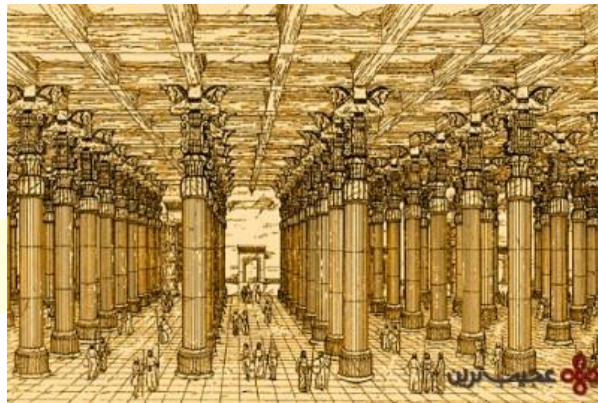


## تاریخچه سقف وافل

بررسی این موضوع که سقف‌ها باربری 2 طرفه داشته باشند به دوره هخامنشیان یعنی حدود 2500 سال پیش برمی‌گردد. طبق آثار بجا مانده و مطابق تحلیل باستان‌شناسان، سقف تخت جمشید از الوارهای چوبی متعامد تشکیل شده بوده است.



همچنین ایده بکارگیری عملکرد سقف وافل را در بنای آکروپولیس یونان، هم دوره با هخامنشیان می‌توان دید. بخش اعظم بنای آکروپولیس در سال‌های 429 تا 461 پیش از میلاد ساخته شده است. نمونه بارز دیگری از سقف وافل را در نقاشی معروف شام آخر اثر لئوناردو داوینچی می‌توان مشاهده نمود.



سقف وافل در قرن 19 میلادی با گسترش علم سازه ظاهر امروزی پیدا کرد و رشد صنعت منجر به تغییر بنیادین شرایط اجرای سازه‌ای و معماری سقف وافل نسبت به بناهای قدیمی شد و این تغییرات باعث شد سقف وافل به حوزه مهندسين معماری راه پیدا کند و باعث گسترش ساخت و ساز سازه‌هایی با دهانه وسیع برای اجرای طرح‌های نامنظم بشود که اجرای آن تا قبل از سقف وافل مشکل بود

در همین بازه زمانی سیستم سقف وافل کلاسیک در امریکا و کشور های اروپایی برای تامین دهانه های گسترده بدون نیاز به ستون مورد توجه قرار گرفت باعث شد که برای ساخت سازه های مختلفی نظیر فرودگاه ها، پارکینگ ها، برج های مسکونی، هتل ها، مراکز تجاری، موزه ها، دانشگاه ها و ... مورد استفاده قرار بگیرد در ایران نیز از سال 1354 سقف وافل مورد توجه قرار گرفت لیکن بدلیل استفاده از قالب های فلزی و فایبرگلاس و سختی هایی که این نوع قالب ها داشتند گسترش چندانی نداشت.

امروزه در ساخت قالب ها از پلاستیک پایدار و فشرده استفاده می شود که امر مشکلات فنی و اجرایی سقف وافل قدیمی را برطرف نموده است

از اولین بناهای قدیمی وافل در ایران میتوان به ایستگاه راه آهن اصفهان (سال ساخت 1354) اشاره کرد.



## هدف اصلی ساخت قالب وافل

صنعتی سازی اجرای سازه ها، نقش مهمی برای پیشرفت تکنولوژی صنعت ساختمان در روند پیشرفت علم عمران دارد. ایده هایی در جهت کاهش هزینه سازه، استفاده از طبیعت برای ساخت و ساز و عدم ایجاد آلودگی های زیست محیطی سبب شد تا قالب های کامپوزیتی وافل در پروژه های عمرانی به عنوان یک گزینه معقول مطرح شوند.

قالب های وافل تولیدی شرکت های عمرانی در داخل و خارج کشور از جنس پلاستیک کامپوزیت می باشند، دلیل استفاده از این مواد در ساخت قالب، استفاده چندین باره از قالب، ایجاد یک سطح زیرین مناسب و صیقلی و بازیافت مجدد قالب های وافل پس از شکست آن ها است.



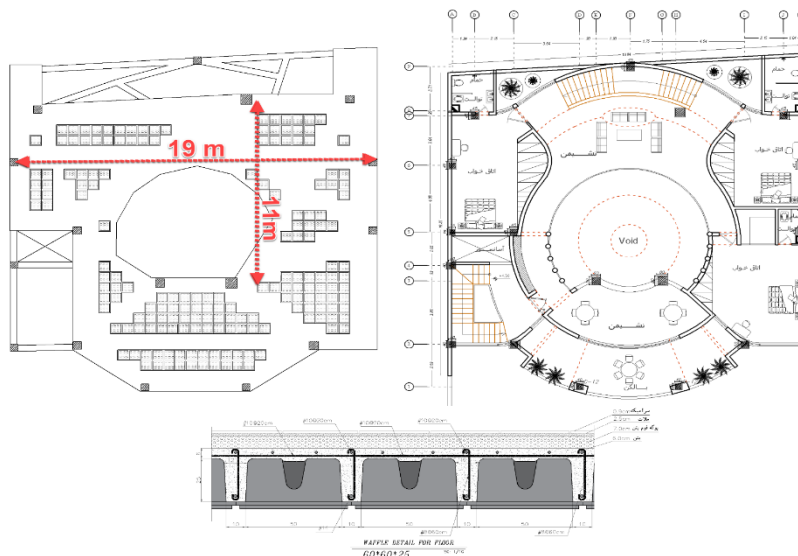
نمای کلی از قالب وافل کامپوزیتی (تولید شرکت آبا)

پس از استفاده مکرر از قالب‌های وافل در صورت شکست قالب‌ها، شرکت آبا به صورت انحصاری تعویض قالب را در مدت گارانتی محصولات به صورت رایگان و پس از اتمام دوره گارانتی با تعویض دو قالب شکسته به یک قالب سالم بر عهده می‌گیرد.

## کاربرد سقف وافل

سقف وافل در تمامی پروژه‌های عمرانی با کاربری‌های مختلف قابل استفاده است. ایستایی بالا و کاهش هزینه‌های ساخت سبب شده است استفاده از این نوع سقف روند پیشرفت چشمگیری در صنعت ساخت و ساز کشور داشته باشد. یک دیدگاه بسیار غلط در توجیح سقف وافل مبنی بر استفاده تنها در دهانه‌های بلند در میان مهندسان رایج شده است، تنها یکی از حالات استفاده از سقف وافل این گزینه می‌باشد و در تمامی پروژه‌ها اعم از اسکلت فلزی و بتنی، کاربری‌های متفاوت این نوع سقف قابل استفاده است. استفاده از سرعت بالای سیستم وافل در پروژه‌های عمرانی می‌تواند گام مهمی در برنامه زمان بندی پروژه باشد که اکثر دست اندرکاران صنعت ساخت و ساز به این موضوع واقف هستند.

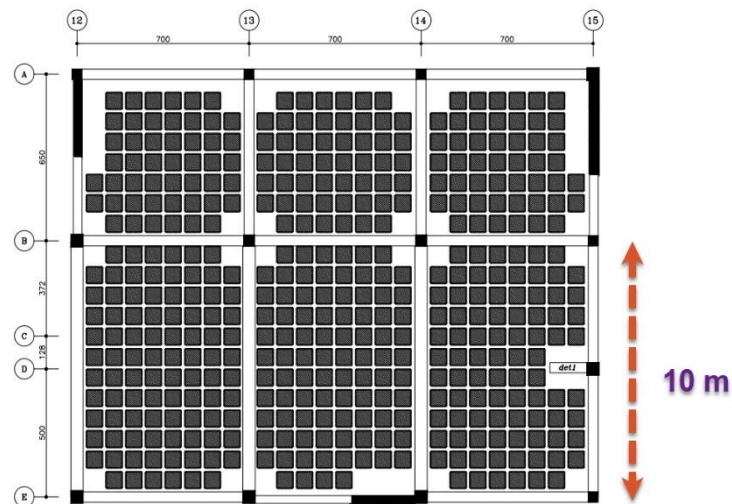
در تصاویر زیر کاربرد سقف وافل در پروژه‌های مختلف و دلیل استفاده از آن‌ها ارائه شده است.





پروژه واقع در بهبان، با استفاده از سقف وافل در مرحله اول هزینه ها کاهش یافته و سپس دهانه 11 متری ایجاد شد.

در پروژه ارائه شده، ابتدا سازه با سقف تیرچه و بلوک سنتی طراحی شده و شاهد افزایش مصرف فولاد و بتن در این پروژه بدلیل وجود دهانه بلند و همچنین عملکرد ضعیف سقف تیرچه و بلوک بوده ایم، که پس از بررسی های واحد فنی شرکت آبا و بررسی سازه و طراحی مجدد آن با سقف وافل موجب کاهش 20 درصدی هزینه های سازه به علت کاهش مصرف فولاد و بتن شده است. لازم بذکر است که کاربری این پروژه از نوع مسکونی بوده است.



پلان آرایش بلوک گذاری در تراز  $\pm 0.0$   
 Scale: 1:100



## دلایل استفاده

۱- کنترل خیز سقف به علت بار زنده بالا

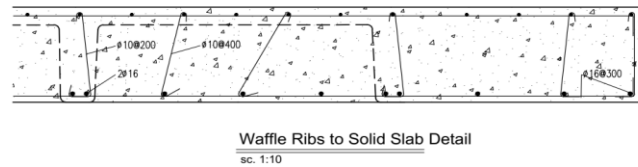
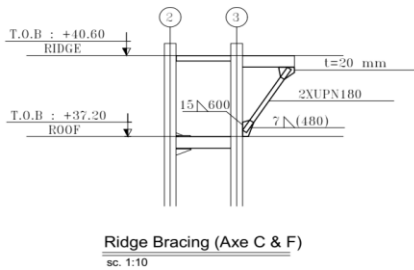
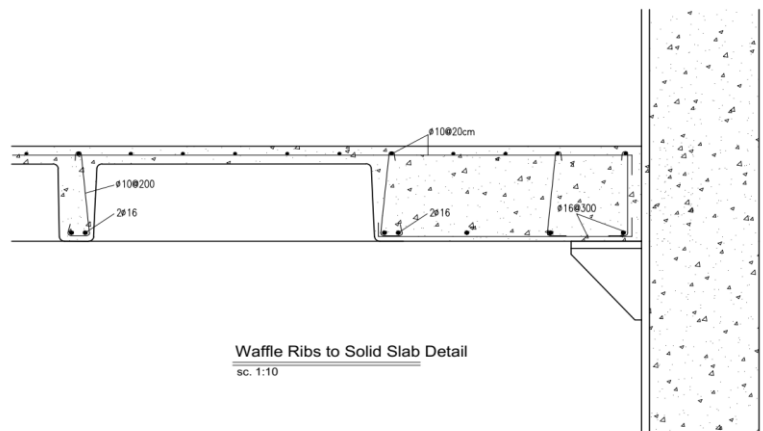
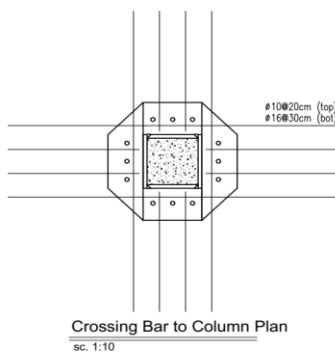
۲- ایجاد دهانه ۱۰ متری

۳- کاهش ارتفاع تیرهای داخلی

پروژه واقع در دهلران، با کاربری پایانه مسافری

## شرکت مهندسی آبا

پروژه ترمینال مسافری دهلران با متراژ 6000 متر مربع در 3 سقف، ابتدا با دال بتن آرمه طراحی شده، پس از بررسی واحد فنی شرکت آبا و تغییر سیستم باربر ثقیلی به وافل دو طرفه، کنترل خیز دراز مدت کاهش یافته، همچنین ارتفاع تیرهای میانی در طرح اول برابر 85 سانتی متر در نظر گرفته شده که پس از طراحی مجدد ارتفاع تیرها به 55 سانتی متر کاهش یافت.



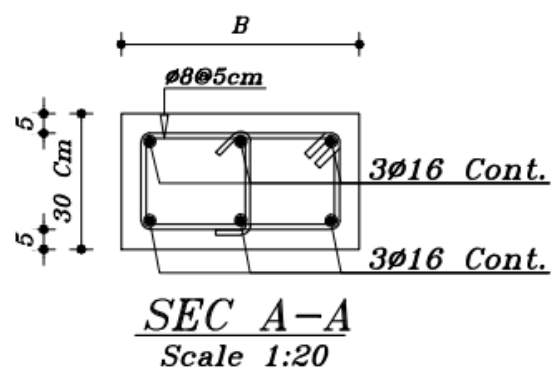
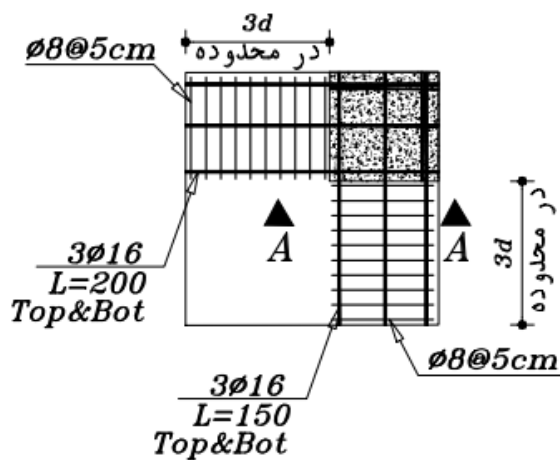
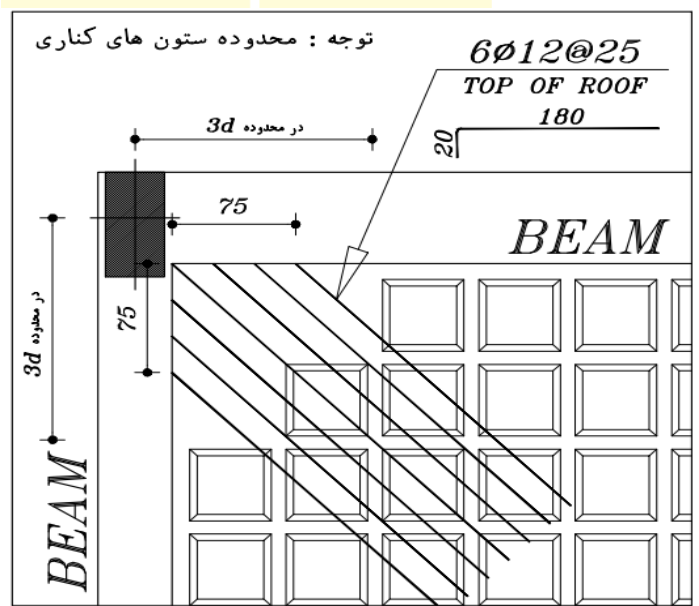
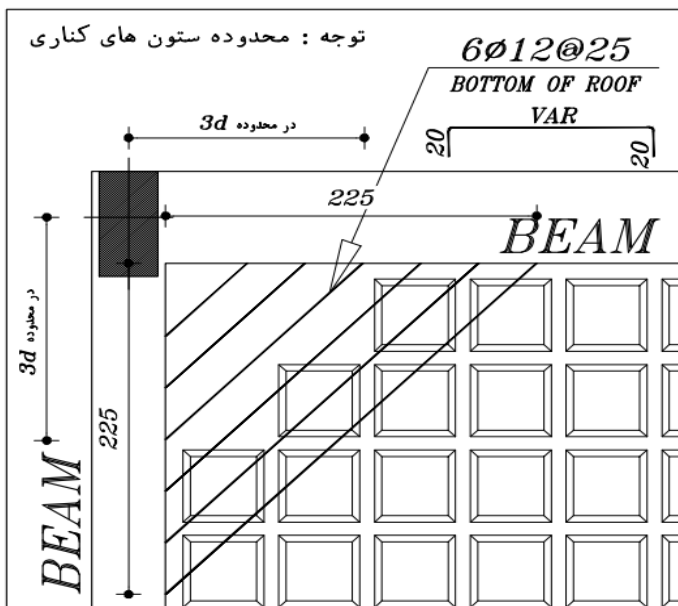
پروژه واقع در تهران، با کاربری تجاری

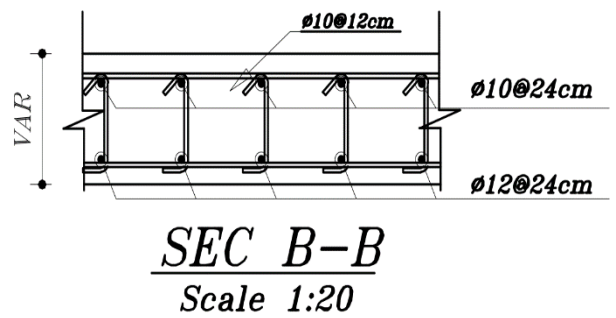
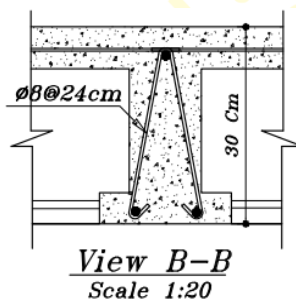
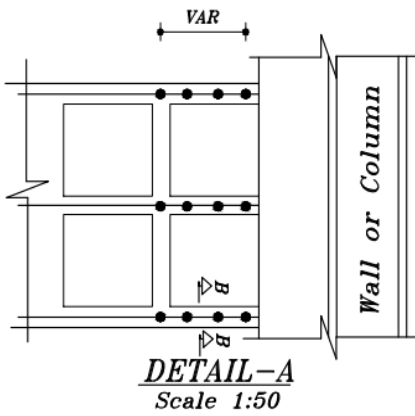
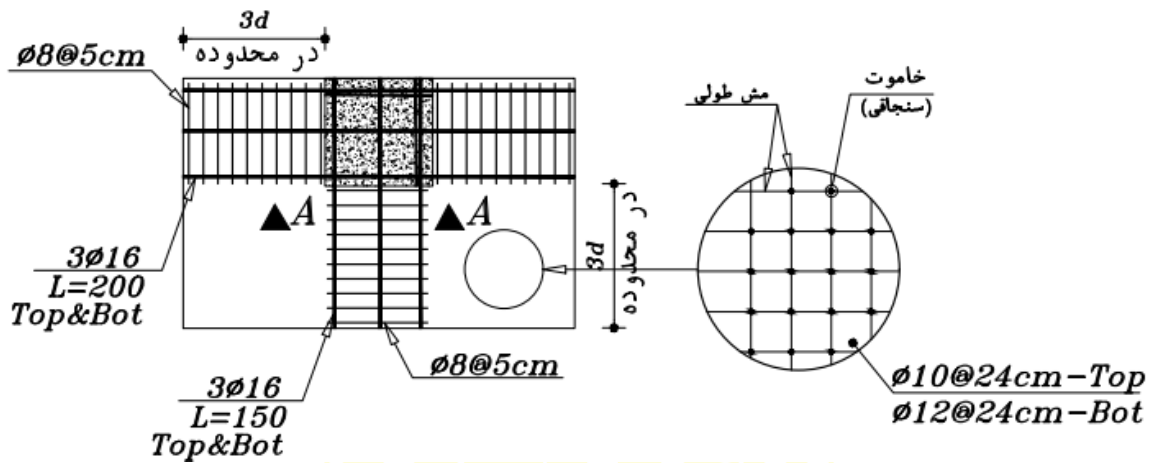
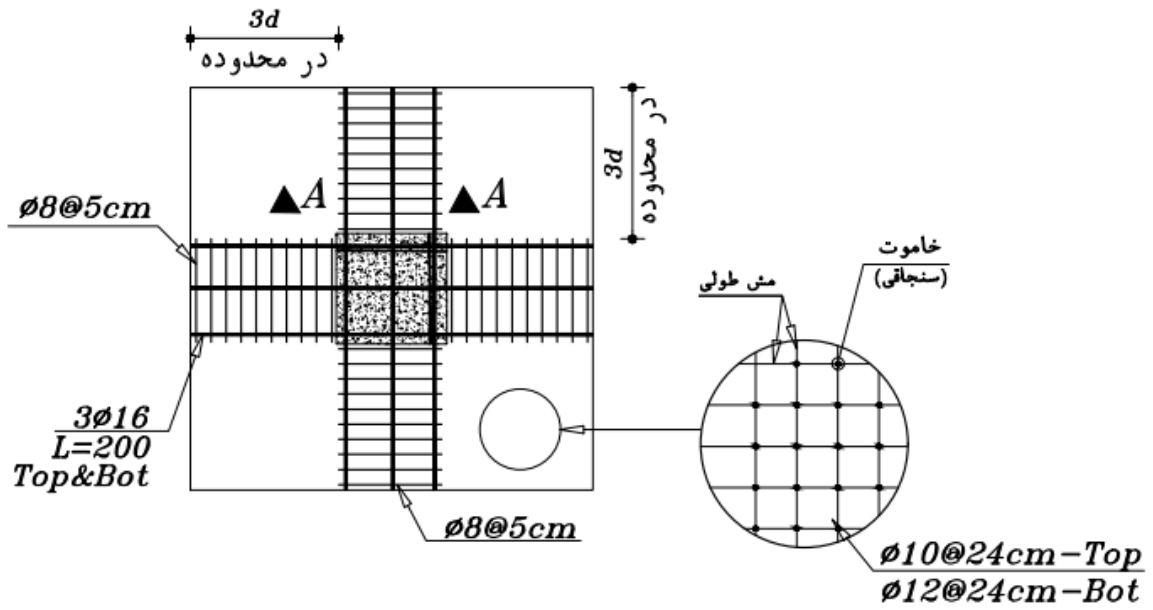
پروژه ای که مشاهده می کنید ابتدا با سقف عرشه فولادی طراحی شده، در سقف های زیر تراز پایه از سیستم وافل دو طرفه استفاده شد و با حذف تیرهای داخلی بالغ بر 25 درصد هزینه های سازه کاهش یافت.

## جزئیات اجرایی سقف وافل

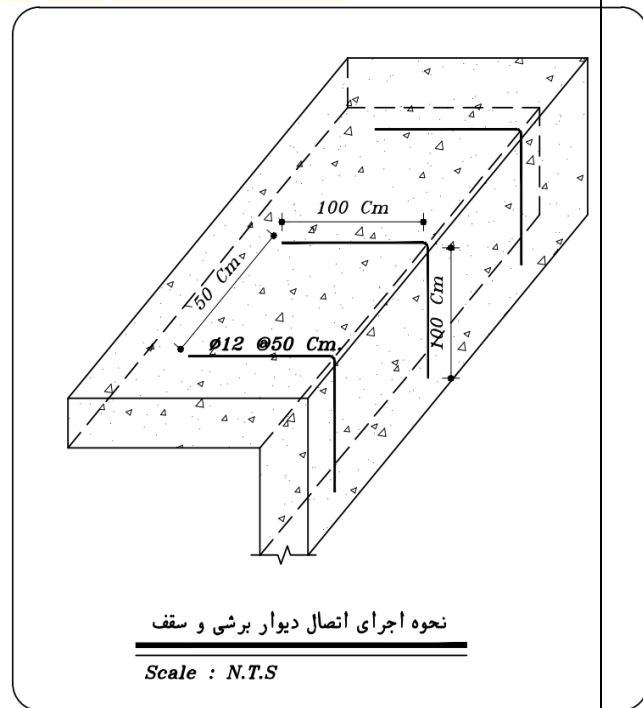
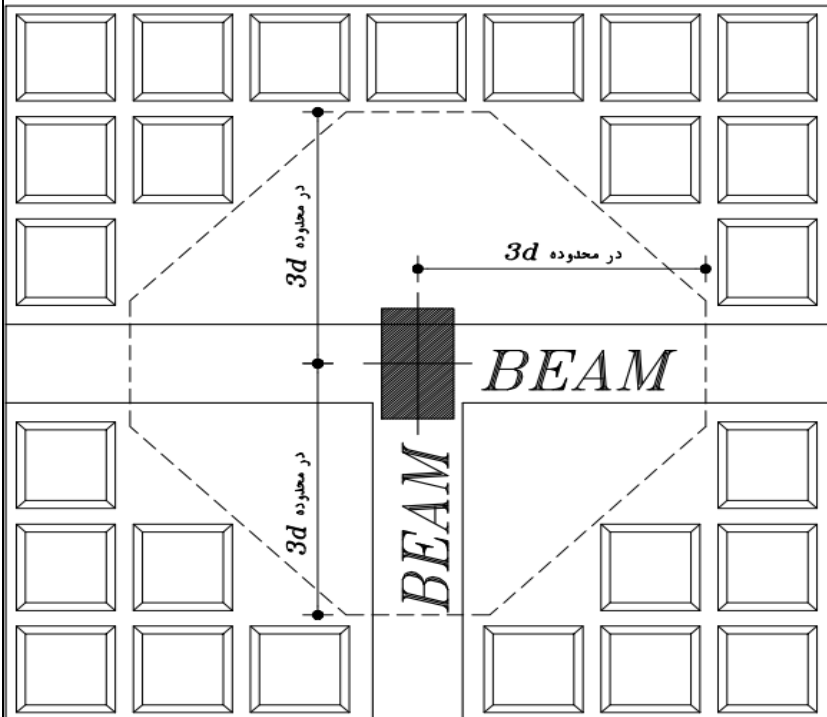
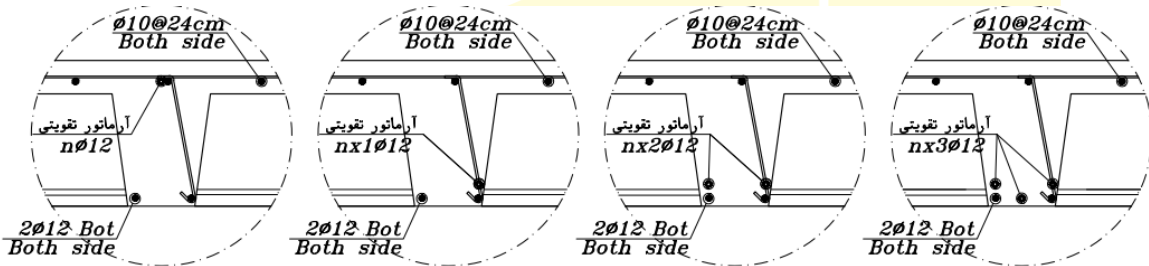
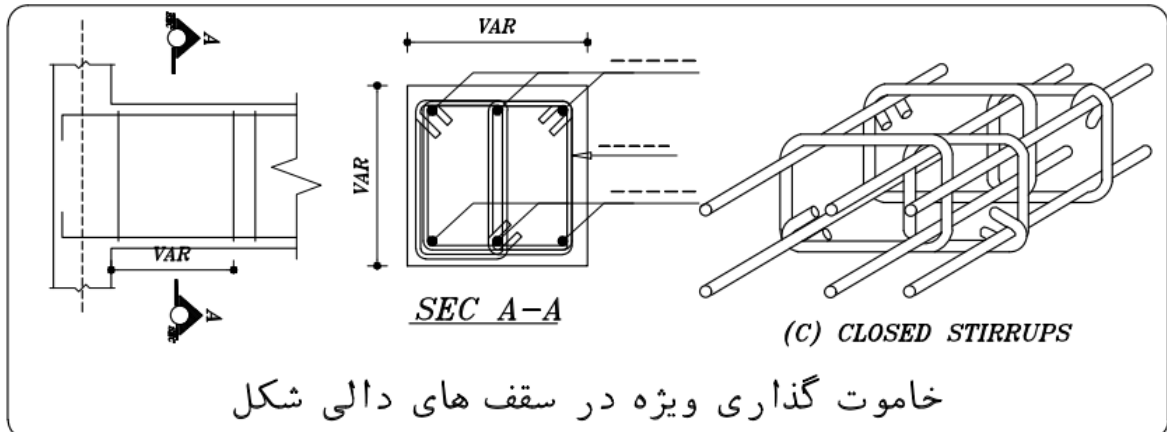
امروزه طراحی دیافراگم برای انتقال مناسب بار امری بسیار حیاتی می‌باشد، جزئیات اجرایی مناسب جهت سقف های وافل در گام های مختلف می‌تواند از لحاظ فنی ایمنی را برای ساختمان تضمین نماید.

طراحی مناسب دیافراگم شامل بر آرماتورهای جمع کننده، انتقال مناسب بار از سقف به دیوارهای برشی و مهاربند، طراحی آرماتور دوخت، طراحی صحیح آرماتور پایین و بالای سقف و همچنین دیتایل آرماتور گوشه و برش پانچ در طراحی این سقف ها حائز اهمیت خواهد بود. در تصاویر زیر نمونه ای از دیتایل های اجرایی سقف نمایش داده شده است.









نمونه ای از جزئیات مناسب اجرایی و فنی برای سقف های وافل

## مزایای سیستم وافل

اصولا هر گونه سیستم سازه ای اگر به درستی طراحی و اجرا گردد مزایای مناسبی را خواهد داشت، تفکر مهندسی ایجاب می کند برای پیدا کردن یک راهکار مناسب در جهت بهبود عملکرد فنی و اقتصادی پروژه راهکارهای مختلفی را بررسی نمود. نداشتن علم مناسب در طراحی، ضعف اجرا و عدم توجه به مسائل فنی در هنگام اجرای پروژه می تواند خسارات جبران ناپذیری را وارد نماید. جملات کلیشه ای که اغلب بعضی از مهندسان تحت عنوان سبک سازی ساختمان ها عنوان می کنند مبنی بر کم کردن آرماتور به میزان n کیلوگرم، ایجاد دهانه تا 20 متر بدون تیر آویزدار، کاهش هزینه ساخت تا میزان 50٪ و ... بیشتر نشان از عدم آشنایی و تسلط بر سیستم های مختلف می باشد.

سیستم وافل یک و دوطرفه نیز اگر به صورت مناسب طراحی و اجرا گردند، پتانسیل فنی و اقتصادی بالایی را خواهد داشت، هر چند طرح غیر معقول اینگونه سیستم ها بدون توجه به ضوابط آیین نامه و استاندارد موجب خرابی های گسترده ای خواهد شد. به هر حال مزایای اصلی استفاده از سیستم وافل به شرح زیر است:

### - ایجاد رفتار یکپارچه سقف برای انتقال بار

در سقف وافل با توجه به اینکه کل مراحل بتن ریزی به صورت یکنواخت انجام می گیرد، سیستم در مقایسه با سقف های سنتی تیرچه بلوک پیش ساخته پیکربندی یکپارچه ای را خواهد داشت.

### - کاهش وزن مرده سقف و میزان بتن ریزی

همانطور که از روابط کلاسیک بتن آرمه می دانیم، مقاومت کششی بتن بسیار ناچیز است، در سیستم وافل سعی شده است که به صورت منطقی و هوشمندانه بتن نواحی کششی حذف گردد و در نتیجه میزان مصرف بتن و وزن مرده سقف کاهش می یابد.

### - عدم کاهش سختی زیاد نسبت به دال توپر

همانطور که اشاره شد وزن سقف وافل نسبت به دال توپر کاهش چشمگیری دارد، جالب است بدانید که سختی سقف وافل در قیاس با دال بتن آرمه افت محسوسی ندارد و به همین علت است که می توان در دهانه های بلند از این سیستم استفاده نمود.

### - قابلیت استفاده چند باره از قالب های وافل

توجه به چرخه زیست محیطی، همواره یکی از دغدغه های اصلی جوامع می باشد. در سیستم وافل قالب ها به نحوی طراحی شده اند که توانایی استفاده مکرر را دارند. این امر سبب شده است که علاوه بر کاهش هزینه های ساخت توجه مناسبی به محیط زیست و چرخه طبیعت شود.

## - تسريع در پيشرفت پروژه

استفاده از سيستم وافل با توجه به نوع اجرائى آن كه بدون نياز به ابزار خاص و نيروى كار ماهر مى‌باشد، سبب مى‌شود سرعت اجرائى پروژه به طور قابل قبولى افزايش يابد، در يك تحقيق ميدانى صورت گرفته توسط تيم فنى مجموعه آبا دو پروژه مشابه با تعداد طبقات 8 سقف يكي با سيستم دال بتن آرمه و ديگرى با سيستم وافل مورد بررسى قرار گرفت، در نتيجه مشخص شد كه براى اجرائى اسكلت با سيستم دال به 37 روز زمان بيشتر نياز است.

## - کاهش ابزار اجرائى سقف

قالب‌هاى وافل اگر به صورت مدولار اجرا شوند تنها نياز به يك سرى تكيه گاه اوليه براى قالب هستند و نيازى به كفراژ كل سطح نمى‌باشد. اين موضوع از آن جهت حائز اهميت است كه مى‌توان با کاهش ابزار چندين پروژه را به صورت همزمان انجام داد.



روش اجرائى مدولار سقف وافل (عدم نياز به كفراژ سطح)

## - کاهش هزینه‌هاى ساخت اسكلت

به طور كلى نمى‌توان يك عدد واحد را براى کاهش هزینه‌ها در پروژه‌هاى ساختمانى كه از سقف وافل استفاده مى‌كنند عنوان كرد، ساختگاه پروژه، كاربرى، تعداد طبقات و عوامل متعدد ديگرى در هزینه نهائى اسكلت پروژه تاثير گذار هستند، اما در بسيارى از پروژه‌هاى طراحى و اجرا شده توسط شركت آبا هزینه‌هاى نهائى ساخت در قياس با طرح‌هاى قبلى (تيرچه بلوك، تير دال، دال مجوف، دال پيش تنيده، عرشه فولادى و...) هزینه‌ها به ميزان قابل قبولى کاهش يافته است. اين کاهش هزینه‌ها به دلایل ارائه شده در زير منطقى مى‌باشد:

1- کاهش وزن مرده سقف

2- افزایش سرعت اجرا

3- استفاده مکرر از قالب وافل

4- کاهش آرماتور و بتن مصرفی در پروژه

## قیمت سقف وافل

سیستم وافل به عنوان یکی از سیستم های جدید ساختمانی در ایران می باشد که با توجه به مزایای اقتصادی و فنی آن مورد استفاده کارفرمایان و پیمانکاران قرار گرفته است. به طور کلی دسته بندی عوامل موثر بر قیمت سقف وافل را می توان در سه معیار کلی تقسیم بندی کرد که هر کدام از آنها دارای شاخص هایی می باشد که می تواند در انتخاب نوع سقف موثر باشد.

- فنی
- اقتصادی
- اجرا

### (1) فنی

- پلان معماری

سقف وافل به گونه ای طراحی شده است که با حذف ستون های اضافی و مزاحم می توان پلان نامنظمی ارائه کرد. سقف وافل نیاز معمار به دهانه بلند و وسیع در پروژه را برآورده می کند و باعث افزایش پارکینگ در نتیجه تعداد سقف بیشتر خواهد شد و این ویژگی به خصوص در طراحی مکان های تجاری، اداری، فروشگاه ها و... می تواند کاربرد داشته باشد. از طرفی ظاهر سقف وافل نیز بدلیل ایجاد حفره های بتنی نمایان و زیبا مورد توجه معماران قرار گرفته است، که این شبکه های حفره ای ایجاد شده در سقف وافل امکان عبور تاسیسات را فراهم می کند که این امر باعث کاهش ضخامت کفسازی و افزایش ارتفاع مفید طبقه خواهد بود.

### (2) اقتصادی

- میلگرد و بتن مصرفی

در نتیجه کاهش ضخامت سقف و حذف بتن غیر سازه ای در قسمتی که سقف عملا در کشش است و حذف میلگردهای اودکا و منفی در سقف وافل و عدم نیاز به اجرای مش پایین باعث بهبود روند طراحی و مصرف

بهینه می‌گردد. می‌شود همچنین اجرای سقفی مسطح به همراه تیرها و تیرچه‌های درجا در سقف وافل از فولاد و بتن به مراتب کمتر از سیستم‌های مشابه (دال تخت، تیر دال، تیرچه بلوک و دال پس‌تنیده) استفاده خواهد شد. بدلیل استفاده کمتر بتن در هر متر مربع از سقف وافل و کاهش میلگرد مصرف شده در پروژه و عدم استفاده از سقف کاذب و نازک‌کاری بار مرده سقف کاهش می‌یابد؛ دلایل ذکر شده از مهمترین موضوعات در کاهش بارمالی پروژه‌ها می‌باشد که علاوه بر کاهش خرید مصالح مصرفی سوخت و مواد اولیه نیز در پروژه کاهش پیدا می‌کند.

### - **تجدید پذیری قالب (خرید و کرایه قالب)**

اجرای سقف وافل باعث حذف بلوک‌های ماندگار در سقف می‌شود که این کار مقرون به صرفه‌تر خواهد بود، به این صورت که تیرچه آماده نخواهیم داشت و هزینه‌ای بابت ساخت تیرچه نخواهد شد، و تمام هزینه ناشی از ساخت تیرچه به پروژه اصلی بر می‌گردد از سوی دیگر با استفاده از قالب‌های وافل به علت غیر ماندگار بودن و استفاده مجدد در سقف‌های متوالی (بیش از ۵۰ سقف) نیاز به هر بار خرید قالب نیست و بعد از به پایان رسیدن عمر مفید این قالب‌ها می‌توان آنها را بازیافت کرد که این امر موجب کاهش هزینه‌های اجرایی می‌شود.

### - **دستمزد، سرعت و سهولت اجرا**

سقف وافل برای زیرسازی نیاز به ابزار خاصی در مقایسه با سیستم‌های دال و دال مجوف ندارد و به علت استفاده از تنها چوب‌های ۵\*۱۰ باعث کاهش بیش از ۷۰ درصد حجم چوب مصرفی در زیرسازی می‌شود. بتن ریزی سقف وافل در یک لایه صورت می‌پذیرد در حالی که دال‌های تخت توخالی به منظور عبور بتن در زیر قالب الزاماً می‌بایست در دو مرحله بتن ریزی صورت گیرد که این مورد مستلزم پرداخت هزینه‌های جانبی می‌شود. بطور کلی سقف وافل نسبت به سیستم‌های مشابه سریع‌تر انجام می‌شود و این تسریع زمان در هزینه‌های تجهیز کارگاه و هزینه‌های مربوطه پروژه تاثیر گذار است

### - **نیروی تخصصی**

از دیگر مسایل تاثیر گذار در قیمت و روش اجرای ساده اینست که با استفاده از هر نیرویی و با آموزش اولیه و وسایل قابل دسترس سقف قابل اجرا می‌باشد.