قرار گرفته است بیشترین تغییرشکل را نسبت به نمونه‌های دیگر دارا میباشد. به عبارتی، این حالت بحرانی‌ترین موقعیت بازشو می‌باشد. همچنین با توجه به این شکل می‌توان دریافت که با فاصله گرفتن از بر کناری ستون بتدریج، تغییرشکل نمونه‌ها افزایش پیدا میکند.

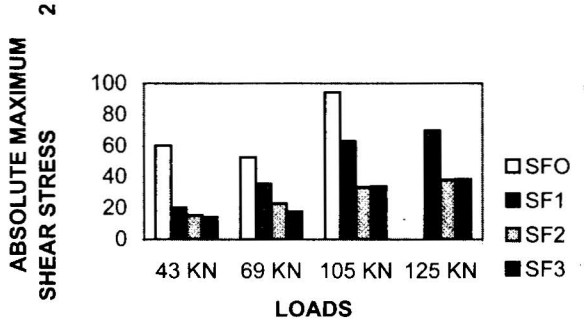
در اشکال ۴ و ۵ نیز تغییرشکل‌ها و تنشهای برشی ماگزیمم چهار نمونه از بازشوهای مربعی شکل که در فواصل صفر، ۹، ۱۸ و ۲۷ سانتیمتری از بر مقابل ستون قرار دارند مقایسه شده‌اند. با توجه به این اشکال مشخص می‌شود که بازشوهای مربعی چسبیده به ستون بیشترین تغییرشکل را نسبت به دیگر نمونه‌ها داشته در حالی که در نمونه‌های با بازشوی دایره‌ای بیشترین تغییرشکل مربوط به حالتی است که بازشو با ستون فاصله داشته باشد.



شکل ۳: مقایسه تغییر شکلهای بازشوهای:
a) مربعی، b) دایره ای در فواصل صفر، ۹ و ۱۸ سانتیمتری



شکل ٤: مقایسه تغییرشکلهای بازشوهای مربعی و دایرهای در فواصل صفر، ۹ و ۱۸ سانتیمتری:
a) بازشو دایره ای، b) بازشو مربعی،



شکل ۵: مقایسه تنشهای برشی بازشوهای مربعی در فواصل صفر، ۹ و ۱۸ سانتیمتری

۵ - نتیجه گیری

۱ــ تغییر شکلهای حاصل از آنالیز توسط نرم افزار ANSYS نسبت به نتایج آزمایشگاهی، عموما مقادیر کمتری بدست داد.

۲- در این تحقیق، با بررسی نتایج حاصل از تحلیل های انجام گرفته با نرم افزار ANSYS مشخص گردیده است که بحرانی ترین حالت از نظر تغییر شکل، حالتی است که بازشو درست در بر و مقابل ستون قرار داشته باشد. در این حالت نمونه مورد نظر قادر به تحمل بار نهائی نبوده و در باری کمتر از بار نهائی گسیخته می شود.

۳- با توجه به نمودارها معلوم میگردد که عموماً با فاصله گرفتن بازشو از ستون، مقدار تغییر شکلهای ماکزیمم در نمونه های با بازشوی مربعی و دایره ای افزایش پیدا میکند.

۴- با مقایسه تغییر شکلهای ماکزیمم نمونه های SEO (نمونه ای که بازشو در برکناری ستون قرار دارد) و SFO (نمونه ای که بازشو در بر مقابل ستون قرار داد)، معلوم می گردد نمونه ای که بازشوی آن در بر مقابل ستون قرار دارد بحرانی تر از نمونه ای است که بازشو دربرکناری ستون قرار داشته است.

۵- با بررسی نمودارهای حاصل از آنالیز با نرم افزار ANSYS به این نکته میتوان دست یافت که در مورد نمونه ای که بازشو در بر مقابل ستون قرار داشته باشد و این بازشو مربعی شکل باشد تغییر شکل بیشتری نسبت به بازشوی دایره ای شکل خواهد داشت. بالعکس در نمونه ای که بازشو در برکناری ستون باشد تغییر شکل نمونه با بازشوی دایره ای بیشتر از تغییر شکل با بازشوی مربعی خواهد بود.

مراجع

[۱] کی نیا، امیر مسعود، "آنالیز و طراحی سازه های بتن آرمه، " انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۴.

[2] Elabry, A.A., Ghali, A.G., "Moment Transfer by Shear in Slab-Column Connections," ACI Structural Journal, V.93, NO. 2, March–April, 1996.

[3] Mortin, J.D., Ghali, A., "Connections of Flat Plates to Edge Column," ACI Structural Journal, V., 88, NO. 2, March–April, 1991.

[4] El-Salakawy, E.F., Polak, A.M., and Soliman, H.M., "Reinforced Concrete Slab-Column-Connections with Opening," ACI Structural Journal, V., 96, NO. 1, January-February, 1999.

[5] Barbosa, A.F., and Ribeiro, G.O., "Analysis of Reinforced Concrete Structure Using Ansys Nonliner Concrete Model," 1998.

[6] Concrete, 4.7, Ansys Theory Reference.

[۷] جاهد مطلق، حمید رضا، ANSYS، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۹

Using Finite Element Method in Investigation Influence of an Opening on Reinforced Concrete Slabs

Mohammad-Ali Lotfollahi-Yaghin
Assistant Professor, Urmia University
ma.lotfollahi@mail.urmia.ac.ir

Hamid-Reza Golgoun
Postgraduate Student, Urmia University
hr.gol@yahoo.com

In design and construction of reinforced concrete flat plate slabs, consideration of opening for passing and traversing of installation pipes, ventilation, heating, air condition and electrical ducts is often necessary and inevitable. It has been made much experimental researches regarding effects and influences of opening on strength reduction and its effect on slab deflection, but for economical reasons such experiments have been restricted.

In this research, in order to make prevalent the influence of openings (geometric figure and distance of opening from column) slabs having holes with various dimensions, which located in different distances from face of the column, have been analyzed by ANSYS software. Also, the results of these analyses have been compared with experimental results done by some other researchers, in order to review and deliberate these consequences and in case of conforming and adapting these results with fulfilled analyses, it can be achieved a set of considerable, general and comprehensive conclusions.

Key Words: Flat Plate Slab, Punching Failure, Finite element, Opening, Smeared Reinforcement, Non-Liner Analysis