

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده: مهندسی عمران و معماری

گروه: عمران

عنوان پایان نامه ارشد:

بهینه یابی عوامل مؤثر بر مقاومت و سختی سقف های کوبیاکس

دانشجو:

مهدی شرفی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر کلاتجاری

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر توکلی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار:

مرداد ماه - ۹۲

تقدیم به :

پدر و مادرم به خاطر زحمات بی دریغشان

چیدم گلی ز باغ ادب تا بروز عید

در بارگاه میر ادب پرور آورم

حیف است با خسان گل دانش کنی نثار

من گل نثار مردم دانشور آورم

با سپاس از سه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم ...

موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم...

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند...

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

حالا من یک مهندس!

چکیده

سیستم کوبیاکس نوع مناسبی از دال می باشد که با حذف بتن غیر مؤثر باعث کاهش بار مرده و در نتیجه باعث کاهش تغییر مکان و افزایش طول دهانه می شود. این سیستم اغلب شامل گوی های پلاستیکی فشرده توخالی است که معمولاً از جنس پلی اتیلن یا پلی پروپیلین است و با قرارگیری داخل بتن یک شبکه حفره ای مانند داخل دال به وجود می آورد، قالب بندی آن مانند دالهای تخت به راحتی انجام می شود و با کاهش وزن بتن مصرفی، دالهای با دهانه های بزرگتر حاصل می شود بدون اینکه از کابل های پیش تنیده استفاده شود.

در بحث بهینه یابی عوامل مؤثر بر سختی و مقاومت سقف های کوبیاکس می توان ضخامت دال، اندازه گوی ها، فاصله گوی ها و مشخصات فولاد و بتن را مورد بررسی قرار داد. اندازه و فاصله گوی ها تأثیر بسزایی بر سختی و مقاومت دالهای کوبیاکس دارد، با بزرگتر شدن گوی - ها وزن مرده سقف کاهش و در مقابل سختی دال کم می شود. مطلوب این است که بار مرده بتن (بتن غیر مؤثر) را تا جایی کم کنیم که اثرات آن بر روی تغییر مکان و ایجاد تنش از اثر کاهش مقاومت و سختی بیشتر باشد، این نقطه بهینه است.

در این تحقیق ابتدا با مدل کردن یک نمونه آزمایشگاهی و رسیدن به نتایج مشابه آزمایشگاهی به وسیله نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS صحت مدل بررسی شده و در نهایت دال هایی با ابعاد و ضخامت و اندازه گوی های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته و سپس نتایج بر روی نمودار نشان داده شده است و به این طریق ابعاد بهینه برای گوی ها بدست آمده است.

کلید واژه: سقف کوبیاکس، بهینه سازی، سختی، مقاومت، نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS

«فهرست مطالب»

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه	۲
------------------	---

فصل دوم: سقف‌های کوبی‌اکس، ویژگی‌ها، معایب و مزایا

۱-۲- مقدمه	۱۰
۲-۲- دلایل انتخاب و ورود سقف کوبی‌اکس به کشور	۱۰
۳-۲- مفهوم کوبی‌اکس	۱۱
۴-۲- مزایای سیستم کوبی‌اکس در مقایسه با سایر سقف‌های رایج	۱۲
۵-۲- مزایای فنی سیستم کوبی‌اکس	۱۳
۶-۲- مزایای معماری سیستم کوبی‌اکس	۱۴
۷-۲- مزایای اقتصادی سیستم کوبی‌اکس	۱۴
۸-۲- سایر قابلیت‌های سیستم کوبی‌اکس	۱۵
۹-۲- برآورد میزان مصالح مصرفی در سیستم کوبی‌اکس	۱۶
۱۰-۲- نحوه محاسبه هزینه تمام شده اجرایی ساختمان بر اساس سیستم کوبی‌اکس	۱۸
۱۱-۲- روش اجرای در جای سیستم کوبی‌اکس	۱۹

فصل سوم: روابط حاکم بر طراحی سقف‌های بتن‌آرمه

۱-۳- مقدمه	۲۴
۲-۳- بررسی رفتار تیرهای بتن‌آرمه تحت برش	۲۴
۱-۲-۳- ظرفیت برشی تیرهای بتن‌آرمه	۲۵
۳-۳- مقاومت برشی دال تخت کوبی‌اکس	۳۱
۴-۳- تعریف مشخصات مصالح تشکیل دهنده سقف	۳۵
۱-۴-۳- مدل پلاستیک آسیب دیده بتن (Concrete damage plasticity)	۳۵
۱-۱-۴-۳- کاهش سختی الاستیک در هنگام نرم شوندگی کرنش :	۳۷
۲-۱-۴-۳- رفتار تک محوری تناوبی	۳۸
۲-۴-۳- مسلح کردن بتن	۴۰
۳-۴-۳- سخت شدن کششی	۴۰
۴-۴-۳- رفتار تنش - کرنش پس از شکست	۴۱

۴۲.....	۵-۴-۳- معیار انرژی شکست ترک
۴۳.....	۶-۴-۳- نحوه کارکرد رابطه تنش- جابجایی در مدل اجزای محدود
۴۴.....	۷-۴-۳- تعریف رفتار فشاری بتن
۴۵.....	۸-۴-۳- تعریف آسیب و بازیابی سختی
۴۶.....	۱-۸-۴-۳- آسیب کششی
۴۶.....	۲-۸-۴-۳- آسیب فشاری
۴۶.....	۳-۸-۴-۳- بازیابی سختی

فصل چهارم: ضوابط آیین نامه‌ای سقفهای کوبیاس

۴۹.....	۱-۴- طراحی برای خمش
۴۹.....	۱-۱-۴- فرضیات طراحی مقطع
۵۰.....	۲-۱-۴- ضوابط کلی طراحی
۵۰.....	۲-۴- محدودیت های آرماتور در قطعات خمشی
۵۰.....	۱-۲-۴- حداکثر مقدار آرماتور کششی
۵۱.....	۲-۲-۴- حداقل مقدار آرماتور کششی
۵۱.....	۳-۴- ضوابط تیرهای T شکل و تیرچه‌های بتنی
۵۱.....	۱-۳-۴- تیرهای T شکل
۵۲.....	۲-۳-۴- ضوابط مربوط به سیستم تیرچه های بتنی
۵۴.....	۴-۴- نیروی برشی تامین شده توسط بتن
۵۵.....	۵-۴- نیروی برشی تامین شده توسط آرماتورها

فصل پنجم: اساس کار نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS

۵۸.....	۱-۵- مقدمه
۵۹.....	۲-۵- مبانی برنامه ABAQUS
۶۰.....	۱-۲-۵- پیش پردازش (ABAQUS-CAE)
۶۰.....	۲-۲-۵- پردازش (استاندارد و یا صریح ABAQUS)
۶۰.....	۳-۲-۵- مرحله بعد از پردازش (ABAQUS-CAE)
۶۱.....	۴-۲-۵- اجزای یک مدل تحلیلی (ABAQUS-CAE)
۶۲.....	۱-۴-۲-۵- هندسه مجزا

۶۲	۵-۲-۴-۲- خصوصیات سطح مقطع المانها
۶۳	۵-۲-۴-۳- داده های مصالح
۶۳	۵-۲-۴-۴- بارها و شرایط تکیه گاهی
۶۴	۵-۲-۴-۵- نوع تحلیل
۶۴	۵-۲-۴-۶- داده های خروجی

فصل ششم: نحوه مدل سازی سقف کوبیاکس در نرم افزار ABAQUS

۶۷	۶-۱- مقدمه
۶۷	۶-۲- مدل سازی و تحلیل اجزاء محدود
۶۷	۶-۳- مراحل انجام مدل سازی در نرم افزار ABAQUS
۶۷	۶-۳-۱- مرحله اول: ماژول Part
۶۸	۶-۳-۲- مرحله دوم: ماژول Property
۷۰	۶-۳-۳- مرحله سوم: ماژول Assembly
۷۰	۶-۳-۴- مرحله چهارم: ماژول Step
۷۲	۶-۳-۵- مرحله پنجم: ماژول Load
۷۳	۶-۳-۶- مرحله ششم: ماژول Mesh
۷۴	۶-۳-۷- مرحله هفتم: ماژول Job
۷۵	۶-۳-۸- مرحله هشتم: ماژول Visualization

فصل هفتم: ارائه مثال های عددی و ارزیابی نتایج آنها

۷۷	۷-۱- مقدمه
۷۷	۷-۲- تصدیق مدل و فرآیند بارگذاری
۸۱	۷-۳- ارزش گذاری معیارهای انتخاب ابعاد بهینه گوی های سقف
۸۳	۷-۴- نحوه انتخاب ابعاد بهینه سقف کوبیاکس و ارائه نتایج حاصل از آنها
۸۶	۷-۵- کنترل برش

فصل هشتم: نتایج و پیشنهادها

۹۷	۸-۱- مقدمه
۹۷	۸-۲- نتایج
۱۰۰	پیشنهادها

«فهرست اشکال»

- شکل ۱-۱- جزئیات اجرایی و اجزای تشکیل دهنده سقف Coffor and trough ۵
- شکل ۱-۲- نمای شماتیک سقف کوبیاکس به همراه گوی‌های پلاستیکی ۶
- شکل ۱-۳- نمونه در حال اجرای سقف کوبیاکس ۶
- شکل ۱-۲- انواع گوی‌های قابل استفاده در سقف کوبیاکس ۱۲
- شکل ۲-۲- مزیت سقف کوبیاکس نسبت به سقف‌های سنتی رایج ۱۳
- شکل ۲-۳- قابلیت سازگاری سقف کوبیاکس با سیستم‌های مختلف معماری ۱۵
- شکل ۲-۴- قابلیت اجرای سقف کوبیاکس به صورت پیش‌ساخته ۱۶
- شکل ۲-۵- نحوه قالب بندی سقف کوبیاکس ۱۹
- شکل ۲-۶- اجرای شبکه آرماتور پایینی ۲۰
- شکل ۲-۷- جای گذاری گوی‌های پلاستیکی ۲۰
- شکل ۲-۸- اجرای شبکه آرماتور بالایی ۲۱
- شکل ۲-۹- بتن ریزی و ویبره ۲۱
- شکل ۲-۱۰- باز کردن قالب ۲۲
- شکل ۳-۱- خطوط تنش های اصلی در یک تیر همسانگرد همگن (Park & Paulay 1975) ۲۵
- شکل ۳-۲- عوامل نیروهای داخلی در مقطع جهت حفظ تعادل ۲۶
- شکل ۳-۳- الگوهای ترک در تیرهای آزمایش شده توسط Leonhardt & Walther ۲۸
- شکل ۳-۴- لنگرها و برش های گسیختگی، برش دهانه بر حسب عمق مقطع (Park & Paulay, 1975) ۲۹
- شکل ۳-۵- ظرفیت برشی تیرها با نسبت آرماتور متفاوت (Kani, 1969) ۳۱
- شکل ۳-۶- نمونه دال کوبیاکس و اجزای آن ۳۲
- شکل ۳-۷- دال تخت کوبیاکس بادخانه ۱۶ متری (آلمان) ۳۳
- شکل ۳-۸- عرض متوسط برای مقطع عرضی Bubble Deck ۳۴
- شکل ۳-۹- پاسخ بتن تحت بارگذاری تک محوره (a) در کشش، (b) در فشار ۳۷
- شکل ۳-۱۰- تاثیر پارامتر بازیابی سختی فشاری (Wc) ۴۰
- شکل ۳-۱۱- تعریف کرنش ترک خوردگی برای بیان سخت شدگی کششی ۴۲

شکل ۳-۱۲- منحنی تنش - جابجایی پس از ترک خوردگی	۴۳
شکل ۳-۱۳- منحنی تنش - انرژی شکست پس از ترک خوردگی	۴۳
شکل ۳-۱۴- تعریف کرنش فشاری غیر الاستیک برای بیان سخت شدگی فشاری	۴۴
شکل ۳-۱۵- چرخه بار محوری (کشش - فشار - کشش) با فرض مقادیر پیش فرض برای سختی	۴۷
شکل ۵-۱- الگوریتم عملکرد نرم افزار اجزای محدود ABAQUS	۵۹
شکل ۶-۱- استفاده از دستور part جهت تعریف اجزای مدل	۶۸
شکل ۶-۲- نحوه تعریف خصوصیات مصالح مورد استفاده	۶۹
شکل ۶-۳- نحوه اسمبل کردن اعضای مختلف مدل	۷۰
شکل ۶-۴- تعریف مراحل تحلیل و مشخصات آن	۷۱
شکل ۶-۵- تعیین خروجی های لازم برای Set های تعریف شده	۷۲
شکل ۶-۶- نحوه اختصاص تکیه گاه به نمونه ها	۷۲
شکل ۶-۷- نحوه اعمال بارگذاری روی نمونه ها	۷۳
شکل ۶-۸- نمونه مش بندی شده	۷۴
شکل ۶-۹- نحوه تعریف Job و تحلیل نمونه ها	۷۵
شکل ۶-۱۰- نمایش کانتور تغییر شکل (U3) برای یکی از نمونه ها	۷۵
شکل ۷-۱- نمونه آزمایشگاهی مرجع (۱) تحت بارگذاری	۷۸
شکل ۷-۳- نمودار بار - تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی مرجع (۱)	۷۹
شکل ۷-۴- نمودار بار - تغییر مکان نمونه مدل سازی شده در نرم افزار	۸۰
شکل ۷-۵- تغییر مکان ایجاد شده در دال تحت اثر بارگذاری اعمال شده (U3)	۸۲
شکل ۷-۶- تنش ایجاد شده در دال تحت اثر بارگذاری اعمال شده (S11)	۸۳
شکل ۷-۷- نمودار ظرفیت دال برای بارهای ضربدار	۸۵
شکل ۷-۸- حداکثر برش موجود در تکیه گاه دال	۸۶
شکل ۷-۸- مقایسه حداکثر تغییر مکان وسط دال تحت اثر بارگذاری برای دال ۳×۳	۹۰
شکل ۷-۹- مقایسه حداکثر تغییر مکان وسط دال تحت اثر بارگذاری برای دال ۴×۴	۹۱
شکل ۷-۱۰- مقایسه حداکثر تغییر مکان وسط دال تحت اثر بارگذاری برای دال ۵×۵	۹۱
شکل ۷-۱۱- مقایسه حداکثر تغییر مکان وسط دال تحت اثر بارگذاری برای دال ۶×۶	۹۲

شکل ۷-۱۲- مقایسه بیشینه تنش خمشی ایجاد شده در نمونه‌های دال 3×3 ۹۳

شکل ۷-۱۳- مقایسه بیشینه تنش خمشی ایجاد شده در نمونه‌های دال 4×4 ۹۳

شکل ۷-۱۴- مقایسه بیشینه تنش خمشی ایجاد شده در نمونه‌های دال 5×5 ۹۴

شکل ۷-۱۵- مقایسه بیشینه تنش خمشی ایجاد شده در نمونه‌های دال 6×6 ۹۴

«فهرست جداول»

جدول ۱-۲ - برآورد مصالح مصرفی در سقف کوبیاکس	۱۷
جدول ۱-۷ - جزئیات نمونه‌های مدل‌سازی شده در نرم‌افزار	۸۴
جدول ۲-۷ - نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های دال ۳×۳	۸۷
جدول ۳-۷ - نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های دال ۴×۴	۸۷
جدول ۴-۷ - نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های دال ۵×۵	۸۸
جدول ۵-۷ - نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های دال ۶×۶	۸۸



۱-۱- مقدمه

دال‌های بتن‌آرمه از مهمترین اجزای سازه‌های بتنی محسوب می‌شوند. دال‌ها نه تنها نقش نگهداری بارهای قائم و انتقال آنها به تکیه‌گاه را دارند بلکه در برخی موارد همراه و یکپارچه با سایر اجزاء سازه، سیستم مقاوم در مقابل نیروهای جانبی را به وجود می‌آورند.

دال‌ها از نظر ساخت و از نظر نوع تکیه‌گاه انواع مختلفی دارند، اما همگی آنها را از نظر رفتار می‌توان در دو گروه جای داد: دال‌های یک طرفه و دال‌های دو طرفه. دال‌های یک طرفه دال‌هایی هستند که عملاً در یک جهت انحنای پیدا می‌کنند و در نتیجه بار کف را در یک جهت حمل می‌کنند. از سوی دیگر در دال‌های دو طرفه صفحه دال پس از اعمال بار در دو طرف انحنای پیدا می‌کند و در نتیجه بار کف در هر دو جهت حمل شده و به تکیه‌گاههای اطراف انتقال می‌یابد. بدین ترتیب دال‌های دو طرفه، بر خلاف دال‌های یک طرفه، تحت لنگرهای خمشی در دو جهت قرار می‌گیرند و از این رو آرماتورهای خمشی نیز در آنها در دو جهت قرار داده می‌شوند [۳ و ۲].

از آنجایی که تنها بخشی از بتن به کار رفته در دال بتنی در مقاومت آن موثر بوده و از طرفی افزایش ابعاد دال بتن‌آرمه باعث افزایش ضخامت و وزن آن و در پی آن افزایش تنش و تغییر مکان‌های حداکثر دال می‌شود. می‌توان آن قسمت از بتن پر کننده دال که در مقاومت خمشی دال بتن‌آرمه بی‌تاثیر بوده و باعث افزایش وزن آن می‌شود را به شیوه‌ای منطقی حذف کرده و یا آن را با اجزای کم وزن جایگزین کرد.

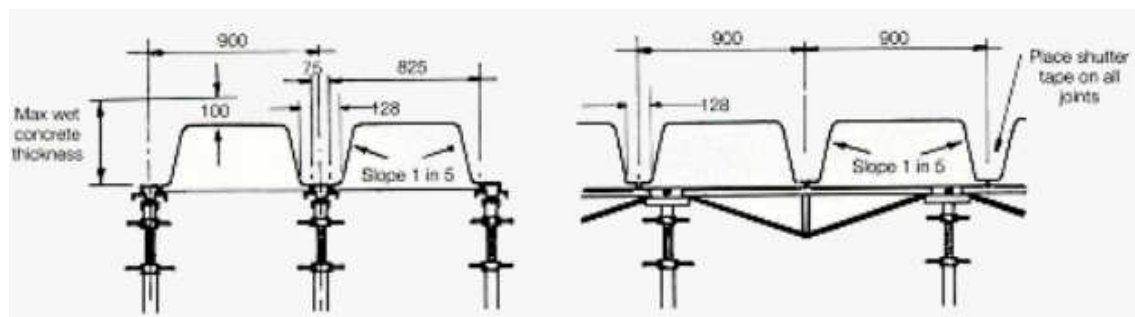
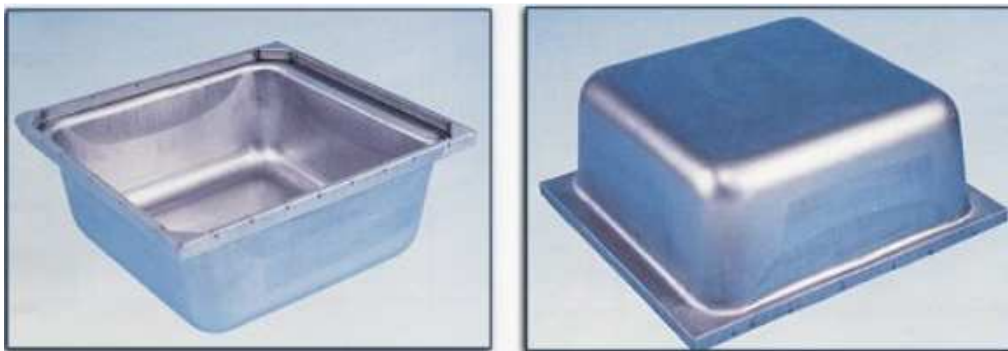
تلاشهای زیادی از گذشته تا کنون برای کاهش وزن دالهای بتنی انجام شده بدون اینکه مقاومت خمشی دال کاهش یابد. کاهش قابل توجه وزن بتن استفاده شده در دال سبب کاهش تغییر مکانها و افزایش طول دهانه می‌شود. از لحاظ اقتصادی و با توجه به معیار مقاومت می‌توان گفت که بخشی از بتن دال می‌تواند با هوا جایگزین شود، البته برای حفظ

چفت و بست سنگدانه ها که عامل اصلی برای تأمین ظرفیت برشی می باشد نمی توان تمام بتن داخلی را با هوا جایگزین کرد. بتن در قسمت بالای دال برای مقاومت خمشی به صورت بلوک فشاری عمل می کند و بتن در ناحیه کششی آرماتورهای طولی در دال را جهت تأمین ظرفیت خمشی در بر می گیرد، (مؤثر واقع شدن آرماتورها در خمش). برای انتقال تنش لازم است که وجوه بالا و پایین دال به عنوان یک مجموعه واحد به یکدیگر متصل باشد.

ایده حذف بتن غیر مؤثر در دالها از دیر باز وجود داشته است واز روشهای مختلف برای کاهش وزن بتن و افزایش دهانه دال ها استفاده شده است، به عنوان مثال می توان از دالهای coffer and trough نام برد [۱]، این ایده مدت ها است که به عنوان یک ایده مؤثر در کاهش وزن دال ها و در نتیجه کاهش تنش موجود و تغییر مکان وسط دال مورد استفاده قرار گرفته است که البته این سیستم نیز علاوه بر مزایای خود، دارای معایبی است که همین معایب باعث شده است که استفاده از آن در ساخت سقف های بتن آرمه محدود شود و مهندسان به دنبال راهکارهای بهتر و موثرتری باشند. معایب این دال ها به شرح زیر می باشد:

- Coffers and troughs لازم است که به صورت دقیق در محل خود قرار بگیرند که این امر زمانبر می باشد.
- قالب بندی Coffer and trough پرهزینه می باشد.
- Coffer and trough نیاز به آماده سازی ویژه ای دارد که با هزینه همراه است.
- باز کردن قالبهای Coffer and trough زمانبر می باشد.
- سطح دالهای Coffer and trough هموار نمی باشد و این مسئله ممکن است در نصب تأسیسات از جمله تأسیسات الکتریکی مشکل ساز شود.

- دالهای Coffe and trough در نواحی که دارای خیز رو به پایین هستند مؤثرند و در نواحی از دال که خیز رو به بالا می باشد نمی توانند مؤثر واقع شوند و باید سختی دال در این قسمت ها افزایش یابد.
- ضخامت دالهای Coffe and trough زیاد می باشد که این مسئله باعث افزایش ارتفاع کل سازه می شود و این امر باعث افزایش مصالح مصرفی مانند آجرکاری، سرویس و....و افزایش قیمت می شود.





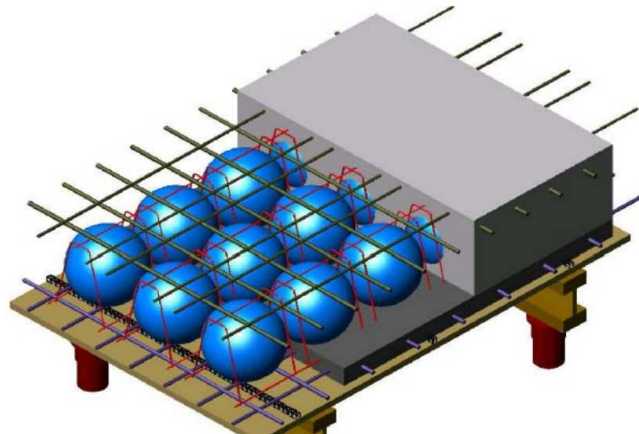
شکل ۱-۱- جزئیات اجرایی و اجزای تشکیل دهنده سقف Coffers and trough

روش دیگر مورد استفاده برای کاهش وزن دال‌های بتن‌آرمه استفاده از سیستم سقف کوبی‌اکس است [۴]. کوبی‌اکس نوع مناسبی از دال می‌باشد که با حذف بتن غیر مؤثر باعث کاهش بار مرده و در نتیجه باعث کاهش تغییر مکان و افزایش طول دهانه می‌شود که معایب دال‌های ذکر شده فوق را ندارد.

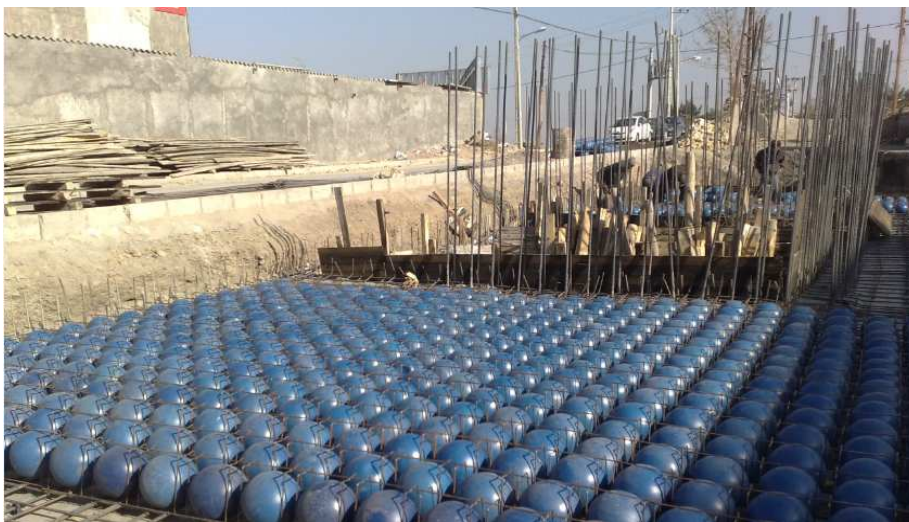
اساس طراحی سقف کوبی‌اکس مبتنی است بر سقف سازه‌ای با ویژگی « دال بتنی ۲ طرفه » با این تفاوت که هسته بتن مرکزی در محل‌هایی که کاربرد سازه‌ای ندارد با گوی‌های توخالی جایگزین می‌گردد (جنس این گوی‌ها پلی‌اتیلن بازیافت یا پلی‌پروپیلن می‌باشد).

مطالعات در زمینه سبک‌سازی و حذف بتن ناکارآمد از سال ۱۹۸۵ در دانشگاه‌های آلمان شروع و در ادامه توسط مجموعه شرکت‌های گروه فناوری‌های کوبی‌اکس در سال ۱۹۹۷ با همراهی مهندسين و متخصصينی از سوئیس و دیگر کشورهای اتحادیه اروپا دنبال شده و هم‌اکنون تبدیل به یک مجموعه تخصصی در مورد دال‌های تخت سبک با بتن مسلح شده است. این تکنولوژی از سال ۱۳۸۷ به صورت انحصاری در ایران و تعدادی از

کشورهای منطقه در اختیار شرکت خانه سازی پارس مان سازه قرار گرفته است. این شرکت تا کنون ساختمان‌های زیادی را در کشور با استفاده از این سیستم سقف طراحی و اجرا نموده است. در شکل ۱-۳ نمونه‌ای از اجرای سقف کوبیاکس اجرا شده توسط این شرکت نشان داده شده است. [۱۳].



شکل ۱-۲- نمای شماتیک سقف کوبیاکس به همراه گوی‌های پلاستیکی



شکل ۱-۳- نمونه در حال اجرای سقف کوبیاکس

از عوامل مؤثر بر سختی و مقاومت سقف های کوبیاکس می توان به ضخامت سقف، اندازه گوی-ها، فاصله گوی ها، اندازه دهانه، و مشخصات فولاد و بتن اشاره کرد.

هدف از انجام این پایان نامه بهینه یابی عوامل مؤثر بر مقاومت و سختی سقف های کوبیاکس می- باشد. این هدف به وسیله ایجاد مدل عددی و انجام شبیه سازی های نرم افزاری انجام گرفته است و در نهایت نقطه بهینه عوامل مؤثر بر سختی و مقاومت سقف های کوبیاکس که از جمله مهمترین آنها اندازه و فاصله گوی ها می باشد مورد بررسی قرار گرفته است.

از اهداف فرعی مورد نظر در این پروژه می توان به اعتبارسنجی مدل با آزمایش های انجام شده اشاره کرد.

در این رساله در فصل دوم سقف کوبیاکس به طور کامل معرفی شده و کلیه ویژگی ها، معایب و مزایا از جمله مزایای اجرایی، اقتصادی، فنی و معماری و همچنین نکات اجرایی مربوط به این نوع سقف تشریح خواهد شد.

در فصل سوم اصول حاکم بر طراحی دال های بتن آرمه و همچنین سقف های کوبیاکس بر اساس آیین نامه های موجود به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته و معرفی می شود.

فصل چهارم به معرفی نرم افزار اجزاء محدود آباکوس پرداخته و مراحل کلی موجود در این نرم افزار جهت انجام تحلیل و طراحی را تشریح می کند.

در فصل پنجم ویژگی های مدل های مورد نظر شامل فرم نمونه ها، ماهیت بارهای موجود و نحوه مدل سازی سقف کوبیاکس در نرم افزار آباکوس به صورت گام به گام مراحل مدل سازی، اسمبل کردن و همچنین مراحل تحلیل مدل های مورد نظر تشریح شده است. این فصل به نوعی آموزش فشرده این نرم افزار برای مدل سازی این نوع سقف (کوبیاکس) جهت انجام تحقیقات بعدی برای محققان و خوانندگان می باشد.

در فصل ششم نتایج حاصل از مدل سازی های صورت گرفته توسط نرم افزار به صورت جدول ارائه و ارزیابی شده و جهت تعیین مدل بهینه با هم مقایسه می شوند.

فصل هفتم شامل نتایج حاصل از مدل سازی های انجام شده توسط نرم افزار آباکوس و معرفی مدل بهینه از بین تمامی مدل های انجام شده و همچنین ارائه پیشنهادات جهت انجام تحقیقات بعدی می باشد.



۲-۱- مقدمه

مطالعات در زمینه سبک سازی و حذف بتن ناکارآمد از سال ۱۹۸۵ در دانشگاه های آلمان و مجموعه شرکت های گروه فناوری های کوبیاکس در سال ۱۹۹۷ با همراهی مهندسين و متخصصينی از سوئیس و دیگر کشورهای اتحادیه اروپا پایه ریزی و تأسیس شده است و اکنون تبدیل به یک مجموعه متخصص در مورد اسلب های تخت سبک با بتن مسلح شده است.

این دانش از سال ۱۳۸۷ به صورت انحصاری در ایران و تعدادی از کشورهای منطقه در اختیار شرکت خانه سازی پارس مان سازه است.

۲-۲- دلایل انتخاب و ورود سقف کوبیاکس به کشور

یکی از مصالح نوین که چندین وقت است توسط شرکت های ایرانی از بازار سوئیس وارد ایران شده است کوبیاکس می باشد که در انعطاف پذیری در معماری بسیار موثر است. فناوری کوبیاکس با فراهم سازی امکان اجرای یک دال بتنی یکپارچه در دهانه های بزرگ تا دهانه هایی تا ۱۸ متر بدون استفاده از تیر ؛ به طور کلی موجب صرفه جویی در مصالح و کاهش هزینه های ساخت و وزن سازه می گردد.

دلایل انتخاب و ورود سقف کوبیاکس به کشور

- صنعتی سازی
- عدم نیاز به سرمایه گذاری زیاد برای احداث کارخانجات مواد اولیه
- عدم نیاز به نیروی کار خیلی متخصص و امکان استفاده از نیروهای موجود
- امکان احداث کارخانجات تولیدی در اقصی نقاط کشور
- عدم وابستگی به خارج از کشور
- سازگاری با مباحث و مقررات ملی ساختمانی کشور

- اقتصادی بودن تکنولوژی و امکان رقابت با سیستم های رایج
- انعطاف پذیری سیستم در ارتباط با مسأله معماری و سازه ای
- تکنولوژی دوستدار محیط زیست

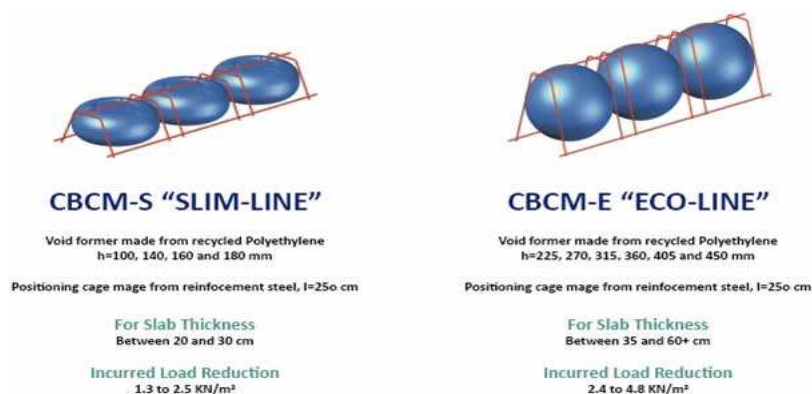
۲-۳- مفهوم کوبیاکس

اساس طراحی تکنولوژی Cobiax مبنی است بر سقف سازه ای با ویژگی «سقف دال ۲ طرفه» مشابه سقف های بتنی دال ۲ طرفه مرسوم با این تفاوت که هسته بتن مرکزی در محل هایی که کاربرد سازه ای ندارد با گوی های توخالی جایگزین می گردد [۴]. (جنس این گوی ها پلی اتیلن بازیافت یا پلی پروپیلن می باشد)

بدین صورت که این گوی ها در حفاصل مش های میلگردی بالا و پایین قرار می گیرند. با توجه به اینکه در دال های بتنی ۲ طرفه مشکل تحمل نیروی برشی وجود ندارد، مشکل طراحی این نوع سقف بر مبنای حذف قسمتی از بتن میانی و ایفای عملکرد دال ۲ طرفه می باشد.

در فناوری Cobiax با حذف بار مرده غیرسازه ای خاصیت باربری ۲ محوره همچنان حفظ می گردد. همچنین با شکل گیری غشای بتنی مستحکم در قسمت فوقانی و تحتانی دال به همراه شکل گیری شبکه تیرچه های داخلی در ۲ امتداد در اثر قراردهی گوی ها در سر تا سر فضای میانی دال بتنی می توان باربری مناسبی را برای این دال متصور شد. اجزای این سیستم عبارتند از:

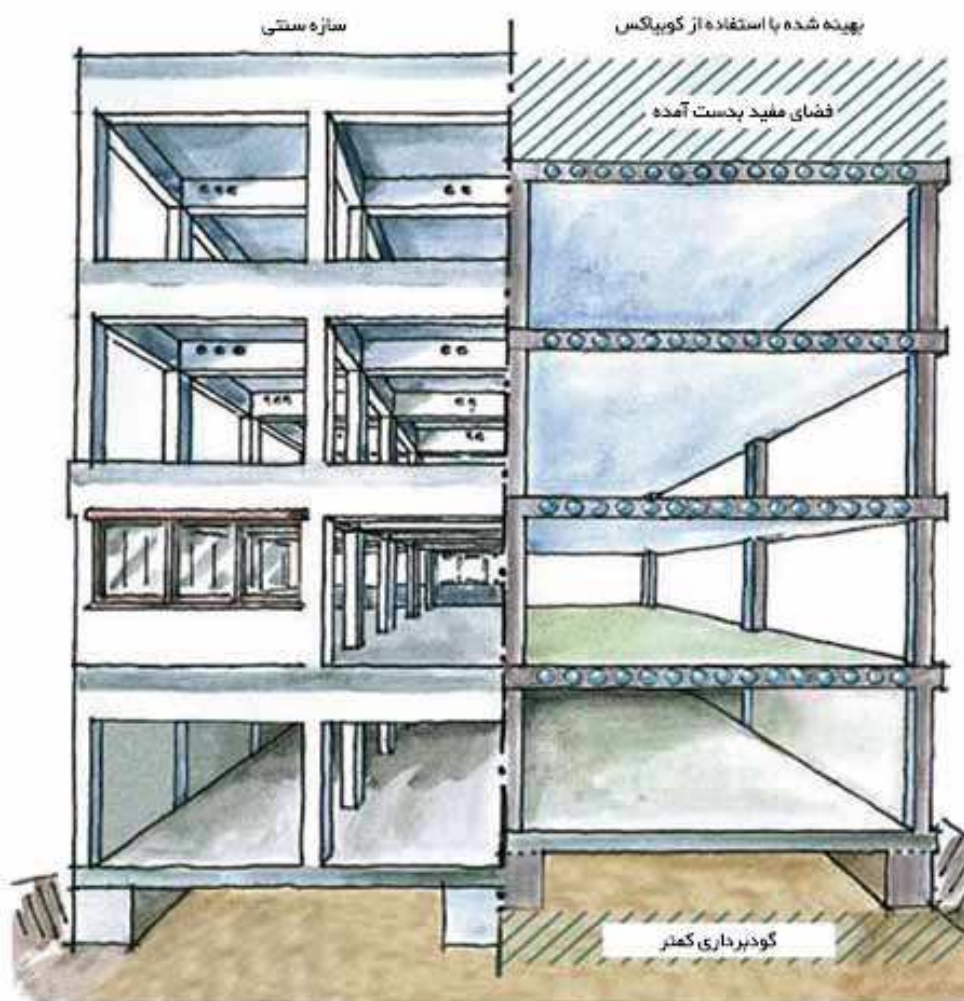
- مدول قفسه ای (گوی های پلاستیکی به همراه خرپای فولادی)
- دال بتن آرمه



شکل ۲-۱- انواع گوی‌های قابل استفاده در سقف کوبیاکس

۲-۴- مزایای سیستم کوبیاکس در مقایسه با سایر سقف‌های رایج

در سیستم Cobiax اعضای دال سقف شامل بتن، آرماتور، توپی‌های توخالی پلاستیکی، و قفسه مسلح می‌باشد. توپی‌های توخالی در هسته مرکزی قفسه مسلح قرار گرفته و یک قفسه مدولار مسلح ایجاد می‌کند. این قفس مسلح میان ۲ لایه آرماتور پایینی و بالایی دال قرار گرفته و با حذف بتن غیربرابر از درون دال موجب سبک‌سازی آن می‌شود. در این نوع سازه سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی سازه شامل ترکیب دال و ستون (تقریباً قاب ساده) و دیوار برشی بتنی با شکل‌پذیری متوسط می‌باشد [۱۳].



شکل ۲-۲- مزیت سقف کوبیاکس نسبت به سقف‌های سنتی رایج

۲-۵- مزایای فنی سیستم کوبیاکس

مزایای فنی سیستم کوبیاکس عبارتند از:

- باربری ۲ محوره
- بهینه سازی المان های عمودی مانند ستون ها و دیوارهای برشی (ستون های لاغرتر، کاهش ۴۰ درصدی حجمی و عددی ستون ها)
- بهینه سازی دال و فونداسیون (کاهش بارهای وارد بر پی، دال های تا ۳۰ درصد سبک تر)

- بهینه سازی المان های سخت کننده (کاهش بارهای افقی)
- کاهش ارتفاع کلی سازه (بهینه سازی ارتفاع سقف)
- کنترل خیز بهتر
- مقاومت بهتر در برابر نیروهای زلزله (کاهش اثر آسیب های لرزه ای، کاهش ارتفاع و سبک شدن سازه)
- حذف تمام تیرهای اصلی

۲-۶- مزایای معماری سیستم کوبیاکس

مزایای معماری سیستم کوبیاکس عبارتند از:

- انعطاف پذیری در پلان معماری (کاهش عددی ستون ها)
- قابلیت پذیرش کاربری های گوناگون
- سهولت تغییر کاربری افقی و عمودی
- امکان اجرای کنسول تا ۷ متر
- امکان ایجاد بازشو در هر شکل و اندازه در سقف
- افزایش فضای مفید (قابلیت اجرای دهانه تا ۱۸ متر بدون اجرای ستون)

۲-۷- مزایای اقتصادی سیستم کوبیاکس

مزایای اقتصادی سیستم کوبیاکس عبارتند از:

- کاهش مصرف بتن
- کاهش المان های سازه ای
- کاهش مصرف آرماتور

- کاهش زمان ساخت
- کاهش هزینه های اجرای تأسیسات (حذف تیرها و مشکلات ناشی از آویز تیرها)
- کاهش ارتفاع کلی سازه به دلیل بهینه سازی ارتفاع سقف

۲-۸- سایر قابلیت های سیستم کوبیاکس

قابلیت های دیگر سیستم کوبیاکس

کوبیاکس قابلیت انطباق با هر گونه معماری را داراست. نحوه چیدمان گوی های توخالی، اندازه و شکل دال بتنی بر اساس مقتضیات پروژه تعیین می گردند. کوبیاکس را می توان همراه با تکنیک های ساختمانی از قبیل پس کشیدگی و یا سازه های مرکب در دهانه بلندتر از ۱۸ متر مورد استفاده قرار داد.

اجرای تأسیسات الکترونیکی و مکانیکی مشابه روش های سنتی و با قابلیت اجرا در ضخامت دال همانند تصاویر زیر می باشد.



شکل ۲-۳- قابلیت سازگاری سقف کوبیاکس با سیستم های مختلف معماری

علاوه بر روش اجرای درجا، قابلیت اجرا به روش نیمه پیش ساخته نیز وجود دارد.



شکل ۲-۴- قابلیت اجرای سقف کوبیاکس به صورت پیش ساخته

۲-۹- برآورد میزان مصالح مصرفی در سیستم کوبیاکس

برآورد صورت گرفته بر اساس شرایط خاک نرمال تهیه گردیده و لذا بسته به شرایط خاک پروژه (خاک با ویژگی‌های متفاوت از آنچه در این مطالعه آورده شده است)، ممکن است مشخصات فونداسیون و به دنبال آن مقادیر کلی مصرفی مصالح تغییر یابد. این مبلغ بصورت کلی اشاره شده و بدیهی است بنا به مترائ و موقعیت کار متغیر خواهد بود. با عنایت به آنکه بر اساس استانداردهای مقررات ملی ساختمان ایران می بایست دیوار برشی جهت کنترل نیروی زلزله در ساختمان های گروه دال تخت تعبیه گردد، لذا مقادیر مصالح در نظر گرفته شده با فرض کفایت دیوار برشی و جانمایی مناسب آن در هر دو جهت طولی و عرضی ساختمان برآورد گردیده است.

جدول ارائه شده با فرض ساختمان های روی سطح زمین تهیه گردیده و چنانچه در ساختمانی بدلیل حضور طبقات منفی نیاز به دیوار حایل بتنی باشد، هزینه آن می باست جداگانه محاسبه گردد. میزان میلگرد مصرفی بر مبنای کیلوگرم بر متر مربع زیربنا و بتن مصرفی متر مکعب بر متر مربع زیربنا می باشد.

جدول ۱-۲- برآورد مصالح مصرفی در سقف کوبیپاکس

دهانه	کاربری	ضخامت (cm)	وزن (Kg/m ²)	مصرف مصالح	تعداد طبقات			
					5	7	9	11
۵	مسکونی	۲۰	۳۹۰	بتن	0.35	0.38	0.42	0.45
				میلگرد	35	38	42	45
	تجاری	۲۰	۳۹۰	بتن	0.35	0.38	0.42	0.45
				میلگرد	38	42	45	48
۷	مسکونی	۲۴	۴۵۰	بتن	0.38	0.42	0.45	0.48
				میلگرد	38	42	45	48
	تجاری	۲۶	۵۰۰	بتن	0.4	0.44	0.48	0.5
				میلگرد	42	45	48	52
۹	مسکونی	۲۸	۵۱۵	بتن	0.42	0.45	0.48	0.52
				میلگرد	42	45	48	52
	تجاری	۳۰	۵۶۵	بتن	0.45	0.48	0.5	0.55
				میلگرد	45	48	50	55
۱۱	مسکونی	۳۳	۶۳۰	بتن	0.45	0.48	0.5	0.55
				میلگرد	45	48	50	55
	تجاری	۳۸	۷۲۰	بتن	0.48	0.52	0.5	0.55
				میلگرد	48	52	53	58

در پایان این بخش نیز باید این نکته اجرایی را یادآور شویم که سیستم کوبیپاکس از گروه سیستمهای دال ستونی می باشد. به نحوی که دال تخت بتنی بدون نیاز به تیر مستقیماً بر روی ستونها و دیوارهای برشی استقرار می یابد.

۲-۱۰- نحوه محاسبه هزینه تمام شده اجرایی ساختمان بر اساس سیستم کوبیاکس

هزینه تمام شده ساختمان در بخش اجرای سازه (شامل فونداسیون، ستون، دیوار برشی و سقف) عبارت است از مجموع هزینه های زیر در متر مربع زیربنا:

۱. میلگرد مصرفی : میزان مقادیر میلگرد مصرفی بسته به نوع کاربری، تعداد طبقات، فواصل ستونها از جدول پیوست قابل استخراج می باشد.

۲. بتن مصرفی : میزان بتن مصرفی بسته به نوع کاربری، تعداد طبقات و فواصل ستونها از جدول پیوست قابل استخراج می باشد.

۳. خدمات و پشتیبانی کوبیاکس : هزینه خدمات و پشتیبانی کوبیاکس شامل دو بخش به شرح زیر می باشد:

- خدمات مهندسی شامل طراحی، محاسبات و تولید نقشه های سازه بر اساس سیستم کوبیاکس، آموزش گروه مجری سقف، حق امتیاز استفاده از تکنولوژی در پروژه و نظارت بر مراحل اجرای سقف.

- تولید و تحویل کیج ماژولهای مورد نیاز پروژه

۴. دستمزد و اجرا : کارفرما لازم است که برای اجرا سازه پیمانکار مورد تأیید خود را انتخاب نماید. بدیهی است حق الزحمه پیمانکار بر اساس شرایط منطقه و قیمت های متداول روز تعیین می شود.

۲-۱۱- روش اجرای در جای سیستم کوبیاکس

روش اجرای سیستم سقف کوبیاکس همانگونه که در اشکال زیر نشان داده شده است شامل مراحل زیر است:

۱. قالب بندی سقف بر اساس روش‌های متداول ساخت دال‌های بتن آرمه



شکل ۲-۵- نحوه قالب بندی سقف کوبیاکس

۲. اجرای شبکه آرماتور پایینی در کف قالب



شکل ۲-۶- اجرای شبکه آرماتور پایینی

۳. جای گذاری گوی‌های پلاستیکی روی شبکه آرماتور پایینی



شکل ۲-۷- جای گذاری گوی‌های پلاستیکی

۴. اجرای شبکه آرماتور بالایی که روی گوی‌های پلاستیکی قرار داده می‌شود



شکل ۲-۸- اجرای شبکه آرماتور بالایی

۵. بتن ریزی سقف و ویبره کردن آن برای دستیابی به بتن متراکم



شکل ۲-۹- بتن ریزی و ویبره

۶. باز کردن قالبها و پایان عملیات اجرا



شکل ۲-۱۰- باز کردن قالب



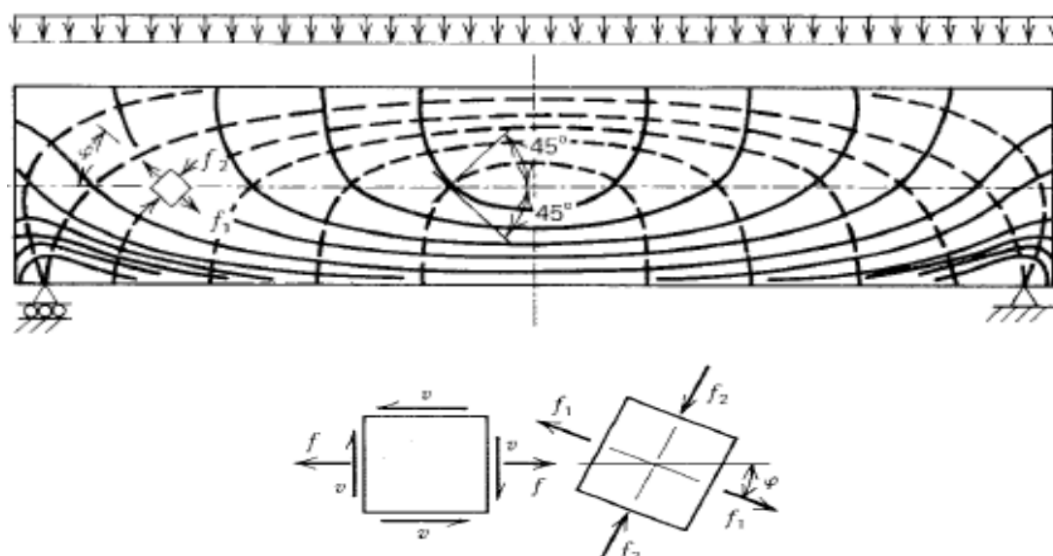
۳-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا مکانیزم مقاومت برشی تیرهای بتن مسلح مورد بررسی قرار می گیرد، سپس به تشریح روابط حاکم بر طراحی تیرهای بتنی بر اساس آیین نامه های موجود پرداخته، در ادامه اصول حاکم بر طراحی سقف های کوبیاکس بیان خواهد شد.

۳-۲- بررسی رفتار تیرهای بتن آرمه تحت برش

رفتار یک عضو سازه ای بتن مسلح گسیخته شده در برش به وسیله تحلیل با اصول اولیه سخت و پیچیده می باشد. به این دلیل روابط آیین نامه ها مبتنی بر روابط تئوریک و نتایج تجربی می باشند. در تیرهای بتن آرمه (Park & Paulay (1975) فرم شکل گیری ترک قطری را مطابق زیر بیان کردند:

در تیرها ترکیب لنگر خمشی و نیروی برشی در هر مقطع حالت تنش دو محوره را در هر نقطه از مقطع به وجود می آورد. شکل (۳-۱) تنش های اصلی تولید شده در یک تیر با بار خطی یکنواخت را نشان می دهد [۱۱].



شکل ۳-۱- خطوط تنش های اصلی در یک تیر همسانگرد همگن (Park & Paulay 1975)

هرگاه تنش های کششی اصلی از مقاومت کششی عضو بتنی تجاوز کنند ترک ها شکل می گیرند. دورترین تارهای کششی در نواحی با بزرگترین لنگر خمشی در معرض بیشترین تنشها می باشند و ترک ها در از این نواحی شروع می شوند، این ترک های خمشی به صورت عمودی تا محور عضو ادامه می یابند.

در قسمت هایی که نیروی برشی زیادی وجود دارد، تنش های کششی اصلی تولید می شوند. این تنش های کششی اصلی در نزدیکی زوایای 45° صورت می گیرد و تنش های قطری نامیده می شود، که این تنش ها باعث ترک های مورب می شود.

ترک های مورب معمولاً "از ترک های خمشی شروع می شوند و ادامه می یابند. با بررسی جان تیر های بال دار و در مواردی که با یک مقطع عرضی نازک سرو کار داریم، ترک های کششی قطری اغلب از محل تار خنثی شروع شده که البته موارد خاصی وجود دارد که معمول نمی باشد، اما ممکن است به صورت عملی در این تحقیق استفاده شود از آنجایی که گوی های موجود در سقف کوبیاکس یک سیستم جان دو محوره را به وجود می آورد.

یک عضو بتن مسلح زیر بارهای سنگین به دو صورت ممکن واکنش می دهد، یکی اینکه ممکن است بعد از ایجاد ترک های قطری بلافاصله واژگون شود و دیگر اینکه به کلی مکانیزم ایجاد ترک برشی ادامه یابد بدین معنی که تیر ترک خورده بار اضافی بیشتری تحمل کند.

۳-۲-۱- ظرفیت برشی تیرهای بتن آرمه

شکل (۳-۲) یک قسمت برش خورده یک تیر با تکیه گاه ثابت را نشان می دهد که در طول آن (تکیه گاه) یک نیروی ثابت اعمال شده است. تعادل به وسیله نیروهای داخلی به

وجود آمده در ترک و نیروهای خارجی حاصل شده است. در یک تیر بتن مسلح بدون آرماتور

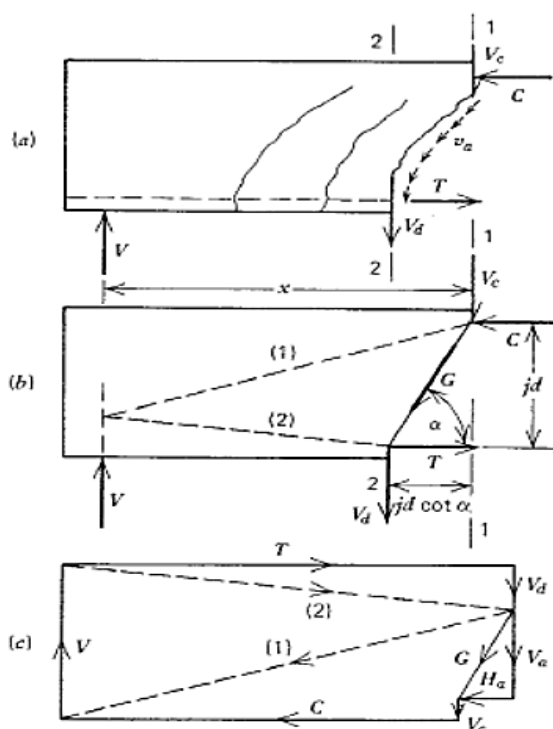
برشی، نیروی عرضی خارجی V به وسیله سه عامل اساسی زیر خنثی می شود:

- ظرفیت برشی در عرض ناحیه فشاری ترک نخورده V_c (20-40%)
- ظرفیت برشی آرماتورهای طولی درگیر با بتن V_d (15-20%)
- مؤلفه های قائم تنش های برشی مورب v_a به وجود آمده در عرض ترک برشی در نتیجه درگیری اجزاء سنگدانه ها. v_a مربوط به قفل وبست سنگدانه ها می باشد. (35-50%)

اعداد ضمیمه شده در هر پرانتز سهم تقریبی هر عامل در ایجاد ظرفیت برشی می باشد

که در سال 1987 توسط Kang & Evans ارائه گردید، همانطور که مشاهده می شود بزرگترین

سهم در تأمین ظرفیت برشی یک مقطع مربوط به چفت وبست سنگدانه ها می باشد [1].



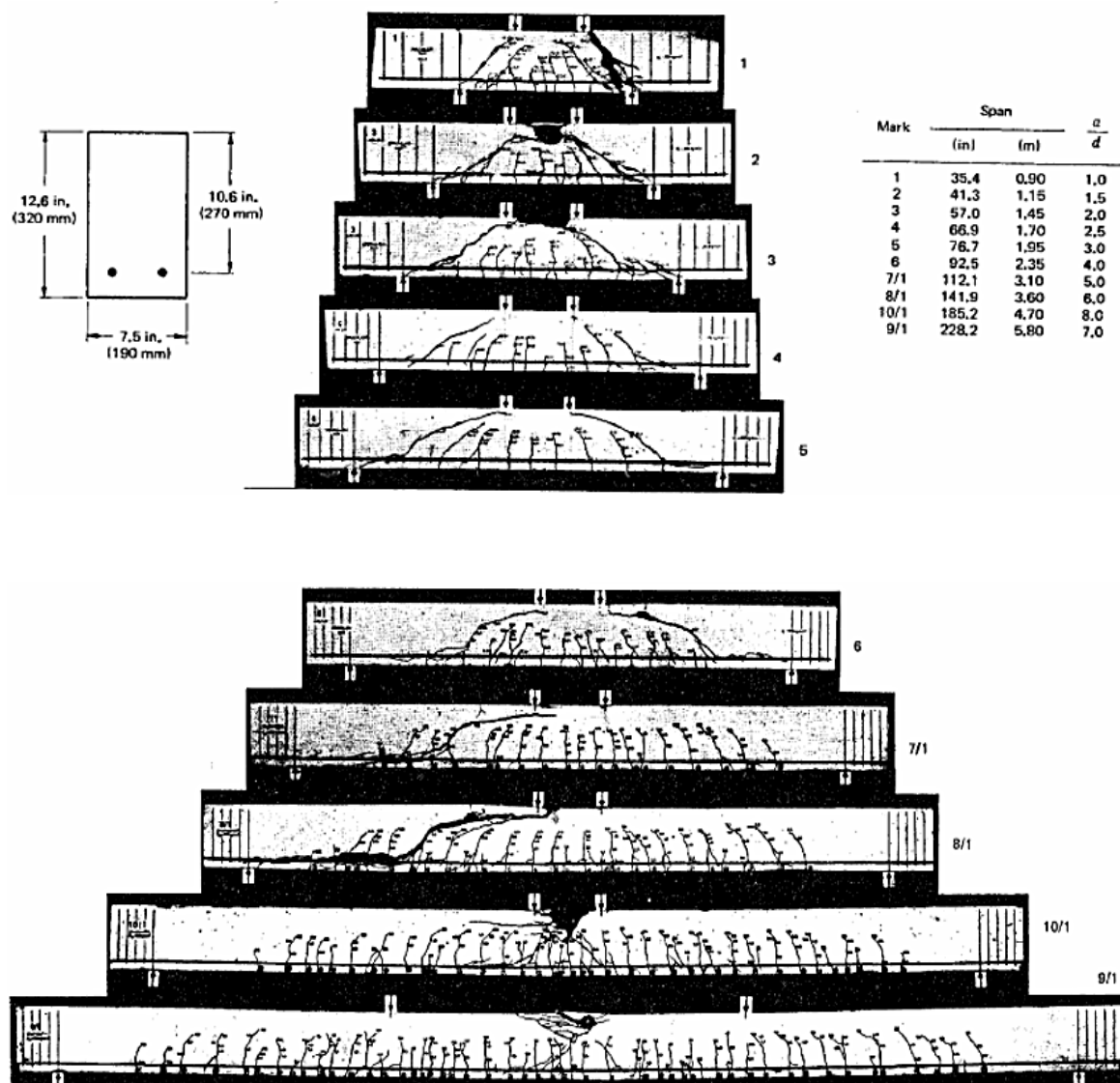
شکل ۳-۲- عوامل نیروهای داخلی در مقطع جهت حفظ تعادل

برای بیان رابطه تعادل می توان با یک ساده سازی تنش های برشی انتقال یافته به وسیله قفل وبست سنگدانه ها را با نیروی G جایگزین کرد. خط اثر نیروی G از دو نقطه که در شکل (b-۲-۳) نشان داده شده است عبور می کند، این ساده سازی یک چند ضلعی از نیروهای جسم آزاد را به وجود می آورد که تعادل را بیان می کند و در شکل (c-۲-۳) مشاهده می شود. بنابراین رابطه تعادل را می توان به صورت زیر نوشت.

$$V = V_c + V_a + V_d \quad (1-3)$$

در رابطه بالا V ظرفیت برشی کل می باشد که از جمع سه ظرفیت برشی جزء V_c و V_a و V_d که در بالا توضیح داده شد بدست می آید.

مکانیزم گسیختگی برشی توسط Park & Paulay در سال 1975 به صورت زیر بیان شد:



شکل ۳-۳- الگوهای ترک در تیرهای آزمایش شده توسط Leonhardt & Walther
(Park & Paulay, 1975)

سه نسبت $\frac{a}{d}$ متفاوت، در تیرهای با تکیه گاه ساده و بارگذاری شده با بار منفرد مطابق اینکه

گسیختگی برشی اتفاق افتد می تواند برقرار باشد، جایی که:

a = فاصله بار نقطه ای واحد تا بر تکیه گاه

d = عمق مؤثر آرماتورهای طولی

این نسبت‌ها با آزمایش بر روی ده نمونه توسط Leonhardt & Walther (1965) به دست آمده

است. (شکل ۳-۳)

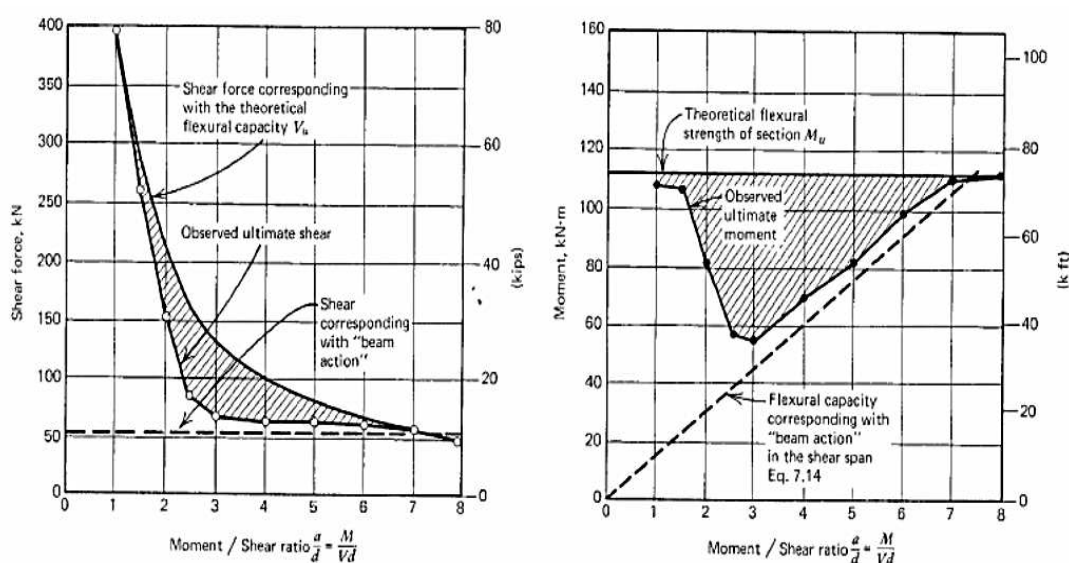
تیرها بدون آرماتورهی عرضی می باشند و مشخصات مصالح برای تمام نمونه ها یکسان می باشد.

شکل (۳-۴) لنگرهای گسیختگی و نیروهای برشی نهایی را برای این ده تیر به صورت نمودار، برش در مقابل نسبت عمق بیان می کند.

حالت ۱: برای نسبت $3 < \frac{a}{d} < 7$ مکانیزم گسیختگی تیر دقیقاً در محل یا نزدیک اعمال باری است که به ترک قطری منتج می شود. این بدین معنی می باشد که مکانیزم طاقی از تحمل بار گسیختگی ناتوان می باشد.

حالت ۲: برای نسبت $2 < \frac{a}{d} < 3$ گسیختگی از نوع برشی فشاری یا خمشی کششی در ناحیه فشاری بالای محدوده ترک خورده رخ می دهد، که در اکثر مواقع یک گسیختگی با عمل طاقی می باشد.

حالت ۳: برای نسبت $\frac{a}{d} < 2.5$ گسیختگی به وسیله خرد شدن یا جدا شدن بتن اتفاق می افتد. در شکل (۳-۴) به وضوح مشاهده می شود که برای $1.5 < \frac{a}{d} < 7$ ظرفیت خمشی تیرها تعیین کننده نمی باشد و بنابراین معیار طراحی ظرفیت برشی می باشد.



شکل ۳-۴- لنگرها و برش های گسیختگی، برش دهانه بر حسب عمق مقطع (Park & Paulay, 1975)

مساحت هاشور خورده شکل سمت راست تفاوت میان ظرفیت خمشی محاسبه شده و مقاومت واقعی را نشان می دهد که بیشترین اختلاف در بازه $۲.۵ < \frac{a}{d} < ۳$ می باشد. این محدوده بحرانی می باشد که احتمال گسیختگی خمشی کمتر است با فرض اینکه عملکرد طاق رخ ندهد.

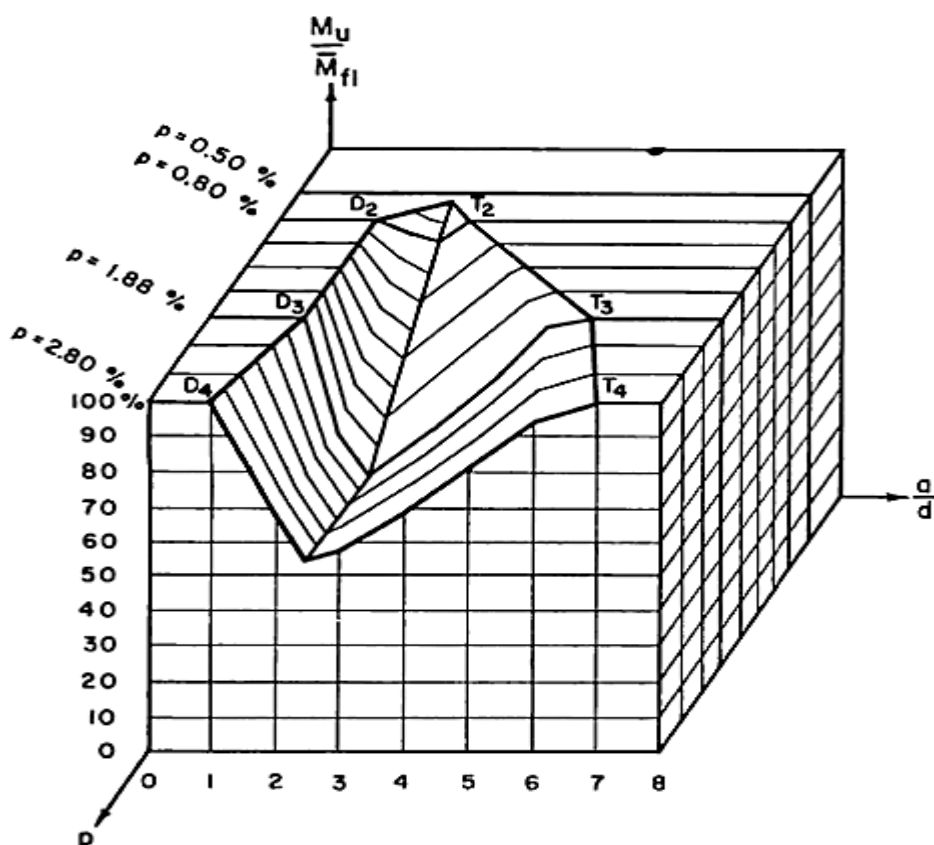
از نمودار سمت چپ شکل (۳-۴) آشکار است که در نسبت $\frac{a}{d}$ در محدوده ۳ حداقل مقاومت برشی رخ می دهد، $(۲.۵ < \frac{a}{d} < ۳)$ و همچنین در این محدوده حداکثر اختلاف بین برش مشاهده شده و برش نظیر ظرفیت خمشی وجود دارد، بنابراین برای بررسی گسیختگی برشی یک تیر می توان نسبت $\frac{a}{d}$ را عدد ۳ در نظر گرفت.

در مطالعات تجربی (Leonhardt & Walther, 1965) برای آرماتورهای طولی سطح مقطع ثابتی در نظر گرفته شد. Kani (1966) تعداد زیادی تیر را با آرماتورهای مختلف آزمایش کرد که نتایج آن در شکل (۳-۵) مشاهده می شود. در نسب $\frac{a}{d} = ۲.۵$ بزرگترین تفاوت میان مقاومت خمشی محاسبه شده و مقاومت واقعی رخ می دهد. M_u و M_{F1} به ترتیب به لنگر مقاوم محاسبه شده و لنگر مقاوم واقعی تیرهای آزمایش شده اشاره دارد.

صرف نظر از نسبت $\frac{a}{d}$ ، فاکتورهای زیر در ظرفیت برشی تیرهای بدون آرماتور عرضی تأثیر دارند. (Park & paulay, 1975)

- سطح مقطع آرماتورهای طولی: با افزایش سطح مقطع آرماتورهای طولی، عمق تار خنثی افزایش می یابد و به موازات آن سطح مقطع بتن ترک نخورده (بلوک تنش فشاری) در ناحیه فشاری افزایش می یابد، در نتیجه عمل اتصال توسط میلگرد های طولی افزایش می یابد. همچنین آرماتورهای طولی کمک به بسته شدن عرض ترک می کنند که این عمل باعث افزایش چفت و بست سنگدانه ها و افزایش ظرفیت برشی می شود.

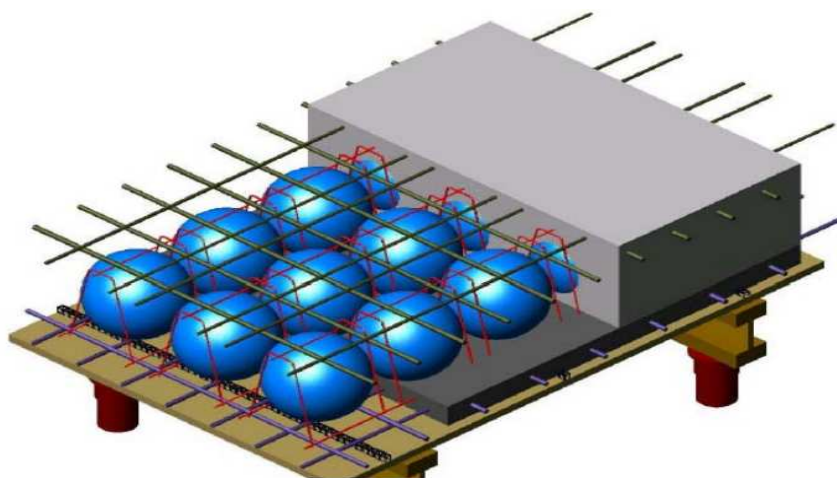
- مقاومت بتن: افزایش مقاومت فشاری بتن، مقاومت کششی آن را نیز افزایش می دهد، اما به یک نسبت باعث افزایش مقاومت کششی نمی شود. مقاومت کششی بزرگتر ظرفیت مقطع را برای مقاومت در برابر شکل گیری ترک برشی افزایش می دهد. همچنین افزایش مقاومت فشاری باعث افزایش چفت و بست سنگدانه ها و بهبود اتصال توسط آرماتور طولی می شود.
- عمق تیر: نتایج تجربی نشان داده است که با افزایش عمق تیر ظرفیت برشی کاهش می یابد [۱].



شکل ۳-۵- ظرفیت برشی تیرها با نسبت آرماتور متفاوت (Kani, 1969)

۳-۳- مقاومت برشی دال تخت کوبیاکس

سیستم دال کوبیاکس از ایجاد حفره های داخلی درسیستم دال تخت به وجود می آید. جنس گوی- های پیش ساخته توخالی کروی از پلاستیک می باشد (پلی اتیلن یا پلی پروپیلین) و به شبکه ای از میله- ها با مقاومت بالا و به قطر ۵ تا ۶ میلی متر ثابت و متصل شده اند. تعداد توپ ها وابسته به مساحت دال که می خواهد پوشش دهد، دارد. به عنوان مثال می تواند از 4×1 (یک ردیف چهار توپه) تا 8×8 (هشت ردیف هشت توپه) یا بیشتر تشکیل شود که بستگی به اندازه کره ها و امکانات جابجایی مثل ظرفیت جرثقیل در محل دارد. تمام اجزاء (شبکه میله و اجزای متصل به آن) روی آرماتورهای طولی قسمت پایین قرار می گیرند و شبکه توسط مفتول به آرماتورها ثابت می شوند. بتن در دو مرحله ریخته می شود، اولین لایه تقریباً با ضخامت ۸ سانتیمتر بر روی شبکه شامل گوی ها ریخته می شود و حدوداً "چهار ساعت بعد از ریختن لایه اول، لایه بعدی را تا ضخامت در نظر گرفته شده برای دال می ریزیم. این بدین علت است که با سخت شدن اولین لایه، گوی ها در محل خود ثابت می شوند و از پرتاب شدن به سمت بالا به دلیل ایجاد نیروی شناوری که از ریزش دومین لایه به وجود می آید جلوگیری می شود، شکل (۳-۶) تصویری از توصیف بالا می باشد.



شکل ۳-۶- نمونه دال کوبیاکس و اجزای آن

نهایتاً" نتیجه یک دال تخت کوبیاکس با قالب بندی معمول دال تخت می باشد. شکل (۳-۷)



شکل ۳-۷- دال تخت کوبیاکس بادخانه ۱۶ متری (آلمان)

تحقیقات گسترده ای روی ظرفیت برشی دال های کوبیاکس در دانشگاه فنی Darmstadt

آلمان (TUD) انجام پذیرفت (Schellen-Held & Pfeffer, 1999). طریقه ثابت کردن گوی ها بعد

از سال ۱۹۹۹ توسعه یافت [۱۰]. آزمایشات در TUD انجام شدند و با آیین نامه های طراحی

عملی DIN و Euro code مقایسه شدند. پروسه آن به صورت زیر بود:

- تحقیق نظری بر روی سیستمی به نام "Bubble Deck" به صورتی که کره ها بین

آرماتورهای بالا و پایین مهار شدند انجام شد و شبکه میله ای برای ثابت شدن گوی ها

به شکل امروزی مهیا نبود.

- نمونه بدون آرماتور عرض بود.

- مساحت عملکرد چفت و بست سنگدانه ها به این صورت محاسبه شد که ابتدا مساحت

یک صفحه مورب در طول یک ترک برشی محاسبه گردید سپس مساحت حفره در طول

صفحه مورب از آن کم شد.

- اجزای مؤثر در ظرفیت برشی همچون اثر اتصال آرماتورهای طولی (Dowel) و مقاومت

بلوک فشاری در محاسبات در نظر گرفته نشد و تنها عامل چفت و بست سنگدانه ها در

محاسبه ظرفیت برشی بررسی شد.

- زاویه تخمین زده شده ترک برشی 45° در نظر گرفته شد.

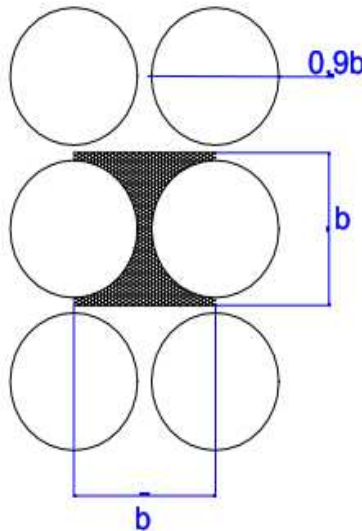
TUD با در نظر داشتن مطالب فوق به انجام آزمایش پرداختند. درصد فولاد در این آزمایش ۱.۳٪ بود. نسبت $\frac{a}{d}$ برابر ۳.۷ در نظر گرفته شد که طبق تحقیق Kani (1966) نامساعدترین طریقه اعمال بار به شمار می آمد. روند دنبال شده برای بدست آمدن ضریب برشی سقف کوبیباکس به صورت زیر می باشد شکل (۳-۸).

یک عرض میانگین به دست آمده برای محاسبه نامساعدترین مقطع عرضی به طوری که:

$$A_{solid} = b^2 = \text{سطح مقطع عرضی جسم توپر} \quad (۳-۲)$$

$$A_{Bubble} = b^2 - \left(\frac{0.9}{2}\right)^2 b^2 \pi = \text{Bubble Deck سطح مقطع عرضی} \quad (۳-۳)$$

$$b_m = \frac{0.36b^2}{b} = 0.36b = \text{عرض متوسط} \quad (۳-۴)$$



شکل ۳-۸- عرض متوسط برای مقطع عرضی Bubble Deck

استفاده از عرض میانگین در آیین نامه طراحی DIN توصیه شده است، ظرفیت برشی % ۳۶ برای Bubble Deck بدست آمد نسبت به یک دال توپر با همان ضخامت. آزمایشات نشان داد که حتی با در نظر گرفتن عرض میانگین، ظرفیت برشی محاسبه شده برای Bubble Deck به

طور قابل ملاحظه ای پایین تر از ظرفیت برشی واقعی می باشد که در اکثر آزمایشات حاصل شد [۵].

۳-۴- تعریف مشخصات مصالح تشکیل دهنده سقف

۳-۴-۱- مدل پلاستیک آسیب دیده بتن (Concrete damage plasticity)

مدل پلاستیک آسیب دیده بتن مدل توان مندی است که برای بارگذاری مختلف کاربرد داشته و با بیان رفتار مجزای بتن در فشار و کشش رفتار این ماده را به صورت واقعی تر بیان می کند. در این بخش ابتدا به شرح مفاهیم مورد استفاده در این مدل می پردازیم [۱۲].

در این مدل با استفاده از مفاهیم الاستیک آسیب دیده ایزوتروپیک و پلاستیک کششی و فشاری، رفتار غیرخطی بتن بیان می شود. این مدل قابلیت استفاده در محاسبات استاتیکی و دینامیکی را داراست و شامل فرضیات زیر می باشد:

- قابلیت مدل سازی بتن در انواع مختلف سیستم های سازه ای مانند المان تیر، المان خرابایی، المان پوسته و المان سه بعدی
- قابلیت کاربرد در بتن مسلح و غیرمسلح
- قابلیت استفاده تحت بارگذاری های یکنواخت، نوسانی و دینامیکی
- در نظر گرفتن حساسیت نمونه به نرخ کرنش
- قابلیت استفاده از ویسکوالاستیسیته در معادلات اساسی برای رسیدن به همگرایی

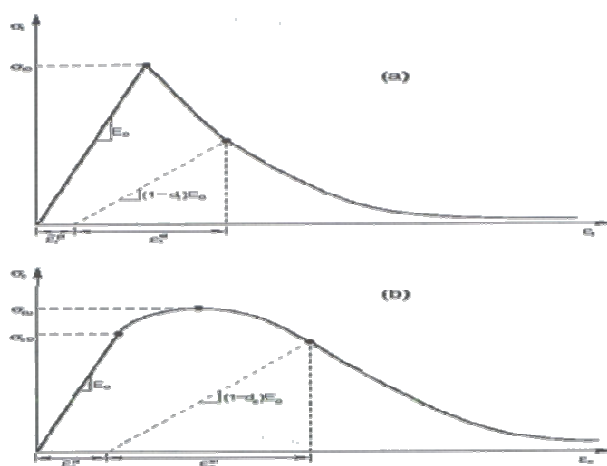
بهتر در بخش نرم شوندگی

در این مدل دو مکانیسم اصلی شکست عبارتند از:

۱. ترک‌های کششی

۲. خرد شدن فشاری بتن

کامل شدن سطح شکست، با استفاده از متغیرهای سخت شدگی ε_c^{pl} , ε_t^{pl} که به ترتیب مربوط به مکانیسم‌های شکست تحت بارگذاری‌های فشاری و کششی هستند، کنترل می‌شود. ε_c^{pl} , ε_t^{pl} در واقع کرنش‌های پلاستیک معادل هستند. در ذیل نمودارهای تنش کرنش بتن در کشش و فشار تک محوره آورده شده است. در اثر کشش تک محوره منحنی تنش - کرنش تا نقطه تنش خرابی σ_{t0} به صورت خطی تغییر می‌کند که این تنش با شروع و گسترش ترک‌های ریز در بتن همراه می‌باشد. پس از عبور از نقطه مذکور، خرابی‌ها به صورت ترک‌های قابل مشاهده در می‌آیند که به صورت منحنی نرم شونده‌گی در فضای تنش - کرنش نمایش داده می‌شود. تحت فشار تک محوره، پاسخ تا رسیدن به نقطه جاری شدگی σ_{t0} به صورت الاستیک خواهد بود و رفتار در ناحیه پلاستیک عموماً به صورت منحنی سخت شونده‌گی بیان می‌شود که در نهایت با رسیدن به نقطه تنش نهایی σ_{t0} منحنی‌ها به صورت منحنی نرم شونده در می‌آیند. این مدل معرفی شده با وجود سادگی نسبی، خصوصیات اصلی بتنی را ارضا می‌کند.



شکل ۳-۹- پاسخ بتن تحت بارگذاری تک محوره (a) در کشش، (b) در فشار

نمودارهای تنش - کرنش تحت بارگذاری تک محوری قابلیت تبدیل به منحنی‌های تنش

- کرنش پلاستیک را دارا هستند که این کار به صورت خودکار با استفاده از تنش‌های داده

شده و کرنش‌های غیرالاستیک که به وسیله کاربر به نرم افزار داده می‌شود، توسط ABAQUS

انجام گردد.

$$\sigma_t = \sigma_t(\varepsilon_t^{pl}, \dot{\varepsilon}_t^{pl}, \theta, f_i)$$

$$\sigma_c = \sigma_c(\varepsilon_c^{pl}, \dot{\varepsilon}_c^{pl}, \theta, f_i)$$

(۳-۵)

$\varepsilon_t^{pl}, \dot{\varepsilon}_t^{pl}$: کرنش‌های پلاستیک معادل در کشش و فشار

$\varepsilon_c^{pl}, \dot{\varepsilon}_c^{pl}$: نرخ کرنش‌های پلاستیک معادل در کشش و فشار

θ : دما

$f_i (i = 1, 2, 3, \dots)$: دیگر متغیرهای میدانی تعریف شده

همانطور که در شکل (۳-۹) دیده می‌شود، در اثر باربرداری از نمونه در قسمت نرم

شوندگی، شیب منحنی باربرداری کمتر از شیب منحنی الاستیک است که نشان دهنده آسیب

دیدگی نمونه می‌باشد.

$$d_t = d_t(\varepsilon_t^{pl}, \theta, f_i) \quad 0 \leq d_t \leq 1$$

$$d_c = d_c(\varepsilon_c^{pl}, \theta, f_i) \quad 0 \leq d_c \leq 1$$

(۳-۶)

کاهش سختی اولیه توسط دو متغیر d_t, d_c نشان داده شده و فرض بر این است که این دو

متغیر تابعی از کرنش پلاستیک، دما و دیگر متغیرهای میدانی می‌باشند.

۳-۴-۱-۱- کاهش سختی الاستیک در هنگام نرم شوندگی کرنش:

در منحنی‌های تنش کرنش تک محوره، آسیب بتن توسط دو متغیر (d_t, d_c) مشخص می‌شود. در نتیجه خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}\sigma_t &= (1 - d_t) E_0 (\varepsilon_t - \varepsilon_t^{pl}) \\ \sigma_c &= (1 - d_c) E_0 (\varepsilon_c - \varepsilon_c^{pl})\end{aligned}\quad (۷-۳)$$

تنش‌های پیوستگی کششی و فشاری مؤثر به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_t &= \frac{\sigma_t}{(1 - d_t)} = E_0 (\varepsilon_t - \varepsilon_t^{pl}) \\ \bar{\sigma}_c &= \frac{\sigma_c}{(1 - d_c)} = E_0 (\varepsilon_c - \varepsilon_c^{pl})\end{aligned}\quad (۸-۳)$$

تنش‌های پیوستگی مؤثر، اندازه (بزرگی) سطح شکست را مشخص می‌کنند.

۳-۴-۱-۲- رفتار تک محوری تناوبی

تحت اثر بارگذاری تک محوری تناوبی، مکانیسم کاهش سختی نسبتاً پیچیده می‌باشد. این مکانیسم شامل باز و بسته شدن میکروترک‌هایی که قبلاً شکل گرفته‌اند و همچنین اثرات متقابل آنها می‌باشد. در آزمایشگاه مشاهده گردیده که سختی الاستیک سازه همزمان با تغییر جهت بارگذاری دوره‌ای، کمی بهبود می‌یابد. پدیده بهبود سختی که به اثر یک جانبه (unilateral effect) نیز شناخته می‌شود، پارامتری مهم در رفتار بتن تحت بارگذاری تناوبی می‌باشد. این اثر بیشتر در هنگام تغییر بار از کشش به فشار که باعث بسته شدن ترک‌ها و در نتیجه بهبود سختی فشاری می‌شود، قابل توجه است. این مدل، کاهش سختی الاستیک را به وسیله یک متغیر اسکالر کاهش سختی به صورت زیر بیان می‌کند:

$$E = (1 - d) E_0 \quad (۹-۳)$$

E_0 : مدول اولیه (آسیب ندیده) بتن است.

این عبارت هم برای حالت کششی $\sigma_{11} > 0$ و هم حالت فشاری $\sigma_{11} < 0$ بکار می‌رود. پارامتر d هم تابعی از حالت تنش و هم d_c, d_t (متغیرهای آسیب ترک و محوری) می‌باش. در شرایط تک محوری تناوبی، نرم‌افزار رابطه زیر را در نظر می‌گیرد.

$$1 - d = (1 - s_t d_c)(1 - s_c d_t) \quad s_t \geq 0, s_c \leq 1 \quad (10-3)$$

S_c, S_t توابعی از حالت تنش هستند که برای مدلسازی اثرات بهبود سختی در هنگام تغییر جهت بارگذاری، به صورت زیر ارائه

شده‌اند:

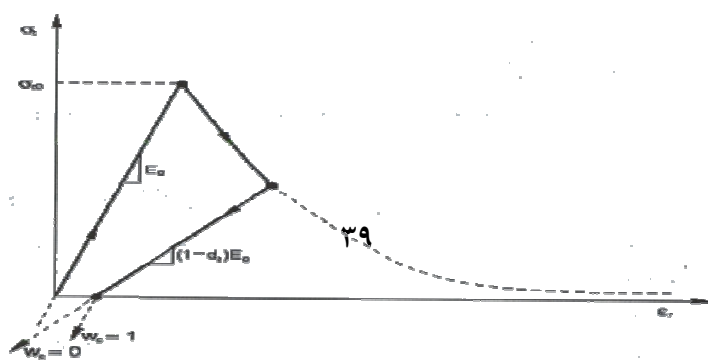
$$\begin{aligned} s_t &= 1 - w_t r^*(\bar{\sigma}_{11}) & 0 \leq w_t \leq 1 \\ s_c &= 1 - w_c (1 - r^*(\bar{\sigma}_{11})) & 0 \leq w_c \leq 1 \end{aligned} \quad (11-3)$$

$$r^*(\bar{\sigma}_{11}) = H(\bar{\sigma}_{11}) = \begin{cases} 1 & \text{if } \bar{\sigma}_{11} > 0 \\ 0 & \text{if } \bar{\sigma}_{11} < 0 \end{cases}$$

(12-3)

W_s, W_t از جمله خصوصیات ماده هستند که بهبود سختی کششی و فشاری را در هنگام تغییر جهت بارگذاری کنترل می‌شود. با فرض اینکه هیچ آسیب فشاری از قبل (خرد شدن بتن) در ماده وجود نداشته باشد خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c^{pl} &= 0, \quad d_c = 0 \\ (1 - d) &= (1 - s_c d_t) = (1 - (1 - w_c(1 - r^*))d_t) \end{aligned}$$



شکل ۳-۱۰- تاثیر پارامتر بازیابی سختی فشاری (W_c)

همانطور که در شکل بالا نشان داده شده است در حالی که $W_c = 1$ باشد آنگاه $d_t = 0$ و $E = E_0$ ، یعنی ماده کاملاً سختی فشاری را بازیابی می کند و اگر $W_c = 0$ ، آنگاه $d = d_t$ که هیچ گونه بازیابی سختی وجود نخواهد داشت.

۳-۴-۲- مسلح کردن بتن

در برنامه ABAQUS، مسلح کردن بتن به وسیله میلگردها صورت می پذیرد. میلگردها میله های یک بعدی هستند که به صورت تک یا لایه، در سطوح جهت دار قرار داده شده اند. میلگردها معمولاً به وسیله رفتار پلاستیک فلزی برای بیان رفتارشان مدل می شوند و با بر هم نهی در یک مش المان های استاندارد برای مدلسازی بتن بکار می روند. با این رویه رفتار بتن مستقل از رفتار میلگردها است. تأثیرات اندرکنش بتن - میلگرد، مانند لغزش پیوستگی و عملکرد طولی (action dowel)، به طور تقریبی با مدلسازی سخت شدن کششی (tension stiffening) در مدل بتن برای شبیه سازی انتقال بار در عرض ترکها به وسیله میلگرد صورت می پذیرد.

۳-۴-۳- سخت شدن کششی

رفتار پس از شکست در کرنش مستقیم، به وسیله سخت شدن کششی مدل می‌شود. این کار موجب تعریف رفتار تنش کرنش برای بتن ترک خورده خواهد شد. همچنین اثرات اندرکنش بتن به راحتی مدلسازی می‌شود. سخت شدن کششی در مدل پلاستیک آسیب دیده بتن مورد نیاز است که به وسیله رابطه تنش کرنش پس از شکست و یا معیار انرژی شکست مشخص می‌شود.

۳-۴-۴- رفتار تنش – کرنش پس از شکست

به طور کلی مشخص کردن رفتار پس از شکست در بتن و بیان تنش‌های بعد از شکست به صورت تابعی از کرنش ترک خورده ε_t^{ck} می‌باشد. کرنش ترک خورده (Cracking strain) به صورت کرنش کل منهای کرنش الاستیک بتن ترک نخورده تعریف می‌شود.

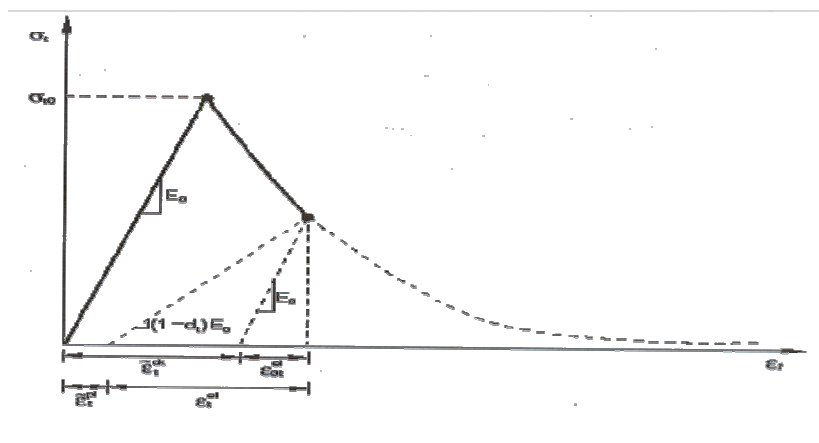
$$\varepsilon_t^{ck} = \varepsilon_t^{ck} - \varepsilon_{ot}^{el} \quad (۳-۱۳)$$

$$\varepsilon_{ot}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (۳-۱۴)$$

با داشتن اطلاعات مربوط به باربرداری، منحنی‌های آسیب کششی در ABAQUS به صورت $d_t - \varepsilon_t^{ck}$ قابل حصول است. این برنامه به طور خودکار، مقادیر کرنش ترک خورده را به مقادیر کرنش پلاستیک تبدیل می‌کند.

$$\varepsilon_t^{pl} = \varepsilon_t^{ck} - \frac{d_t}{(1 - d_t)} \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (۳-۱۵)$$

اگر مقادیر کرنش پلاستیک ε_t^{pt} منفی باشد یا با افزایش ε_t^{ck} ، کاهش یابد که نشان دهنده نادرست بودن منحنی‌های کششی است، برنامه ABAQUS پیغام خطا صادر می‌کند.



شکل ۳-۱۱- تعریف کرنش ترک خوردگی برای بیان سخت شدگی کششی

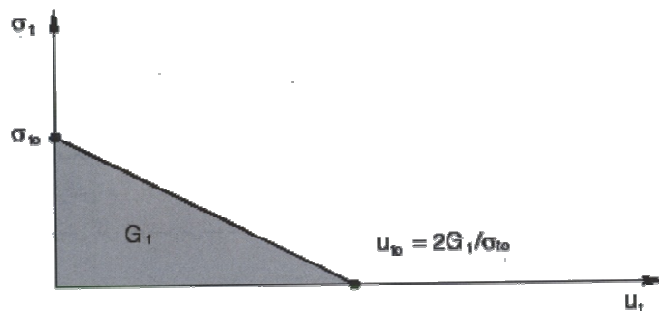
۳-۴-۵- معیار انرژی شکست ترک

زمانی که مدل بتن مسلح نشده است، روش Tension stiffening نتایج نامطلوبی در حساسیت مش بندی ایجاد می کند. به هر حال فرضیه انرژی شکست هیلربروگ (۱۹۷۶)، موجب کاهش نگرانی برای پروژه های عملی خواهد شد. وی با استفاده از مفاهیم شکست ترد، انرژی مورد نیاز برای تشکیل سطح واحد شکست G_f را به عنوان یک پارامتر ماده، تعریف کرد. در این روش رفتار ترد بتن بیشتر با پاسخ تنش - جابجایی (شکل ذیل) مشخص می شود تا پاسخ تنش - کرنش تحت اثر کشش، نمونه بتنی در بعضی مقاطع دچار ترک می شود. پس از آنکه ترک های نمونه در حین تنش، به جدا شدگی رسید، طول آن به طور عمده به وسیله عرض ترک ها مشخص می شود. عرض ترک ها به طول نمونه بستگی ندارد. مدل انرژی شکست ترک، با استفاده از بیان تنش های پس از شکست به عنوان تابعی از عرض ترک، قابل حصول است.



شکل ۳-۱۲- منحنی تنش - جابجایی پس از ترک خوردگی

از سوی دیگر، G_f را می‌توان به عنوان خصوصیتی از ماده فرض کرد؛ در نتیجه تنش شکست σ_{t0} ، به عنوان تابعی از آن به دست می‌آید و کاهش انرژی به صورت خطی فرض می‌شود.



شکل ۳-۱۳- منحنی تنش - انرژی شکست پس از ترک خوردگی

بیشترین عرض ترک در زمان زایل شدن انرژی به صورت $u_{t0} = \frac{2G_f}{\sigma_{t0}}$ مشخص می‌شود. مقادیر رایج G_f ، بین 40 N/m برای بتن معمولی با مقاومت فشاری در حدود 20 MPa تا 120 N/m برای بتن مقاومت بالا، مقاومت بیشتری در حدود 40 MPa متغیر است. با مشخص بودن پارامتر کششی d_t (Tensile damage)، نرم‌افزار به طور خودکار، با استفاده از رابطه خطی زیر مقایر جابجایی ترک را به مقادیر جابجایی پلاستیک تبدیل می‌کند.

$$u_t^{pl} = u_t^{ek} - \frac{d_t}{(1 - d_t)} \frac{\sigma_t l_0}{E_0} \quad (3-16)$$

به طوری که برای نمونه‌ای به طول واحد $l_0 = 1$ فرض می‌شود.

۳-۴-۶- نحوه کارکرد رابطه تنش - جابجایی در مدل اجزای محدود

بکارگیری مفهوم تنش - جابجایی در یک مدل المان محدود، نیازمند تعریف یک طول مشخصه به همراه نقطه انتگرال‌گیری است. طول مشخصه ترک به هندسه المان بستگی دارد.

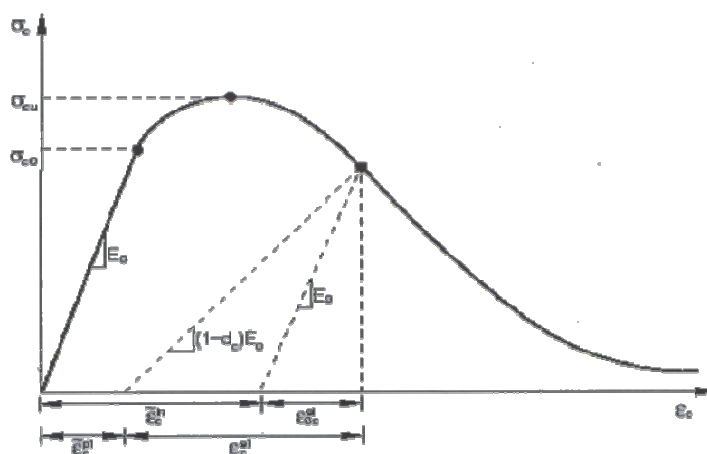
برای المان‌های تیر و خرپا از طول نقطه انتگرال‌گیری، برای المان‌های پوسته و سطح از ریشه دوم سطح نقطه انتگرال‌گیری و برای المان‌های solid ریشه سوم حجم نقطه انتگرال‌گیری بکار گرفته می‌شود. استفاده از این مشخصه به دلیل عدم اطلاع از جهت تشکیل ترک در ابتدا می‌باشد. بنابراین، المان‌های با نسبت طول به عرض زیاد، بسته به جهت ترک خوردگی، رفتار متفاوتی خواهند داشت. به علت همین اثر، حساسیت به مش‌بندی تا حدی باقی می‌ماند و المان‌های با نسبت طول به عرض واحد، پیشنهاد می‌شوند.

۳-۴-۷- تعریف رفتار فشاری بتن

رفتار تنش - کرنش بتن غیرمسلح را می‌توان در فشار تک محوری در محدوده غیر الاستیک بیان کرد. تنش‌های فشاری به صورت تابعی از کرنش‌های غیرالاستیک ε_c^{pl} ، به صورت کرنش غیرالاستیک ε_c^{in} داده می‌شوند. کرنش غیرالاستیک فشاری به صورت تفاضل کرنش الاستیک مربوط به بتن آسیب ندیده از کرنش کل تعریف می‌شود.

$$\varepsilon_c^{in} = \varepsilon_c - \varepsilon_{oc}^{el} \quad (۱۷-۳)$$

$$\varepsilon_{oc}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (۱۸-۳)$$



شکل ۳-۱۴- تعریف کرنش فشاری غیر الاستیک برای بیان سخت شدگی فشاری

اطلاعات مربوط به باربرداری در نرم افزار به صورت منحنی‌های آسیب فشاری $(\varepsilon_c^{in} - d_c)$ آورده شده است. این برنامه به صورت خودکار با استفاده از روابط زیر، مقایسه کرنش غیرالاستیک را به مقادیر کرنش پلاستیک تبدیل می‌کند.

$$\varepsilon_c^{pl} = \varepsilon_c^{in} - \frac{d_c}{(1-d_c)} \frac{\sigma_c}{E_0} \quad (19-3)$$

نرم افزار ABAQUS در صورت منفی بودن مقادیر کرنش پلاستیک و یا کاهش آن با افزایش کرنش غیرالاستیک، پیغام خطا خواهد داد که نشان دهنده نادرست بودن منحنی‌های آسیب فشاری می‌باشد. در صورت عدم آسیب فشاری رابطه $\varepsilon_c^{pl} = \varepsilon_c^{in}$ برقرار خواهد بود.

۳-۴-۸- تعریف آسیب و بازیابی سختی

d_c , d_t به صورت جدولی قابل بیان هستند. اگر هیچ آسیبی رخ نداده باشد، مدل به صورت یک مدل پلاستیک رفتار خواهد کرد. در نتیجه خواهیم داشت:

$$\varepsilon_c^{in} = \varepsilon_c^{pl} \quad (20-3)$$

$$\varepsilon_t^{ck} = \varepsilon_c^{pl} \quad (21-3)$$

در برنامه ABAQUS، متغیرهای آسیب به صورت کمیاب نقطه مادی، غیر نزولی تلقی می‌شوند. در طول تحلیل در هر نمونه، مقدار جدید هریک از متغیرهای آسیب به صورت ماکزیمم مقدار گام قبلی و مقدار مربوط به گام فعلی انتخاب می‌شود (به صورت درونیابی از مقادیر مشخص شده توسط کاربر) که در ذیل آورده شده است:

$$\begin{aligned} d_t|_{t+\Delta t} &= \max\{d_t|_t, d_t(\varepsilon_t^{pl}|_{t+\Delta t}, \theta|_{t+\Delta t}, f_t|_{t+\Delta t})\} \\ d_c|_{t+\Delta t} &= \max\{d_c|_t, d_c(\varepsilon_c^{pl}|_{t+\Delta t}, \theta|_{t+\Delta t}, f_t|_{t+\Delta t})\} \end{aligned} \quad (22-3)$$

انتخاب مشخصات آسیب از آن جهت حائز اهمیت است که به طور کل، مقادیر آسیب بیش از حد، اثر نامطلوبی در نرخ همگرایی خواهد داشت. باید از استفاده از مقادیر بیش از ۰/۹۹ برای متغیرهای آسیب که منجر به ۹۹٪ کاهش در سختی می‌شود، اجتناب نمود.

۳-۴-۸-۱- آسیب کششی

متغیر آسیب کششی تک محوری d_t ، هم به صورت تابعی از کرنش ترک خوردگی و هم به صورت تابعی از جابجایی ترک قابل بیان می‌باشد.

۳-۴-۸-۲- آسیب فشاری

متغیر آسیب فشاری تک محوره d_c ، به صورت تابعی از کرنش غیرالاستیک قابل تعریف می‌باشد.

۳-۴-۸-۳- بازیابی سختی

بازیابی سختی، مبحث مهمی در پاسخ مکانیکی بتن در بارگذاری تناوبی می‌باشد. در برنامه ABAQUS، کاربر به طور مستقیم می‌تواند فاکتورهای بازیابی سختی W_t ، W_c را معرفی کند. نتایج آزمایشگاهی در اکثر مواد شبه ترد مانند بتن، حاکی از بهبود سختی فشاری در اثر بسته شدن ترک در حین تغییر بارگذاری از کشش به فشار است. از طرف دیگر سختی کششی با تغییر بارگذاری از فشار به کشش پس از تشکیل میکرو ترک‌های در حالت خرد شوندگی بتن، بازیابی نمی‌شود. این رفتار که مربوط به حالت $W_t = 0$ و $W_c = 0$ است، پیش فرض برنامه ABAQUS می‌باشد.

میزان حساسیت مواد شبه ترد به طور عمده مربوط به اثرات تأخیری رخ کرنش‌های بالا در رشد میکرو ترک‌ها می‌باشد. این اثر معمولاً در بارگذاری کشتی قابل توجه است. همزمان با افزایش نرخ کرنش، حالت غیرخطی منحنی‌های تنش - کرنش کاهش یافته و مقاومت نهایی



۴-۱- طراحی برای خمش

در مقاطع تحت اثر خمش یا نیروی محوری و یا اثر توام آنها، کنترل حالت حدی نهایی مقاومت براساس روابط زیر صورت میگیرد:

$$M_u \leq M_r \quad \text{تحت اثر خمش خالص}$$

$$N_u \leq M_r \quad \text{تحت اثر نیروی محوری خالص}$$

۴-۱-۱- فرضیات طراحی مقطع

در هر مقطع توزیع تغییر شکل های نسبی فولاد و بتن در ارتفاع مقطع، خطی در نظر گرفته می شود. این فرض در مقاطع خمشی با ارتفاع زیاد که شامل تیرهای با نسبت ارتفاع مقطع به دهانه آزاد بزرگتر از $1/4$ می باشد، مورد قبول نیست. در این گونه مقاطع توزیع تغییر شکل های مذکور غیرخطی منظور می گردد

حداکثر تغییر شکل نسبی بتن در دورترین تار فشاری مقدار 0.0035 در نظر گرفته می شود.

تنش فولاد برای تغییر شکل های نسبی کوچکتر از مقدار نظیر جاری شدن $\varepsilon_y = \frac{F_y}{E_s}$ باید برابر با $\phi_s E_s \varepsilon_s$ و برای تغییر شکل های نسبی بزرگتر از مقدار نظیر جاری شدن باید مستقل از تغییر شکل نسبی و برابر با $\phi_s F_y$ در نظر گرفته شود.

در طراحی مقاطع اعضای تحت خمش و یا نیروی محوری کششی، از مقاومت کششی بتن صرف نظر می شود.

نمودار تنش فشاری بتن برحسب تغییر شکل نسبی نظیر آن را می توان به هر شکل که پیش بینی مقاومت براساس آن با نتایج آزمایشهای جامع تطابق قابل قبولی داشته باشد، در نظر گرفت.

۴-۱-۲- ضوابط کلی طراحی

مقطع متعادل مقطعی است که در حالت حدی نهایی مقاومت، تغییر شکل نسبی آرماتور کششی در آستانه رسیدن به تغییر شکل نسبی جاری شدن قرار گرفته و همزمان، تغییر شکل نسبی بتن فشاری به مقدار نهایی 0.0035 برسد.

در قطعات تحت خمش برای تامین مقاومت می توان از آرماتور فشاری همراه با آرماتور کششی استفاده نمود

۴-۲- محدودیت های آرماتور در قطعات خمشی

۴-۲-۱- حداکثر مقدار آرماتور کششی

در قطعات میله ای تحت خمش و یا تحت خمش و نیروی محوری فشاری توام که در آنها نیروی محرکه کمتر از هر دو مقدار $0.15\phi_c f_c A_g$ و N_{rb} است . مقدار A_s باید به گونه ای باشد که روابط زیر برقرار باشد.

$$\frac{x}{d} \leq \frac{700}{700 + f_y} \quad (1-4)$$

$$\rho \leq 0.0025 \quad (2-4)$$

۴-۲-۲- حد اقل مقدار آرماتور کششی

در هر مقطع از قطعات میله ای تحت خمش حد اقل آرماتور به کار رفته از بزرگترین مقدار بدست آمده از دو رابطه زیر تعیین میگردد:

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} \quad (۴-۳)$$

۴-۳- ضوابط تیرهای T شکل و تیرچه‌های بتنی

۴-۳-۱- تیرهای T شکل

در ساخت تیرهای T شکل، جان و بال باید به صورت یکپارچه ساخته شوند، در غیر اینصورت پیوستگی بین جان و بال باید به نحوی مناسب تامین شود.

عرضی از دال که به طور موثر به عنوان بال تیر عمل می کند نباید بیشتر از یک چهارم طول دهانه آزاد تیر، برای تیرهای یکسره، و بیشتر از دو پنجم طول دهانه آزاد تیر، برای تیرهای ساده، اختیار شود عرض موثر بال تیر میانی در هر طرف جان تیر نیز نباید بیشتر از دو مقدار زیر اختیار گردد:

الف - هشت برابر ضخامت دال

ب - نصف فاصله آزاد تا جان تیرهای مجاور

عرض موثر بال تیر کناری، در تیرهایی که دال فقط در یک طرف جان آنها قرار دارد، نباید بیشتر از سه مقدار زیر اختیار شود:

الف - یک دوازدهم طول دهانه آزاد تیر

ب - شش برابر ضخامت دال

پ - نصف فاصله آزاد تا جان تیر مجاور

در تیرهای T شکل مجزا که از بال آنها برای تامین سطح فشاری اضافی استفاده می شود، ضخامت بال نباید کمتر از نصف عرض جان تیر باشد. در این تیرها عرض موثر بال نباید بیشتر از چهار برابر عرض جان تیر اختیار شود.

۴-۳-۲- ضوابط مربوط به سیستم تیرچه های بتنی

سیستم تیرچه های بتنی، مرکب از تیرچه های با فواصل تقریباً مساوی در یک امتداد و یا دو امتداد عمود بر هم و یک دال فوقانی، که در آنها محدودیت های زیر رعایت شده باشند، می توانند به صورت مجموعه طبق ضوابط دا لها طراحی شوند:

الف - عرض تیرچه نباید کمتر از ۱۰۰ میلیمتر و ارتفاع کل آنها نباید بیشتر از سه و نیم برابر حداقل عرض آنها باشد.

ب - فاصله آزاد بین تیرچه ها نباید بیشتر از ۷۵۰ میلیمتر باشد.

در سیستم هایی که از اجزای پرکننده دائمی، بلوکهای سفالی و یا بلوکهای بتنی، در فواصل بین تیرچه ها استفاده می شود و مقاومت فشاری مصالح این اجزا حداقل برابر با مقاومت مشخصه بتن تیرچه ها است، می توان از مقاومت جدارهایی از این اجزا که در تماس با تیرچه ها هستند در محاسبه مقاومت برشی و مقاومت خمشی منفی تیرچه ها استفاده کرد. از مقاومت سایر قسمت های اجزای پرکننده در مقاومت سیستم صرفنظر میشود. در این سیستمها محدودیت های زیر باید رعایت شوند:

الف- ضخامت دال روی اجزای پرکننده نباید از یک دوازدهم فاصله آزاد بین تیرچه ها و نه از ۴۰ میلیمتر کمتر اختیار شود.

ب- در سیستم تیرچه های یکطرفه باید در دال فوقانی میلگردهایی عمود بر امتداد تیرچه ها و در سیستم تیرچه های دوطرفه باید در دال فوقانی میلگردهایی در دو امتداد عمود بر هم پیش بینی کرد.

به جز در مواردی که محاسبات پایداری سازه شامل آثار پیچشی انجامی می شود، فاصله تکیه گاه های جانبی تیرها باید براساس شرایط زیر به گونه ای در نظر گرفته شوند که از کماتش جانبی آنها جلوگیری نمایند.

برای تیرها، فاصله تکیه گاه های جانبی نباید از ۵۰ برابر عرض وجه فشاری تیر بیشتر باشد.

در مقاطع تحت اثر برش، کنترل حالت حدی نهایی مقاومت باید براساس رابطه زیر صورت گیرد:

$$V_u \leq V_r \quad (4-4)$$

در این رابطه V_u نیروی برشی نهایی در مقطع موردنظر است که از تحلیل سازه تحت اثر بار نهایی به دست می آید و V_r نیروی برشی مقاوم مقطع است
نیروی برشی مقاوم مقطع از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$V_r = V_c + V_s \quad (5-4)$$

در این رابطه V_c نیروی برشی تامین شده توسط بتن و V_s نیروی برشی تامین شده توسط آرماتورهای برشی است. این نیروها به نیروی برشی مقاوم نهایی بتن و نیروی برشی مقاوم نهایی آرماتورهای برشی معرفی می‌گردد

۴-۴- نیروی برشی تامین شده توسط بتن

برای اعضای که تحت اثر برش و خمش قرار دارند:

$$V_c = v_c b_w d \quad (۴-۶)$$

در این رابطه V_c مقاومت برشی بتن است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$v_c = 0.2 \phi_c \sqrt{f_c} \quad (۴-۷)$$

برای اعضای که تحت اثر برش و خمش و فشار محوری قرار دارند:

$$V_c = v_c \left(1 + \frac{N_u}{12A_g} \right) b_w d \quad (۴-۸)$$

برای اعضای که تحت اثر همزمان برش و خمش قرار دارند:

$$V_c = \left(0.95v_c + 12\rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \quad (۴-۹)$$

مقدار V_c در هر حال نباید بزرگتر از $1.75v_c b_w d$ در نظر گرفته شود.

در محاسبه V_c کمیت $\frac{V_u d}{M_u}$ نباید بزرگتر از واحد اختیار شود. لنگر خمشی نهایی لنگری

است که همزمان با نیروی برشی نهایی بر مقطع مورد نظر اثر میکند.

برای اعضای که تحت اثر همزمان برش و خمش و فشار محوری قرار دارند:

$$V_c = 1.7v_c \sqrt{1 + \frac{N_U}{3A_g} b_w d} \quad (10-4)$$

۴-۵- نیروی برشی تامین شده توسط آرماتورها

آرماتورهای برشی می توانند شامل انواع زیر باشد:

الف : خاموت های عمود بر محور عضو

ب : خاموت هایی با زاویه ۴۵ درجه یا بیشتر نسبت به میلگردهای کششی طولی به نحوی که ترک های قطری احتمالی را قطع کنند.

پ : میلگردهای طولی خم شده به قطر حداکثر ۳۶ میلیمتر، تحت زاویه ۳۰ درجه یا بیشتر نسبت به میلگردها

ی : کششی طولی به نحوی که تر کهای قطری احتمالی را قطع کنند.

ت : ترکیبی از خاموت ها و میلگردهای طولی خم شده با شرایط مذکور در بندهای الف، ب و پ.

ث : آرماتورهای طولی توزیع شده در ارتفاع تیرهای عمیق.

ج : مار پیچها

نیروهای برشی مقاوم نهایی آرماتورها V_s از روابط زیر بدست می آید:

وقتی که از آرماتور برشی عمود بر محور عضو استفاده میشود:

$$V_s = \phi_s A_{sv} f_{yv} \frac{d}{s} \quad (11-4)$$

در این رابطه A_{sv} سطح مقطع آرماتور برشی به کار برده شده در طول فاصله s است.

وقتی که از خامو ته‌های مایل به عنوان آرماتورهای برشی استفاده میشود:

$$V_s = \phi_s A_{sv} f_{yv} (\sin \alpha + \cos \alpha) \frac{d}{s} \quad (12-4)$$

وقتی که آرماتور برشی شامل یک میلگرد منفرد یا یک ردیف میلگردهای متوازی باشد

که همگی در فاصله‌های یکسان از تکیه گاه خم شده باشند:

$$V_s = \phi_s A_{sv} f_{yv} \sin \alpha \quad (13-4)$$

مقدار V_s در این حالت نباید بیشتر از $1.5v_c b_w d$ در نظر گرفته شود

اساس کار
نرم افزار اجزاء
ABAQUS محدود

۵-۱- مقدمه

ABAQUS مجموعه ای از برنامه های شبیه سازی قدرتمند مهندسی است که بر پایه روش اجزای محدود بنا نهاده شده است و می تواند مسایلی با طیف گسترده از یک تحلیل خطی نسبتاً ساده تا تحلیل های غیر خطی بسیار پیچیده را حل کند. ABAQUS شامل کتابخانه گسترده ای از المانهاست که می تواند هر نوع هندسه ای را به صورت مجازی مدلسازی کند. همچنین این برنامه شامل لیست گسترده ای از مدل های رفتار ماده است که می تواند رفتار اغلب مصالح مهندسی مانند فلزات، لاستیک، پلیمرها، کامپوزیتها، بتن مسلح، فومهای شکننده و حتی مصالح ژئوتکنیکی مثل خاک و سنگ را نیز شبیه سازی کند. از آنجایی که ABAQUS به گونه ای طراحی شده که یک وسیله شبیه سازی عمومی با قابلیت های فراگیر باشد از ABAQUS می توان برای حل مسایلی که خارج از حیطه مسایل مهندسی (تنش-کرنش) است نیز استفاده نمود. این نرم افزار می تواند شبیه سازی مسایلی با تنوع فراوان همانند انتقال حرارت، انتشار جرم، مدیریت حرارت اجزای الکتریکی، مسایل مربوط به صوت، مکانیک خاک و تحلیل های پیزوالکتریک را انجام داد [۱۲].

ABAQUS قابلیت های گسترده ای را برای شبیه سازی در کاربردهای خطی و غیر خطی فراهم می کند. مسایلی که دارای اجزای متعدد و مصالح مختلف هستند را می توان با تعریف هندسه هر جز و اختصاص دادن مصالح تشکیل دهنده آن و سپس تعریف اندر کنش بین این اجزا شبیه سازی کرد. در تحلیل های غیر خطی ABAQUS به صورت خودکار نمو بار و رواداری همگرایی مناسب را انتخاب و به طور پیوسته در طول تحلیل این پارامترها را تنظیم می کند تا از بدست آمدن نتایج دقیق اطمینان حاصل شود.

۵-۲ مبانی برنامه ABAQUS

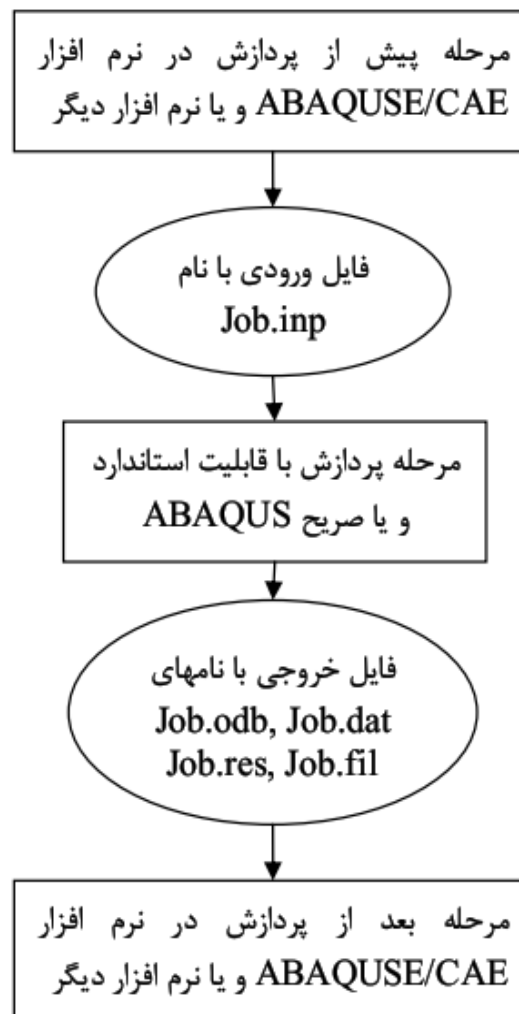
یک تحلیل کامل در برنامه ABAQUS معمولاً از سه مرحله تشکیل شده است:

(۱) مرحله پیش از پردازش

(۲) مرحله پردازش

(۳) مرحله بعد از پردازش

این سه مرحله مطابق شکل زیر به وسیله تعدادی فایل با یکدیگر ارتباط دارند.



شکل ۵-۱- الگوریتم عملکرد نرم افزار اجزای محدود ABAQUS

۵-۲-۱ پیش پردازش (ABAQUS-CAE)

در این مرحله باید مدل مسأله را ساخته و یک فایل ورودی ABAQUS ایجاد شود. مدل را می توان به صورت گرافیکی با استفاده از ABAQUS-CAE و یا سایر پیش پردازنده ها ایجاد کرد و یا می توان فایل ورودی ABAQUS را با استفاده از یک ویرایشگر متن مثل Notepad ساخت.

۵-۲-۲ پردازش (استاندارد و یا صریح ABAQUS)

پردازش که معمولاً "به صورت یک پروسه در پس زمینه اجرا می شود، مرحله ای است که در آن ABAQUS استاندارد و یا صریح مسأله عددی را که در مدل تعریف شده حل می کند. مثالهایی از خروجی تحلیل تنش عبارت است از تغییرمکانها و تنش هایی که در فایل های باینری ذخیره می شود و برای مرحله پس از پردازش مورد استفاده قرار می گیرد. بسته به پیچیدگی مسأله ای که باید تحلیل شود و قدرت کامپیوتری که تحلیل را انجام می دهد، زمان تحلیل می تواند چند ثانیه تا چند روز طول بکشد.

۵-۲-۳ مرحله بعد از پردازش (ABAQUS-CAE)

ارزیابی نتایج را می توان بعد از اتمام مرحله پردازش یعنی وقتی که تنش ها، تغییر مکانها و سایر متغیر های اساسی محاسبه شده اند انجام داد. ارزیابی معمولاً با استفاده از ماژول گرافیک ساز یا سایر پس پردازنده ها انجام می شود. ماژول گرافیک ساز داده های فایل خروجی باینری را می - خواند و گزینه های متفاوتی مانند کانتورهای رنگی، انیمیشن، فرم تغییر شکل یافته و یا نمایش داده - ها به صورت نمودار X-Y برای نمایش نتایج دارد.

۵-۲-۴ اجزای یک مدل تحلیلی (ABAQUS-CAE)

مدل ABAQUS از اجزای مختلف متعددی تشکیل شده است و این اجزاء در کنار یکدیگر مسئله فیزیکی را که باید تحلیل شود، شکل می دهند. در ساده ترین حالت مدل تحلیلی شامل اطلاعات: هندسه مجزا، خصوصیات سطح مقطع المانها، داده های مصالح، بارها و شرایط تکیه - گاهی نوع تحلیل و داده های خروجی مورد نیاز است.

نرم افزار ABAQUS-CAE به چندین ماژول تقسیم شده است و هر ماژول بخشی از پروسه مدل سازی را بر عهده دارد. برای مثال ماژول هایی برای تعریف هندسه مدل، خصوصیات مصالح و تولید مش بندی اختصاص داده شده است. با انتقال از یک ماژول به ماژول دیگر و انجام عملیات مدل سازی مرتبط با آن ماژول و تکرار این کار تا آخرین ماژول، مدل اجزای محدود ساخته خواهد شد. وقتی که ساختن مدل به اتمام رسید، نرم افزار ABAQUS-CAE یک فایل ورودی می سازد و مدل ساخته شده را به بخش پردازشگر نرم افزار تحویل می دهد.

پردازنده های ABAQUS استاندارد و ABAQUS صریح فایل ورودی را خوانده و تحلیل را انجام می دهد تا کاربر در جریان روند تحلیل قرار گیرد. سپس پایگاه داده اطلاعات خروجی

ساخته می شود. در نهایت از ماژول Visualization برای خواندن از پایگاه داده اطلاعات خروجی و نمایش آنها استفاده می شود.

۵-۲-۴-۱- هندسه مجزا

المانهای محدود و گره ها، زیر بنای هندسه سازه ای را که قرار است تحلیل شود، می سازد. هر المان در مدل بیانگر بخش مجزایی از سازه است. المان ها توسط گره های مشترک به یکدیگر متصل می شوند. مختصات گره ها و نحوه اتصال المان ها (که نشان می دهد کدام گره به کدام المان تعلق دارد) هندسه مدل را تشکیل می دهد. تمامی المانها و گره ها در یک مدل از مش بندی اعضا در آن مدل به وجود می-آیند. معمولاً "مش بندی تنها تقریبی از شکل واقعی سازه را به وجود می آورد.

نوع المان، شکل، موقعیت و تعداد المانهای استفاده شده در مش بندی جوابهای حاصل از تحلیل را تحت تأثیر قرار می دهد. هر چه مش بندی ریزتر باشد (یعنی تعداد المان بیشتر در اثر مش بند-ی) نتایج حاصل از تحلیل دقیق تر خواهند بود. وقتی که مش بندی ریزتر شود، نتایج تحلیل به سمت یک جواب واحد میل می کند و زمان مورد نیاز برای تحلیل نیز افزایش پیدا می کند. جوابی که از مدل عددی به دست می آید، معمولاً "پاسخ تقریبی از حل مسئله ای است که شبیه سازی شده است. وسعت تقریبها بستگی به هندسه مدل، رفتار مصالح، شرایط مرزی و بارگذاری دارد و این پارامترها میزان دقت جوابهای عددی را در مقایسه با جوابهای واقعی تعیین می کند.

۵-۲-۴-۲- خصوصیات سطح مقطع المانها

نرم افزار ABAQUS شامل طیف وسیعی از المانها است. بسیاری از این المانها هندسه ای دارند که کاملاً از روی مختصات گره های آنها تعیین نمی شود. برای مثال لایه های یک پوسته

مرکب (کامپوزیت) یا ابعاد یک مقطع I شکل از روی گره های المانها تعریف نمی شود. این داده های هندسی اضافی به عنوان خصوصیات سطح مقطع المانها تعریف می شود و برای ساخت مدل هندسی کامل مسئله مورد نیاز است.

۵-۲-۴-۳- داده های مصالح

یکی از مواردی که باید برای المانهای تعریف شده مشخص گردد، ویژگی های مصالح آنها می باشد. از آنجا که تهیه داده های دقیق مصالح، به ویژه در مورد مدلهایی که در آنها از مصالحی با رفتار پیچیده استفاده شده، سخت است، اعتبار نتایج ABAQUS به دقت و در دسترس بودن داده های مصالح وابسته است.

۵-۲-۴-۴- بارها و شرایط تکیه گاهی

بارها سازه را دچار تغییر شکل می کنند و بنابراین باعث ایجاد تنش در سازه می شوند. معمول ترین انواع بارگذاری عبارتند از:

- بارهای متمرکز
- بارهای فشاری وارد بر سطوح
- بارهای کششی و انقباضی گسترده بر روی سطوح
- بارها و لنگرهای خطی بر لبه های پوسته ها
- نیروهای حجمی مانند نیروی جاذبه
- بارهای حرارتی

شرایط مرزی برای ایجاد قیود در بخشهایی از مدل به کار گرفته می شوند تا مدل ثابت باقی مانده یا به مقدار از پیش تعیین شده ای حرکت کنند.

در تحلیل های استاتیکی شرایط مرزی کافی باید فراهم شود تا از حرکت مدل به صورت جسم صلب جلوگیری شود. در غیر این صورت حرکت جسم صلب مقید نشده باعث معکوس ناپذیری ماتریس سختی می گردد و این امر سبب می شود که تحلیل سازه قبل از اتمام قطع شود. نرم افزار ABAQUS استاندارد در صورتی که در حین شبیه سازی به مشکلی در تحلیل برخورد کند، پیغام خطاری (Warning) صادر می کند. در این مواقع لازم است پیغامهای خطار تجزیه و تحلیل شود. در صورتی که حین تحلیل استاتیکی خطار معکوس ناپذیر شدن ماتریس سختی را مشاهده کند، باید بررسی شود که آیا سازه یا قسمتی از آن دچار حرکت جسم صلب در اثر کمبود قیود تکیه گاهی شدع است یا خیر. حرکت به صورت جسم صلب می تواند هم به صورت انتقالی و هم به صورت دورانی باشد.

در تحلیل دینامیکی نیروهای اینرسی تا وقتی که تمامی اعضای مجزای مدل دارای جرم باشند، از ایجاد حرکت حرکت نامحدود ناگهانی جلوگیری می کند. لذا خطارهای حل در یک تحلیل دینامیکی معمولاً "بیانگر وجود سایر مشکلات در مدل مانند پلاستیک شدن بیش از حد هستند.

۵-۲-۴-۵- نوع تحلیل

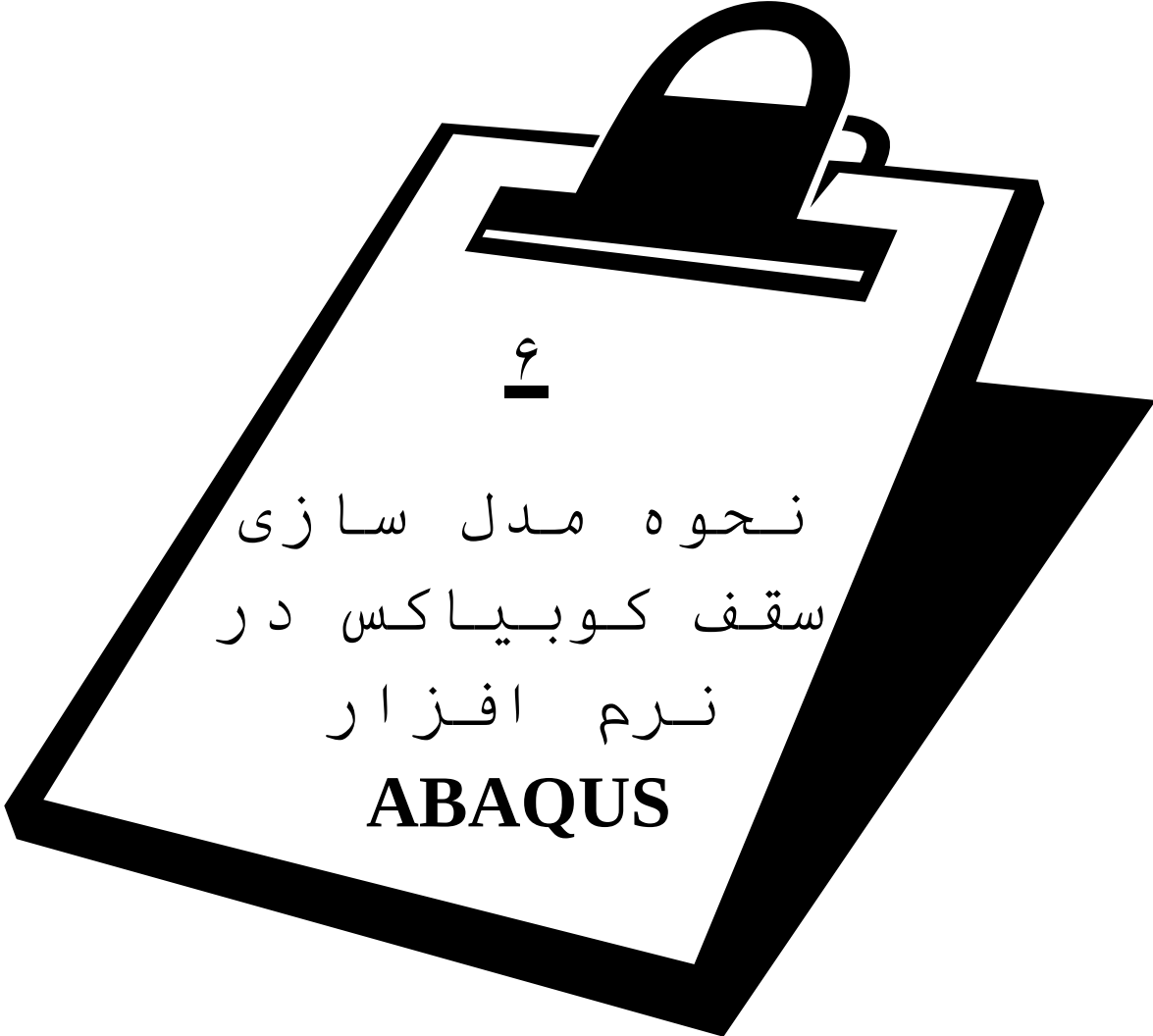
نرم افزار ABAQUS می تواند انواع گوناگون و متنوعی از شبیه سازی ها را انجام دهد که در اینجا به دو نوع تحلیل استاتیکی و دینامیکی اشاره می شود.

در یک تحلیل استاتیکی پاسخ بلند مدت سازه به بارهای اعمالی بدست می آید. در سایر مواقع پاسخ دینامیکی سازه به بارها مورد نظر است. برای مثال بارگذاری ناگهانی بر روی یکی از اجزا که در هنگام وارد شدن ضربه به وجود می آید و یا پاسخ سازه به یک زلزله.

۵-۲-۴-۶- داده های خروجی

با انجام تحلیل در نرم افزار ABAQUS حجم گسترده ای از اطلاعات خروجی تولید خواهد شد. برای جلوگیری از اشغال شدن فضای سخت افزار، کاربر می تواند تنها اطلاعات مورد نیاز خود را قبل از انجام تحلیل در خواست کند.

پردازشگری مانند ABAQUS-CAE برای تعریف اجزای لازم مدل به کار برده می شوند.



۶

نحوه مدل سازی
سقف کوبیاکس در
نرم افزار
ABAQUS

۶-۱- مقدمه

در این فصل نحوه مدل سازی نمونه های مورد بررسی سقف کوبیاکس را در نرم افزار اجزای محدود آباکوس به صورت گام به گام تشریح کرده و به این ترتیب ویژگی های اختصاص یافته به مصالح مورد استفاده و نوع تحلیل به کار گرفته شده، ارائه شده است.

کلیه نمونه ها در این تحقیق شامل دال های بتن آرمه مربعی با ابعاد چهارگانه 3×3 ، 4×4 ، 5×5 و 6×6 متر مربع می باشد. پارامترهای در نظر گرفته شده برای دستیابی به ابعاد بهینه گوی های پلاستیکی برای هر یک از این چهار اندازه مختلف ابعاد دال های بتنی اعمال شده و نتایج به دست آمده برای تمامی نمونه ها ارزیابی شده است. لازم به یادآوری است که با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای لحاظ شده در مجموع ۶۰ نمونه مختلف را در نرم افزار آباکوس مدل کرده ایم که ارزیابی و تحلیل نتایج آنها را در فصل بعد ارائه خواهیم کرد.

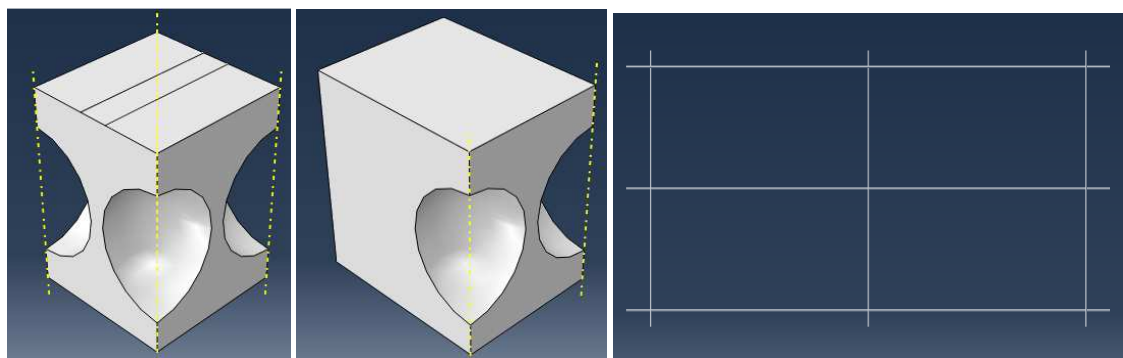
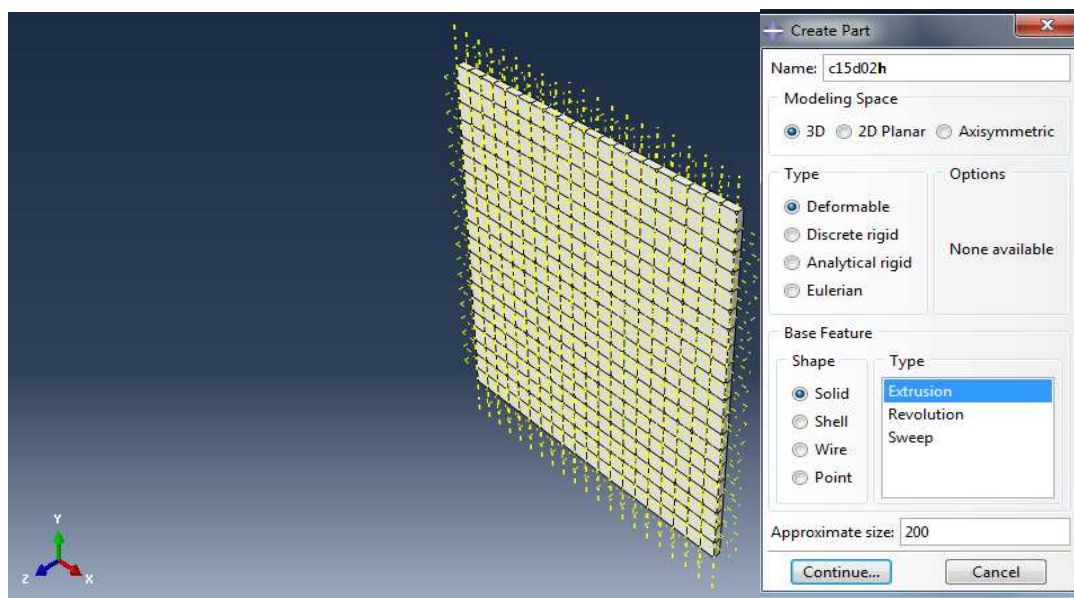
۶-۲- مدل سازی و تحلیل اجزاء محدود

تحلیل ها با استفاده از نرم افزار اجزای محدود ABAQUS انجام گرفت. این نرم افزار قادر به در نظر گرفتن تغییر شکل های بزرگ غیر خطی به همراه غیر خطی هندسی و مصالح در حالت تحلیل سه بعدی است. خواص در نظر گرفته شده برای بتن در این تحلیل ها مشابه همان چیزی است که در فصل قبل توضیح داده شده و برای آرماتورهای موجود در مدل ها نیز خاصیت رفتار الاستیک و پلاستیک لحاظ شده است.

۶-۳- مراحل انجام مدل سازی در نرم افزار ABAQUS

۶-۳-۱- مرحله اول: ماژول Part

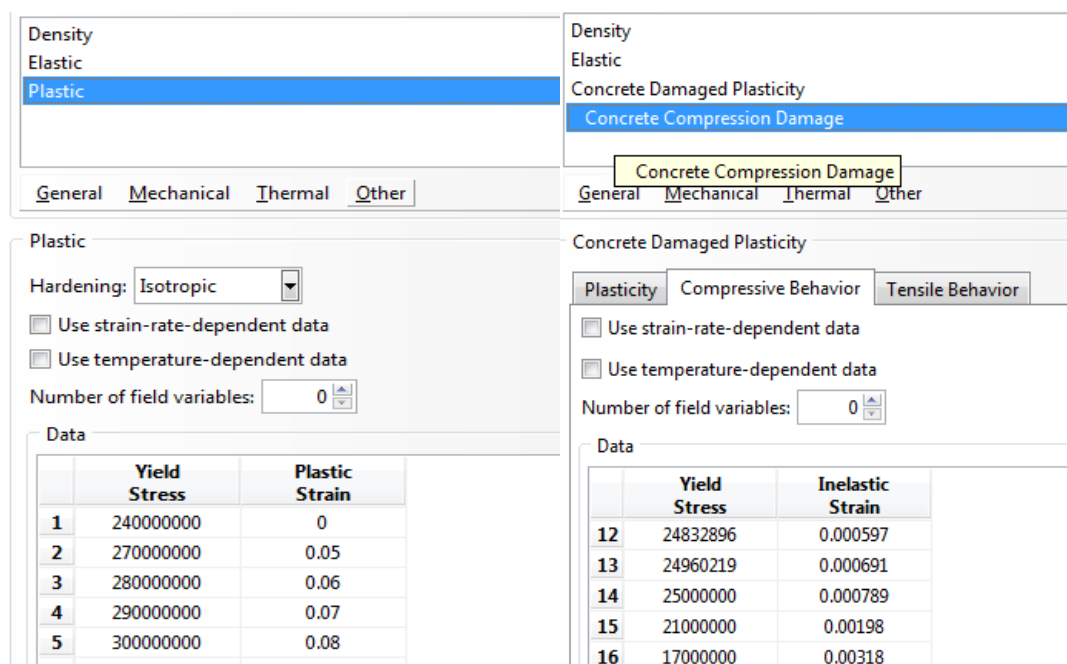
این مرحله که اولین گام در استفاده از نرم افزار ABAQUS می باشد جهت ترسیم بخش های مختلف مدل به کار گرفته می شود. شکل زیر نحوه تعریف عضو و شیوه ترسیم آن را نشان می دهد.



شکل ۶-۱- استفاده از دستور part جهت تعریف اجزای مدل

۶-۳-۲- مرحله دوم : ماژول Property

این دستور برای تعریف مشخصات مصالح مورد استفاده در اعضای مختلف مدل به کار گرفته می‌شود. همانگونه که در ابتدای فصل گفته شد این نرم‌افزار قادر است علاوه بر رفتار خطی رفتار غیر خطی مصالح را نیز در نظر گرفته و آن را مدل سازی کند.



شکل ۶-۲- نحوه تعریف خصوصیات مصالح مورد استفاده

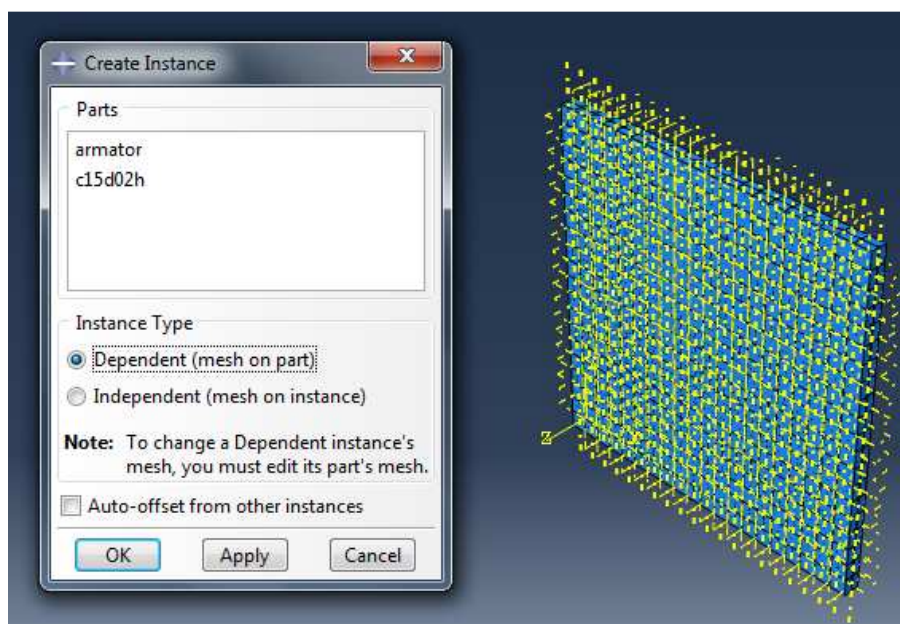
در اشکال بالا شکل سمت چپ نحوه تعریف مشخصات فولاد در این مدل‌سازی را نشان می‌دهد که برای تعریف میلگرد موجود در داخل دال مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانگونه که ملاحظه می‌شود برای فولاد موجود در مدل‌ها سه خاصیت چگالی جهت محاسبه تاثیر وزن آن در بار مرده سقف، رفتار الاستیک و همچنین رفتار پلاستیک در نظر گرفته شده است.

در شکل سمت راست نیز خصوصیات مصالح بتنی موجود در نمونه‌ها آورده شده است. ویژگی‌های اختصاص داده شده شامل چگالی بتن موجود در نمونه‌ها، رفتار الاستیک بتن،

رفتار پلاستیک بتن و رفتار بتن در هنگام خرابی تحت اثر فشار موجود ناشی از خمش می‌باشد.

۳-۳-۶- مرحله سوم : ماژول Assembly

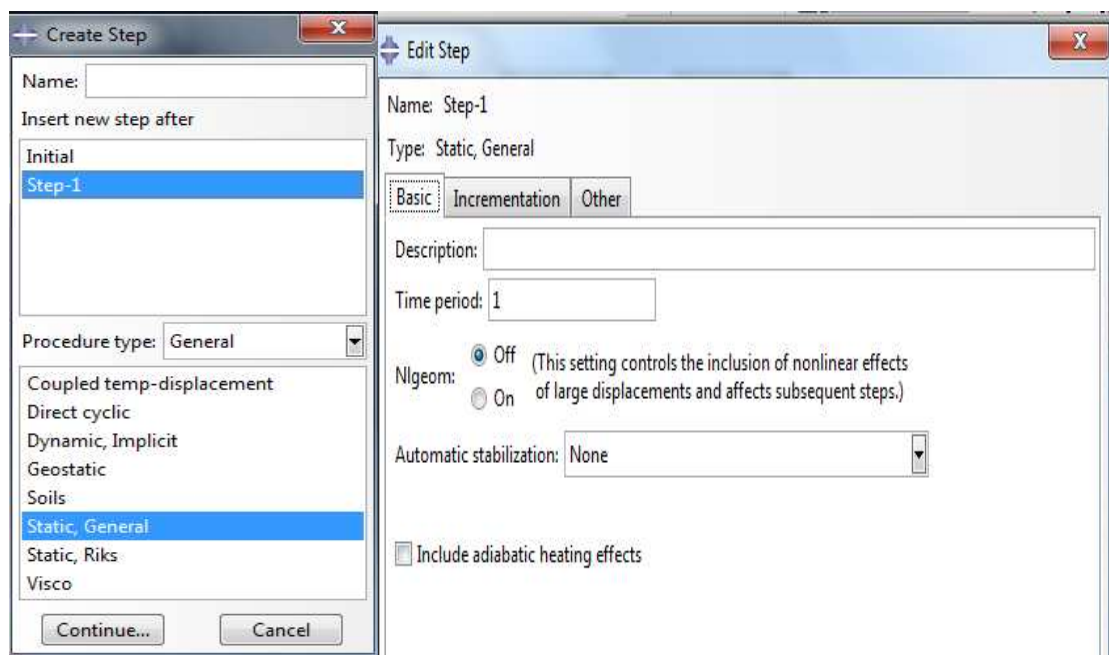
در این مرحله اعضایی که در مرحله اول تعریف و ترسیم شده‌اند را بر اساس مشخصات مدل مورد نظر به یکدیگر متصل کرده و مدل را به اصطلاح اسمبل می‌کنیم. در این مرحله دال بتنی را با شبکه آرماتورهای ترسیم شده ترکیب کرده و مدل نهایی را خلق می‌کنیم.



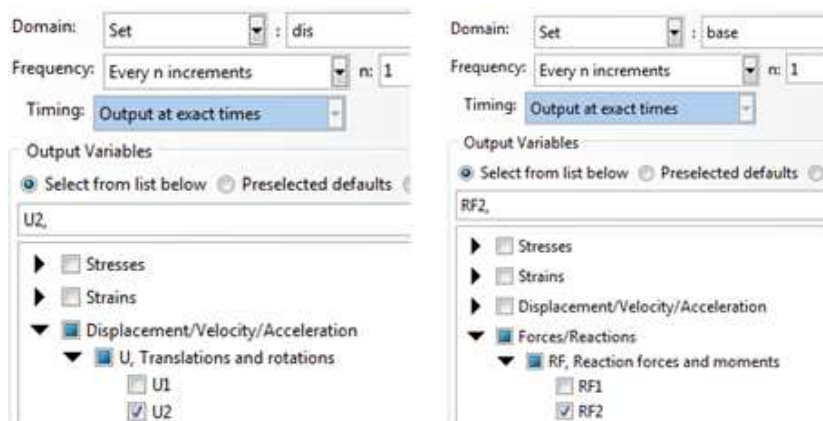
شکل ۳-۶- نحوه اسمبل کردن اعضای مختلف مدل

۳-۴-۶- مرحله چهارم : ماژول Step

از این دستور برای تعیین نوع تحلیل به همراه خروجی‌های مورد نظر استفاده می‌شود. در این تحقیق با توجه به اینکه نوع بارگذاری روی نمونه‌ها به شکل استاتیکی می‌باشد، تحلیل را باید از نوع استاتیکی در نظر گرفته و گزینه Static- General را انتخاب می‌کنیم. در این دستور از زیرمنوی Tools با انتخاب گزینه Set مکان‌هایی که باید در آنها خروجی‌های خاصی نظیر مقادیر تنش، نیرو و تغییر مکان برداشت شود را مشخص می‌کنیم. پس از تعریف Set‌های مورد نظر در ادامه با استفاده از زیرمنوی Output گزینه History output requests را انتخاب کرده سپس برای Set‌های تعریف شده در گام قبلی، خروجی‌های مورد نظر را انتخاب کرده و به آن‌ها اختصاص می‌دهیم. به این ترتیب در پایان فرایند تحلیل می‌توان نتایج حاصل از خروجی‌های منتخب را مشاهده کرد



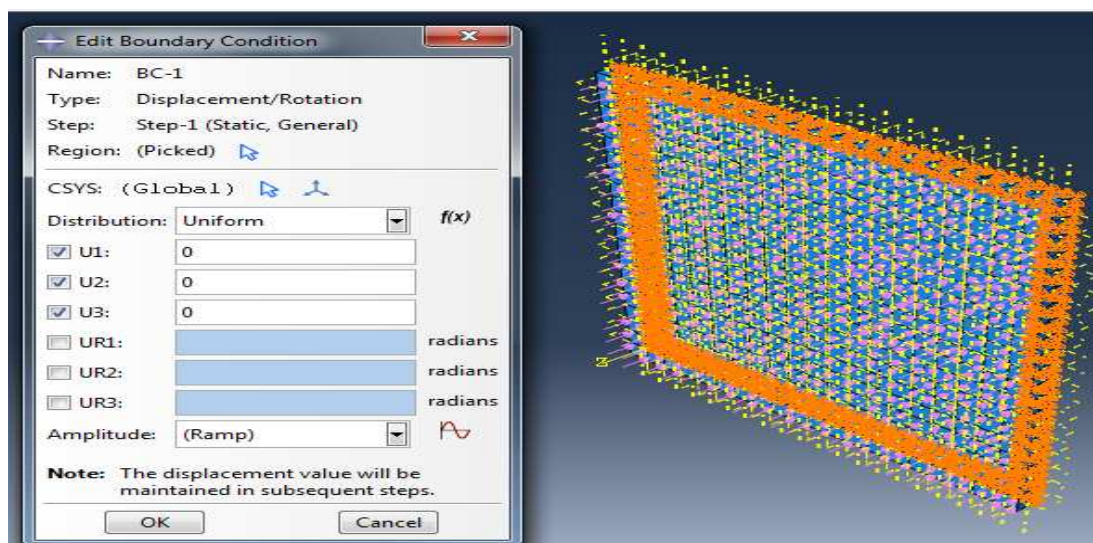
شکل ۶-۴ - تعریف مراحل تحلیل و مشخصات آن



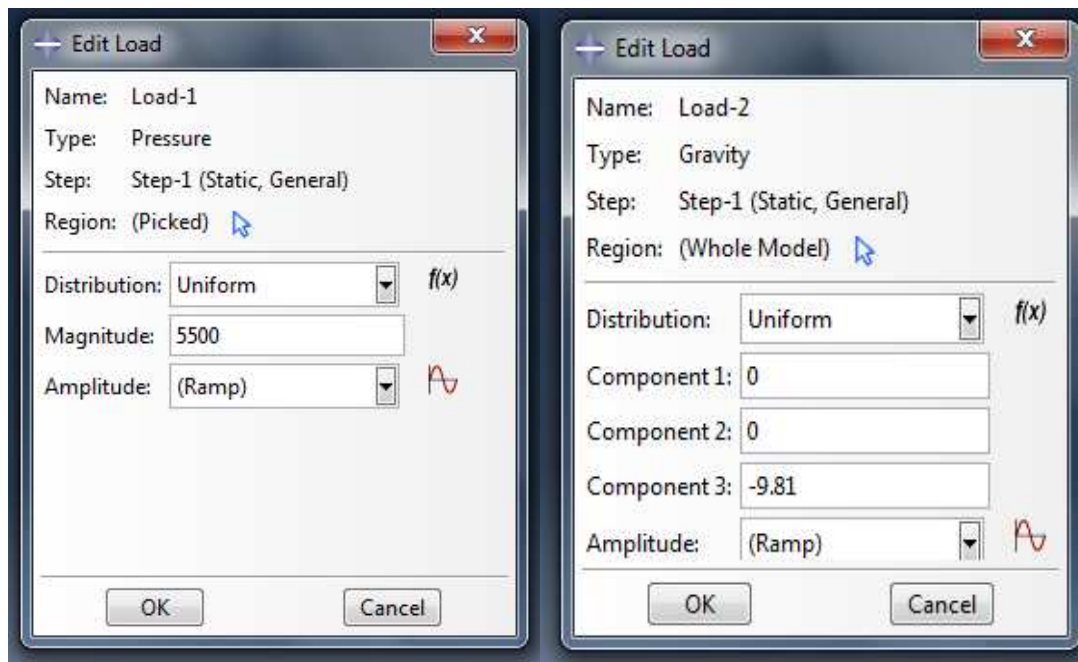
شکل ۵-۶- تعیین خروجی‌های لازم برای Set‌های تعریف شده

۵-۳-۶- مرحله پنجم : ماژول Load

این بخش شامل اختصاص دادن قیدهای لازم به تکیه‌گاه‌های مدل مورد نظر و همچنین بارگذاری بر روی نمونه‌ها می‌باشد. کلیه نمونه‌ها در این تحقیق دارای اتصال مفصلی در پیرامون دال بوده و همچنین تمامی نمونه‌ها دارای یک بار گسترده سطحی به مقدار 5500 N/m^2 و وزن خود دال بتنی می‌باشند.



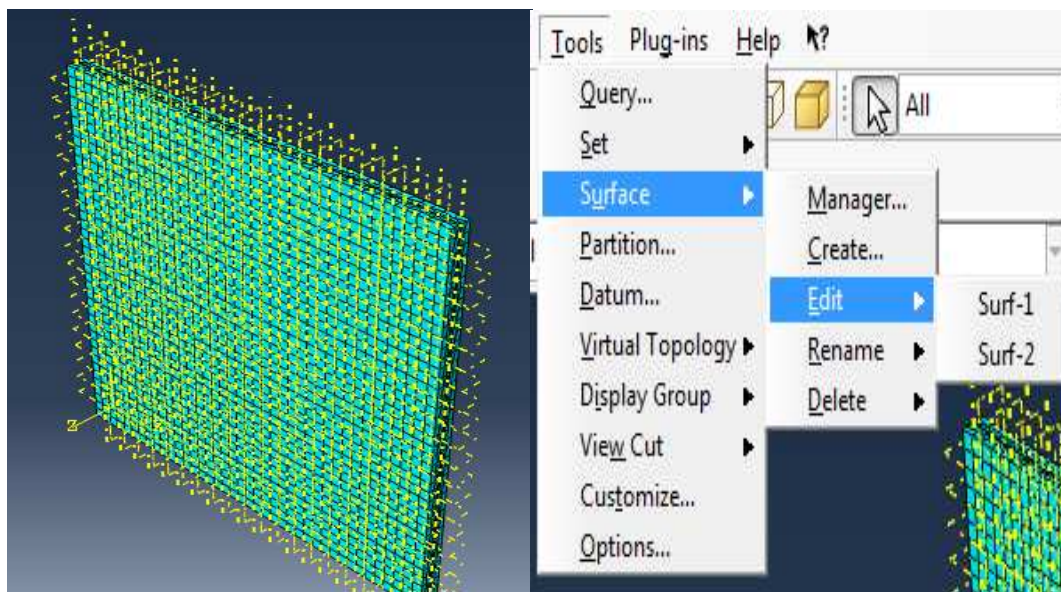
شکل ۵-۶- نحوه اختصاص تکیه‌گاه به نمونه‌ها



شکل ۶-۷- نحوه اعمال بارگذاری روی نمونه‌ها

۶-۳-۶- مرحله ششم : ماژول Mesh

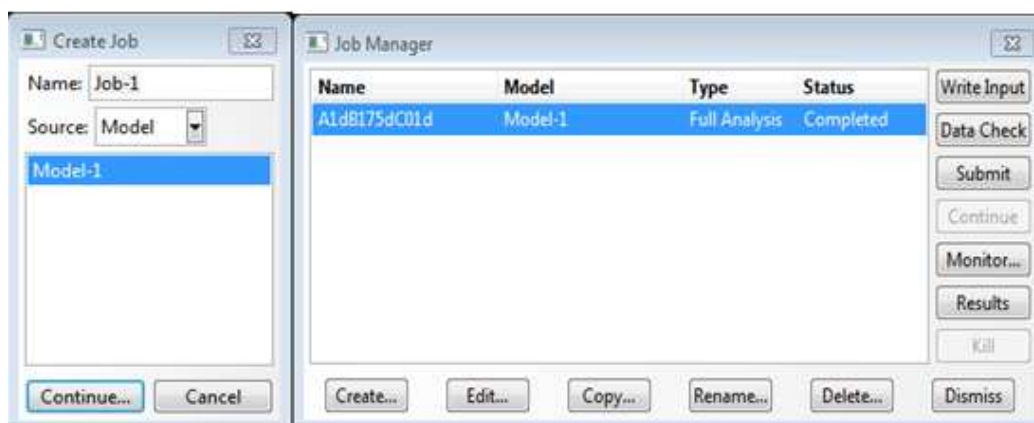
در این مرحله مش‌بندی روی نمونه‌ها جهت انجام تحلیل اجزاء محدود صورت می‌گیرد. بدین منظور ابتدا باید با استفاده از زیرمنوی Tools و دستور surface دو سطح برای هر کدام از مدل‌ها در نظر گرفت تا مش‌بندی نمونه‌ها در اطراف گوی‌ها به درستی صورت پذیرد. این سطوح همانگونه که در شکل زیر ملاحظه می‌شود با نام‌های surface1, surface2 تعریف شده است.



شکل ۶-۸ - نمونه مش بندی شده

۶-۳-۷ - مرحله هفتم : ماژول Job

در این مرحله تحلیل نمونه انجام می شود. برای این کار باید برای نمونه مورد نظر یک Job تعریف کرده و مشخصات تحلیل را برای آن تعیین کنیم، سپس روی گزینه Submit کلیک کرده و تحلیل نمونه آغاز می شود. می توان با استفاده از گزینه Monitor روند تحلیل و گزارش های تحلیل را مشاهده کرد.

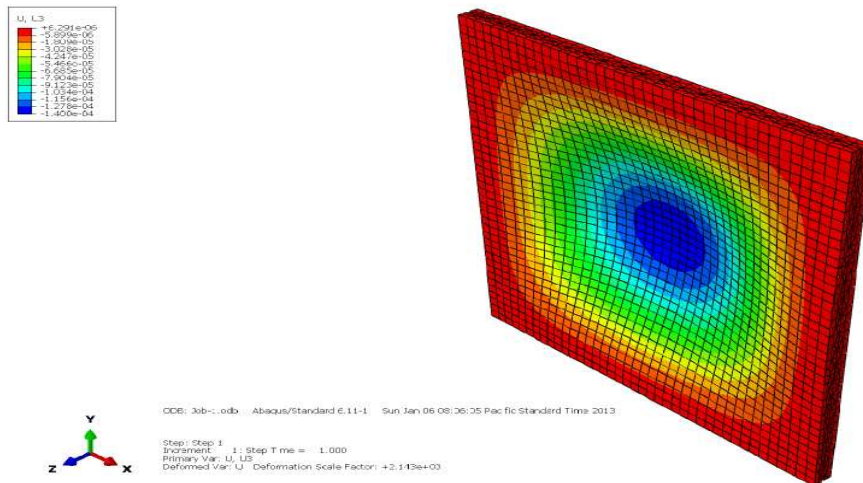


شکل ۶-۹- نحوه تعریف Job و تحلیل نمونه‌ها

۶-۳-۸- مرحله هشتم : Visualization

در این مرحله می‌توان کلیه نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها اعم از مقادیر تنش که به صورت کانتورهای رنگی و یا به شکل بردارهای رنگی نمایش داده می‌شود و همچنین مقادیر تغییر مکان‌ها، زوایای چرخش و کلیه توابع مورد نیاز که برای Setهای معین مشخص شده است را مشاهده کرد. بنابراین با مشاهده نتایج حاصل از این قسمت می‌توان به ارزیابی رفتار نمونه‌ها پرداخت.

Printed using Abaqus/CAE on: Sun Jan 06 08:07:44 Pacific Standard Time 2013



شکل ۶-۱۰- نمایش کانتور تغییر شکل (U3) برای یکی از نمونه‌ها



۷-۱- مقدمه

با توجه به مطالب گفته شده در فصول گذشته، در این فصل به معرفی مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار آباکوس پرداخته، معیارهای انتخاب پارامتر بهینه را شرح می‌دهیم و به ارزیابی و مقایسه رفتار نمونه‌ها بر اساس پارامترهای ذکر شده خواهیم پرداخت.

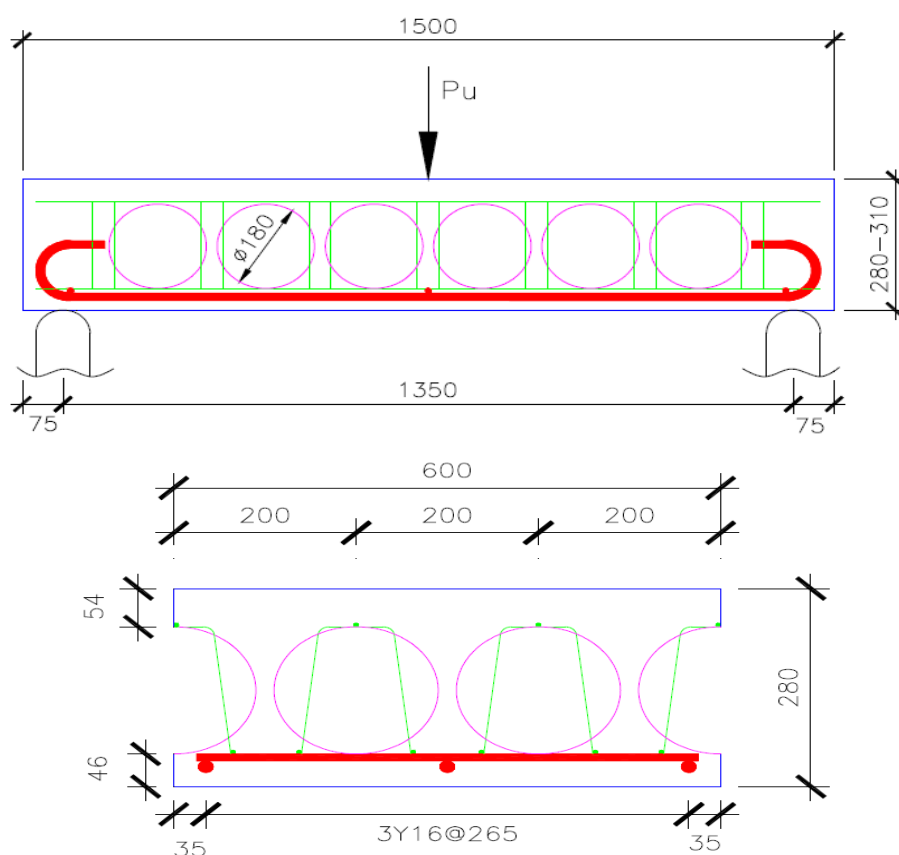
۷-۲- تصدیق مدل و فرآیند بارگذاری

به منظور حصول اطمینان از مطالعات پارامتریک تحلیلی انجام شده در تحقیق حاضر یک نمونه مدل آزمایشگاهی از مرجع [۱] را مجدداً توسط نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی کرده و نتایج را با یکدیگر مقایسه کرده‌ایم. نتایج بدست آمده از مدل ایجاد شده در نرم‌افزار در تطابق بسیار خوبی با نتایج آزمایشگاهی قرار دارد.

نمونه آزمایشگاهی مورد نظر شامل یک دال بتنی کوبی‌اکس با ابعاد $150 \times 60 \times 28 \text{ cm}^3$ می‌باشد که قطر تمامی گوی‌های موجود در دال بتنی ۱۸ سانتیمتر بوده و نمونه تحت اثر یک بار خطی یکنواخت در مرکز دال قرار دارد. این بارگذاری با آهنگ 40 kN/min روی نمونه اعمال شده تا در نهایت نمونه دچار گسیختگی شود [۱].



شکل ۷-۱- نمونه آزمایشگاهی مرجع (۱) تحت بارگذاری



شکل ۷-۲- جزئیات ابعاد و بارگذاری نمونه مرجع (۱)

در اشکال (۱ و ۲) ابعاد نمونه آزمایشگاهی شامل طول، عرض و عمق دال بتنی، اندازه

گوی‌ها و همچنین نحوه اعمال بار روی نمونه نشان داده شده است.

همانگونه که در شکل (۶-۲) ملاحظه می‌شود، مدل مورد مطالعه یک سقف کوبی‌اکس با

ابعاد $150 \times 60 \text{ cm}^2$ ، ضخامت 28 cm و گوی‌های پلاستیکی با قطر 18 cm می‌باشد. این دال

بتنی با شبکه آرماتورهای 3×3 در بالا و پایین خود مسلح شده است. میزان کاور بتن روی

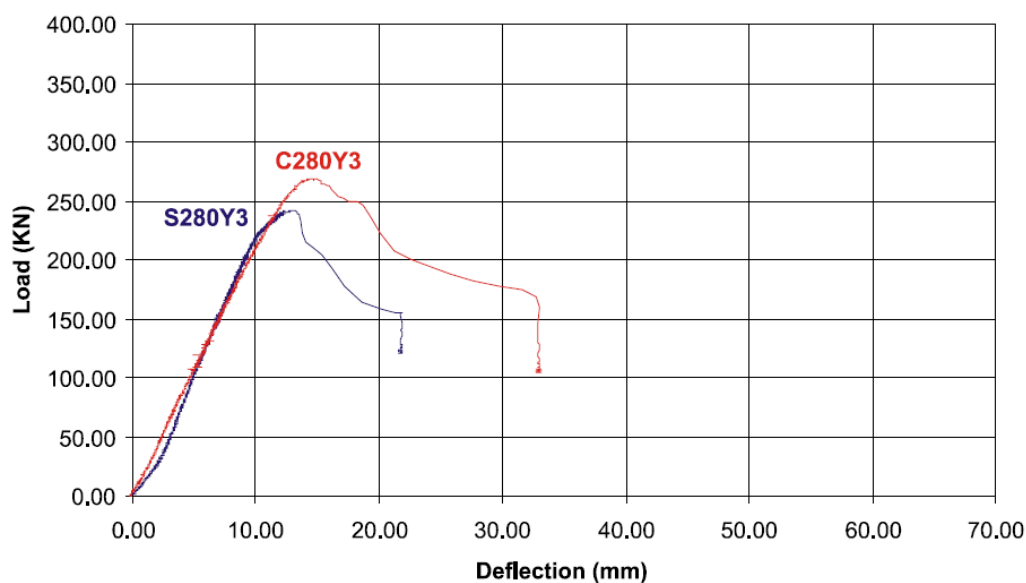
آرماتور و دیگر جزئیات نمونه مورد بررسی در اشکال بالا آمده است.

اکنون به منظور صحت سنجی نتایج مدل‌های تحلیلی در نرم‌افزار آباکوس، این نمونه

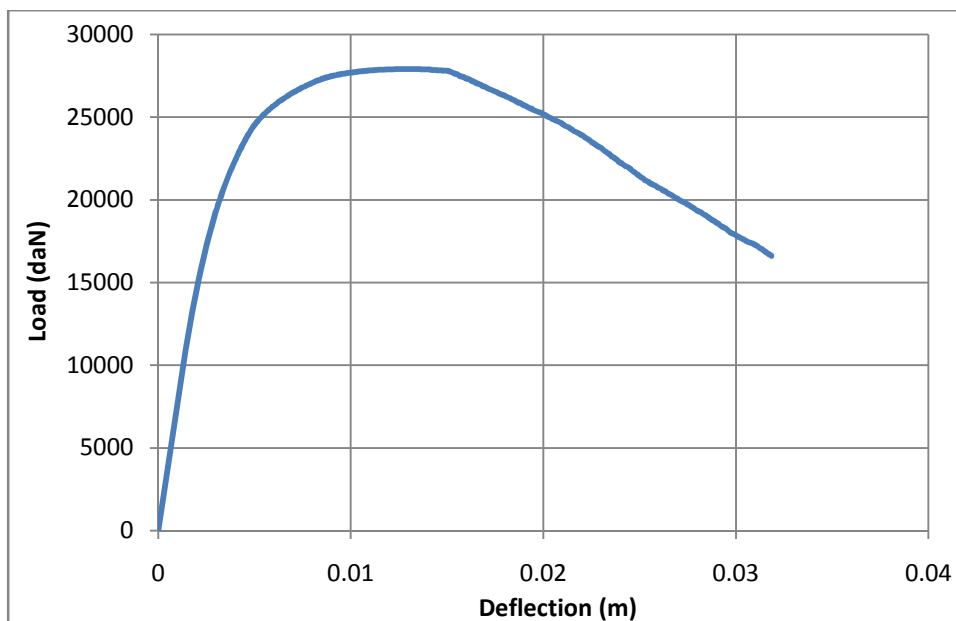
آزمایشگاهی را با در نظر گرفتن کلیه ابعاد و پارامترهای موجود در آن، دوباره و این بار در

نرم افزار اجزای محدود آباکوس مدل سازی کرده و نتایج حاصل از این تحلیل را با نمونه مرجع مقایسه کرده ایم.

خروجی در نظر گرفته شده نمودار بار- تغییر مکان بوده که این نمودار برای نمونه آزمایشگاهی و همچنین نمونه شبیه سازی شده در نرم افزار آباکوس در اشکال زیر آورده شده است. در شکل (۳-۶) منحنی (C280Y3) مربوط به نمونه آزمایشگاهی مورد نظر می باشد.

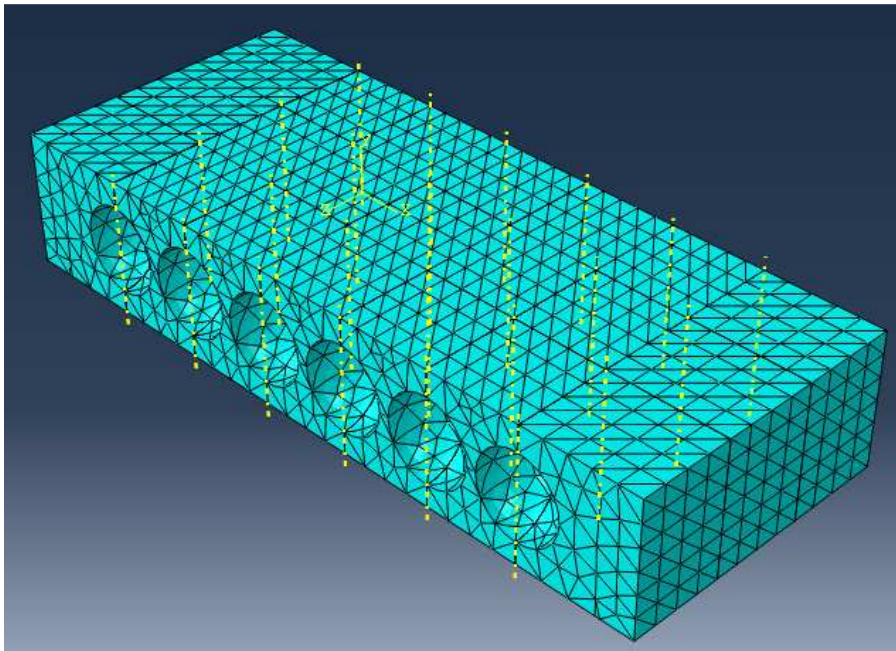


شکل ۳-۷- نمودار بار- تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی مرجع (۱)



شکل ۷-۴- نمودار بار- تغییر مکان نمونه مدل سازی شده در نرم افزار

همانگونه که از مقایسه اشکال (۳-۶) و (۴-۶) نتیجه می شود، نتایج حاصل از نمودار بار- تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی و نمونه مدل شده در نرم افزار در حد قابل قبولی با یکدیگر تطابق داشته و بنابراین صحت مدل سازی در نرم افزار را تایید می کنند. لازم به یادآوری است که تفاوت اندک میان نمودار بار- تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی در مقایسه با نمونه مدل سازی شده در نرم افزار اجزای محدود به دلیل رفتار ناشناخته بتن در مطالعات آزمایشگاهی می باشد، به گونه ای که هر چقدر هم که در نرم افزار برای مدل سازی صحیح (نزدیک به واقعیت) بتن تلاش شود باز هم میان نتایج حاصل از نرم افزار و نتایج آزمایشگاهی تفاوت وجود دارد. البته باید متذکر شد که در این رساله تلاش زیادی جهت مدل سازی نزدیک به واقعیت بتن در تحلیل نمونه ها صورت گرفته که جزئیات آن ها در فصل قبل به همراه شکل های مربوط به آن آمده است.



شکل ۷-۵- نحوه مش بندی نمونه آزمایشگاهی در نرم افزار ABAQUS

۷-۳- ارزش گذاری معیارهای انتخاب ابعاد بهینه گوی های سقف

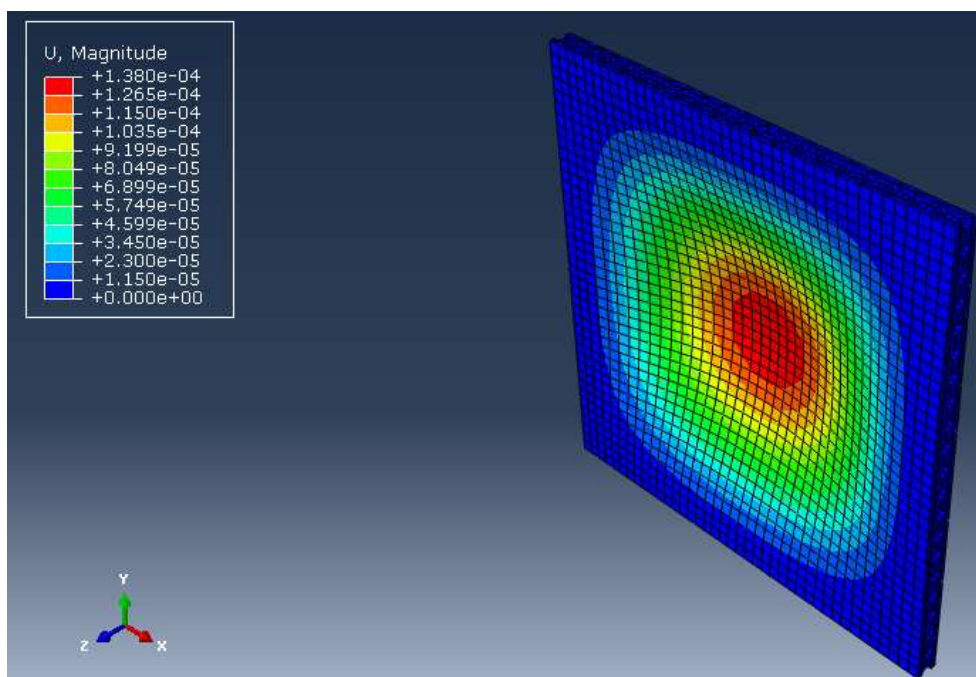
به منظور ارزیابی رفتار مدل های مورد نظر و دستیابی به ابعاد بهینه گوی های موجود، کلیه نمونه های مدل شده تحت یک بارگذاری استاتیکی قرار گرفته تا تاثیر وجود گوی ها و ابعاد آنها را در وزن نمونه ها مورد ارزیابی قرار دهیم. از آنجایی که هدف رساله بهینه یابی عوامل موثر بر مقاومت و سختی دال های کوبیاکس می باشد به همین دلیل دو معیار را جهت مقایسه نمونه ها و استخراج پارامترهای بهینه مد نظر قرار داده ایم که عبارتند از:

۱- تنش موجود در دال تحت اثر بارگذاری اعمال شده (معیار مقاومت)

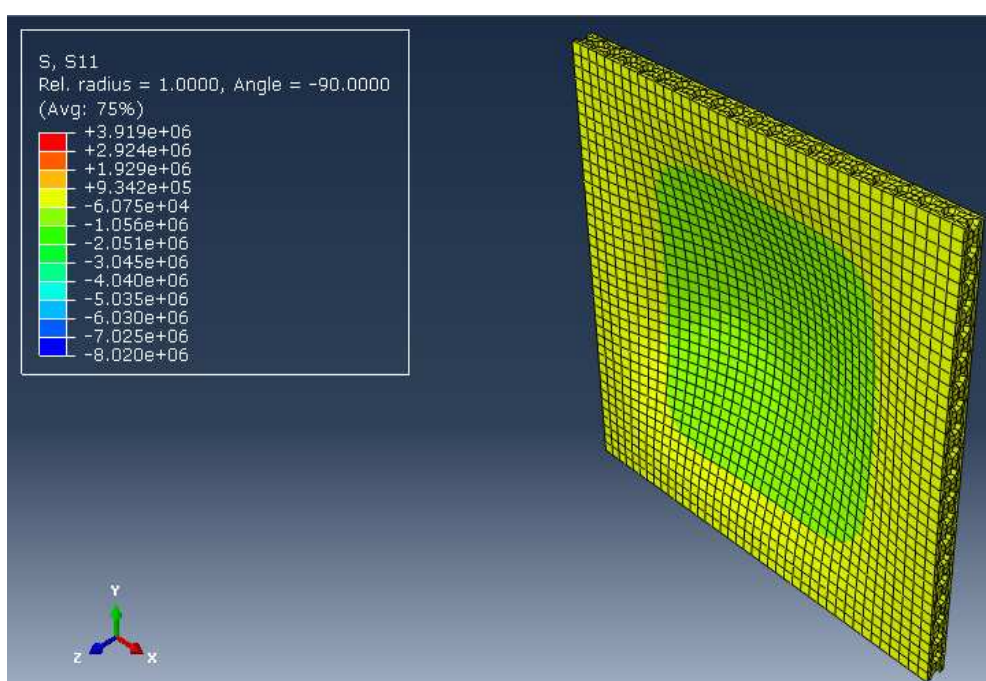
۲- خیز (تغییر مکان) ایجاد شده در دال تحت اثر بارگذاری اعمال شده (معیار

سختی)

با در نظر گرفتن این دو عامل می‌توان کلیه نمونه‌های موجود را تحلیل و ارزیابی کرده و از میان آنها نمونه دارای بهترین عملکرد (نمونه‌ای که دارای کمترین مقدار تنش و تغییر مکان می‌باشد) را برداشت کرد.



شکل ۷-۶- تغییر مکان ایجاد شده در دال تحت اثر بارگذاری اعمال شده (U3)



۷-۴- نحوه انتخاب ابعاد بهینه سقف کوبیاکس و ارائه نتایج حاصل از آنها

به منظور دستیابی به ابعاد بهینه پارامترهای سقف کوبیاکس و ابعاد گوی‌های موجود در آن در این رساله از چهار نوع دال بتن آرمه با ابعاد 3×3 ، 4×4 ، 5×5 و 6×6 متر مربع استفاده شده است. برای هر کدام از این دال‌ها سه ضخامت ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر به همراه و بدون گوی‌های پلاستیکی در نظر گرفته شده است. بنابراین در مجموع از ۶۰ نمونه مختلف جهت دستیابی به ابعاد بهینه دال‌های کوبیاکس جهت مدل‌سازی در نرم افزار اجزای محدود آباکوس استفاده شده است تا در حد امکان نتایج بدست آمده قابل اتکا باشند.

بارگذاری روی نمونه‌ها شامل یک بار گسترده سطحی به شدت 5500 N/m^2 به علاوه وزن خود دال می‌باشد که به وسیله آن می‌توان شدت تنش‌های ایجاد شده و همچنین خیز دال را ارزیابی کرده و نمونه‌های مختلف را با هم مقایسه کرد.

برای در نظر گرفتن تاثیر اندازه گوی‌های موجود در سقف کوبیاکس هر کدام از ضخامت‌های سه گانه دال را با چهار حالت متفاوت در اندازه گوی‌ها مدل کرده و نتایج را ثبت کرده‌ایم. اندازه گوی‌های پلاستیکی قرار گرفته در بتن بر اساس نسبتی از ضخامت دال در نظر گرفته شده است. این نسبت‌ها به ترتیب برابر با ۰.۲، ۰.۴، ۰.۶ و ۰.۸ می‌باشند.

این نوع مدل‌سازی منجر به مطالعه پارامتریک در مورد ابعاد گوی‌ها می‌شود، همین امر اجازه می‌دهد که نتایج حاصل از این تحقیق قابل تعمیم به کلیه ابعاد دال‌های بتن آرمه باشد و مختص به یک دال با ضخامت مشخص نیست. ضمن اینکه برای هر ضخامت یک نمونه بدون

گوی (دال بتنی توپر) لحاظ شده تا تفاوت دال بتنی ساده با دال کوبیاکس نیز مقایسه شود.
جدول زیر کلیه نمونه‌ها به همراه پارامترهای موجود در آنها را نشان می‌دهد.

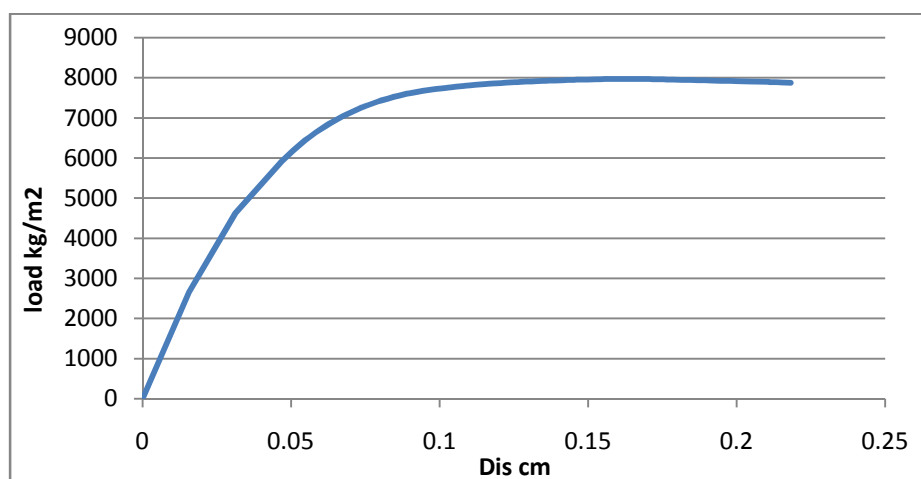
جدول ۷-۱- جزئیات نمونه‌های مدل‌سازی شده در نرم‌افزار

ابعاد دال	ضخامت دال (h)	قطر گوی‌ها (d)	نام مدل در نرم‌افزار
3×3 m ² 4×4 m ² 5×5 m ² 6×6 m ²	15 cm	0 (cm)	C15
		0.2h	C15d0.2h
		0.4h	C15d0.4h
		0.6h	C15d0.6h
		0.8h	C15d0.8h
	20 cm	0	C20
		0.2h	C20d0.2h
		0.4h	C20d0.4h
		0.6h	C20d0.6h
		0.8h	C20d0.8h
	25 cm	0	C25
		0.2h	C25d0.2h
		0.4h	C25d0.4h
		0.6h	C25d0.6h
		0.8h	C25d0.8h

همانگونه که در جدول بالا ملاحظه می‌شود برای هر کدام از ابعاد چهارگانه دال‌های بتن‌آرمه ۱۵ نمونه با پارامترهای داخلی مختلف مدل شده که در آنها h نشان دهنده ضخامت دال و d نشان دهنده قطر دال می‌باشد. به این ترتیب ۶۰ نمونه مختلف از سقف کوبیاکس با پارامترهای گوناگون در نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS مدل شده و بر اساس آن نتایج مورد نظر در این رساله از دل آنها استنتاج شده است.

همانگونه که گفته شد در این تحقیق چهار اندازه گوناگون دال مورد بررسی قرار گرفت و تحلیل نتایج برای هر یک از این چهار اندازه انجام شده است. در این قسمت با توجه به نتایج بدست آمده و پارامترهای در نظر گرفته شده جدول‌هایی را تنظیم می‌کنیم و نتایج حاصل از این تحلیل‌ها را در این جداول وارد خواهیم کرد. این کار مبنای مناسبی را برای ارزیابی و مقایسه بین نمونه‌ها ایجاد خواهد کرد.

از آنجایی که بر روی تمامی نمونه‌ها بارهای ضریب‌دار وارد شده، در حالی که جهت ارزیابی تاثیر وزن دال بتنی روی ابعاد گوی‌ها برای معیار سختی باید بارهای بدون ضریب (بار سرویس) اعمال شود؛ ابتدا بررسی کردیم که آیا رفتار دال تحت اثر بارهای ضریب‌دار در محدوده خطی است که پس از تایید این مطلب به کلیه نتایج حاصل از نمونه‌ها (U3) ضریبی کوچکتر از واحد که حاصل تقسیم بارهای ضریب‌دار به بارهای بدون ضریب است اعمال کردیم تا نتایج بر اساس بارهای بدون ضریب بدست آمده و واقعی باشد.

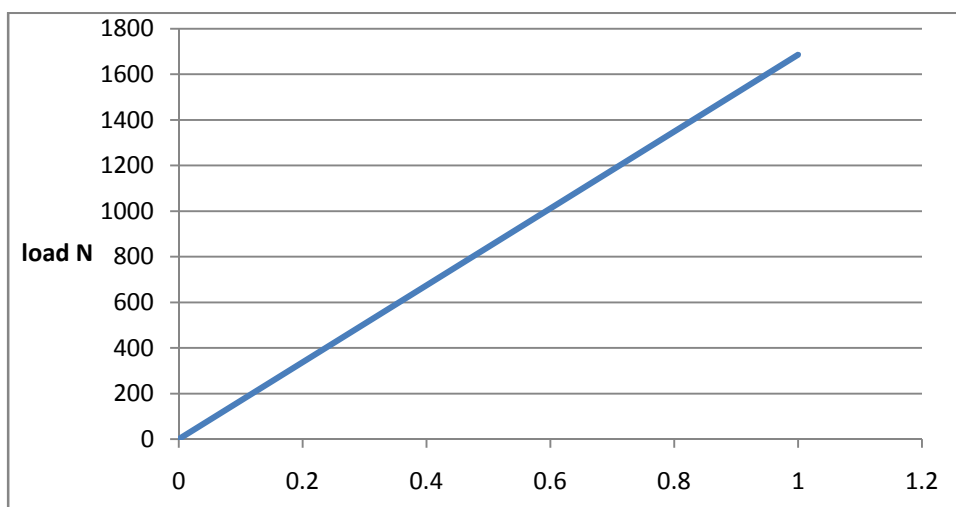


شکل ۷-۸- نمودار ظرفیت دال برای بارهای ضریب‌دار

همانگونه که از شکل ۷-۸ مشاهده می‌شود، مجموع ترکیب بارهای ضریب‌دار در ناحیه خطی قرار گرفته است. بنابراین با توجه به این مطلب می‌توان ضریب کوچکتر از واحد گفته شده در بالا را به نتایج کلیه نمونه‌ها اعمال کرد.

۷-۵- کنترل برش

به منظور کنترل برش برای تعیین کفایت مقاومتی نمونه‌ها، میزان برش حداکثر ایجاد شده در تکیه گاه هر کدام از دال‌ها را با ظرفیت برشی دال مقایسه کرده و مشاهده کردیم که در هیچیک از نمونه‌ها حداکثر برش ایجاد شده از ظرفیت برشی دال مورد نظر تجاوز نکرده است. شکل زیر نتایج این ارزیابی را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۹- حداکثر برش موجود در تکیه‌گاه دال

همانگونه که در شکل ملاحظه می‌شود بیشینه نیروی برشی ایجاد شده در تکیه‌گاه برابر ۱۷۰۰ نیوتن بوده در حالی که ظرفیت برشی دال موجود برابر است با :

$$V_c = 0.2\phi_c\sqrt{f_c}b_wd = 0.2 * 0.6 * \sqrt{25} * 150 * 110 = 9900 \quad (۷-۱)$$

$$9900 * 0.55 = 5445$$

۰.۵۵ ضریب کاهش ظرفیت برشی دال‌های کوبیاس است.

با مقایسه نتایج فوق مشاهده می‌شود که ظرفیت برشی دال بیشتر از حداکثر برش

موجود در تکیه گاه دال است و بنابراین برش کنترل می‌شود.

جدول ۷-۲- نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های دال ۳×۳

نام مدل	حداکثر تنش ایجاد شده (S11)	تغییر مکان حداکثر (U3)
C15	3.30E+05	1.04E-04
C15d0.2h	3.42E+05	1.02E-04
C15d0.4h	3.53E+05	1.01E-04
C15d0.6h	3.68E+05	1.01E-04
C15d0.8h	4.07E+05	1.08E-04
C20	2.21E+05	4.75E-05
C20d0.2h	2.14E+05	4.64E-05
C20d0.4h	2.21E+05	4.57E-05
C20d0.6h	2.38E+05	4.55E-05
C20d0.8h	2.52E+05	4.81E-05
C25	1.59E+05	2.55E-05
C25d0.2h	1.49E+05	2.53E-05
C25d0.4h	1.53E+05	2.45E-05
C25d0.6h	1.59E+05	2.36E-05
C25d0.8h	1.74E+05	2.68E-05

جدول ۷-۳- نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های دال ۴×۴

نام مدل	حداکثر تنش ایجاد شده	تغییر مکان حداکثر (U3)
---------	----------------------	------------------------

	(S11)	
3.62E-04	6.36E+05	C15
3.53E-04	6.25E+05	C15d0.2h
3.46E-04	6.45E+08	C15d0.4h
3.45E-04	6.75E+05	C15d0.6h
3.63E-04	7.42E+05	C15d0.8h
1.51E-04	3.97E+05	C20
1.54E-04	3.86E+05	C20d0.2h
1.51E-04	3.99E+05	C20d0.4h
1.51E-04	4.15E+05	C20d0.6h
1.53E-04	4.55E+05	C20d0.8h
8.13E-05	2.92E+05	C25
8.48E-05	2.73E+05	C25d0.2h
8.34E-05	2.81E+05	C25d0.4h
8.33E-05	2.92E+05	C25d0.6h
8.80E-05	3.18E+05	C25d0.8h

جدول ۷-۴- نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های دال ۵×۵

نام مدل	حداکثر تنش ایجاد شده (S11)	تغییر مکان حداکثر (U3)
C15	9.49E+05	8.27E-04
C15d0.2h	9.37E+05	7.96E-04
C15d0.4h	9.68E+05	7.85E-04
C15d0.6h	1.01E+06	7.80E-04
C15d0.8h	1.11E+06	8.17E-04
C20	6.27E+05	3.82E-04
C20d0.2h	6.08E+05	3.87E-04
C20d0.4h	6.27E+05	3.80E-04
C20d0.6h	6.52E+05	3.77E-04
C20d0.8h	7.10E+05	3.94E-04
C25	4.63E+05	2.07E-04
C25d0.2h	4.32E+05	2.15E-04
C25d0.4h	4.45E+05	2.11E-04
C25d0.6h	4.62E+05	2.10E-04
C25d0.8h	5.01E+05	2.19E-04

جدول ۷-۵- نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌های دال ۶×۶

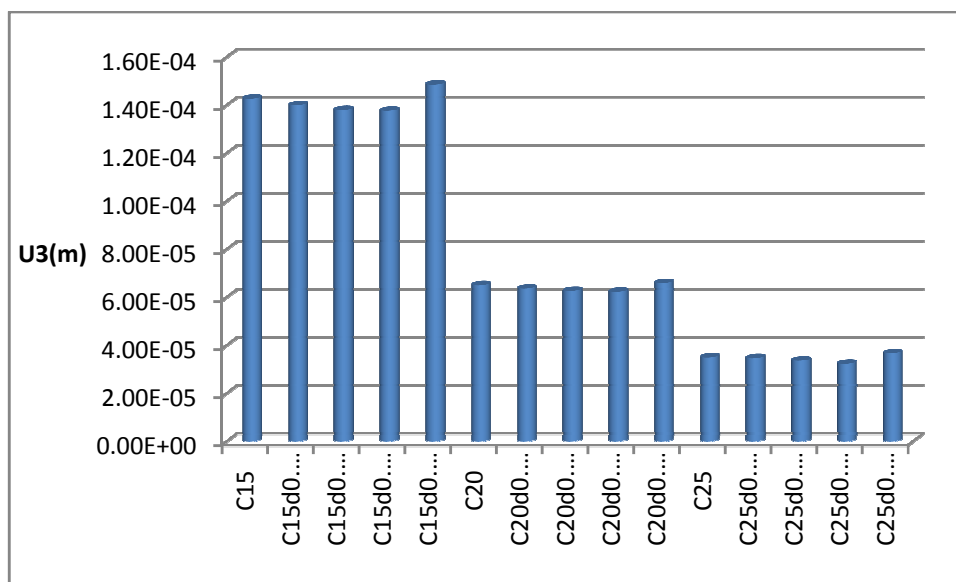
نام مدل	حداکثر تنش ایجاد شده (S11)	تغییر مکان حداکثر (U3)
C15	2.33E+06	1.82E-03
C15d0.2h	1.37E+06	1.75E-03
C15d0.4h	1.41E+06	1.72E-03
C15d0.6h	1.48E+06	1.72E-03
C15d0.8h	1.62E+06	1.77E-03
C20	9.15E+05	8.19E-04
C20d0.2h	8.79E+05	8.26E-04
C20d0.4h	9.10E+05	8.08E-04
C20d0.6h	9.47E+05	8.01E-04
C20d0.8h	1.02E+06	8.32E-04
C25	7.01E+05	4.47E-04
C25d0.2h	6.36E+05	4.64E-04
C25d0.4h	6.52E+05	4.55E-04
C25d0.6h	6.75E+05	4.50E-04
C25d0.8h	7.32E+05	4.67E-04

اکنون با توجه به نتایج بدست آمده از جدول‌ها، به ارزیابی نمونه‌ها می‌پردازیم. همانگونه که مشاهده می‌شود، این جداول دارای سه ستون بوده که به ترتیب از ستون سمت راست به چپ شامل نام مدل مورد بررسی، بیشینه تنش ایجاد شده در دال بتن‌آرمه مورد نظر و تغییر مکان حداکثر در مرکز دال می‌باشد.

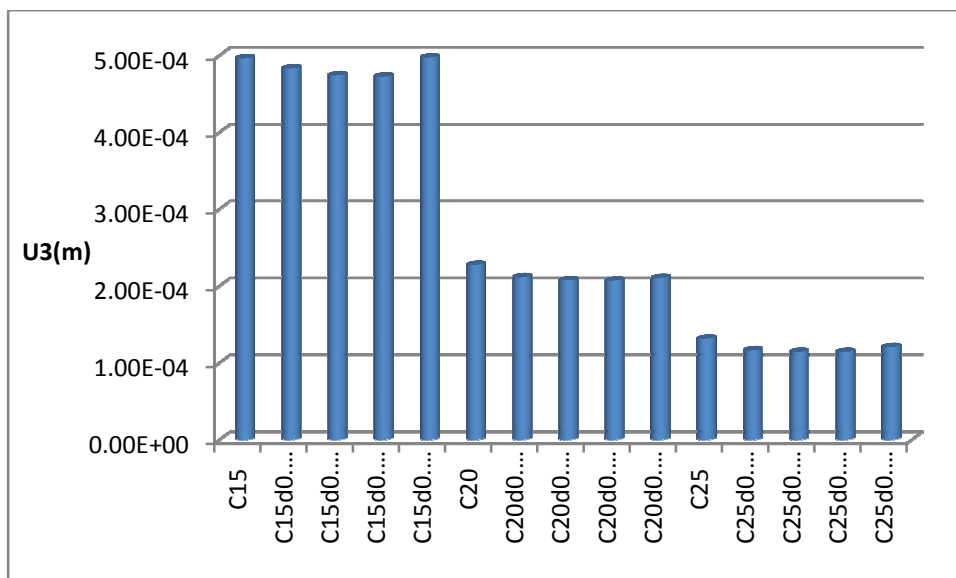
همانگونه که در ارتباط با معیارهای انتخاب نمونه بهینه آمده است، کم شدن تنش و تغییر مکان در وسط دال بتنی هدف اصلی این رساله در طراحی گوی‌های پلاستیکی است. بدیهی است که ابعاد بهینه این گوی‌ها، آنهایی هستند که بتوانند مقادیر پارامترهای فوق را تا حد امکان کاهش دهند.

بررسی نتایج بدست آمده از تحلیل نتایج نشان می‌دهد که در هر چهار نوع دال طراحی شده، نمونه‌ای که دارای گوی‌هایی با قطر $0.6h$ (ضخامت دال بتنی) است، دارای کمترین میزان خیز (تغییر مکان وسط دال) می‌باشد که این امر نشان دهنده عملکرد مناسب این اندازه

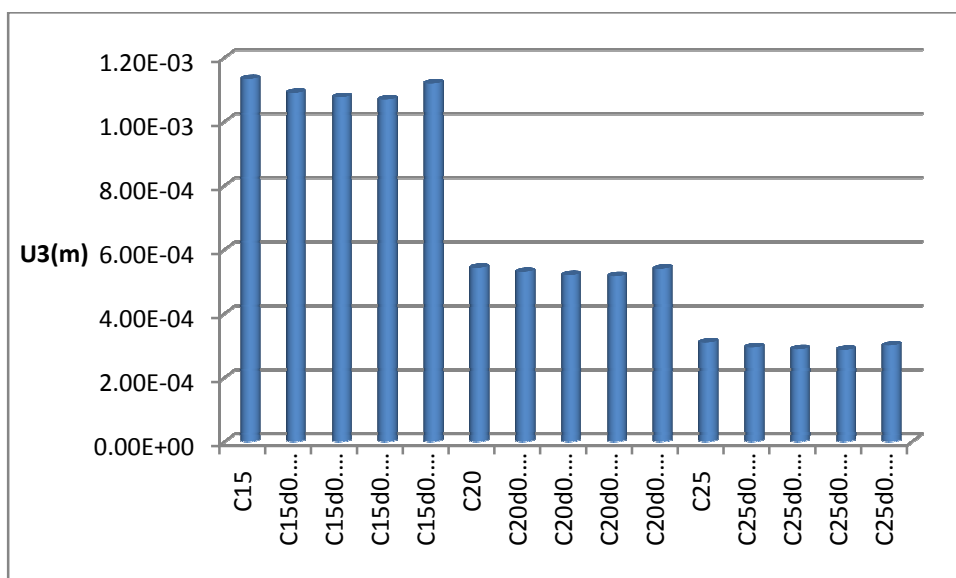
قطر گوی‌ها (0.6h) نسبت به سایر اندازه‌های در نظر گرفته شده می‌باشد. نتایج حاصل از مقایسه پارامتر خیز وسط دال نمونه‌های ارزیابی شده در نمودارهای زیر آورده شده است.



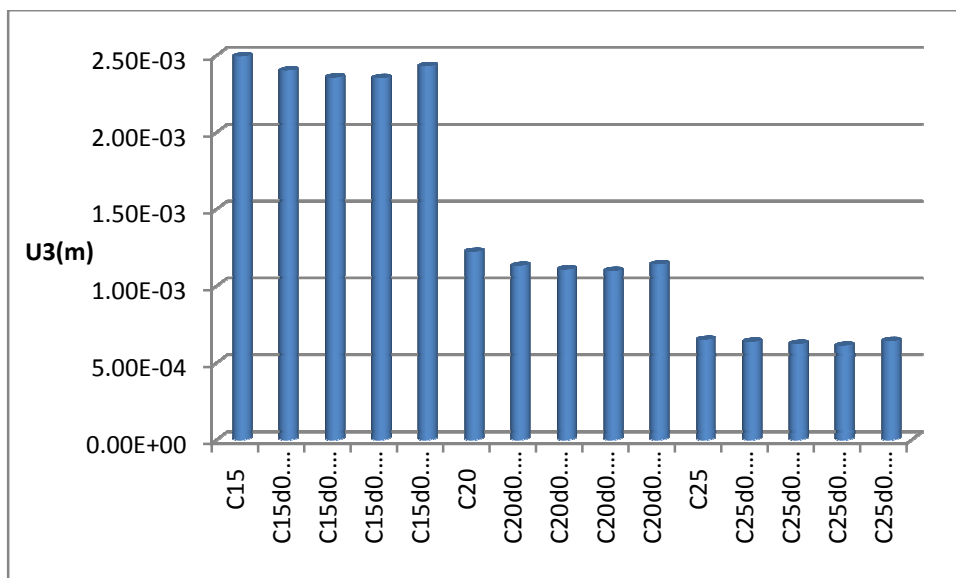
شکل ۷-۹- مقایسه حداکثر تغییر مکان وسط دال تحت اثر بارگذاری برای دال ۳×۳



شکل ۷-۱۰- مقایسه حداکثر تغییر مکان وسط دال تحت اثر بارگذاری برای دال ۴×۴



شکل ۷-۱۱- مقایسه حداکثر تغییر مکان وسط دال تحت اثر بارگذاری برای دال ۵×۵

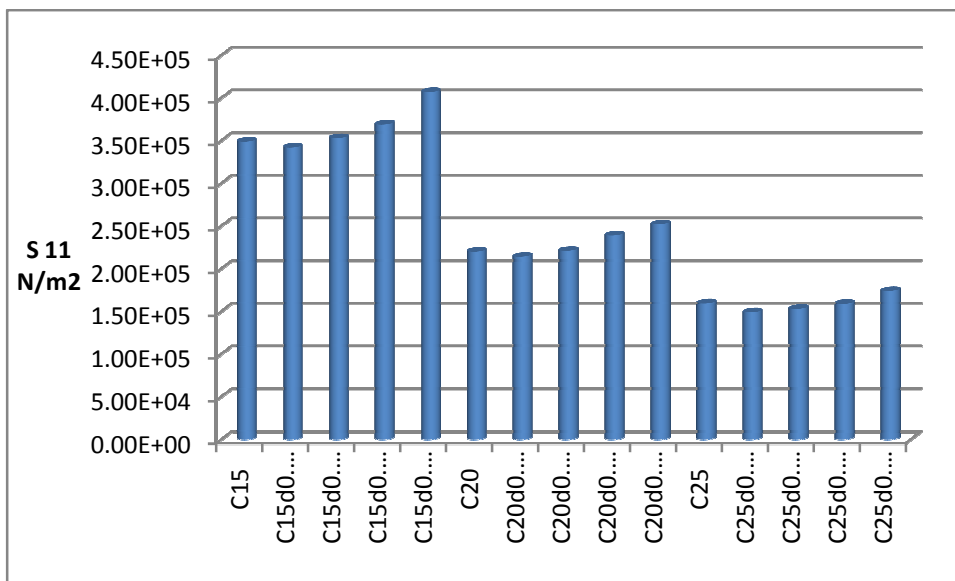


شکل ۷-۱۲- مقایسه حداکثر تغییر مکان وسط دال تحت اثر بارگذاری برای دال ۶×۶

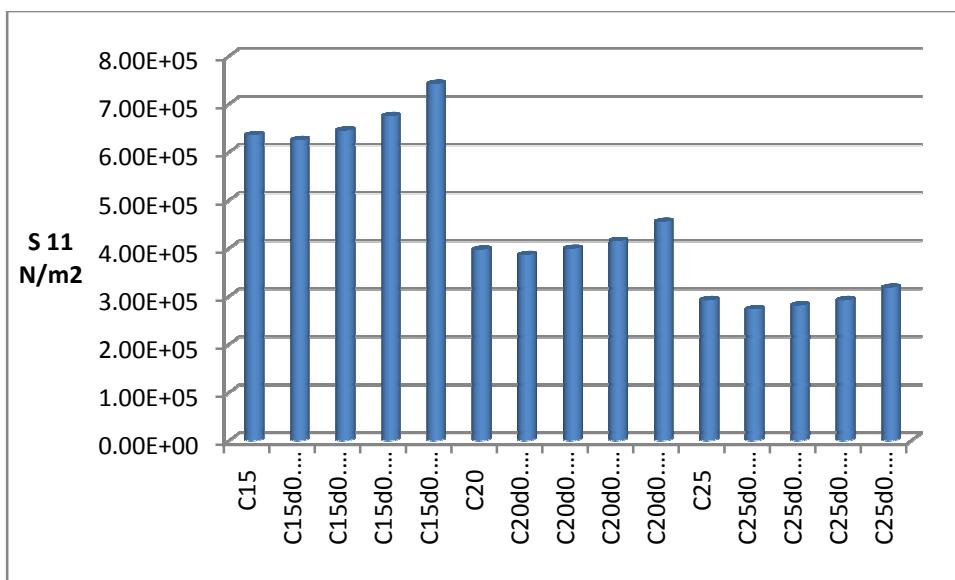
با بررسی نتایج حاصل از نمودارها ملاحظه می‌شود که در هر چهار نوع دال طراحی شده، نمونه‌ای که در آن قطر گوی‌های پلاستیکی برابر شش دهم ضخامت دال است ($d=0.6h$)، دارای کمترین میزان خیز (تغییر مکان) بوده و از این لحاظ دارای بهترین عملکرد می‌باشد.

با بررسی دقیقتر این نمودارها مشاهده می‌شود که با افزایش قطر این گوی‌های پلاستیکی، به علت کاهش حجم بتن مصرفی، وزن دال کاهش پیدا کرده و بنابراین میزان خیز وسط دال کمتر می‌شود که این کاهش خیز تا قطر 0.6h گوی‌ها ادامه یافته ولی برای قطر بیشتر گوی‌ها با وجود کمتر شدن وزن دال، شاهد افزایش خیز موجود در وسط آن می‌شویم، که این امر به دلیل کاهش بیش از حد سختی دال به دلیل حفره‌های موجود در آن است.

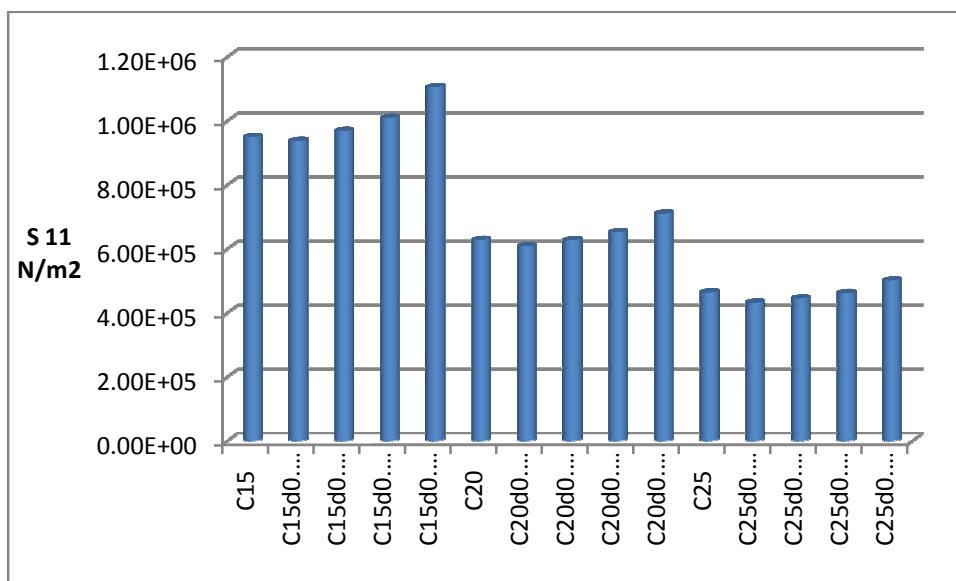
معیار دیگری که برای تعیین ابعاد بهینه گوی‌های پلاستیکی در داخل دال بتن‌آرمه مد نظر است، معیار مقاومت یا همان تنش‌های موجود در دال می‌باشد که نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها برای این معیار در نمودارهای زیر آمده است.



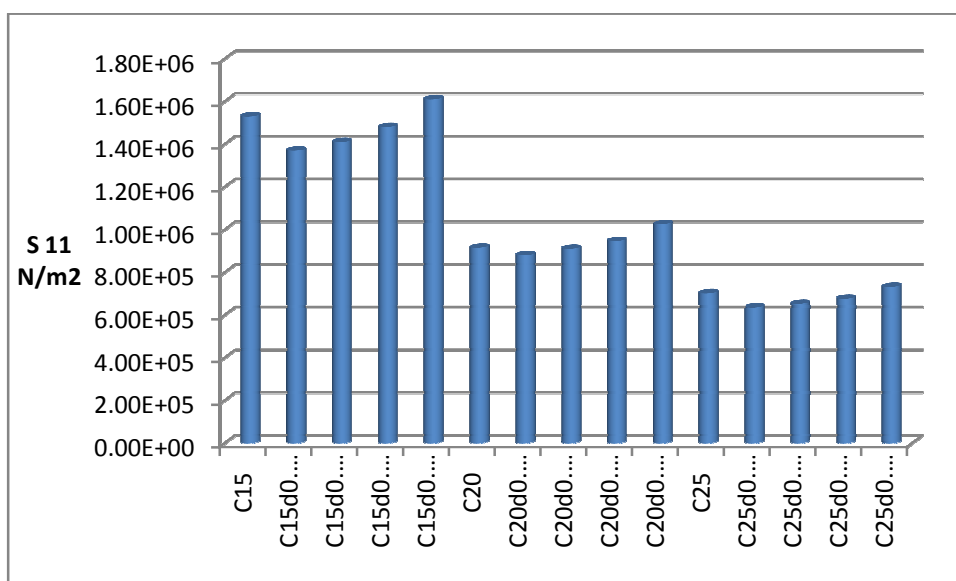
شکل ۷-۱۳- مقایسه بیشینه تنش خمشی ایجاد شده در نمونه‌های دال ۳×۳



شکل ۷-۱۴- مقایسه بیشینه تنش خمشی ایجاد شده در نمونه‌های دال ۴×۴



شکل ۷-۱۵- مقایسه بیشینه تنش خمشی ایجاد شده در نمونه‌های دال ۵×۵



شکل ۷-۱۶- مقایسه بیشینه تنش خمشی ایجاد شده در نمونه‌های دال ۶×۶

بررسی نتایج بدست آمده از مقایسه نمونه‌ها در نمودارهای نشان داده شده، حاکی از آن است که میزان تنش خمشی ایجاد شده در دال بتنی ساده به دلیل توپر بودن (وزن زیاد) آن مقدار بیشتری نسبت به دال کوبیاکس می‌باشد. همانگونه که از مشاهده نتایج نمونه‌ها برمی‌آید، با تعبیه گوی‌های پلاستیکی، به دلیل کاهش وزن دال بتن آرمه، میزان تنش ایجاد شده در بتن کاهش پیدا کرده و عملکرد این گوی‌ها مثبت ارزیابی می‌شود. با افزایش قطر گوی‌های مصرفی در داخل بتن با وجود اینکه وزن دال بتنی کاهش پیدا می‌کند و انتظار می‌رود که تنش ایجاد شده در بتن کاهش یابد، اما تنش خمشی نه تنها کاهش نمی‌یابد بلکه با افزایش قطر گوی‌ها شاهد افزایش تنش خمشی موجود هستیم. این امر به دلیل کاهش سطح بلوک تنش در محل قرارگیری گوی‌های پلاستیکی می‌باشد. این مسئله نشان می‌دهد که تاثیر کاهش سطح بلوک تنش بیشتر از کاهش وزن دال بوده که همین عامل باعث افزایش تنش خمشی ایجاد شده در ضخامت دال می‌شود.



۸-۱- مقدمه

هدف از ارائه این رساله انجام تحقیقات به منظور دستیابی به ابعاد بهینه گوی‌های پلاستیکی موجود در دال‌های کوبی‌اکس می‌باشد. برای این منظور حالت‌های گوناگون از ابعاد و پارامترهای مختلف این دال‌ها را با شیوه‌ای منطقی با یکدیگر ترکیب کرده‌ایم. نتیجه این ترکیب منطقی ایجاد ۶۰ نمونه دال کوبی‌اکس بوده که در نرم‌افزار اجزای محدود ABAQUS مدل‌سازی شده و مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۸-۲- نتایج

همانگونه که در فصل قبل گفته شد در این تحقیق چهار اندازه گوناگون دال بتنی مورد بررسی قرار گرفت و تحلیل نتایج برای هر یک از این چهار اندازه انجام شده است. ابعاد دال‌های مورد بررسی عبارتند از دال‌های 3×3 ، 4×4 ، 5×5 و 6×6 متر مربع که هر کدام از این دال‌ها با سه ضخامت مختلف ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده‌اند. ابعاد گوی‌های پلاستیکی موجود در سقف کوبی‌اکس نیز به صورت ضربی از ضخامت دال بتنی لحاظ شده است. به این ترتیب نمونه‌های ایجاد شده را در نرم‌افزار مدل‌سازی و تحلیل کردیم.

همان‌گونه که در ارتباط با معیارهای انتخاب نمونه بهینه در فصل گذشته آمده است، کم شدن تنش و تغییر مکان در وسط دال بتن آرمه هدف اصلی این رساله در طراحی گوی‌های پلاستیکی است. بدیهی است که ابعاد بهینه گوی‌های موجود در سقف کوبی‌اکس، آنهایی هستند که بتوانند مقادیر پارامترهای فوق را تا حد امکان کاهش دهند.

بررسی نتایج بدست آمده از تحلیل نتایج نشان می‌دهد که در هر چهار نوع دال طراحی شده، نمونه‌ای که دارای گوی‌هایی با قطر $0.6h$ (h ضخامت دال بتنی) است، دارای کمترین

میزان خیز (تغییر مکان وسط دال) می‌باشد که این امر نشان دهنده عملکرد مناسب این اندازه قطر گوی‌ها (0.6h) نسبت به سایر اندازه‌های در نظر گرفته شده می‌باشد.

با بررسی دقیقتر نمودارهای (۶-۷) تا (۶-۱۰) مشاهده می‌شود که با افزایش قطر این گوی‌های پلاستیکی، به علت کاهش حجم بتن مصرفی، وزن دال کاهش پیدا کرده و بنابراین میزان خیز وسط دال کمتر می‌شود که این کاهش خیز تا قطر 0.6h گوی‌ها ادامه یافته ولی برای قطر بیشتر گوی‌ها با وجود کمتر شدن وزن دال، شاهد افزایش خیز موجود در وسط آن می‌شویم، که این امر به دلیل کاهش بیش از حد سختی دال به دلیل حفره‌های موجود در آن است.

معیار دیگری که برای تعیین ابعاد بهینه گوی‌های پلاستیکی در داخل دال بتن‌آرمه مد نظر است، معیار مقاومت یا همان تنش‌های موجود در دال می‌باشد که نتایج حاصل از تحلیل نمونه‌ها برای این معیار در نمودارهای (۶-۱۱) تا (۶-۱۴) آمده است.

بررسی نتایج بدست آمده از مقایسه نمونه‌ها در نمودارهای نشان داده شده، حاکی از آن است که میزان تنش خمشی ایجاد شده در دال بتنی ساده به دلیل توپر بودن (وزن زیاد) آن مقدار بیشتری نسبت به دال کوبیاکس می‌باشد. همانگونه که از مشاهده نتایج نمونه‌ها برمی‌آید، با تعبیه گوی‌های پلاستیکی، به دلیل کاهش وزن دال بتن‌آرمه، میزان تنش ایجاد شده در بتن کاهش پیدا کرده و عملکرد این گوی‌ها مثبت ارزیابی می‌شود. با افزایش قطر گوی‌های مصرفی در داخل بتن با وجود اینکه وزن دال بتنی کاهش پیدا می‌کند و انتظار می‌رود که تنش ایجاد شده در بتن نیز کاهش یابد، اما تنش خمشی نه تنها کاهش نمی‌یابد بلکه با افزایش قطر گوی‌ها شاهد افزایش تنش خمشی موجود هستیم. این امر به دلیل کاهش سطح بلوک تنش در محل قرارگیری گوی‌های پلاستیکی می‌باشد. این مسئله نشان می‌دهد که تاثیر

کاهش سطح بلوک تنش بیشتر از کاهش وزن دال بوده که همین عامل باعث افزایش تنش خمشی ایجاد شده در ضخامت دال می‌شود.

پیشنهاده‌ها

هدف اصلی این تحقیق همانگونه که ملاحظه گردید، دستیابی به ابعاد بهینه گوی‌های پلاستیکی به منظور کاهش تنش‌های خمشی و تغییر مکان حداکثر موجود در دال بتنی کوبیاکس بوده و تمرکز مطالعات تنها روی قطر گوی‌های موجود در دال صورت گرفته است، در حالی که علاوه بر اندازه گوی‌های مصرفی، مورد دیگری که در ارتباط با بهینه سازی این سقف‌ها می‌تواند تاثیر گذار باشد نحوه قرارگیری و فاصله گوی‌ها از یکدیگر است که می‌توان آن را در تحقیقات بعدی مورد ارزیابی و مطالعه قرار داد.

- [1] De Mello, T.R., Busfield, S., Dunlop, S.A. and Plant, G.W. Culture Design adjustment factors and the economical application of concrete flat-slabs with internal spherical voids in South Africa. Corneille Charles Marais. **August 2009**
- [2] Building code requirements for structural concrete and commentary committee 318, ACI 318-08. USA **2005**
- [3] Reinforced concrete design to BS 8110: simply explained, E. &F.N.Spon, London, 239 pp. Allen, A.H. **1988**
- [4] Cobiax technology handbook, Cobiax technologies AG Zug, Switzerland. CBD-MS&CRO **2006**
- [5] Tragwerke aus beton, stahlbeton und spannbeton, Teil 1 bemessung und konstruktion. DIN 1045-1Germany **2000**
- [6] Combined membrane and flexural reinforcement in plates and shells. Journal of structural engineering , ASCE, V.112, No.3, pp. 550-557. Gupta, A.K. **1986**
- [7] The South African institution of civil engineers-Design of prestressed concrete flat slabs. The joint structural division of the South African institution of civil engineers and the institution of structural engineers, Johannesburg. Report No.2. **1989**
- [8] South African bureau of standards. Detailing of steel reinforcement for concrete. SANS 10144, SABS, Pretoria, 143pp. SABS 0144 **1995**
- [9] South African national standards 200. Code of practice for the structural use of concrete part1, SABS, Pretoria. SANS 10100-1 **2000**

- [10] Transverse force capability of the bubble deck, Technical university Darmstadt's institute for solid construction (in German), Germany. Schellenbach-Held, M. Pfeffer, k. 1999
- [11] The modified compression-field theory for reinforced-concrete elements subject to shear. Journal of the American Concrete Institute, Vol. 83, No.2, pp. 219-231. Vecchio, F.J. & Collins, M.P. **1986**
- [12] ABAQUS User Manual Version 6.11-1. ABAQUS Inc.
- [13] www.cobiaxiran.com

Abstract

The cobiax system is kind of appropriate slab that removing the concrete ineffective reduces dead load and thereby reduces the displacement and longer spans. It often consists of hollow spheres of plastic compression usually made of Polyethylene or Polypropylene concrete is placed into the cavity of a network such as the slab creates and formats such as flat slabs can be easily done. Thereby reducing the weight of the concrete intake of slabs with larger openings are pre-tensioned cables can be used without.

In discussing the optimization of factors affecting the hardness and strength of cobiax roof can be slab thickness, the size of the balls, the balls away, long span steel profile and the concrete was studied.

The size and spacing of the balls has a great effect on the stiffness and strength cobiax slab, with larger spheres reduced dead weight and the stiffness of the roof slab is reduced. It is desirable the dead load of concrete (concrete ineffective) until we have less effect on the shift and reduce the stress of higher strength and stiffness, this is optimal.

In this study firstly, a model and a laboratory prototype to achieve similar results in vitro model to evaluate the accuracy of the finite element software and finally slab with different thickness and size of the spheres was studied and the results are shown on the chart, and this is achieved through optimum dimensions for the spheres.

Keywords: cobiax slab, optimization, stiffnes, strength , finite element method



Shahrood University of Technology
Faculty of civil and Architectural Engineering

**Optimization of effectiveness parameter on strength and
stiffness of cobiax floor**

Mehdi Sharafi

Supervisor:

Dr.V.R.Kalatjari

Advisor:

Dr. S.M.Tavakkoli

July 2013