نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)
www.cpjournals.com

# Cubiax Roof

**Mojtaba Nosrati ۱ ***

* ۱- Master's degree student in structural engineering, Payame Noor University, North Tehran

**Email:**

nosrati.mojtaba@gmail.com

## Abstract

*Structural engineers have long sought ways to reduce the weight of structures while maintaining structural strength. With the invention of the design and implementation of Cubiax roofs, they succeeded to some extent in achieving this important goal. These roofs, by significantly reducing their weight compared to conventional concrete roofs, at the same time as sufficient strength and in accordance with construction regulations, have also reduced the use of concrete. Obviously, this has a positive effect on reducing the overall cost of the building structure as well as better environmental protection. In this research, we have tried to study Cubiax roofs, including the concept of Cubiax, the reasons for choosing and entering Cubiax technology, the components of this system, the implementation of Cubiax roofs, the advantages of Cubiax roof compared to other roofs, the architectural advantages of Cubiax system and. .. Be noted.*

**Keywords***: Cubiax roof, hollow spheres, hollow roof, weight loss, environment*

**All rights reserved to Civil & Project Journal.**

نشریه عمران و پروژه
Civil & Project Journal(CPJ)
www.cpjournals.com

# سقف کوبیاکس

**مجتبی نصرتی**[1*]

*[1*]- دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه پیام نور تهران شمال*

***پست الکترونیکی:***

*nosrati.mojtaba@gmail.com*

***تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۱۱/۰۲ تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۱۱/۲۸***

## چکیده

*از دیرباز مهندسین سازه به دنبال شیوه هایی بودند تا در عین حفظ استحکام سازه، بتوانند از وزن سازه ها بکاهند. با ابداع شیوه ی طراحی و اجرای سقف های کوبیاکس تا حدودی موفق شدند به این مهم دست پیدا کنند. این سقف ها با کاهش محسوس وزن خود نسبت به سقف های بتنی معمول، در عین استحکام کافی و مطابق با مقررات ساخت و سازها، باعث کاهش استفاده از بتن نیز شده اند. بدیهی است این موضوع تأثیر مثبت در کاهش هزینه های کلی اسکلت ساختمان و همچنین حفظ بهتر محیط زیست می شود. اصول طراحی این نوع سقف بر مبنای حذف قسمتی از بتن میانی و ایفای عملکرد دال دوطرفه میباشد، به نحوی که یک دال بتنی حاوی حفره های ناشی از حضور گوی های کروی توخالی فراهم می شود. سقف هژای مجوف بتن مسلح کوبیاکس، از دو لایه بتن مسلح تشکیل شده است که در بالا و پایین دال و بطورگسترده قرار می گیرد و حدفاصل این دو لایه با گوی های کروی شکل از جنس پلی پروپیلن پر می شود که با توجه به نیاز پروژه و محاسبات طراحی، ابعاد مختلفی دارند. در این پژوهش سعی بر آن شده که به بررسی سقف های کوبیاکس از جمله مفهوم کوبیاکس، دلایل انتخاب و ورود تکنولوژی کوبیاکس، اجزای این سیستم، اجرای سقف های کوبیاکس، مزایای سقف کوبیاکس در مقایسه با سقف های دیگر، مزایای معماری سیستم کوبیاکس و... اشاره شود.*

**کلمات کلیدی: سقف کوبیاکس، گوی های توخالی، سقف مجوف، کاهش وزن، محیط زیست**

## ۱- مقدمه

در حالی که هزاران سال از ساخت بتن (ملات سیمانی) می‌گذرد، ولی امروزه استفاده از این ماده دست ساز انسانی به فور افزایش یافته است. ولی آن‌چه باعث می‌شود استفاده از بتن در ساختمان‌ها محدود شود، وزن زیاد آنها است. به همین منظور، روش‌های ساخت سازه‌های بتنی به قدری توسعه یافته است که روش‌های نوین جای خود را به شیوه‌های سنتی داده‌اند. سیستم سقف کوبیاکس توانسته تحول بزرگی در صنعت ساختمان‌سازی ایجاد کند. استفاده از این سقف دارای مزایای بی شماری است، کاهش وزن و هزینه‌های ساخت‌وساز به همراه ویژگی‌های زیست محیطی نشان از اهمیت بی‌بدلیل این نوع سقف بتنی دارد.

سقف کوبیاکس نمونه ای از جدیدترین نمونه های سقف سبک است که در پروژه های ساخت و ساز مکان های مختلف کاربرد دارد. سقف های سنگین و یکپارچه در اثر نیروی ناگهانی زلزله تلفات بسیاری را وارد کرده و فضای معماری را بهم می زنند. به همین دلیل استفاده از مصالح مناسب جهت ساخت آن ها اهمیت بسیار زیادی دارد. امروزه با پیشرفت تکنولوژی، مهندسین و معماران ساختمانی سعی در ساخت سقف های سبک به منظور بالا بردن ایمنی ساختمان دارند.

در اجرای سقف کوبیاکس از موادی با وزن سبک استفاده می‌شود که وزن نهایی سقف سازه را کاهش می‌دهند. از میلگرد و گوی‌های توخالی به عنوان بخش‌های اصلی این سقف یاد می‌شود. با توجه به اینکه گوی های توخالی امکان نگه داشتن هوا را دارند و تقسیم فشار سقف به صورت افقی و عمودی انجام می‌گیرد، عملاً فشار خاصی بر سازه وارد نمی‌شود و سقف به صورت معلق باقی می‌ماند.

**نمونه شماتیک قرارگیری گوی داخل بتن در سقف کوبیاکس**

## ۲- سقف کوبیاکس چیست؟

امروزه بسیاری از مهندسین و معماران سعی بر آن دارند تا با استفاده از تکنولوژی روز دنیا سقف هایی را اجرا و طراحی کنند تا بتواند بهترین کارایی و کیفیت را داشته و هزینه های اجرای بسیار کمی را نیز در بر داشته باشد. به این منظور نیز در بسیاری از کشورهای جهان انواع آزمایشات و تحقیقات صورت می گیرد که یکی از مهمترین این تحقیقات و طراحی ها توسط مهندسین آلمانی و سوئیسی صورت گرفت و نتیجه این تحقیقات نیز طراحی سقف کوبیاکس شد. استفاده از این مدل سقف ها در کشورهای اروپایی بسیار بیشتر از سایر کشورها می باشد و این سقف از لحاظ اجرا و ظاهری شباهت زیادی با سقف یوبوت دارد با این فرق که در سقف های کوبیاکس از قالب های کروی شکل استفاده می شود. توجه داشته باشید که در سال های اخیر نیز استفاده از این مدل سقف در کشور ما رواج پیدا کرده است به گونه ای که بسیاری از مهندسین با فراگیری علم طراحی و اجرای سقف های کوبیاکس، سعی بر آن دارند تا در بسیاری از سازه های خود از این مدل سقف ها استفاده نمایند.

## پیشینه کوبیاکس

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

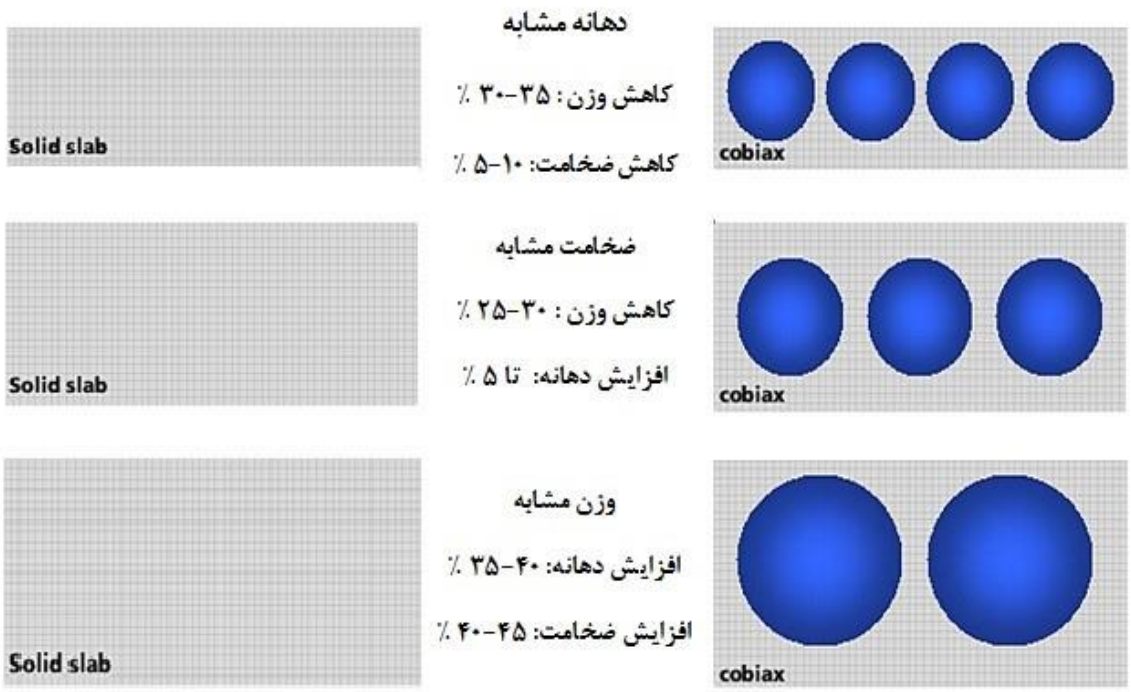
## مفهوم کوبیاکس

تکنولوژی کوبیاکس از یکی از مدرنترین روش های کاهش وزن سازه با حفظ عملکرد سازه ای آن می‌باشد که مفتخر به دریافت تائیدیه فنی از موسسه فنی دولتی تکنیک ساختمان آلمان (DIBT) و تائیدیه از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن وزارت مسکن و شهرسازی بوده و برنده جایزه بهره وری منابع آلمان و منتخب اول تکنولوژی سبز سال ۲۰۱۰ سوییس است.

اصول کلی این سیستم ایجاد یک دال تخت از طریق بتن ریزی درجا همراه با حفرات دائمی در دو جهت می‌باشد. هدف از استفاده از این حفرات (قطعات کروی و تخت) حذف بتن غیر ضروری می باشد. در واقع عملکرد سیستم دال کوبیاکس بدین ترتیب است که با شکل گیری غشای بتنی مستحکم در قسمت فوقانی و تحتانی دال به همراه شبکه تیرچه های داخلی (ناشی از قراردهی گوی های توخالی در سرتاسر فضای میانی دال بتنی در امتداد دو محور متعامد) بار مرده ی غیر سازه ای حذف و خاصیت باربری دو محوره ارتقاء می یابد و لذا می توان ظرفیت باربری بالاتری را برای این دال متصور شد.

دال کوبیاکس می تواند وزن یک متر مربع دال را تا ۳۰٪ نسبت به دال تخت با ضخامت مشابه کاهش دهند. در نتیجه این امر، ظرفیت خمشی این نوع دال افزایش قابل ملاحظه‌ای نسبت به دال تخت هم وزن خود می‌یابد. با توجه به نیازهای طرح، سیستم سقف کوبیاکس می‌تواند به صورت پیش‌ساخته، نیمه پیش‌ساخته و یا درجا اجرا گردد. همچنین این سیستم به راحتی قابل ترکیب با دیگر سیستم‌ها نظیر سیستم‌های پیش تنیده می‌باشد.

در این سیستم تیر در معنای مصطلح قابل حذف می باشد که در این صورت باربری جانبی توسط دیوارهای برشی تأمین می‌گردد. کوبیاکس در اکثر مواقع به عنوان سیستم دال ستون به همراه دیوارهای برشی استفاده می‌شود. در این حالت ضمن صرفه جویی در مصرف بتن و فولاد، سطحی صاف و بدون آویز تیر در سازه ایجاد می‌شود.




**مقایسه وزن، ضخامت و دهانه دال کوبیاکس و دال توپر در شرایط یکسان**

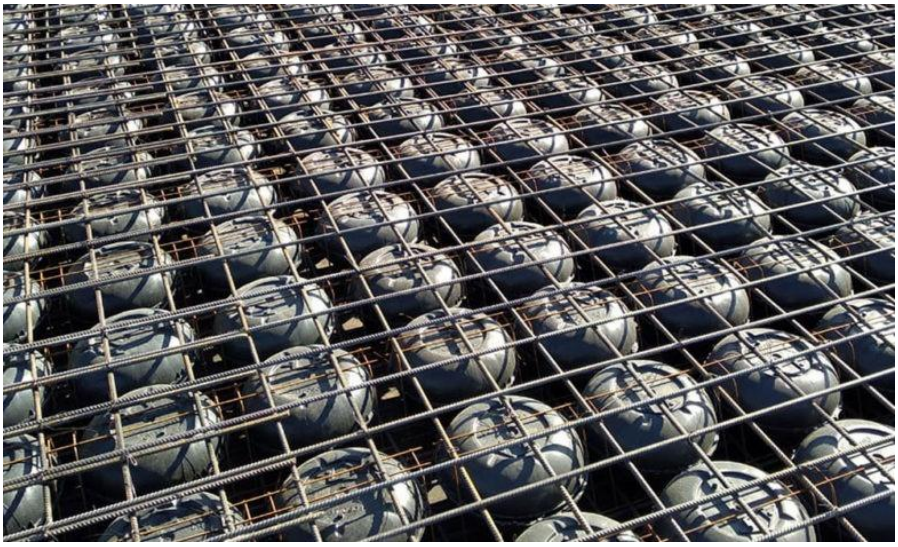
این سقف که از ضخامت کمتری نسبت به سبک‌های سنتی برخوردار است، از دو ردیف میلگرد فولادی و یک ردیف گوی توخالی (ساخته شده از اتیلن و پلی اتیلن بازیافتی) تشکیل می‌شود که نیازی به اضافه کردن موارد مختلف دیگر ندارد. در این سقف، بار کلی بر روی دو محور تقسیم می‌شود که باعث کاهش فشار بر روی سازه می‌شود.

**قرارگیری گوی ها در قسمت های دارای بار مرده ی غیر سازه ای**

**سقف های کوبیاکس(Cobiax)** ، جزء گروه سقف های مجوف می باشد که می توان سازه هایی تا دهانه های ۸ متر را به راحتی اجرا نمود. این نوع سقف برای سازه های با دهانه های بیشتر از ۱۱ متر مطابق تاییدیه های مرکز تحقیقات ساختمان پیشنهاد نمی گردد. جزئیات اجرایی سقف های کوبیاکس شباهت های زیادی با سقف های یوبوت دارد با این تفاوت ظاهری که بجای قالب های مکعبی شکل استفاده شده در سقف های یوبوت، از قالب های توپی (کروی شکل) در سقفهای کوبیاکس بهره گرفته می شود.

گوی های کوبیاکس ۱۰۰ درصد قابل بازیافت هستند و در حد فاصل آرماتوربندی های بالا و پایین به راحتی می توان آنها را قرار داد. تکنولوژی سقف کوبیاکس بر اساس ساخت سقف دال بتنی دو طرفه است که با حذف بار مرده غیر سازه ای خاصیت باربری دو محوره همچنان حفظ می شود. با شکل گیری لایه بتنی مقاوم در بالا و پایین دال و با شکل گیری تیرچه های داخلی در دو امتداد به دلیل قرار دادن گوی ها در سراسر فضای میانی دال بتنی, باربری مناسبی برای این دال ایجاد می شود.

این گوی ها در حدفاصل مش های میلگردی بالا و پایین قرار می گیرند. در سقف کوبیاکس با جایگزینی گوی های پلاستیکی و حذف بار مرده ی غیرسازه ای خاصیت باربری ۲ محوره همچنان حفظ می شود و با ریختن و به وجود آمدن ۲ لایه بتن در قسمت های فوقانی و تحتانی دال و همچنین دو شبکه مش در بالا و پایین دال باعث می شود که این نوع سقف باربری خوبی داشته باشد.



**مش بندی با میلگرد در قسمت فوقانی و تحتانی گوی ها**

**دلایل انتخاب و ورود این تکنولوژی 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 مسآله معماری و سازه ای
- ✓ تکنولوژی دوستدار محیط زیست

## ۳- اجزای تشکیل دهنده ی دال کوبیاکس

دال کوبیاکس سیستمی است که در واقع از چند ماده مختلف شامل بتن، فولاد، کیج ماژول و هوا تشکیل شده است. می توان اجزا تشکیل دهنده آن را در سه بخش معرفی نمود:

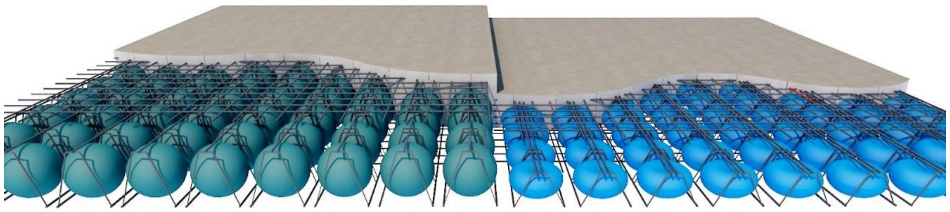
**۱ - کیج ماژول های کوبیاکس:** این عناصر شامل قفسه های نگهدارنده (Cage) و قطعات پلاستیکی به شکل کروی و یا تخت می باشند. هر کیج ماژول شامل ۵ تا ۷ عدد گوی کوبیاکس می شود که حدوداً ۵ کیلوگرم وزن دارد و به راحتی توسط نیروی انسانی قابل حمل است.

- ✓ **قفسه های نگهدارنده:** وظیفه کیج ها نگهداری گوی های کوبیاکس در موقعیت مورد نظر آنها هنگام بتن ریزی سقف می باشد. اگر چه نتایج تحلیلی آزمایشات بیانگر این است که آرماتورهای قائم قفسه‌های کوبیاکس، ظرفیت برشی قابل توجهی دارند اما در جهت اطمینان در طراحی سقف از این ظرفیت صرف‌نظر می‌گردد. همچنین وجود کیج ها باعث ثابت نگه داشتن و سهولت حمل و نقل گوی‌ها شده و در نتیجه سرعت اجرای سقف را به طور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد. طول این قفسه ها حدود ۲.۵ متر می‌باشد البته در بعضی موارد با توجه به اندازه گوی‌ها ممکن است این طول کوچک‌تر باشد.
- ✓ **گوی های کوبیاکس:** این قطعات در دو شکل کلی می باشند. نوع اول گوی های تخت و یا لهیده (Slim-Line) می باشند که ارتفاعی بین ۱۰۰ تا ۲۶۰ میلیمتر دارند. استفاده از این قطعات در نهایت منجر به ایجاد دال با ضخامت ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلیمتر می‌شود. نوع دوم که گوی های کروی (Eco-Line) نام دارند ضخامتی بین ۳۱۵ تا ۴۵۰ میلیمتر داشته و در دال‌های با ضخامت ۴۵۰ تا ۶۰۰ میلیمتر استفاده می‌شوند.

کیج های ماژول

**۲ – فولاد:** فولاد مورد استفاده در دال کوبیاکس، به جز مفتول های بکار رفته در قفسه های کوبیاکس، در واقع همان آرماتوهای اصلی دال می باشند که در دو جهت عمود بر هم در لایه های بالایی و پایینی دال قرار می گیرند. تعداد و قطر این آرماتورها تابع طول دهانه، بارگذاری و ضخامت دال می باشند. میزان مصرف میلگرد در دال کوبیاکس به واسطه ی کاهش وزن آن، در مقایسه با دال توپر حدود ۱۰٪ کمتر می باشد.

**۳ – بتن:** بتن مورد استفاده در دال‌های کوبیاکس از نوع بتن معمولی بوده و هیچ تفاوتی با بتن های مورد استفاده در سایر اجزای سازه ای ندارد. همچنین استفاده از افزودنی های بتن و مواد روان کننده در این نوع دال‌ها الزامی نیست.



**انواع گوی های تخت و کروی مورد استفاده در سقف کوبیاکس**

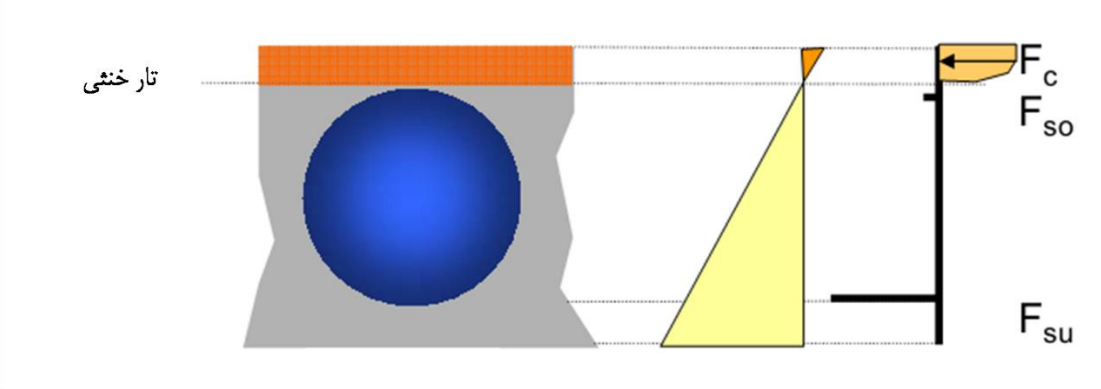
## ۴- طراحی

ضوابط آیین‌نامه ای حاکم بر دال کوبیاکس، بسیار مشابه دال تخت می‌باشد. بنابراین این سیستم می‌تواند در ترکیب با سیستم‌های باربر جانبی مختلف نظیر قاب خمشی و دیوار برشی به کار گرفته شود. همچنین در شرایطی که ارتفاع سازه کوچکتر از ۳ طبقه و یا ارتفاع آن کمتر از ۱۰ متر می‌باشد، این سیستم به تنهایی به عنوان سیستم باربر جانبی قابل استفاده است (بدون دیوار برشی و یا قاب خمشی).

### رفتار سازه‌ای دال کوبیاکس

۱- مقاومت خمشی

سقف کوبیاکس با حذف حجمی از بتن دال که تأثیری در ظرفیت خمشی آن ندارد، حاصل می‌شود. در دال‌ها معمولا ضخامت ناحیه‌ی فشاری کم بوده در نتیجه تحت بارگذاری متداول، گوی‌ها در بلوک فشاری قرار نگرفته و در نتیجه مقاومت خمشی آن مشابه دال توپر می‌باشد. در این حالت همچون دال معمولی، تنها بلوک فشاری بتن و میلگردهای کششی تأمین کننده رفتار خمشی دال خواهند بود.




**- قرارگیری موقعیت تار خنثی در بالای گوی‌های پلاستیکی (حالت مرسوم بارگذاری).**

بنابراین، مقاومت نهایی خمشی مقطع دال کوبیاکس از روش‌های مرسوم شرح داده شده در آیین‌نامه‌های بتنی، قابل محاسبه است. در مواردی که میزان نیروهای اعمالی بر دال غیر معمول باشد، لازم است تا موقعیت صحیح تار خنثی محاسبه گردد. البته در عمل، کنترل خیز و همچنین وجود آرماتور فشاری در قسمت بالای دال، موقعیت تار خنثی را در قسمت فوقانی حفظ می‌کند. به عنوان مثال برای دالی به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر و گوی‌هایی به قطر ۱۸ سانتی‌متر با مش میلگرد نمره ۱۶ به فاصله‌ی ۱۰ سانتی‌متر (که آرماتورگذاری متراکمی می‌باشد)، اگر مقاومت فشاری بتن و فولاد به ترتیب ۲۵ و ۴۰۰ مگاپاسکال باشد، عمق بلوک فشار برابر ۴.۴ سانتی‌متر محاسبه می‌شود، که از ۶ سانتی‌متر پوشش بتن روی گوی‌ها کمتر است.

۲- سختی

برخلاف سقف‌های توخالی یک‌طرفه ( هالو کور)، گوی‌های سقف کوبیاکس به صورت گسسته می‌باشند. بنابراین وجود گوی‌ها، تأثیر کمی بر کاهش سختی دال می‌گذارد. نتایج آزمایشگاهی که در دانمارک، آلمان و هلند انجام شده است، نشان می‌دهد که وجود گوی‌ها سختی ترک

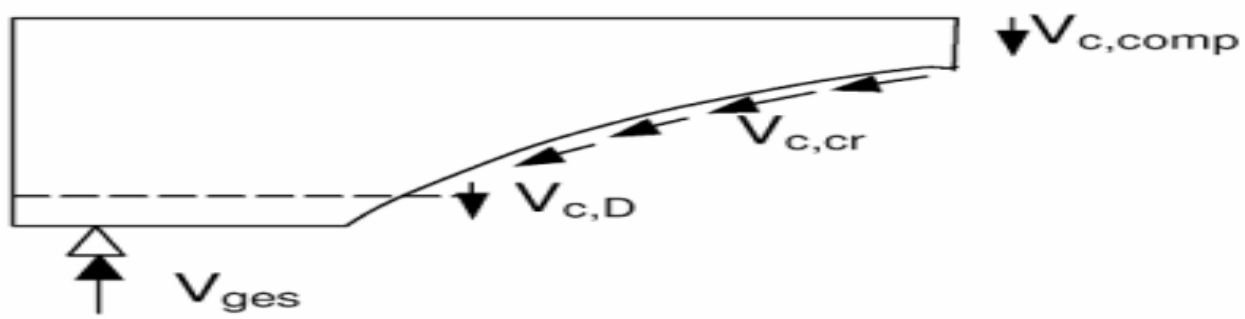
نخورده دال را به میزان ۸۷ تا ۹۳ درصد دال توپر هم ضخامت با آن کاهش می‌دهد. از لحاظ تئوریک، این ضریب نسبت ممان سطح دوم سه بعدی دال کوبیاکس به دال توپر است که محاسبه‌ی آن براساس مقطع ترک نخورده انجام می‌شود. لازم به ذکر است که علیرغم کاهش سختی دال کوبیاکس در قیاس با دال توپر هم ضخامت با آن، با توجه به کاهش ۳۰ درصدی وزن آن، در عمل خیز دال کاهش می یابد.

۳- مقاومت برشی

با توجه به استانداردهای موجود، محاسبه‌ی مقاومت برشی برای سقف‌های توخالی یک طرفه براساس حداقل ضخامت جان مقطع سقف صورت می‌گیرد. با در نظر گیری این تئوری برای دال‌های دوطرفه کوبیاکس، مقاومت برشی این دال حدود ۱۰ درصد مقاومت برشی دال توپر هم‌ضخامت خود به دست می‌آید. برای سقف کوبیاکس حداقل عرض مقطع در یک موقعیت حدی اتفاق می‌افتد و در نقاط مجاور آن، مقطع برشی افزایش می‌یابد. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مقاومت برشی دال کوبیاکس به مراتب بیشتر از مقدار محاسبه شده براساس تئوری مورد اشاره می‌باشد.

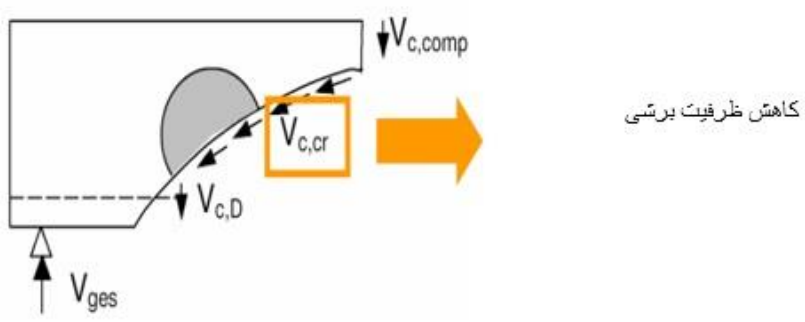
به صورت کلی مقاومت برشی المان‌های بتنی توپر بدون آرماتور برشی از سه سازوکار زیر تشکیل می‌شود:

- ✓ مقاومت برشی مقطع ترک نخورده ناحیه‌ی بلوک فشاری.
- ✓ مقاومت برشی ناشی از اثر قفل و بست بین سنگدانه‌ها در طول ترک.
- ✓ مقاومت برشی ناشی از آرماتورهای کششی.



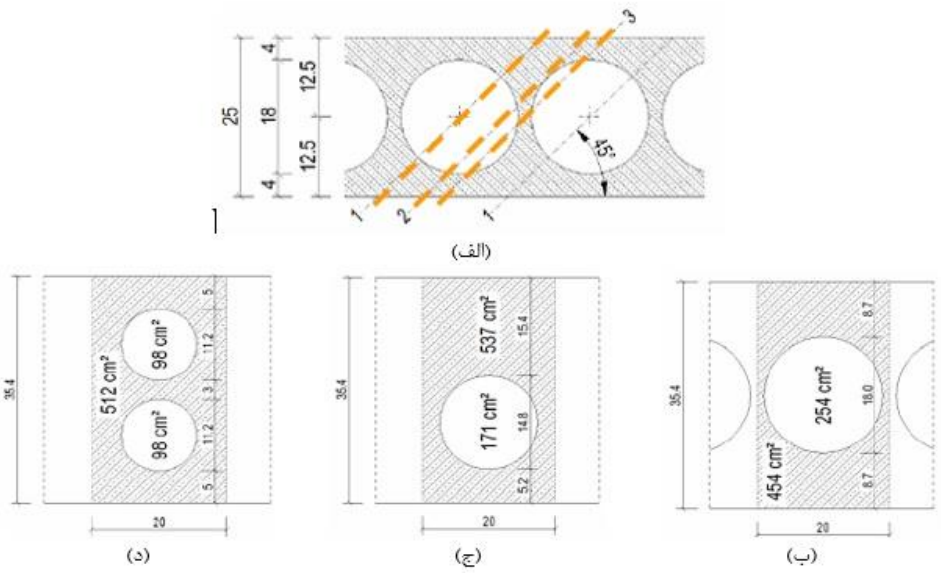

**- ساز و کار باربری برشی در دال توپر.**

در مورد سقف کوبیاکس، ظرفیت برشی ناشی از قفل و بست سنگدانه‌ها به دلیل وجود گوی‌های توخالی کاهش می‌یابد. بنابراین کاهش مقاومت برشی در این دال‌ها باید در نظر گرفته شود. در این حالت مقاومت برشی ناحیه‌ی بلوک فشاری و آرماتورهای کششی ثابت می‌ماند. سهم منطقی هر یک از ساز و کارهای مورد اشاره در تعیین ظرفیت برشی مشخص نیست و در مطالعات پژوهشی، نسبت‌های مختلفی ارائه شده است. در یک فرض محافظه‌کارانه برای محاسبه‌ی نسبت ظرفیت برشی دال کوبیاکس به دال توپر، تمامی ظرفیت برشی به اثر قفل و بست سنگدانه‌ها اختصاص داده می‌شود.




- ساز و کار باربری برشی در دال کوبیاکس.

با توجه به فرض فوق سطح مقطع موثر به جای کمترین عرض موثر مقطع در نظر گرفته می‌شود. این سطح مقطع قائم نیست بلکه دارای زاویه‌ی بین ۳۰ تا ۴۵ درجه می‌باشد (زاویه‌ی معمول ترک‌های برشی). بنابراین با توجه به هندسه‌ی دال کوبیاکس و فرض زاویه‌ی صفحه‌ی ترک ۳۰ تا ۴۵ درجه، در بدترین حالت، ظرفیت برشی دال کوبیاکس برای گوی‌های لهیده ۰.۵ و برای گوی‌های کروی شکل ۰.۵۵ مقاومت برشی دال توپر هم‌ضخامت و با بتن و آرماتور طولی یکسان محاسبه می‌شود.




- ظرفیت برشی دال کوبیاکس، الف) مقطع دال، ب) برش ۱، $\alpha = ۰.۵۵$، ب) برش ۲، $\alpha = ۰.۷$ و ج) برش ۳، $\alpha = ۰.۶۵$.

صحت ضرایب فوق توسط مطالعات آزمایشگاهی تایید شده است. لازم به ذکر است، نتایج تحلیلی نشان می‌دهد که آرماتورهای قائم قفسه‌های دال کوبیاکس، ظرفیت برشی دال را تا ۱۰۰ درصد برای گوی‌های لهیده و ۶۶ درصد برای گوی‌های کروی افزایش می‌دهد. اما در جهت اطمینان در طراحی سقف از این ظرفیت صرف‌نظر می‌گردد.

۴- ارتعاش ( لرزش )

یکی از مسائلی که به طور معمول بهره برداری سقف ها را دچار مشکل می کند، لرزش سقف در حین بهره برداری است. در حقیقت ارتعاش سقف در صورتی که از حد مجاز فراتر رود باعث ایجاد نا امنی در استفاده کنندگان می شود. به همین منظور تحقیقاتی بر روی فرکانس طبیعی سقف های کوبیاکس در دانشگاه کاونتری بر روی ۱۲ نمونه دال با ابعاد و دهانه های مختلف انجام پذیرفته و نتایج آن با روش های محاسبات دستی و اجزای محدود (کامپیوتری) مقایسه گردید. بر اساس نتایج حاصل شده فرکانس دال های کوبیاکس حدود ۳.۶٪ تا ۱۱.۹٪ بیشتر از دال های تخت معمولی می باشد که این موضوع گویای رفتار لرزشی بهتر دال کوبیاکس می باشد.

۵- عملکرد لرزه ای (دیافراگمی) دال کوبیاکس

رفتار مطلوب دیافراگمی دال تضمینی جهت انتقال صحیح بارهای لرزه ای به سیستم باربر جانبی و نهایتاً فونداسیون ساختمان می باشد. دیافراگم باید به گونه ای طراحی شود که کلیه اتصالات دال- ستون و یا دال - دیوار برشی توانایی انتقال نیروهای درون صفحه و خارج صفحه ای را داشته باشند.

با توجه به اینکه بیشینه تمرکز تنش درون صفحه دیافراگم در محل اتصال وجود دارد و از آنجا که این نواحی به صورت توپر اجرا می گردد، بنابراین رفتار درون صفحه دال کوبیاکس تفاوتی با دال توپر معمولی نخواهد داشت و بدیهی است جهت کنترل و مقابله با نیروهای کشش و فشار درون صفحه ناشی از اثرات زلزله می بایستی المان های کولکتور طراحی و اجرا گردد.

۶- مقاومت در مقابل آتش

مطالعات مقاومت در مقابل آتش بر روی دال کوبیاکس، نشان می‌دهند که سقف کوبیاکس مشابه دال توپر رفتار می‌کند و نیاز به اعمال محدودیت بیشتری نمی‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که وجود حفرات در دال موجب تاخیر در انتقال حرارت می‌گردد. در صورتی‌که جنس گوی‌ها از مصالح استاندارد باشد در مقابل آتش به $CO_2$ و $H_2O$ تجزیه می‌شوند که اثرات خطرناکی برای سازه ایجاد نمی‌نماید. در آزمایشاتی که توسط آژانس آتش نشانی فدرال آلمان انجام پذیرفت، نمونه دال های کوبیاکس به مدت ۲۴۰ دقیقه تا حرارت ۶۰۵ درجه سانتیگراد را تاب آورد و موفق به اخذ تاییدیه فنی از این کشور شده است.

۷- عایق صوتی

جرم میانگین دال کوبیاکس کمتر از دال توپر می‌باشد. بنابراین خصوصیت عایق صوتی دال کوبیاکس مقدار کمی با دال توپر هم ضخامت خود، متفاوت است. ارزیابی صوتی دال کوبیاکس مشابه روش مورد استفاده برای دال توپر صورت می‌گیرد. با این تفاوت که محاسبات باید برای ضخامتی از دال توپر که جرمی معادل دال کوبیاکس دارد انجام شود که در این صورت دال کوبیاکس در مقابل بارهای صوتی شرایط بهتری نسبت به دال توپر هم جرم خود دارد.

## ۵- نحوه ی اجرای گام به گام سقف کوبیاکس

### ۱ - قالب بندی و اجرای شبکه مش تحتانی

بعد از اجرای ستون ها، در گام اول کل سقف دقیقا مشابه دال بتنی معمولی با استفاده از قالب چوبی یا فلزی قالب بندی می شود و سپس شبکه مش تحتانی اجرا را اجرا می کنیم. دقت کنید که شمع بندی به فاصله های ۱ تا ۱.۵ متر زیر قالب انجام شود.

قالب بندی

اجرای مش تحتانی

حداقل ۲ عدد میلگرد مش پایین از هسته ی ستون عبور کند.

نکته : شبکه مش تحتانی را در فاصله های ۲ متری با سیم مفتول ۲.۵ به قالب های سقف متصل کنیم. برای رعایت پوشش بتن نیز باید این میلگردها بر روی اسپیسر مهار شوند و لازم است بدانید که استفاده از سنگ، موزاییک، آجر و موارد این چنینی برای رعایت پوشش بتنی مجاز نمی باشند.

### ۲ - جایگذاری کیج ماژول ها (ماژول های قفسه ای)

بعد از اتمام آرماتوربندی و نصب اسپیسرها، گوی ها را مطابق نقشه های اجرایی روی سقف پهن می کنیم و با استفاده از سیم مفتول (آرماتوربندی) به شبکه ی مش تحتانی که در مرحله ی قبل اجرا کردیم، متصل می کنیم البته نباید در محدوده اطراف ستون ها و دیوارهای برشی، گوی ها را نیز قرار دهیم به دلیل اینکه نواحی اطراف ستون ها و دیوارها را برای افزایش مقاومت دال در برابر برش پانچ به صورت دال معمولی توپر اجرا می کنیم.

**جایگزاری کیج ماژول ها و جانمایی گوی ها**

برای اتصال عرضی کیج ها (ماژول های قفسه ای) به هم از فیکسچر استفاده می کنیم.

فواصل طولی و عرضی کیج ها (ماژول های قفسه ای) از دیوارهای برشی و ستون ها، برای کنترل و اجرای برش پانچ که در نقشه های اجرایی مشخص می شود را باید رعایت کنیم. ماژول ها را هم بر اساس تعداد گوی های مورد نیاز در هر قسمت به راحتی توسط قیچی می بریم و در جای مناسب خود قرار می دهیم.

### ۳ – اجرای شبکه مش فوقانی

پس از تکمیل جایگذاری گوی ها، شبکه مش فوقانی بافته شده و بدین صورت سقف ما آماده ی بتن ریزی می شود.

قطر و فواصل آرماتورهای فوقانی و تحتانی را براساس نقشه های اجرایی که محاسب سازه طراحی کرده است، اجرا می کنیم. در اکثر مواقع شبکه مش فوقانی دارای آرماتورهایی با قطر کمتر یا فواصل آرماتورگذاری بیشتر می باشد. انتهای میلگردهای مش فوقانی و تحتانی را باید با خم ۹۰ درجه اجرا کنیم.

کیج ماژول ها را باید به شبکه مش بالایی و پایینی با سیم مفتول ۱.۵ نرم متصل کنیم.

**اجرای مش فوقانی**

### ۴ - بتن ریزی سقف کوبیاکس و تسطیح نهایی

پس از کنترل مجدد قالب بندی، نحوه ی قرارگیری گوی ها، شبکه آرماتوربندی و اطمینان از صحت عملیات اجرایی، سقف را با استفاده از پمپ زمینی، باکت، دکل و یا سایر روش های متداول، بتن ریزی و ویبره می کنیم.

**بتن ریزی سقف کوبیاکس**

بتن ریزی سقف کوبیاکس را در ۲ مرحله انجام می دهیم.

در مرحله ی اول برای تثبیت شبکه آرماتوربندی و همچنین تثبیت کیج ماژول ها، بتن ریزی اولیه را بر روی شبکه مش پایین تا نیم کره ی کیج ماژول انجام می دهیم و در مرحله ی دوم هم بتن ریزی را تا مدفون شدن کامل کیج ماژول ها و شبکه آرماتوربندی فوقانی انجام می دهیم.

نکته ی دیگر اینکه بتن ریزی را باید به صورت پیوسته انجام شود و همچنین ویبره زدن را در هر ۲ مرحله به صورت قائم در داخل کیج ماژول ها انجام دهیم.

- ✓ بتن مورد استفاده در سقف کوبیاکس از نوع بتن معمولی است و روانی بتن (اسلامپ) در حدود ۱۰ الی ۱۱ سانتی‌متر می‌باشد.
- ✓ به کارگیری از روان کننده‌ها در سقف کوبیاکس امری الزامی نیست، زیرا شکل کروی گوی‌ها به سهولت بتن‌ریزی کمک می‌کند.
- ✓ گوی‌های کوبیاکس در قفسه‌های نگه‌دارنده (کیج) قرار می‌گیرند تا در هنگام بتن‌ریزی گوی‌ها در جای خود ثابت مانده و حرکت نکنند.

عمل آوری بتن شامل پوشش سطح و رطوبت رسانی به محض اتمام عملیات پرداخت سطح باید انجام گیرد. با توجه به بافت ریز سنگدانه‌ها و افزایش سیمان مصرفی، بتن مستعد افزایش ترک‌های ناشی از جمع‌شدگی خواهد بود، لذا شروع و تداوم عمل‌آوری اهمیت فراوانی خواهد داشت.

تسطیح نهایی

**۵ - قالب برداری**

زمان بازکردن قالب های سقف، باید با توجه به درجه حرارت هوا و مطابق با آیین های موجود تعیین می گردد.

باز کردن قالب

**از نکات دیگر در اجرای سقف کوبیاکس می توان به موارد زیر اشاره کرد :**

۱ - حداقل ضخامت بتن پوششی مابین، بالا و پایین گوی ها ۵ سانتی متر باید در نظر گرفته شود.

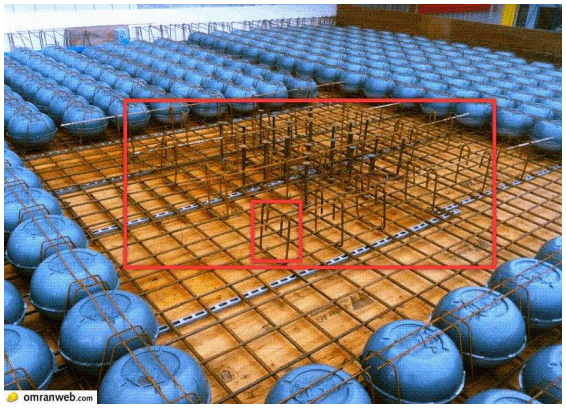
۲ - برای جلوگیری از بلند شدن گوی ها در اثر فشار بتن ریخته شده، باید کیج ها را به شبکه مش پایین مهار کنیم.

۳ - استفاده از سقف کوبیاکس با رعایت ضوابط و آیین نامه های موجود در مباحث ششم مقررات ملی ساختمان، در سازه های دارای دیوار برشی مجاز می باشد.

۵ - دقت داشته باشید که این ضوابط فقط برای سقف کوبیاکس با گوی های کروی شکل مجاز بوده و برای دیگر سقف ها با گوی های غیر کروی را شامل نمی شود.

۶ - قبل از بتن ریزی، باید محل داکت های تاسیساتی و بازشوها را در روی سقف مشخص کنیم و آرماتورهای تقویتی موربی را در اطراف بازشوهای بزرگ نصب کنیم.

۷ - در فضای خالی در اطراف ستون ها و دیوارها برای حفظ فاصله ی شبکه مش تحتانی و فوقانی و همچنین افزایش ظرفیت برشی از میلگردهای رکابی استفاده می کنیم.




**استفاده از میلگرد رکابی در فضای خالی اطراف ستون**

۸ - برای جلوگیری از خالی ماندن و پر نشدن فضای زیر گوی ها باید از مواد افزودنی بتن (روان کننده) برای افزایش روانی بتن استفاده و همچنین بتن ریخته شده را کاملا ویبره کنیم.

۹ - توصیه می شود که بعد از باز کردن قالب های سقف، تعدادی از جک ها را در زیر سقف نگه داریم و همه ی آن ها را جمع نکنیم تا از خیر ناگهانی به دلیل فشار وارده کاسته شود.

۱۰ - از سقف کوبیاکس مانند دال تخت فقط می توانیم تا ۳ طبقه استفاده کنیم و در صورتی که تعداد طبقات ما بیشتر از ۳ طبقه و نهایتا تا ۱۵ طبقه باشد باید دیوارهای برشی هم اجرا کنیم.

۱۱ - حداکثر دهانه یعنی فاصله ی مرکز به مرکز ستون ها در سقف کوبیاکس در کاربرد به صورت دال تخت به ۶.۵ متر محدود می شود. اگر سقف کوبیاکس با سیستم قاب خمشی بتن آرمه که شامل تیر و ستون های مجزا است، ترکیب شود در این صورت حداکثر فاصله ی مرکز به مرکز ستون ها به ۸ متر محدود می شود.

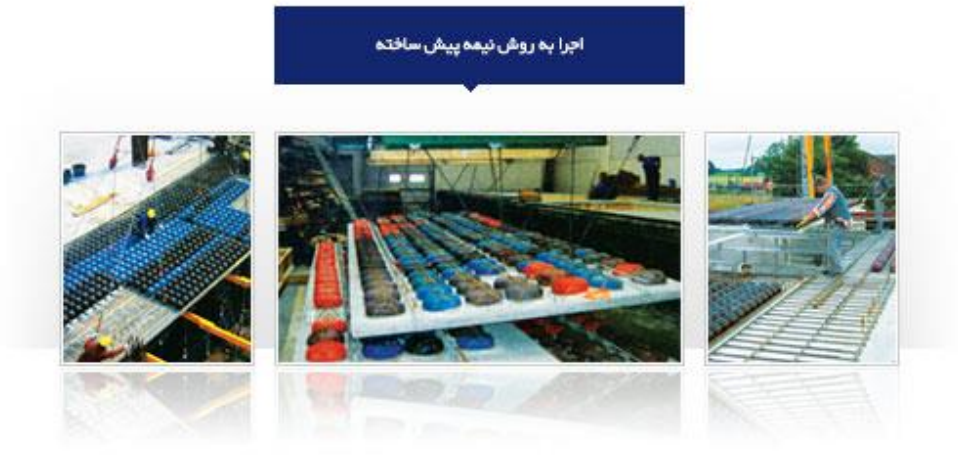
۱۲ - مجموع بار مرده بر روی سقف کوبیاکس شامل کف سازی ها، پارتیشن ها و نازک کاری چیزی در حدود ۲۶۰ کیلوگرم بر متر مربع می باشد. در صورتی که بخواهیم از سقف های کوبیاکس در کاربری های پارکینگ استفاده کنیم، فقط برای پارکینگ هایی که محل عبور اتومبیل سواری با حداکثر وزن ۲.۵ تن با بار متمرکز ۱ تن باشد، مجاز است.

### قابلیت های دیگر اجرای سقف کوبیاکس

کوبیاکس قابلیت انطباق با هر گونه معماری را دارا است. 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 تاسیسات الکترونیکی و مکانیکی مشابه روش های سنتی و با قابلیت اجرا در ضخامت دال همانند تصاویر زیر می باشد.

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




## ۶- مزایا و معایب سقف کوبیاکس

### مزایا:

این سیستم در مقایسه با سایر سقف ها دارای مزایای متعددی می باشد که می توان آن ها را به شش قسمت عمده ی فنی، اجرایی، اقتصادی، ایمنی، زیست محیطی و بهره برداری تقسیم نمود.

### دیدگاه فنی

مزایایی که در بحث طراحی سازه ها توسط دال کوبیاکس می توان بر شمرد عبارتند از:

۱) باربری دو محوره، تضمین کننده تمام مزایای دال بتنی توپر:

با شکل گیری دو لایه بتنی مستحکم در قسمت فوقانی و تحتانی دال به همراه نواحی بین گوی ها به عنوان برش گیر و ارتباط دهنده دو صفحه بالا و پائین در سراسر دال، این دال دارای باربری بسیار مناسبی می باشد.

سقف دال کوبیاکس از نظر استحکام برای بارهای آویز نقطه ای می‌تواند تا بیش از یک تن وزن را تحمل کند؛ زیرا در این نوع سقف، حداقل حدود ۶ سانتیمتر بتن در هریک از لایه های فوقانی و تحتانی دال وجود دارد.

۲) افزایش طول دهانه ها، کاهش تعداد ستونها و عدم وجود کتیبه در ستون ها:

این مزیت قابلیت های گسترده تری را در اختیار طرح معماری قرار داده و امکان استفاده مناسب تری از فضا را فراهم می کند.

این قابلیت به ویژه در ساختمان های با کاربری پارکینگ طبقاتی، تجاری، اداری، سالن جلسات و آمفی تئاتر... بیشتر نمود پیدا می کند.

۳) امکان حذف تمامی تیرهای میانی و پیرامونی:

با کمک دال کوبیاکس می‌توان دهانه های بلند (بدون محدودیت مطابق تائیدیه فنی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی) را بدون تیر و بصورت دال تخت اجرا کرد که درنتیجه حجم مصالح مصرفی و هزینه قالب‌بندی کاهش یافته و اجرای عملیات آرماتوربندی نیز تسهیل می یابد.

کاهش ارتفاع تمام شده ساختمان، داشتن سقف هایی با سطوح بسیار صاف و بدون نیاز به سقف کاذب و امکان تعبیه بازشوهای بزرگ و نا منظم از دیگر مزایای حذف تیر می باشد.

۴) کاهش بار مرده و وزن کلی سازه و افزایش مقاومت سازه در مقابل زلزله:

کاهش بار مرده اسکلت موجب به کارگیری ستون های کمتر و لاغرتر، کاهش بار وارد به شالوده و در نهایت کاهش ارتفاع گودبرداری و حجم فونداسیون در مقایسه با دال توپر می گردد.

همچنین کاهش بار مرده اسکلت موجب کاهش نیروی زلزله و برش پایه و در نتیجه موجب افزایش مقاومت ساختمان در برابر زلزله می گردد. ضمن آنکه کاهش بار مرده موجب تعدیل تغییر شکل دال می گردد.

۵) سهولت در تغییر کاربری و ستون گذاری به صورت نامنظم و امکان تعبیه کنسول های بلند

برخلاف سازه های بتنی معمولی که ستون گذاری معمولاً از آکس بندی منظم پیروی می کند، در این سیستم امکان ستون گذاری به صورت نامنظم وجود دارد که در طرح های معماری حائز اهمیت است. نقشه های معماری با دهانه های بلند و دال تخت، انعطاف پذیری در تغییر کاربری های آتی پروژه را میسر می سازد.

۶) ارتفاع کمتر کف تا کف طبقات وکاهش ارتفاع تمام شده ساختمان

بدلیل کاهش ضخامت دال ها و امکان حذف تیرها، ارتفاع کف تا کف طبقات و درنتیجه ارتفاع تمام شده ساختمان را می توان کاهش داد. این بدان معنی است که در یک ارتفاع مشخص می توان از تعداد طبقات بیشتری استفاده کرد. این مزیت خصوصا در ساختمان های بلند مرتبه که براساس قوانین موجود، محدودیت ارتفاع دارند حایز اهمیت خاصی است. این امر همچنین باعث کاهش مصالح مصرفی در ستون ها، دیوار و تیغه بندی ها، نما و تاسیسات و ... بواسطه کاهش طول آنها می شود.

### دیدگاه اجرایی

۱) سهولت اجرای تاسیسات به جهت عدم وجود آویز تیر در زیر سقف ها

۲) امکان حذف سقف کاذب

۳) نصب ساده و بسیار آسان کیج های کوبیاکس به دلیل سهولت اجرای این نوع سقف نیازی به نیروی کار متخصص و ابزار خاصی نمی باشد.

کوبیاکس را می توان همراه با سایر سیستم های ساختمانی از قبیل پس کشیدگی و یا سازه های مرکب در دهانه بلندتر از ۱۸ متر نیز مورد استفاده قرار داد.

### دیدگاه اقتصادی

۱) صرفه جویی در مصرف مصالح در کلیه اعضای سازه ای

از آنجاییکه وزن سقف ها سهم عمده ای در وزن کل سازه دارند، کاهش وزن دال باعث صرفه جویی در بتن و فولاد مصرفی در کل اعضای سازه خواهد شد.

۲) کاهش هزینه های اجرایی

حذف تیرها موجب کاهش حجم عملیات قالب بندی و آرماتوربندی شده که در نتیجه آن هزینه های اجرایی کاهش و سرعت اجرا افزایش قابل توجهی خواهند یافت.

به دلیل سبک تر بودن این دال (تا ۳۰ درصد نسبت به یک دال توپر) به شمع های کمتری جهت اجرای قالب بندی نیاز است.

۳) کاهش هزینه تجهیزات و نیروی انسانی بدلیل نصب آسان و سرعت اجرای بالا

**دیدگاه ایمنی**

۱) ایمنی در برابر آتش

۲) ایمنی در برابر زلزله به علت کاهش وزن کلی سازه

**دیدگاه زیست محیطی**

کاهش حدود ۲۵ درصدی مصالح از جمله بتن مصرفی، موجب ارتقاء جایگاه زیست محیطی سازه می شود به نحوی که :

۱) کاهش مصرف مصالح از قبیل سیمان، شن و ماسه، آب و میلگرد (هر ۱ kg پلاستیک جایگزین ۱۰۰ kg بتن می شود)

۲) کاهش مصرف انرژی (در تولید، حمل و نقل و اجرا)

۳) کاهش انتشار گازهای آلوده حاصل از تولید و حمل ونقل، به خصوص گاز$CO_2$ ، در حدود ۵۰%

۴) عدم وجود ضایعات ( به علت قابل بازیافت بودن پلاستیک مصرفی در گوی ها).

**دیدگاه بهره برداری**

۱) کاهش ضریب انتقال حرارت دال در مقایسه با دالی با مقدار مصالح بتن مصرفی مشابه.

۲) کاهش ضریب انتقال صوت در مقایسه با دالی با مقدار مصالح بتن مصرفی مشابه.

۳) کاهش لرزش ناشی از بارهای بهره برداری در مقایسه با دالی با مقدار مصالح بتن مصرفی مشابه؛ بدلیل افزایش فرکانس طبیعی دال کوبیاکس

## معایب سقف کوبیاکس:

طبق تحقیقات اخیری که در مورد سقف کوبیاکس صورت گرفته است، استفاده از این مدل سقف ها بی شک معایبی را نیز به دنبال خواهد داشت که بسیاری از افراد قبل از انتخاب و استفاده از این سقف می خواهند اطلاعات کامل و دقیقی را در مورد این معایب به دست بیاورند. از مهم ترین معایب سقف کوبیاکس می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ✓ استفاده از سقف های کوبیاکس برای پروژه ها و ساختمان های بسیار کوچک مقرون به صرفه نخواهد بود.
- ✓ هنوز تحقیقات جامع و کاملی برای اثبات مقاومت این مدل از سقف ها در برابر انواع زلزله ها به ثبت نرسیده است.
- ✓ استاندارد سازی های لازم برای استفاده از این مدل سقف در بسیاری از سازه ها هنوز به پایان نرسیده است.

توجه داشته باید که معایب این سقف ها در مقایسه با مزایایی که دارند بسیار کمتر بوده و همین امر نیز از مهمترین دلایل پرطرفدار بودن سقف های کوبیاکس در کشورهای مختلف می باشد.

## ۷- نتیجه گیری

به نظر می رسد با توجه به افزایش چشمگیر هزینه های ساخت و ساز در کشور ما، می توان انتظار داشت که زمینه مناسب برای استفاده بیشتر از سقف کوبیاکس ایجاد شود. چرا که علی رغم هزینه ی بیشتر این سقف نسبت به سایر سقف های بتنی قابل اجرا، اجرای کوبیاکس باعث کاهش هزینه ی کلی اجرای اسکلت بتنی سازه ها خواهد شد. همین طور عدم نیاز اجرای این سقف به تخصص خاص نیز می تواند محرک دیگری برای استفاده از این نوع سقف باشد.

## سپاسگزاری

لازم می دانم از ابتکار استاد قربانی که با قرار دادن تهیه مقاله در ارزشیابی پایانی درس تکنولوژی عالی بتن، بعد از مدت ها باعث رجوع اینجانب به سایت ها و مقاله های تخصصی شاخه عمران را شدند، تشکر نموده و امیدوارم این گردآوری مطالب مفید واقع گردد.

## مراجع

سقف کوبیاکس چیست؟ معایب و مزایای سقف های کوبیاکس ، ۱۳۹۴، سایت کلیلینک فنی و تخصصی بتن ایران

سقف کوبیاکس چیست؟، ۱۳۹۷، سایت کلینیک ساختمانی به تام
شلالوند میلاد، سقف کوبیاکس چیست؟ صفر تا صد نحوه ی اجرا و مزایا و معایب آن، ۱۳۹۸، سایت عمران وب
کاری کیوان، سقف کوبیاکس چیست؟ کاهش هزینه ساخت با سقف دوست‌دار محیط زیست، ۱۳۹۸، سایت ویکی ساختمون.
کوبیاکس ایران، کوبیاکس چیست؟، سایت گروه پارسمان
منفردنیا, مینا و علی توکلیان، ۱۳۹۶، تاثیر استفاده از سیستم سقفی کوبیاکس بر محیط زیست، دومین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران،معماری ومدیریت بحران، تهران، دانشگاه علامه مجلسی
میری وحید، سقف کوبیاکس، همه چیز درباره اجرای این سقف مجوف، ۱۳۹۹، سایت کارگشا
نیکدل تیموری, امین؛ اسدالله طحانی؛ حامد اقدامی و فرشید هاشمی نژاد، ۱۳۹۵، بررسی سقف های کوبیاکس، دومین کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، کنفدراسیون بین المللی مخترعان جهان (IFIA)، دانشگاه جامع علمی کاربردی.