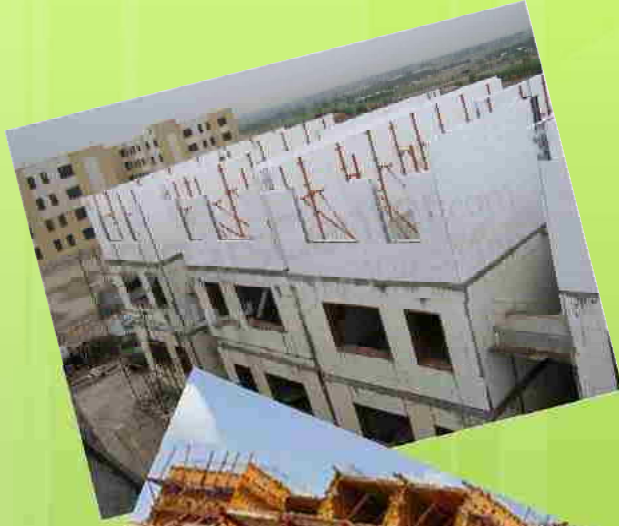




# اجرای صنعتی ساختمان ها

(ویژه دوره ارتقا به پایه یک مهندسين ناظر)



سازمان نظام مهندسی  
خوزستان

سید عبدالنبی رضوی

عضو هیئت علمیه دانشگاه

عضو کمیته آموزش سازمان نظام مهندسی

## ۱- روش سنتی

## ۲- روش صنعتی سازی

- روش سنتی مطلق در حال حاضر نداریم مگر در روستای دورافتاده که از خاک زمین گل درست کنند و با استفاده از آن و چوب خانه بسازند.

تعریفی که در صنعتی سازی به صورت عموم مطرح است: از یک تا ۱۰۰٪ یک ساختمان به جای اینکه در سایت، یعنی در محل کارگاه ساخته شود، در بیرون کارگاه (یا در یک کارخانه خیلی بزرگ یا خیلی کوچک) ساخته می شوند.

ما صنعتی سازی ۱۰۰٪ نداریم اما داریم به سمت صنعتی سازی می رویم.

تمام این سیستم هایی که در حال یادگیری هستیم و آموزش داده می شوند، ما را به سمت صنعتی سازی می کشانند. یعنی افزایش نسبت به المان ها (بخش های یک ساختمان) را به کارخانه می بریم بعد آن ها را به محل می آوریم.

اما عمده ترین دلیل صنعتی سازی استفاده ی بهینه از زمان است که می توانیم در زمان هایی که شرایط جوی برای کار در کارگاه مناسب نیست، المان های ساختمان را در کارخانه بسازیم و هنگامی که شرایط مساعد بود آن ها را برای نصب به سایت منتقل می کنیم.

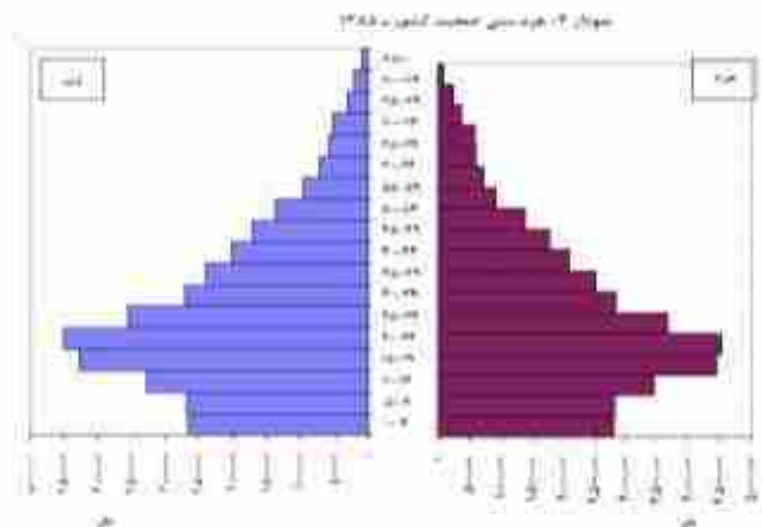
- هدف ما در ساختمان سازی کم کردن روش سنتی و افزایش صنعتی سازی است.

مثلا استفاده از بتن های بزرگ به جای آجرهای کوچک در ساختمان به علت کارایی بیشتر، سرعت اجرای بیشتر و مزایایی از قبیل میزان مقاومت در برابر حرارت و غیره

## وضعیت فعلی مسکن در کشور:

مشکل عمده در بخش ساختمان و بویژه مسکن، عدم تعادل عرضه و تقاضا در بازار مسکن است. بر اساس سرشماری سال ۱۳۸۵، کشور با کمبود ۱/۶ میلیون واحد مسکونی نسبت به تعداد خانوار روبرو است و ۱/۵ میلیون واحد مسکونی موجود نیز برای سکونت نامناسب است.

بیشتره هرم سنی جمعیت کشور در حال رسیدن به سن اشتغال و ازدواج بوده و به تبع آن نیاز به مسکن جدید برای این خانوارها ضروری است. برای کنترل وضع موجود و اضافه شدن سالانه ۸۰۰ هزار متقاضی جدید که بر اساس پیش بینی ها تا سال ۱۳۹۰ به مرز ۹۳۰ هزار نفر نیز خواهد رسید. با توجه به استهلاک ۳۰ درصدی نسبت به واحدهای جدید الاحداث ضروری است تا ۱۰ سال آینده، سالانه حداقل ۵/۱ میلیون واحد مسکونی ساخته شود. این در حالی است که بر اساس آمار وزارت مسکن بالاترین میزان عرضه مسکن مربوط به سال ۱۳۸۶ و حدود ۸۰۰ هزار واحد مسکونی - بدون احتساب واحدهای تخریب شده - بوده است.



### تاریخچه تولید صنعتی:

انقلاب صنعتی، اقتصاد و صنعت دستی را به تولید کارخانه ای و ماشینی تبدیل کرد. این انقلاب با ایجاد ماشین ها، قدرت بخار و ساخت آهن و فولاد در قرن ۱۸ آغاز گردید و با اختراع نیروی الکتریکی و ماشین احتراق داخلی، سوخت نفتی و سنتز شیمیایی، نمود و ظهور بیشتری یافت. در قرن ۱۹ بطور چشمگیری ترقی کرد و اکنون با علم الکترونیک، قدرت اتمی و کامپیوترها به اوج خود رسیده است. هر کدام از این مراحل رشد صنعت به نوبه خود بهره وری را افزایش داده و کارایی و کیفیت محصولات را بهبود بخشیدند. فرآیند صنعتی سازی به معنای فرآیندی است که با بهبود کیفیت زمان ساخت و استفاده از نیروی کار منجر به افزایش خروجی سیستم و بهینه سازی بهره برداری از تجهیزات، تسهیلات و تکنولوژی می گردد.



## تفاوت تولید صنعتی ساختمان و دیگر محصولات صنعتی:

| Manufacturing                                         | Construction                                                                         |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| تمام فعالیتها در یک مکان ثابت انجام می شود.           | فعالیت در مکانهای موقت متعدد بخش می شود.                                             |
| طول عمر کوتاه یا متوسط محصول                          | طول عمر بلند محصول                                                                   |
| سطوح بالای تکرار و استانداردسازی                      | سطوح پائین استانداردسازی (هر پروژه ویژگی های خاص خود را دارد).                       |
| تعداد پائین کارهای ساده شده ضروری برای تولید یک محصول | تعداد بالای کارهایی که نیاز به مهارت دستی برای ساخت یک پروژه دارد.                   |
| همه فعالیتها در یک ایستگاه کاری انجام می شود.         | هر کار در محدوده وسیع انجام می شود (کارگران برای انجام یک کار جابجایی بالایی دارند). |
| محیط کاری به دقت با نیازهای انسانی تطبیق دارد.        | محیط کاری خشن و ناملایم                                                              |
| محیط کاری نسبتاً پایدار                               | گردش بالای نیروی انسانی                                                              |
| مرجع تصمیم گیری واحد برای طراحی، تولید و بازاریابی    | تصمیم گیری در سطوح کارفرما، طراح، قوانین دولتی و پیمانکار تقسیم شده اند.             |

## پیش نیازهای فرایند صنعتی سازی:

مشخصه های زیر پیش نیازهای موفقیت فرایند صنعتی سازی هستند:

- تمرکز تولید Centralization of Production
- تولید انبوه Mass Production
- استانداردسازی Standardization
- تخصصی کردن Specialization
- سازماندهی مناسب Good Organization
- یکپارچگی Integrating



## مفاهیم صنعتی سازی ساختمان :

### ۱- پیش ساخته سازی (Prefabrication)

پیش ساخته سازی به عنوان فرآیند تولیدی تعریف می شود که در آن بطور کلی مواد به همدیگر متصل می شوند تا جزئی از نصب نهایی را تشکیل دهند. قطعات پیش ساخته ساده هستند مانند یک پانل و انواع قطعات مزبور می توانند در کارخانه بصورت off-site تولید شوند و یا در خط تولید موقتی بصورت on-site تولید گردند.

### ۲- پیش مونتاژ نمودن (Preassembly)

پیش مونتاژ نمودن، فرآیندی است که در آن اجزای پیش ساخته تجهیزات و متعلقات آن در یک مکان دیگر به جز سایت احداث و گاهی در حین احداث برهم مونتاژ شده تا جزئی از یک واحد ساختمانی را تشکیل بدهند. این به معنای تولید سیستم های پیچیده است نه ساده. بدین منظور نیاز به مهارت های ویژه نیروی انسانی جهت مونتاژ مواد مختلف ضروری است در این شیوه خط تولید می تواند دور از سایت احداث باشد یا نزدیک آن. در حالتی که هزینه های حمل و نقل بالاتر رود و همچنین شیوه های حمل پیچیده تر شود امکان تولید در کنار سایت (on-site) نیز وجود دارد. نحوه دیگر تولید کارخانه متحرک (mobile factory) است که به دلیل هزینه های بالا کمتر مورد استفاده است.

## مفاهیم صنعتی سازی ساختمان :

### ۳- مدولاریزاسیون (Modularization)

مدولاریزاسیون اشاره به دو مفهوم بنیادین دارد:

الف) مدولاریزاسیون به مفهوم مدولار و استاندارد نمودن اجزاء و قطعات ساختمانی است به نحوی که به جای تولید یک قطعه در ابعاد و قطعات بسیار متنوع، این تولیدات در محدوده‌ای منطقی و محدود تولید شوند تا امکان دستیابی به تولید انبوه کارخانه‌ای فراهم شود.

تنها در این حالت است که امکان تولید انبوه میسر می شود و پیامد آن صرفه‌های مقیاس خواهد بود که خود باعث کاهش هزینه‌های تولید و قیمت تمام شده می گردد.

ب) مدولاریزاسیون به مفهوم تولید سیستم‌های پیچیده مدولار، اشاره به سیستم‌های پیچیده‌ای دارد که در مکانی دور از سایت احداث مونتاژ می شوند و سپس به سایت منتقل می گردند.

این قطعات در صورت بزرگ بودن، هزینه حمل و نقل و در نتیجه هزینه کل بنا را بالا می برند. این کار اغلب به دلیل اشغال زیاد فضا و در نتیجه اتلاف فضا می گردد.

روش هایی چون kit of part و on site assembly در کارخانه‌های موقت می تواند این موارد را کاهش دهد.

### ۴- صنعتی سازی (Industrialization)

در یک تعریف جامع، صنعتی سازی به معنای یک پارادایم تولید است که شامل روش‌هایی است که میزان استفاده منابع و نیروی کار را با بهینه‌سازی کاربرد تجهیزات و تکنولوژی در فرآیندها بهبود می دهد.

مفهوم صنعتی سازی ساختمان فقط به معنای پیش ساخته سازی نیست، بلکه شامل پیش ساخته سازی، پیش مونتاژ و مدولاریزاسیون و کاربرد فناوری‌های نوین در فرایند ساختمان سازی نیز می گردد. (یعنی استفاده از فناوری‌های نوین به روش‌های نوین)

در شیوه تولید صنعتی، تولید قطعات ساختمانی براساس شیوه و استاندارد واحد و به صورت متمرکز ساخته شده و در نهایت به صورت مکانیزه و صنعتی نیز نصب و اجرا می شوند.

بنابراین درباره کارخانه هایی صحبت می کنیم که هر نوع از قطعات را تولید می کنند تا در ساخت و ساز نصب گردد و هدف این شیوه تولید؛ بهبود ایمنی، کیفیت، هزینه و سطوح خروجی است.

در تولید صنعتی از آنجایی که استانداردهای لازم و مشخص تعیین شده است، امکان تولید مدولار در این شیوه فراهم شده و از اتلاف منابع تا حد بسیاری کاسته و به سرعت تولید می افزایشد.

در تولید تمام صنعتی علاوه بر تولید بخش سازه های ساختمان، بخش ترم و غیر سازه های نیز براساس تولید مدولار در کارخانه تولید می شود.

این مسئله تا حد بسیاری ضریب خطاهای انسانی را در هنگام تولید پائین می آورد و موجب افزایش کیفیت و ایمنی ساختمان، و سرعت تولید و در نتیجه قیمت تمام شده می شود.

در صنعتی سازی ساختمان؛ هر چیزی مشخص است که در کجا بکار برده خواهد شد. لذا حجم فعالیت های محاسباتی و مهندسی افزایش می یابد.

مفهومی که اینجا بکار رفته شامل کلیه مفاهیم ذیل می باشد:

- مدولاریزاسیون Modularization
- پیش ساخته سازی Prefabrication
- پیش مونتاژ Preassembly
- پیش مهندسی Pre-engineering
- مهندسی همزمان Concurrent Engineering
- مدیریت فرایند ساخت Process Management
- مدیریت زنجیره تامین Supply Chain Management

## دسته بندی انواع سیستم های تولید صنعتی :

این دسته بندی توسط دو معیار اندازه و پیچیدگی، از قطعات ساده panel تا مدول module انجام می گردد.

### نوع اول: پانلهای پیش ساخته (Panels)

این نوع از قطعات با کاربردهای مختلف چون دیوار باربر، پارتیشن و اجزای سازه ای بکار می روند. استفاده از مواد نوین چون پلیمرها و کامپوزیت ها به عنوان مواد اولیه و سازنده این نوع قطعات رایج است.

### نوع دوم: سیستم مدولار (Modular System)

این نوع از قطعات پیش ساخته بین پانل های ساده و مدول کامل قرار می گیرد. این قطعات ترکیبی از زیرسیستم های مونتاژ شده برای ساخت یک سازه پیچیده اند.

برای مثال یک پانل به همراه تأسیسات الکتریکی و آب و فاضلاب در این دسته قرار می گیرد. سیستم مدولار می تواند بخشی از یک ساختمان باشد و یا بخشی باشد که در تولید مدول کامل استفاده شود.

### نوع سوم: مدول (Module)

یک مدول به ترکیبی از چندین سیستم مدولار گفته می شود. تولید کنندگان مدول ها را با سطوح مختلفی از اتمام کار Finalization تحویل می دهند، یک مدول تنها به عنوان سازه یک اتاق می تواند بکار رود.

## عوامل تاثیر گذار بر صنعتی سازی :

در ذیل به برخی از عوامل که تاثیر بازدارنده در استفاده و کاربرد شیوه های تولید صنعتی در صنعت ساخت دارند، اشاره خواهد شد:

**نگرش خرد به زنجیره تامین:**

سطوح پائین استاندارد سازی و عدم نگرش جامع زنجیره تامین باعث پیچیدگی نصب و اجرا و مونتاژ می گردد.

**گستره وسیع مواد بکار رفته:**

گستره وسیع مواد بکار رفته در یک فرآیند واحد منجر به استفاده ابزارهای جداگانه برای هر ماده می گردد.

**فرایندهای وابسته به مواد و مصالح:**

در این مسیر جریان فرآیند برای یک فعالیت ممکن است بدلیل تغییر یک یا دو مورد از این المانها تغییر کند.

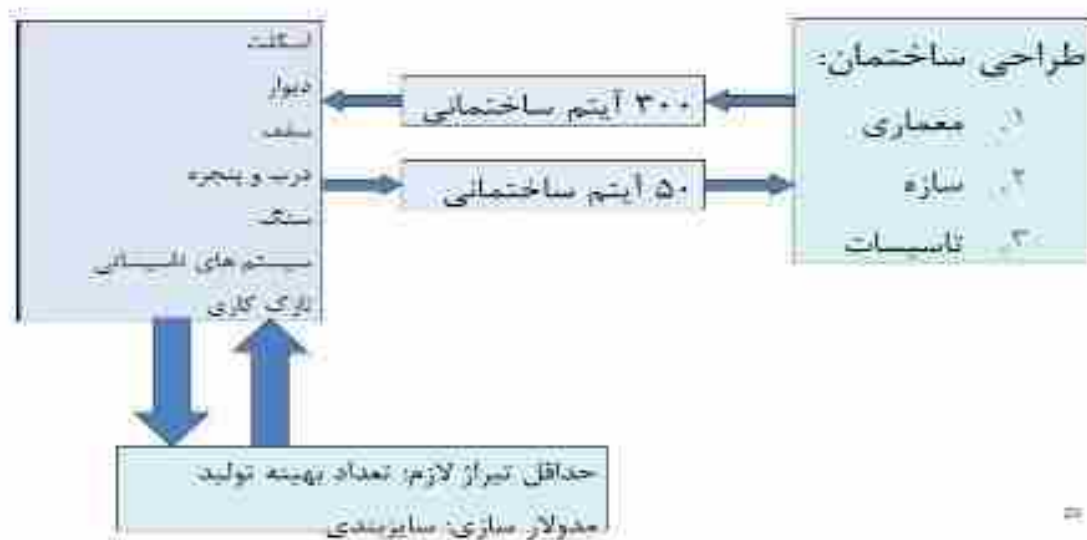
**محیط ساخت و ساز:**

محیطی که ساختمان در آن بنا می شود به فعالیت های ساخت و ساز و روش های اجرا تاثیر گذاشته و امکان پیش مهندسی را دشوار می کند.

**عدم وضوح سود ناشی از صنعتی سازی:**

هزینه ماشین آلات پیچیده خط تولید، لجستیک و حمل و نقل وسیع، فاکتورهایی چون کاهش هزینه ساخت به دلیل افزایش سرعت تولید و بهره وری نیروی انسانی مورد استفاده را تحت الشعاع قرار می دهد.

## فرایند دستیابی به صنعتی سازی :



## زنجیره ایده آل صنعتی سازی ساختمان :



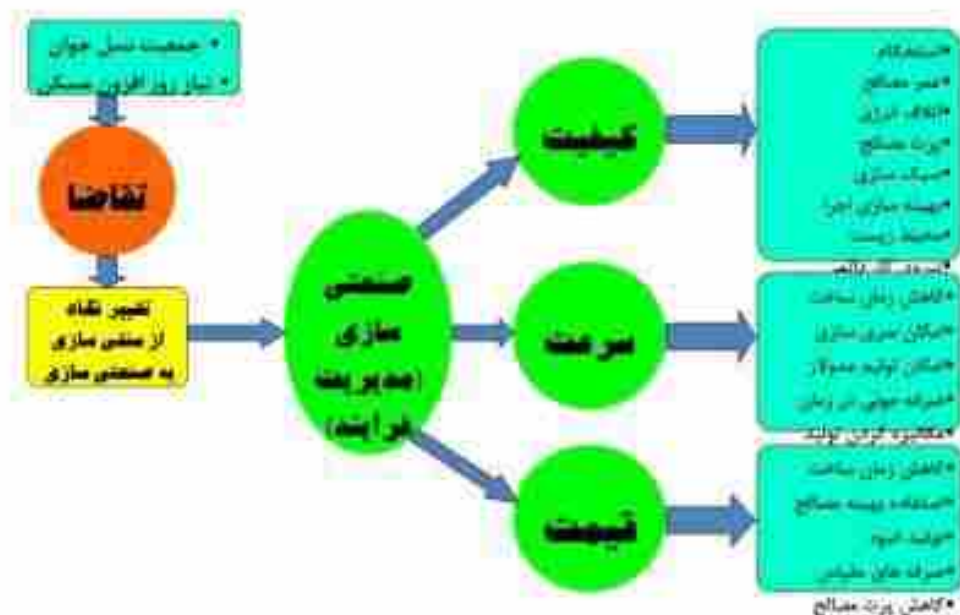
• مدیریت

• هم جهت نمودن

• هم سرعت نمودن

چرخنده های زنجیره :

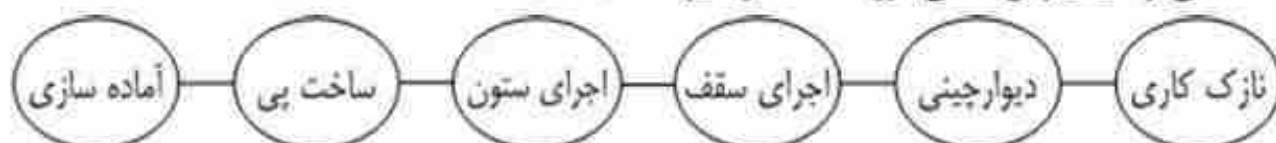
## مزایای صنعتی سازی ساختمان:



بررسی یکی از مزایا: سرعت

تولید سنتی:

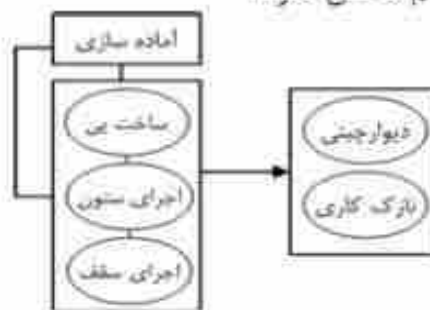
- در تولید سنتی فرآیند تولید یک فرآیند کاملاً سری است.
- سلسله اقدامات اجرایی باید به ترتیب و مرحله به مرحله اجرا شود.
- زنجیره وار بودن این گونه اقدامات:
- روند اجرای پروژه را بسیار کند،
- هزینه های اجرایی از قبیل هزینه نیروی انسانی را افزایش می دهد.
- مشکل عمده دیگر در فرآیند تولید سنتی وجود اقدامات اجرایی بهبود یافته و غیر ضروری است که بسیاری از آن ناشی از قدیمی بودن مصالح مورد استفاده و شیوه ساخت است.

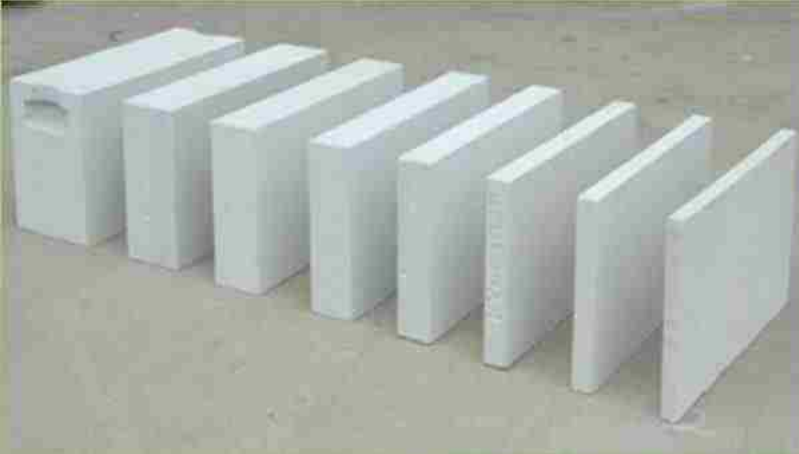


تولید صنعتی:

در فرآیند تولید صنعتی از آنجا که برخی از مراحل تولید در کارخانه و به صورت موازی انجام می شود، نیازی به رعایت سلسله مراتب و زنجیره های تولید سنتی در تولید صنعتی نیست.

بسیاری از مراحل تولید می تواند همزمان و به صورت موازی انجام شود و می توان تنها این قطعات را برای نصب به محل اجرای پروژه آورد و آنها را به هم متصل نمود.





# اجرای صنعتی ساختمان ها

(ویژه دوره ارتقا به پایه یک مهندسين ناظر)  
سید عبدالنبی رضوی

## بتن سبک گازی AAC

### مشخصات فیزیکی

اصولا بتن ها بر حسب چگالی خود به سه دسته ی سبک ، نیمه سبک و سنگین تقسیم می شوند. بتن های با چگالی زیر  $1750 \text{ kg/m}^3$  را بتن سبک ، بین  $2200 \text{ kg/m}^3$  تا  $2600 \text{ kg/m}^3$  را نیمه سبک و بالاتر از  $3000 \text{ kg/m}^3$  تا  $5000 \text{ kg/m}^3$  را سنگین می گوئیم که در سازه های خاص کاربرد دارند.

بتن های سبک خود به سه دسته ی دانه سبک ، بدون ریزدانه و همراه با مواد شیمیایی تقسیم می شوند. بتن های دانه سبک شامل بتن های حاوی مواد معدنی (گدازه های آتش فشانی سرد شده) ، بتن های حاوی ضایعات کوره دودی صنایع (استفاده از سرباره ها) و نیز مواد مصنوعی (مانند خاک رس و پرلیت) می شود.

نوع دوم بتن های سبک ، بتن های بدون ریزدانه هستند. در این بتن ها ، به دلیل عدم وجود ریزدانه ، فضای بین دانه های بزرگتر خالی می ماند که باعث سبکی بتن می شود.

نوع سوم بتن های سبک ، بتن های کفی یا فوم بتن ها و بتن های گازی است که دریاژه ی مورد عخییر بحث و بررسی خواهیم کرد.

بتن گازی اولین بار در سال ۱۹۲۴ توسط یک دانشمند سوئدی تهیه شد. انگیزه از اختراع این ماده این بود که مصالحی داشته باشیم که خواص مثبت چوب مانند عایق بودن ، کار پذیری و سبکی را داشته باشد. ولی معایب آن مانند اشتعال پذیری و پوسیدگی را نداشته باشد.

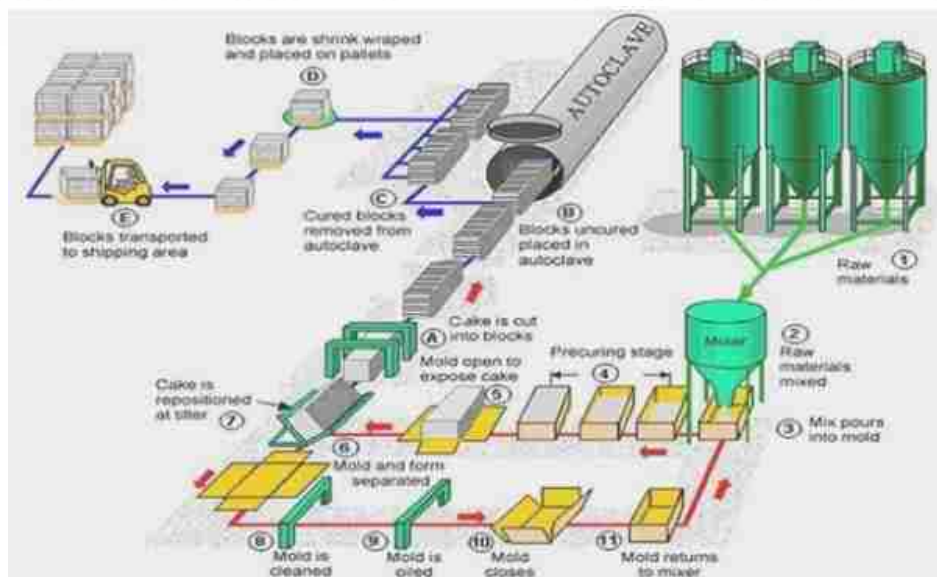
بتن سبک از ماسه ی سیلیسی ، آهک ، سیمان ، آب و پودر آلومینیوم تشکیل می شود که در ادامه در مورد هر کدام به اختصار توضیحاتی ارائه می گردد.



### فرآیند تولید بتن گازی:

ابتدا مواد به سیلوها رفته و در آن جا فراوری و دیو می شود. سپس در مرحله ی بعد با توجه به نوع کاربری و مقاومت مورد نیاز ، درصد اختلاط تعیین شده و بر اساس آن ، مواد جمع آوری شده وارد میکسر می شوند. در پایان ، پودر آلومینیوم را اضافه کرده و دوغاب حاصله را سریعاً داخل قالب ها می ریزند. قالب ها دارای عرضی بین ۱،۲ تا ۱،۵ متر و طولی به اندازه ی ۶ متر و ضخامت ۷۰ cm می باشند. کم تر از نصف حجم قالب را دوغاب ریزی می کنند. زیرا که با گذشت زمان و در اثر واکنش پودر آلومینیوم با سایر مواد دوغاب ، افزایش حجم می دهد و بعد از گذشت ۲ تا ۳ ساعت (که گیرش اولیه انجام شده است) قالب ها را باز می کنیم و در دو مرحله برش می زنیم. عملیات برش زنی به این ترتیب است که سیم هایی با فاصله ی تنشیم شده قرار داده و بلوک ها را از آن ها عبور می دهیم تا دو برش عمودی و افقی در آن ها ایجاد گردد.

پس از پایان عملیات برش زنی ، بلوک های حاصله وارد اتوکلاو می شوند. اتوکلاو یک محفظه با ورقه ی فلزی به ضخامت ۲۰mm است و درون این استوانه ، دما بالغ بر ۱۸۰ درجه ی سانتیگراد ، فشار ۱۴ اتمسفر و از بخار آب اشباع می باشد. بلوک ها در اتوکلاو و با این شرایط طی ۱۲ ساعت به مقاومت ۲۸ روزه رسیده و آماده ی بهره برداری می شوند.



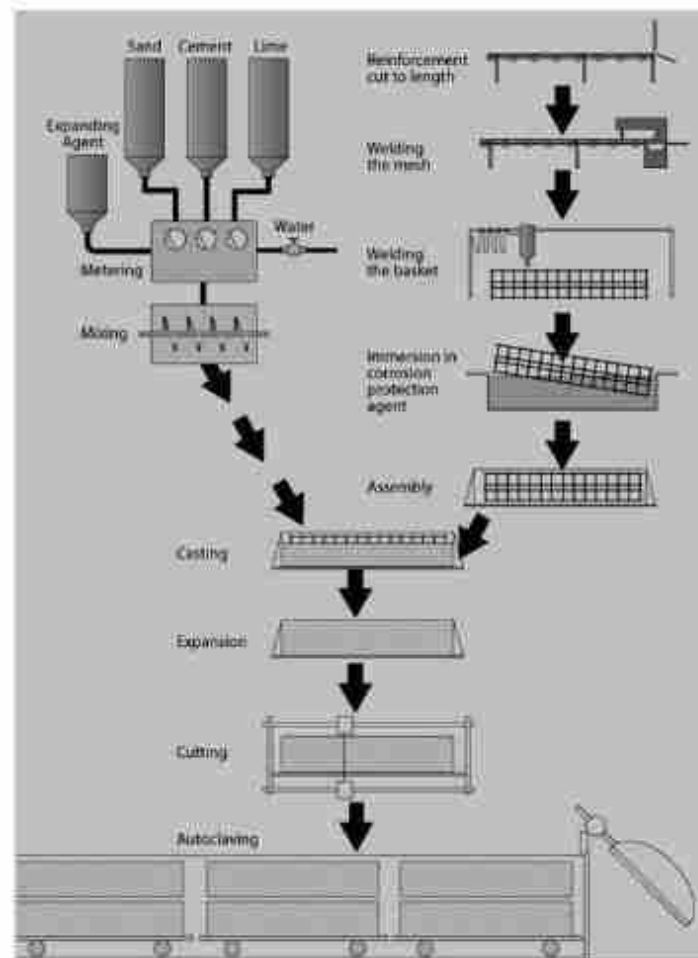
### علت افزایش حجم دوغاب:

دیدیم که در اوایل فرایند تولید ، ما کم تر از نصف حجم دوغاب ریزی کردیم و با گذشت مدتی ، دوغاب افزایش حجم داد، دلیل این اتفاق ، واکنش های شیمیایی رخ داده بین مواد اولیه با پودر آلومینیوم است. در ابتدا آهک زنده با آب واکنش می دهد که در اثر آن ، آهک هیدراته تولید می شود (همراه با آزاد شدن حرارت) سپس آهک هیدراته با پودر آلومینیوم واکنش می دهد که در اثر آن گاز  $H_2$  آزاد می شود که عامل تخلخل در بتن است و موجب افزایش حجم می گردد. این فرایند باعث سبک شدن بتن و عایق شدن مصالح تولیدی می شود. در پایان قابل ذکر است که سیلیکات کلسیم هیدراته عامل مقاومت در بتن است.



### خط تولید پانل مسلح

تمام اقدامات صورت گرفته در این بخش عینا مانند فرآیند تولید بلوک است تنها قبل از ریختن دوغاب در قالبها، مشبهای فولادی که قبلا بر اساس مشخصات محاسباتی تهیه شده در قالب تعبیه می شوند. برای تولید این محصول فقط برش طولی انجام می شود و برش عمودی در پروسه حذف می گردد.



### ویژگی های بتن AAC

#### جرم حجمی:

جرم حجمی بتن AAC، بسته به درصد اختلاط آن در بازه  $300-800 \text{ kg/m}^3$  است. هرچه این عدد پایین تر باشد، نشان دهنده مرغوب تر بودن بتن است و در ایران، بتن AAC تولیدی، جرم حجمی ای بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمربع دارد. با مقایسه ی جرم حجمی بتن گازی با مصالح رایجی مانند آجر  $1800 \text{ kg/m}^3$  و سفال  $1200 \text{ kg/m}^3$  به این نتیجه می رسیم که این محصول بسیار سبک است که مزیت هایی را در ساختمان سازی به دنبال دارد.

#### وزن:

یک مترمکعب بلوک AAC حدود ۵۵۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم وزن دارد که حدود یک سوم مترمکعب آجر فشاری وزن دارد.



### مقاومت مکانیکی:

بتن گازی مقاومتی برابر با  $35 \text{ kg/cm}^2$  یا  $2.5 \text{ MPa}$  دارد. حداقل مقاومت فشاری قابل قبول یک عضو  $\text{MPa}$   $2.5$  است. بتن گازی مقامتی بالاتر از این مقدار را تامین می کند. در ضمن بتن گازی ، مقاومت برشی ای برابر با  $25$  تا  $33$  درصد مقاومت فشاری آن و مقاومت کششی ای برابر با  $15$  تا  $25$  درصد مقاومت فشاری اش دارد.

### ابعاد بلوک:

بلوک های بتن گازی ، دارای ابعادی به اندازه ی  $62.5 \times 25$  و ضخامتی به اندازه ی  $7.5$  تا  $50$  سانتی متر هستند که نسبت به بلوک های آجری و سفالی بسیار بزرگ تر می باشند. در نتیجه استفاده از بلوک های گازی ، سرعت ساخت عملیات را بالا می برد.

انبساط حرارتی بتن گازی ،  $8 \times 10^{-6} \text{ m}^{\circ}\text{C}$  است که از فولاد و بسیاری از مصالح دیگر ، بسیار کم تر است. انبساط ناشی از رطوبت بتن گازی ،  $4\%$  (  $2\%$  در هنگام بهره برداری ) است که قابل قبول است.

### انقباض ناشی از خشک شدن:

انقباض AAC از انقباض کامل تا خشک شدن برابر  $0.04\%$  درصد است که این عدد برای چگالی  $550$  کیلوگرم بر متر مکعب و شرایط تولید معمولی می باشد.

### کارپذیری بالا:

از ویژگی های مهم بتن گازی ، کارپذیری آن است. یعنی می توان از تمام وسایل چون چکش ، دریل و... در آن استفاده کرد.

### مقاومت در برابر آتش:

یک ویژگی بسیار مهم بتن گازی ، مقاومت آن در برابر آتش است که در بحث های آینده به طور کامل به آن می پردازیم.

### جذب آب:

AAC با توجه به ساختار حفره ای خود می تواند تا ۶۰ درصد وزنی آن جذب نماید که تا ۴۰ درصد وزنی به صورت نفوذ و پس از آن به صورت موئینگی می باشد. مقدار جذب آب می تواند از عواملی مانند ساختار حفره ها، اندازه قطعه، هدایت حرارتی مواد، دما و فشار و ... تأثیر پذیرد.

### مقاومت در برابر یخ زدگی:

برای هر ماده متخلخل خطر یخ زدگی وقتی وجود دارد که رطوبت موجود در آن ماده از یک مقدار بحرانی بالاتر رود و ماده در معرض سیکل های متوالی یخ زدن و آب شدن قرار گیرد. برای AAC مقدار بحرانی رطوبت حدود ۴۰٪ حجمی است. در شرایط عادی در هیچ مرحله ای از تولید، عمل آوری و قرار گرفتن AAC در ساختمان، رطوبت آن به این عدد نمی رسد. بنابراین AAC مقاومت خوبی در برابر یخ زدگی دارد. به عبارت دیگر، حجم زیاد تخلخل و تعداد حفره های زیاد AAC، اجازه افزایش حجمی ناشی از انبساط آب در تبدیل به یخ را می دهد و در نتیجه خسارتی ایجاد نمی شود.

در مقایسه ی AAC با ملات بایستی به این نکته توجه نمود که نباید این دو محصول را با اعدادی یکسان با یکدیگر مقایسه نمود. مثلاً اینگونه نیست که بگوییم که ۱ متر مکعب بتن گازی با ۱ متر مکعب سفال چقدر اختلاف وزنی دارند. برای مثال مقاومت حرارتی دیواری به ضخامت ۲۰ سانتی متر که با بتن گازی ساخته می شود ، معادل دیوار سفالی ای به ضخامت ۴۰ سانتی متر می باشد. (حدود ۲ برابر) پس مقایسه بایستی به این صورت بیان شود: ۲ متر مکعب سفال با ۱ متر مکعب بتن گازی چه مقدار اختلاف وزنی دارند؟

### مزایای اقتصادی AAC



مزایای اقتصادی ای که این محصول در ساختمان سازی دارد به موارد زیر تقسیم می گردد:

#### (۱) کاهش بار مردهی ساختمان به مقدار زیاد:

بار مردهی ساختمان ها معمولاً بین ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم متر مربع می باشد. حال اگر به جای دیوارها، از بتن گازی استفاده گردد، با توجه به آنکه وزن مخصوص بتن گازی ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مربع است به میزان حدود ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع از بار مرده نسبت به حالت استفاده از سفال یا ملات از آن می کاهد که در کل ۲۰ درصد از بار مرده ی کل کاسته می گردد.

نکته: برای رعایت مبحث ۱۹، دیوارهای خارجی بایستی ۳۵ سانتیمتر ضخامت داشته باشند. بنابراین در صورت استفاده از بتن گازی در دیوارها به جای سفال یا ملات، از بار مردهی ساختمان بیش از ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و همچنین درصد بیشتری از بار مردهی کل کاسته می گردد.

#### (۲) کاهش ابعاد اسکلت سازه:

با کاهش بار مرده، در ساختمان های فولادی و بتنی نیز استفاده از مقاطع کوچک تر در اسکلت ساختمان امکان پذیر می شود که در نتیجه باعث اقتصادی تر شدن پروژه می شود. طبق برآوردهای انجام شده، استفاده از بتن سبک گازی باعث کاهش استفاده از فولاد به میزان ۳۰ تا ۴۰ درصد می گردد.

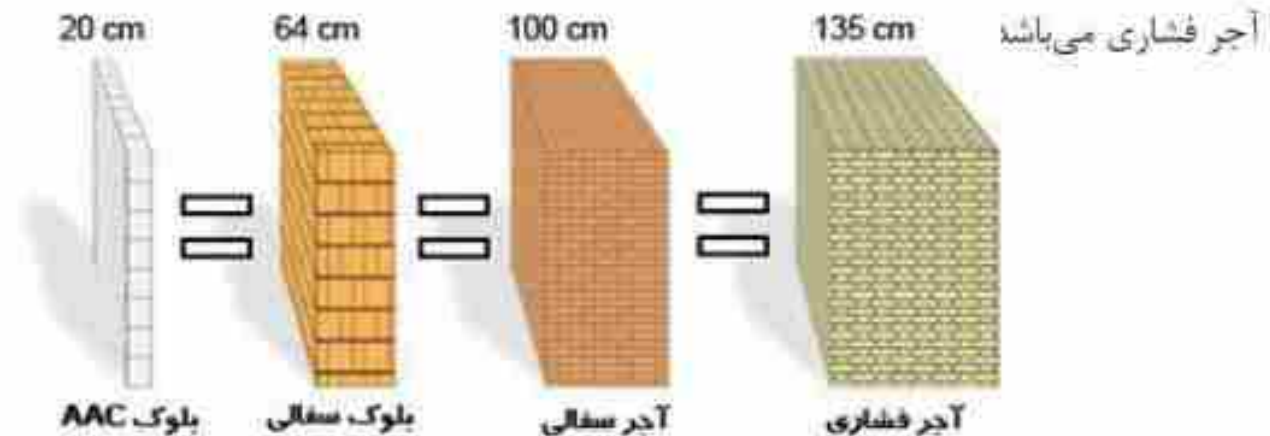
در بحث سازه ای نیز نیروهای برشی زلزله و نیروهای ثقلی ساختمان، به علت کاهش وزن ساختمان، کاهش می یابند. همچنین در صورت تخریب ساختمان توسط زلزله، آوار تولید شده توسط بتن گازی سبک نسبت به سفال یا ملات، با توجه به وزن مخصوص آن ها، خسارت کم تری را ایجاد می کند. با توجه به دو عامل گفته شده، ایمنی سازه نیز بالا می رود.

#### (۳) افزایش سرعت کار و کاهش زمان اتمام پروژه:

از آنجایی که قطعات بلوک های AAC بزرگ می باشند، نسبت به دیوارهای سفالی می توان عمل دیوار چینی ساختمان را در مدت زمان بسیار کم تری انجام داد. در نتیجه سرعت کار در پروژه افزایش می یابد.

### ضریب انتقال حرارتی

بحث دیگر، ضریب انتقال حرارتی این محصول است. ضریب انتقال حرارتی (همراه با مقاومت حرارتی) در مباحثی نظیر جلوگیری از اتلاف انرژی کاربرد دارد. ضریب انتقال حرارتی بتن گازی، ۰.۱۷ وات بر متر کلوین است که نسبت به سفال که ۱.۲ یا آجر که ۱.۷ می باشد قابل ملاحظه است. به عنوان مثال، در صورتی که دیواری ۲۰ سانتی متری یا بلوک های AAC داشته باشیم، از نظر انتقال حرارتی این میزان معادل دیواری با ضخامت ۶۴ سانتیمتر ساخته شده با بلوک سفالی، ۱۰۰ سانتیمتر دیوار یا آجر سفالی و ۱۳۵ سانتیمتر دیوار با



### صرفه جویی در حمل و نقل

ماشین هایی که جهت حمل و نقل مصالح ساختمانی استفاده می شوند ، دارای ۲ محدودیت مهم برای حمل مصالح می باشند. این دو محدودیت ، ظرفیت حجمی بار و ظرفیت وزنی بار می باشند.

در بارگیری مصالح سنتی مانند بلوک های سفالی یا آجر ، پس از پایان بارگیری وسیله نقلیه ، ماشین از نظر حجمی ظرفیت بارگیری دارد. اما از نظر وزنی دیگر ظرفیت بارگیری ندارد. اما در بتن گازی این مورد برعکس است. خودرو ظرفیت وزنی دارد اما از نظر ظرفیت حجمی ، پر شده است. بنابراین از نظر حمل و نقل از محل تولید به مصرف ، استفاده از بتن گازی صرفه ی اقتصادی دارد.

همچنین در حمل و نقل درون کارگاهی نیز شاهد کاهش هزینه ها هستیم. به عنوان مثال برای جابه جایی یک پالت بتن گازی ، به انرژی کمتری نسبت به همان میزان سفال نیازمندیم.



### تسهیلات اجرایی

دیوارهایی که با سفال یا آجر چیده می شوند دارای مشکلاتی هستند. شایع ترین این مشکلات این است که دیوار های ساخته شده با مصالح سنتی ناشاقولی نیستند. دلیل این امر این است که آجرها و سفال ها کالیبره نیست. به این معنی که نمی توان دو تا آجر و سفال را پیدا نمود که با یکدیگر هم اندازه باشند و معمولا در حد ۱ تا ۲ میل با هم اختلاف ابعادی دارند. همچنین وقتی که دو آجر سفالی رو روی هم چیده می شوند ، یک بند ملاتی به ضخامت ۱ تا ۲ سانتی متر بین آن ها قرار می گیرد.

با توجه به این ۲ عامل فوق ، هنگامی که دیواری ساخته می شود ، حتی اگر از نیروی انسانی ماهر و دقیقی استفاده شده باشد ، دیوار در نهایت ناشاقول خواهد بود. به طور معمول در هر ۳ متر ارتفاع دیوار ، دیوار به اندازه ی ۲ سانتی متر ناشاقولی دارد. معمولا با پخش گچ و خاک ، این ناشاقولی جبران می شود. باید توجه داشت که این گچ و خاک استفاده شده برای این منظور خود هم وزنی دارد و هم هزینه بر است.



اما در بتن گازی ، ملات استفاده نمی گردد. به دو دلیل:

۱) ملات خود باعث ناشاقولی دیوار می شود. زیرا بتن گازی ، تولید کارخانه ای است و تمامی ابعادش کالبره است. بنابراین اگر از هر جایی از خط تولید یک بلوک بتن گازی برداشته شود ، ابعاد همه ی بلوک ها هم اندازه است. بنابراین از نظر اختلاف ابعادی ، دیوار اجرا شده ناشاقول نمی شود. اما اگر ملات به کار رود ، دقت کار را پایین می آید و شاید در نهایت حدود ۱ سانتی متر ناشاقولی داشته باشیم.

۲) ایراد دیگر ملات ، این است که ملات خود یک پل حرارتی است. در صورت استفاده از ملات در دیوار ساخته شده با بتن گازی قابلیت عایق بودن دیوار کاهش می یابد و با مرور زمان ، با پدیدار شدن رگه هایی سیاه رنگ در آن جلوه ای نازیبا پیدا می کند. دلیل ایجاد این رگه های سیاه رنگ در دیوار ، انتقال حرارت توسط ملات می باشد. به عنوان مثال اگر دیواری سفالی رو به فضای باز داشته باشیم ، بعد از یک سال از عمر دیوار رگه هایی مشکی رنگ بر روی دیوار قابل مشاهده است. این مورد در سقف های طاق ظریبی نیز قابل مشاهده است که ناشی از وجود تیر آهن ها در آن می باشد. زیرا حرارت از تیر آهن با سرعت بسیار بیشتری نسبت به بلوک و سفال رد می شود و در نتیجه با گذر زمان ، خود را در سقف نشان می دهد. این مورد در دیوار های سفالی هم قابل مشاهده است. این خطوط مشکی بیانگر ملات ها هستند که حرارت توانسته است از آن ها رد شود.

به دلیل دو عامل فوق ، ملات را در بتن گازی به کار نمی برند. به جای آن ، از یک چسب مخصوص خشکی استفاده می شود که دارای مقاومتی بسیار بالا است. برای هر مترمربع دیوار ، بسته به ضخامت آن ، به میزان ۲ تا ۴ کیلوگرم از این چسب مصرف می گردد. ضخامتی که از آن در بین هر دو بلوک مصرف می شود ، در حد یک لایه ی ۱ تا ۲ میلی متر است که چسبندگی ای به میزان چسبندگی بین ملات و بلوک ایجاد می کند. برای پوشش نما هم می توان از آن استفاده کرد (جهت پلاستر و پوشاندن درزهای روی نما). از این چسب هم برای جیدن دیوار و هم برای پلاستر چسباندن کاشی ها می توان استفاده نمود.

مواد اولیه ی این چسب عبارتند از: ماسه ی سیلیسی ، سیمان پرتلند خاکستری و متیل سلولوز  
بنابراین قویاً توصیه می شود که از ملات در بتن گازی سبک استفاده نگردد. در صورت حذف ملات ، مصرف سیمان کاهش می یابد و سرعت کار به دلیل بالا بودن ابعاد این محصول نیز بالا می رود.

### سهولت در اجرای تاسیسات

در دیوار جیتی های سنتی . برای اجرای تاسیسات گاهی ناچاریم که قسمت زیادی از دیوار پیدا شده را تخریب کنیم. (مثلا برای رد شدن لوله ها) ملات ها و بلوک ها در مقابل تخریب های انجام شده بسیار حساس اند و معمولا مقداری بیش از مقدار مورد نیاز از مصالح در حین اجرای تاسیسات تخریب می شوند و از بین می روند. اما در صورت استفاده از بتن گازی می توان با وسایل مخصوصی بر روی دیوار ها شیار ایجاد کرد و پس از قرار دادن آئتم مورد نیاز . روی آن را مجددا با همان چسب خشک پوشش داد. بنابراین هزینه های اجرای تاسیسات و پرت مصالح ناشی از اجرای تاسیسات نیز بسیار کم تر می شود.



### کاهش آلودگی های زیست محیطی

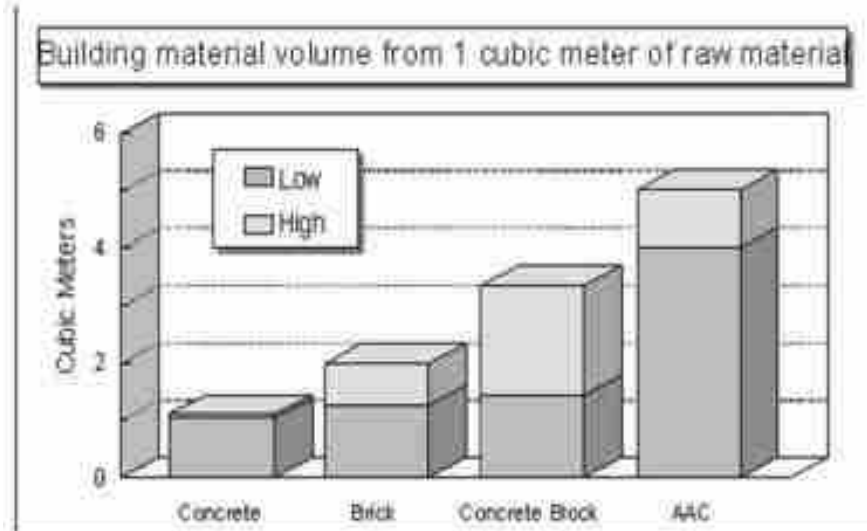
بحث دیگر مسائل زیست محیطی این محصول است. مواد اولیه ی سفال و آجر ، خاک رس می باشد. خاک رس میلیون ها سال طول می کشد که در طبیعت تولید شود و چرخه ی تولید زمان بری دارد. همچنین این خاک ، یک خاک مناسب برای بستر کشاورزی است. همچنین مصالح ساخته شده با آن وزن زیادی دارند و در نتیجه در ساختمان ها ، بار مرده ی زیادی تولید می کنند. این امر باعث می شود که برای ساخت اسکلت ساختمان ها ، از مقاطع بزرگ تری استفاده گردد. اما مواد اولیه ی بتن گازی عاری از خاک رس است خیلی در صنایع دیگر استفاده ندارد و کشور ما از آن غنی است. وزن کم آن نیز باعث می شود که از مقاطع کوچک تری در اسکلت استفاده کنیم که در نهایت باعث صرفه جویی در مصرف مصالح و کمک به محیط زیست می گردد.

با توجه به عایق بودن این محصول ، در صورت استفاده از آن در دیوار های خارجی ، مصارف انرژی جهت سرمایش و گرمایش ساختمان کاهش می یابد.

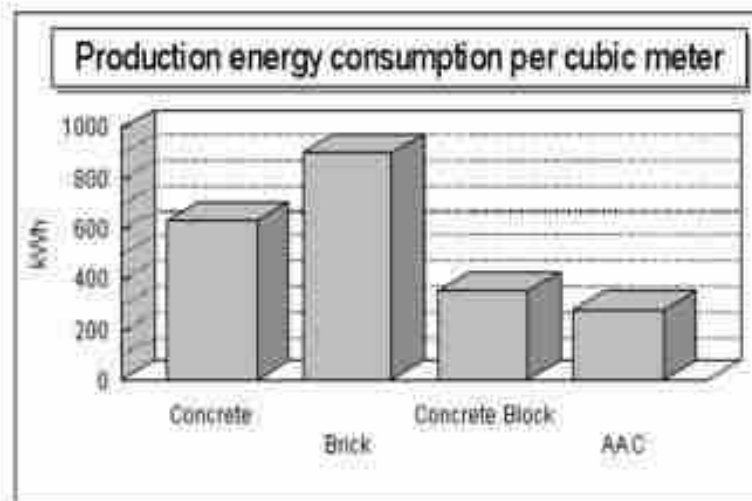
از ضایعات این محصول نیز می توان به عنوان پوکه استفاده نمود. در نتیجه به هنگام اتمام پروژه ، از این محصول هیچ نخاله ای باقی نمی ماند. از ضایعات دیگر صنایع نیز می توان برای تولید این محصول استفاده نمود.

| ویژگی ها                                                           | نوع | دیوار با آجر فشاری | دیوار یا سیم AAC |
|--------------------------------------------------------------------|-----|--------------------|------------------|
| سرعت اجرای دیوار بر حسب متر مربع در روز توسط یکتک آپکس اجرایی      |     | ۱۰                 | ۲۰               |
| سرعت اجرای پوشش دیوار بر حسب متر مربع در روز توسط یکتک آپکس اجرایی |     | ۱۵                 | ۵۵               |
| مقایسه وزن دیوارها بر حسب کیلوگرم بر متر مربع                      |     | ۴۲۰                | ۱۴۵              |
| مقایسه وزن ملات مصرفی در دیوار بر حسب کیلوگرم بر متر مربع          |     | ۱۳۰                | ۲۰               |
| ضریب هدایت حرارتی W/MK                                             |     | ۲٫۷۷               | ۰٫۱۷             |
| قابلیت عایق صوتی db                                                |     | ۳۵                 | ۴۳٫۸             |
| میزان آشنایی جامعه با محصول                                        |     | زیاد               | کم               |
| میزان آلاینده گی در مراحل تولید و اجرا                             |     | زیاد               | متوسط            |
| پرت مصالح                                                          |     | زیاد               | متوسط            |

پرت مصالح مختلف در مقایسه با AAC



انرژی مصرفی جهت تولید این محصول:



### معایب

عیب این محصول این است که برای تولید نیاز به سرمایه گذاری بسیار بالایی دارد. امروزه دولت با سیاست هایی نظیر وام و شراکت در برخی هزینه های اولیه ، تا حدی از مشکل تامین سرمایه ی آن کاسته است. عامل دیگر ، عدم وجود نیروی متخصص کافی برای اجرای این کار می باشد. امروزه نیز برخی مراکز فنی و حرفه ای به تازگی شروع به تربیت نیروی انسانی جهت موارد اجرایی این محصول کرده اند.

### هزینه ها:

در بحث هزینه هم این محصول با وجود مزیت های فراوان دارای قیمتی گزاف نمی باشد. چنانکه داریم: آجر دارای قیمتی برابر با ۸۷۰۰ تومان برای هر متر مکعب می باشد چنانکه این مقدار برای سقفال ۵۹۰۰ و برای بتن سبک گازی ۸۱۰۰ می باشد. در بحث هزینه های مربوط به پوشش (گچ و خاک و نازک کاری) هم سقفال دارای هزینه ای برابر ۵۳۰۰ تومان برای هر متر مکعب می باشد. در حالی که بتن سبک گازی ۲۹۷۰ تومان هزینه در بر دارد.

در پایان لازم به ذکر است که خط تولید این محصول ۱۴ میلیون یورو هزینه در بردارد که ۷۰٪ آن توسط دولت وام داده می شود و در ۳۰٪ مابقی نیز ۴۰٪ دولت مشارکت در هزینه و سود انجام می دهد. تولید سالانه خط تولید این محصول ۳۰۰،۰۰۰ متر مکعب است.

# اجرای صنعتی ساختمان ها

(ویژه دوره ارتقا به پایه یک مهندسين ناظر)

سيد عبدالنبي رضوي



پانل های سه بعدی  
3D panel

### مقدمه:

سیستم پانل های سه بعدی در انواع عملکردهای معماری استفاده می شود که دلیل آن انعطاف پذیری در طراحی و سهولت اجرای آن است. به عنوان مثال سقف های گنبدی و شکل های خاص را می توان با این پانل ها به راحتی اجرا کرد.

استفاده از پانل های دیواری با یک لایه پلی استایرن در ساختمان های تا دو طبقه و پانل های دیواری با دو لایه پلی استایرن به همراه شناژهای افقی در ساختمان های تا چهار طبقه (بدون نیاز به اسکلت) امکان پذیر است. پانل های مذکور را می توان در ساختمان های بلندتر از چهار طبقه به عنوان دیوارهای باربر و جداکننده (بسته به ضخامت و نوع پانل) به همراه اسکلت به کار برد.

مقاومت خمشی بر عهده صفحات بتنی و مش ها می باشد. مقاومت برشی بر عهده اعضای مورب می باشد. اعضای مورب به مفهوم 3D-Panel تحقق می بخشد. قطر خراباها در این پانل ها ۳،۵ میلی متر (سه و نیم) است. جوش های استفاده شده در این سیستم باید یکنواخت و دارای کیفیت خوب باشد و اجرای آن نیز باید به صورت دو سویه باشد. یکی از روش های تشخیص پانل های دستی و کارخانه ای همین بحث جوش آن است.



### کاربرد:

- پانل های 3D دارای کاربردهای متنوعی می باشند که به برخی از آنها در ذیل اشاره می گردد:
  - استفاده در انبوه سازی و مسکن روستایی و عشایری در مناطق کوهستانی و صعب العبور
  - استفاده در مقاوم سازی ساختمان ها و سازه هایی که در برابر نیروهای زلزله ضعیف بوده و نیاز به تقویت دارند.
  - استفاده به عنوان دیوارهای جداکننده و محیطی در ساختمان ها، سالن های صنعتی، سردخانه ها و غیره
  - استفاده به عنوان دیوارهای باربر قائم و جانبی ها یا حذف اسکلت سازه
  - استفاده به عنوان پانل های باربر در سقف ها
- از این پانل ها برای ساخت انواع ساختمان ها نیز استفاده می گردد.



## ساختمان پانل 3D

### ۱- هسته عایق (Expanded Poly Styrene)

EPS یک لایه پلی استایرن منبسط شده، با مشخصات کیفی مطابق با الزامات استاندارد ملی ایران به شماره ۱۵۸۴، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران می باشد.

### ۲- شبکه مفتول های گالوانیزه

این شبکه که در دو طرف هسته مرکزی قرار می گیرد باید با ماشین آلات تمام اتوماتیک ساخته شود و از اتصال مفتول های طولی و عرضی به صورت جوش مقاومتی به یکدیگر ایجاد می شود.

### ۳- میلگردهای خرپایی یا برشگیرها (Cross Wires)

میلگردهای مورب اتصال دهنده دو شبکه مفتولی می باشد که توسط نقطه جوش به دو لایه شبکه جوش متصل می شود به طوری که اتصال آنها در خواص مکانیکی جوش شده خللی ایجاد نکند.

### ۴- بتن پاشیده شده روی پانل (Shotcrete)

بتنی که با طرح اختلاط مخصوص ساخته می شود و اجرای آن توسط پاشش سریع روی سطح پانل با دستگاه بتن پاش (Shotcrete Pump) صورت می گیرد.





### مراحل تولید و اجرا

پس از تهیه نقشه معماری ساختمان با توجه به پروژه مطروحه، ابتدا محاسبات لازم به عمل آمده و نقشه های اجرایی در اختیار خط تولید قرار می گیرد. در این نقشه ها اندازه، شکل هندسی پانل ها و اتصالات مربوطه به دقت محاسبه و طراحی شده و طی مراحل هفتگانه زیر به طور کامل اجرا می شوند:

#### ۱- کشش مفتول

ابتدا مفتول ها توسط ماشین های کشش سرد چندین مرحله کشیده شده و سپس در گوره آتیل به اندازه لازم نرم شده سپس مجدداً بر روی آن دو مرحله کشش انجام می شود تا به قطر مورد نظر برسد. این مفتول ماده اولیه ماشین های مش و پانل است.

#### ۲- تولید فوم

دانه های ریز گراتول پلی استایرن (EPS) گریدهای ۱۰۰ تا ۲۰۰ توسط بخار آب با دما و فشار معین در ماشین Batch Pre expander پخته می شوند. پس از این مرحله گراتول های EPS از طریق لوله های ارتباطی و توسط هوا در سیلوهای مخصوصی جهت تخلیه گاز پنتان ذخیره می گردند.

پس از اطمینان از تخلیه گاز پنتان از مواد، مجدداً گراتول های پلی استایرن توسط لوله هایی به داخل قالب های دستگاه Vacuum Block Molding Machine منتقل و تحت فشار و حرارت تبدیل به بلوک های پلی استایرن می گردند که پس از برش به اندازه های لازم جهت مصرف پانل به ماشین تولید پانل داده می شود.

\*\*\* پلی استایرن ها باید کند سوز باشند؛ یعنی در مقابل آتش منعقبض می شوند و خود را از آتش دور می کنند.

\*\*\* پلی استایرن با رسیدن به دمای ۳۶۰ درجه آتش می گیرد.

\*\*\* پلی استایرن هر چقدر دانه های ریز تر و متراکم تر داشته باشد مطلوب تر است.

\*\*\* پلی استایرن هر چقدر دانه های ریز تر و متراکم تر داشته باشد مطلوب تر است.

\*\*\* دانسیته حداقل پلی استایرن برابر ۱۵ kg/m3 است.

### ۳- ساخت شبکه مش

مفتول تولید شده از ماشین های کشش، توسط ماشین های فرقره برکن در فرقره های ماشین مش برای تار مش و در ماشین های شاخه کن برای بود به اندازه های مشخص صاف و بریده می شود سپس با جوش مداوم و سریع تارها به بودها تار مش تولید شده و به دو صورت شیت یا کلاف جمع آوری و ماده اولیه ماشین تولید پانل و مش اتصال در قسمت اجرای ساختمان های سه بعدی به دست می آید.

\*\*\* المان های به کار رفته در جهت طول پانل که مقاومت خمشی دارند، تار نامیده می شوند. المان های عمود بر تارها بودها هستند.

\*\*\* تار: مفتول طولی به کار رفته در شبکه جوش شده می باشد که در خطوطی به موازات صفحات برشگیرها قرار دارد.

\*\*\* بود: مفتولی است که عمود بر مفتول های تار در شبکه جوش شده به کار می رود.

\*\*\* میلگردها در داخل نازل هایی که کاهش قطر می دهند، کشیده می شوند. در اثر این کشش وارد ناحیه پلاستیک می شوند و پس از آن با ورود به hardening range دوباره سخت می شوند.

\*\*\* بهترین روش برای داشتن کمترین تغییر در سطح مقطع جوش مقاومتی یا نقطه ای است، در این نوع جوش ورود و خروج جریان الکتریکی از یک نقطه باعث ممزوج شدن می شود؛ در این نوع جوش الکتروود وجود ندارد. \*\*\* در محل قطع مش ها حتماً باید در امتداد درزها وصله داشته باشیم.

### ۴- تولید پانل

دو صفحه شبکه مش از کلاف های تهیه شده وارد ماشین تولید پانل می شود. این ماشین اتصالات عرضی را از داخل فوم رد کرده و دو شبکه مش در طرفین فوم را به همدیگر جوش می دهد.

پانل های استاندارد با عرض ثابت ۱۲۰ سانتی متر تولید می شوند و طول آنها بر حسب سفارش و محل کاربرد متغیر می باشد. همچنین امکان طراحی و تولید پانل با شکل هندسی متفاوت برای کاربردهای خاص نیز وجود دارد.

\*\*\* بهترین فعالیت های انجام شده در کارخانه ها، وارد کردن اعضای مورب به داخل پلی استایرن و اجرای جوش های نقطه ای بین اعضای مورب و مش های بالا و پایین است.

\*\*\* قطر رایج مفتول ها بین ۳ تا ۴.۵ است. ( سه تا چهار و نیم )

\*\*\* در مناطق مرطوب می توان از مفتول های گالوانیزه استفاده کرد.

### ۵- نصب و اجرا

پانل های تولید شده با توجه به طراحی و محاسبه برش داده می شوند و روی فونداسیون مخصوصی که قبلاً طراحی و اجرا شده نصب می شوند. تمام دیوارها و استحکامات ساختمان توسط شبکه ای از پانل ها اجرا شده و با اتصالات خاص، به هم متصل می شوند. پس از کنترل شاقول و تراز پانل ها و حفظ موقعیت نصب شده توسط شاکریت های مخصوص بتون پاشی انجام می گیرد.

نحوه ی اتصال این پانل ها به کف، آرماتور های انتظاری است که بین پلی استایرن و مش قرار می گیرد.

#### ۶- عملیات شاتکریت (بتن پاشی)

بعد از اتمام قالب بندی ها و تاسیسات داخلی، عملیات شاتکریت انجام می شود. طی این عملیات، ماشین مخصوص شاتکریت، مخلوط بتن را روی تمام سطوح داخلی و خارجی ساختمان می پاشد.

\*\*\* بتن پاشی پس از نصب پنل ها انجام می شود، بنابراین این روش هم به اسم صنعتی و هم نیمه صنعتی مشهور است.

\*\*\* اگر نسبت آب به سیمان کم باشد، چسبندگی پس از شاتکریت حاصل نمی شود. اگر آب به سیمان زیاد باشد، ریزشی می شود و پرت افزایش می یابد.

\*\*\* پرت شاتکریت در سقف بیشتر است و به ۲۰٪ می رسد ولی در دیوارها بین ۵ تا ۱۰٪ می باشد.

\*\*\* اگر دمای هوا زیر صفر بود، چه باید کرد؟ ضد یخ معمولاً تا حدود دو درجه زیر صفر مانع یخ زدن آب می شود. سیمان برای تکمیل واکنش به یک حداقل دمایی نیاز دارد. در هوای سرد باید از زودگیرکننده بتن یا

سیمان تیپ ۳ استفاده کرد. گرمی این سیمان بیشتر است و بنابراین فعل و انفعالات آن بیشتر است.

\*\*\* شاتکریت روی پنل ها باید تخته ماله ای شود. پس از شاتکریت با دست ضربه میزنیم؛ اگر صدای طبل داد یعنی پلی استایرن زیر آن آسیب دیده است.

\*\*\* از لحاظ معماری هم می توان با این پنل ها قوس ها و گنبدها را اجرا نمود.

## ۷- نازک کاری

سرانجام مرحله نازک کاری شامل گچ کاری، سفیدکاری، نصب کلیدها و پریزها، کاشیکاری و تزیینات داخلی و خارجی ساختمان روی دیوارهای پانل انجام شده و بنایی سبک، زیبا و محکم در کوتاه ترین زمان، ایجاد می شود.

\*\*\* از ستوارهای صنعتی برای ایجاد حفره روی پلی استایرن برای عبور تاسیسات، استفاده می شود.

\*\*\* محل اتصال سقف به دیوار و اتصال مش ها به صورت شناز است. (طبق نشریه ۳۸۵)



### طبقه بندی پانل ها

بر طبق شماره استاندارد ایران ۷۱۴۳ «پانل های ساندویچی سه بعدی - ویژگی ها»، پانل های پیش ساخته به دو دسته تقسیم بندی می شوند. پانل های پیش ساخته باربر و پانل های پیش ساخته غیر باربر (دیوارهای جداکننده).

پانل های پیش ساخته باربر  
پانل های پیش ساخته باربر به دو دسته زیر طبقه بندی می شوند:

#### ۱- پانل های دیواری

از پانل های سه عنوان عضو باربر قائم و همچنین عضو مقاوم در برابر بار جانبی استفاده می شود. ضخامت لایه پلی استایرن بین ۴ تا ۱۰ سانتی متر و فاصله دو شبکه جوش شده از یکدیگر معمولاً ۸ الی ۱۴ سانتی متر می باشد. همچنین قطر اعضای خرپا در این پانل ها حداقل ۳/۵ میلی متر است.

در مکان های خاص از سازه که مفتول های شبکه پاسخگوی بار وارده نباشد، باید با تعبیه آرماتور، پانل دیوار را تقویت نمود. همچنین دیوارهای برشی دارای بازشو باید به نحوی تقویت گردد که در اطراف بازشوها فولاد تقویتی یا سطحی حداقل معادل آرماتورهای قطع شده در هر جهت به صورت شبکه و یا فولاد متمرکز در همان جهت قرار داده شود.

#### ۲- پانل های سقفی

پانل سقفی، در سقف به صورت یک دیافراگم صلب عمل می کند. ضخامت لایه پلی استایرن بر اساس نحوه کاربرد و طراحی حداقل ۶ سانتی متر، فاصله شبکه های جوش شده از یکدیگر حداقل ۱۰ سانتی متر و قطر مفتول های خرپایی حداقل ۳/۵ میلی متر می باشد.

### پانل های پیش ساخته غیرباربر (دیوارهای جداکننده)

پانل های غیرباربر می توانند به عنوان اجزای جداکننده ساختمان (تیغه ها) به کار برده شوند. این قطعات که با بتن پوشیده می شوند باید بار ثقلی خود و همچنین بار جانبی زلزله را براساس بند ۲-۴ استاندارد ملی ایران به شماره ۲۸۰۰ و در دیوارهای خارجی بار ناشی از باد ملحوظ در استاندارد ملی ایران به شماره ۵۱۹ را تحمل نمایند. همچنین این تیغه ها هرگاه به عنوان دیوارهای جداکننده بیرونی مورد استفاده قرار گیرند، باید شرایط ذکر شده در مبحث هفدهم و نوزدهم مقررات ملی ساختمان را رعایت نمایند. طراحی این تیغه ها بستگی به طول و بار وارده دارد.



## مشخصات مصالح

### ۱- فولاد

انواع فولاد مصرفی در سازه های پانلی به همراه مشخصات فنی و ضوابط مورد نیاز در ذیل ارائه می شود. هر نوع فولاد مصرفی در سازه های پانلی باید مطابق استانداردهای معتبر تولید شده و دارای برگه شناسایی کارخانه سازنده باشد.

فولاد مصرفی در سازه های پانلی به سه دسته شبکه جوش شده، برشگیر و میلگرد دسته بندی می شوند. هر یک از این انواع در سازه پانلی عملکردی مشخص دارد که باید مطابق عملکرد مورد انتظار، از ویژگی لازم برخوردار باشد.

### ۲- هسته عایق

هسته عایق به کار رفته در سازه های پانلی باید از جنس پلی استایرن قابل انبساط (E.P.S) و مطابق استاندارد ملی ایران به شماره ۱۵۸۴ می باشد.

\*\*\* هسته عایق از فوم پلی استایرن قابل انبساط تشکیل شده که دارای حداقل چگالی اسمی  $15 \text{ kg/m}^3$  باشد.  
\*\*\* هسته عایق پلی استایرن تحت آزمایش استاندارد ASTM E84 باید دارای حداکثر شاخص گسترش شعله ۲۵ و حداکثر شاخص گسترش دود ۴۵۰ باشد.

\*\*\* هسته عایق هنگامی که مطابق استاندارد ASTM C236 آزمایش شود، باید دارای حداکثر پتانسیل گرمایی  $68 \text{ MJ/m}^2$  باشد.

\*\*\* مشخصات فیزیکی و مکانیکی پلی استایرن قابل انبساط در جدول شماره ۲-۷ ارائه شده است. در این جدول به استانداردهای DIN اشاره شده است که از استانداردهای اروپایی نظیر EN نیز می توان استفاده نمود.

### ۳- بتن پاشیده

#### - سیمان

سیمان مصرفی در کارگاه باید دارای مشخصات سیمانی باشد که در تعیین نسبت های اختلاط به کار رفته است، مگر آن که بعد از انجام آزمایش های لازم به تأیید دستگاه نظارت برسد.

چراغبار حداقل، که  $350 \text{ kg/m}^3$  است، عیار بالایی انتخاب شده است؟ برای حیران عدم ویراناسیون

#### - سنگ دانه

سنگ دانه های مصرفی در بتن پاشیده باید دارای چنان کیفیتی باشند که بتوان با آنها بتنی مقاوم و پایا ساخت. از آنجا که سنگ دانه های درشت تر از حد مجاز می توانند باعث بسته شدن لوله یا نازل شوند، لازم است این سنگ دانه ها با غربال جدا شده و از دانه بندی خارج شوند.

بزرگترین اندازه اسمی سنگ دانه ها نباید از هیچ یک از مقادیر زیر بیشتر باشد.

- یک پنجم ضخامت بتن پاشیده
- سه چهارم بعد چشمه شبکه یا فاصله آزاد بین میلگردها
- سه چهارم ضخامت پوشش روی میلگرد یا مفتول پانل

#### - آب

مشخصات آب مصرفی در بتن پاشیده، حداکثر مقادیر مجاز مواد زیان آور و روش های آزمایش آن باید مطابق آیین نامه بتن ایران باشد.

آب عمل آوری در بتن پاشیده ای که به عنوان نمای معماری استفاده می شود، باید عاری از موادی باشد که باعث لک شدن و آلودگی سطح بتن شود.

#### - مواد افزودنی

### مزایای نسبی پانل های سه بعدی

ساخت ساختمان با استفاده از پانل های سه بعدی دارای مزیت ها متنوعی می باشد که در ذیل به آنها اشاره شده است.

#### ۱- سبکی

از آنجا که بخش زیادی از پانل ساندویچی مورد استفاده در این سیستم را یونولیت تشکیل می دهد، وزن مخصوص نهایی آن نسبت به مصالح سنتی بسیار کمتر خواهد بود، که این نیز به کمتر شدن وزن کلی ساختمان منجر می شود. همچنین سبک وزنی این قطعات امکان نصب و جابجایی آنها را نیز آسان می نماید.

#### ۲- عایق بودن (کاهش تبادل انرژی حرارتی و صوتی)

به دلیل استفاده از یونولیت، تبادل حرارتی و صوتی ساختمان کاهش می یابد؛ چرا که ضریب انتقال حرارتی پانل ها نسبت به دیوارهای سنتی بسیار پایین می باشد. همچنین این مواد (بسته به گرید مورد استفاده) در برابر آتش سوزی نیز مقاوم می باشند.

##### ۵ سانتیمتر کاور برای یونولیت معادل ۹۰ دقیقه آتش سوزی است و ۶ سانتیمتر ۱۲۰ دقیقه.

#### ۳- صرفه جویی در مصرف فولاد

از آنجایی که سیستم مذکور به ساختمان به عنوان یک BOX نگاه می کند، لذا بخشی از تیرها و ستون های متداول در ساختمان های سنتی، حذف خواهد گردید که در مصرف فولادهای ساختمانی صرفه جویی می گردد. همچنین به دلیل کمتر شدن وزن ساختمان، فونداسیون ها نیز طبعاً کوچکتر خواهند شد.

### ۴- عدم نیاز به نیروی متخصص

نصب پانل ها (در دیوار و سقف) به شناژها و بخش های مختلف ساختمان، به صورت دوختن مش های دو طرف پانل ساندویچی به یکدیگر و به شناژها در کف به وسیله آرماتور و شبکه مش های آماده است؛ لذا نیاز به مهندسين و نیروی انسانی متخصص کاهش پیدا می کند.

### ۵- امکان تهیه مواد اولیه در داخل کشور

مواد اولیه مصرفی این سیستم غالباً در ایران تولید می شود. یونولیت نسوز در مجتمع پتروشیمی تبریز (به صورت محدود) تولید می گردد. همچنین تولید مفتول جهت لایه های مش دو طرف پانل نیز در داخل کشور انجام می گیرد.

### ۶- افزایش زیربنا

دیوار در این ساختمان ها به دلیل ضخامت کم، فضای کمتری را اشغال خواهند نمود و زیربنای مفید ساختمان افزایش خواهد یافت.

### ۷- مقاوم در برابر زلزله

با توجه به آزمایش های انجام گرفته، مقاومت در برابر زلزله با استفاده از این پانل ها به میزان زیادی افزایش پیدا می نماید چراکه بارها روی دیوار می آید و روی آن بخش می شود.

### ۸- سرعت و سهولت اجرا

ساخت این قبیل ساختمان ها سرعت و سهولت بیشتری داشته و سرمایه صرف شده زودتر باز خواهد گشت. همچنین به دلیل صرفه جویی در مصرف انرژی در دراز مدت، ساخت این قبیل ساختمان ها توجیه اقتصادی بودن سیستم می باشد. از طرفی حذف اسکلت سازه و استفاده از سیستم به عنوان باربر جانبی و قائم سقف ها و دیوارها، به میزان چشم گیری در اقتصادی شدن ساختمان تأثیر خواهد داشت.

## ۹- اجرای راحت تأسیسات مکانیکی و برقی

در این سیستم امکان عبور دادن لوله های آب و فاضلاب و برق و تلفن به سادگی از زیر شبکه پانل ها و نصب چهارچوب درب ها و کلاف فلزی پنجره ها قبل از بتن پاشی امکان پذیر می باشد که به طور کلی اجرای تأسیسات ساختمان با کمترین هزینه میسر می باشد.

در جدول ذیل برخی ویژگی های پانل های سه بعدی با مواد رایج ساختمان سازی مقایسه شده است:

| ویژگی                                 | دیوار ۱۰cm پانل 3D | دیوار ۲۰cm سفالی | دیوار ۲۲cm آجری | دیوار ۲۰cm سبک |
|---------------------------------------|--------------------|------------------|-----------------|----------------|
| وزن $\text{kg/m}^2$                   | ۱۲۰                | ۲۲۵              | ۲۲۰             | ۱۶۰            |
| ضریب انتقال حرارتی $\text{w/m}^2.k$   | ۰/۵۷               | ۱/۸۱             | ۲/۷۵            | ۲/۸۲           |
| قابلیت عایق صوت db                    | ۷۰                 | ۲۸               | ۲۵              | ۲۲/۸           |
| سرعت اجرا (یک شیفت کاری) $\text{m}^2$ | ۱۲۰                | ۴۰               | ۲۸              | ۶۰             |
| نیاز به گچ و خاک                      | -                  | ✓                | ✓               | ✓              |
| نیاز به نعل درگاه                     | ✓                  | ✓                | ✓               | ✓              |
| قابلیت تحمل بار جانبی                 | ✓                  | -                | -               | -              |
| قابلیت استفاده در مقاوم سازی          | ✓                  | -                | -               | -              |

### معایب سیستم

با وجود مزایای ذکر شده در بالا این سیستم دارای معایب و نقایصی هم می باشد که در این بخش به آنها اشاره می گردد.

#### ۱- محدودیت از نظر معماری

ایده اصلی ساختمان سازی در این سیستم همانند ساختمان های قدیمی، معروف به دیوار باربر است. در این سیستم وزن سقف هر طبقه ساختمان روی مجموعه دیوارهای همان طبقه تقسیم می گردد (دیوارهای خارجی و داخلی). لذا در طراحی ساختمان پراکندگی دیوار در کل سطح باید حتی المقدور یکنواخت باشد. این امر در طراحی ساختمان الزامات و محدودیت هایی را موجب می گردد.

همچنین از آنجا که پانل های مذکور در سقف حداکثر تا دهانه ۶ متر آن هم با کمک تقویت های موردی جوابگو هستند، امکان ایجاد فضاهای وسیع تر از دهانه ۶ متر، بدون ستون های لازم، امکان پذیر نیست که این خود در موارد بسیاری طراح را مجبور به تغییر سیستم یا ترکیب آن با دیگر سیستم های ساختمانی خواهد کرد. در ضمن چون تمام دیوارها در این سیستم جزء عناصر سازه ای مدل می شوند، امکان تغییرات پس از اتمام ساختمان وجود نخواهد داشت.

### ۲- فقدان فرهنگ ساخت و ساز با این سیستم

این سیستم در ایران بسیار نو بوده و سابقه چندانی ندارد، لذا نسبت به سیستم های شناخته شده قبلی، نیاز به آموزش و فرهنگ سازی در جامعه دارد، که این خود می تواند جزء معایب سیستم محسوب گردد؛  
اولاً: طراحان (مهندسان معمار و سازه) که طی سال های اخیر به طراحی با سیستم تیر و ستون (فلزی یا بتنی) عادت کرده اند، تغییر عادت مزبور نیاز به فرهنگ سازی مجدد داشته و زمان بر است.  
ثانیاً: نیروی انسانی اجرایی نیز با این سیستم آشنایی نداشته و نیاز به آموزش و شناخت نسبت به نقاط حساس و نکات مثبت و منفی سیستم مزبور دارند.

ثالثاً: محاسبه سازه های ساختمان، نیاز به آزمایش های متعدد و تعیین ضرایب جدید و احتمالاً تهیه نرم افزار جدید (مثل sap ۹۰ و...) جهت محاسبات سازه ای خواهد داشت.

### ۲- اتکا به سیمان به عنوان ماده اصلی

سیستم ساختمانی پانل های پیش ساخته متکی به ایجاد ساختمان به وسیله پانل ها و سپس یاشیدن بتن در دو طرف آن است. از آنجایی که در این روش میزان پرت بتن کمی یا لاس است (به خصوص زیر سقف) می توان چنین نتیجه گیری کرد که عنصر اصلی سازه ای در این سیستم بتن است، بدین معنی که این سیستم متکی به تولید سیمان در کشور می باشد. گسترش این سیستم مصرف سیمان را بالا برده و قیمت تمام شده ساختمان متغیری از قیمت سیمان در کشور خواهد گردید.

### ۳- عدم امکان وایر لاسیون بتن

از آنجا که بتن مصرفی به وسیله پمپ به دو طرف پانل ها پاشیده شود، امکان وایره کردن بتن وجود ندارد، لذا امکان ایجاد خلل و فرج در بتن مصرف شده (کرموشدن بتن) بسیار زیاد است؛ این امر در مورد پاشیدن زیر سقف ها تشدید می گردد، در ضمن پس از پاشیدن بتن، کارگران باید بلافاصله بتن پاشیده شده را تخته ماله نمایند که این نیاز به مهارت و همچنین نظارت کامل دارد.

### ۴- تأثیر حیوانات چونده و حشرات

موش و دیگر حیوانات چونده علاقه وافری به جویدن یونولیت دارند، این امر می تواند هم از نظر بهداشتی و هم از نظر عایق سازی به ساختمان لطمه بزند. لذا تحقیقات در مورد افزودن موادی به یونولیت مصرفی در پانل ها که چوندگان از جویدن آن دوری نمایند و در ضمن برای انسان نیز مخاطره آمیز نباشد، ضروری به نظر می رسد.

### ۵- عدم امکان اجرای کامل در دیوارهای جنب همسایه (درز انبساط)

عملکرد پانل ها از نظر سازه ای، بر مبنای مقاومت بتن پاشیده شده در دو طرف پانل است. به طوری که اگر یک سمت از پانل مزبور بتن پاشی نگردد، پانل عملکرد سازه ای نخواهد داشت. لذا در موقعیت هایی که پانل باید در جوار دیوار همسایه (درز انبساط ها) نصب گردد، به طوری که امکان ورود کارگر و دستگاه ها جهت پاشیدن بتن وجود نداشته باشد، باید از پاشیدن یک لایه از بتن صرف نظر گردد؛ در این صورت دیوار مزبور دیگر عملکرد فضایی از نظر سازه را نخواهد داشت در واقع این سیستم تنها برای ساختمان های منفرد و با طول حداکثر ۶۰ متر و با فاصله حداقل ۴ متر از ساختمان همجوار می تواند در نظر گرفته شود.

# اجرای صنعتی ساختمان ها

(ویژه دوره ارتقا به پایه یک مهندسین ناظر)  
سید عبدالنبی رضوی



## قاب فولادی سبک LSF

سیستم قاب فولادی سبک (Light Steel Framing) یکی از سیستم های جدیدی است که در بازار طی ۵۰-۶۰ سال اخیر وارد شده ولی شاید بتوان گفت عمرش از این هم بیشتر است اگر بیاایم و جای چوب و فولاد را با هم عوض بکنیم.



به طور کلی در سیستم ساختمانی قاب فلزی سبک، سازه ما متشکل از یکسری المان هایی است که با روش سرد نورد شده (اصطلاحاً cold form گفته می شود) ساخته میشوند. نورد سرد از سیستم خودرو سازی وارد بازار شده در سیستم خودرو شما با سیستم پرس و بریدن آشنا هستید. نورد سرد هم یکی از همان سیستم هاست مثلاً نگارد ریل های کنار خیابان یا روش کلد فرم تهیه می شوند شما یکسری غلتک دارید یک ورق را وارد می کنید و آن را تا می کنید. همانند یک ورق کاغذ که به خودی خود مقاومت چندانی ندارد ولی شاید اگر هشت تا نیش بزنید بتواند یک وزنه را هم روی خودش تحمل کند. یعنی میزان هزینه شما عوض نشده مثلاً یک برگ کاغذ خریده اید ، صرفاً با تغییر شکل در این کاغذ توانسته اید ظرفیت باربری این کاغذ را افزایش دهید.



روش صنعتی این کار، همین روش کلد فرم یا سرد نورد شده است. در سیستم LSF مقاطع خارج شونده، مقاطع C شکل و U شکل هستند. در بازار به اصطلاح به این مقاطع C شکل استاد (stud یا ستونک) و به مقاطع U شکل هم رانر (runner) گفته می شود. در کارگاه شما این اصطلاحات همانند فرغون و کمچه زیاد می شنوید. در سیستم LSF، انتقال بارهای ثقیلی (بارهای مرده و زنده عمودی به طرف زمین) توسط استادهای انجام می شود ولی انتقال بارهای جانبی (بارهای باد و زلزله) توسط بادبند یا یکسری دیوارهای برشی بتنی صورت می گیرد. سیستم سازه ای LSF را می توان همانند یک چهار پایه تصور کرد که به جای چهار تا پایه مثلاً ۴۰ تا پایه دارد. در یک صندلی که چهار تا پایه دارد اگر یکی از این پایه ها قطع شود یا به هر شکلی از بین برود سازه دچار نابودی (collapse) می شود ولی اگر از چهل تا پایه یکی از آن ها حذف بشود ساختمان همچنان پایدار می ماند.

این در حقیقت فلسفه استفاده از استاد ها یا ستونک ها است. در ساختمانهای LSF بمنظور باربری جانبی سازه در دو امتداد اصلی متعامد، از دهانه های باربر جانبی استفاده میشود که Load Bearing Wall نام دارد. دهانه های باربر به چهار روش ایجاد می شوند:

- ۱- سیستم دهانه های مهاربندی با اعضای قطری
  - ۲- سیستم دیوار برشی با ورق فولادی نازک
  - ۳- سیستم دیوار باربر با پوشش OSB
  - ۴- دیوار برشی بتن آرمه.
- که مهاربندی با اعضای قطری برای ساختمان های تا ۲ طبقه مسکونی و سیستم باربر جانبی دیوار برشی بتن آرمه تا ۵ طبقه مجاز می باشد.



## قاب سبك فولادی (LSF)

اجرای صنعتی ساختمان ها، سید عبدالنبی رضوی



مشهد فولی ۵۲۰ واحد

### مزایای سازه ای ، اقتصادی و اجرایی سیستم LSF

- در سیستم LSF به صورت قابل توجهی کاهش در مصرف فولاد و سیمان مصرفی داریم. به طور معمول ما در هر متر مربع ساختمان بسته به اندازه دهانه ها و غیره در حدود ۰,۳ تا ۰,۵ متر مکعب بتن با عیار ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب مصرف می کنیم. یعنی برای هر متر مربع ساختمان حداقل ۹۰ کیلوگرم سیمان. اگر در سال یک میلیون واحد مسکونی ۱۰۰ متری بخواهیم بسازیم می شود ۱۰۰ میلیون متر مربع یعنی حدود ۹۰۰ میلیون کیلو سیمان مصرف می کند. در حالی که این ۹۰ کیلو در سیستم LSF به زیر ۲۰ کیلو کاهش پیدا می کند زیرا در سیستم LSF ما در فونداسیون به علت ضخامت بسیار کم ، مصرف سیمان بسیار کمی داریم و در طبقات دیگر کلاً مصرف سیمان نداریم. کاهش در مصرف فولاد هم همین طور. اگر یک ساختمان ۳ طبقه یا ۶ طبقه را به صورت اسکلت فلزی طراحی بکنید از فولاد در حدود ۴۰ تا ۵۰ کیلو در متر مربع زیر بنا استفاده می شود. در حالی که در سیستم گالوانیزه LSF این عدد بین ۲۵ کیلو تا ۳۰ کیلو است. یعنی یک صرفه جویی ۲۵ تا ۳۰ درصد دوباره در مصرف فولاد دارید. این را اگر در یک میلیون واحد ۱۰۰ متری ضرب کنید ما می توانیم مقدار بسیار زیادی از تولید فولاد را کم کنیم و باعث ایجاد آلودگی ها و مصرف منابع ملی مان نشویم یا اینکه همین را در صنعت دیگری استفاده کنیم.

- کاهش نیروی انسانی دوباره در این سیستم یک چیز مشهودی است. در گذشته، برنامه بودجه یک عدهایی را داده بود که به ازای هر صد متر مربع زیربنا در سال چند نفر مشغول بکار می شوند این عدد چیزی در حدود ۳ معروف بود. این عدد در سیستم های LSF چیزی در حدود ۱،۲ تا ۱،۴ کاهش پیدا کرد. باز اگر این عدد ۳ نفر را در یک نیم میلیون ضرب کنید ما در سال چیزی در حدود ۴۵ میلیون نفر به روش سنتی آدم لازم داریم که فقط در بخش ساختمان کار کنند. در حالی که اگر جمعیت ما ۷۰ یا ۸۰ میلیون هم باشد و جمعیت خانم ها و افراد سن بالا و افراد کمتر از ۲۰ سال را کم کنیم ما اصلا این همه جمعیت نداریم. یعنی باید از خارج کشور نیروی کار وارد بکنیم. به همین علت است که مثلا کشورهای ترک و کره ای وارد شده اند. این یک الزام است، مگر اینکه ما بتوانیم در روش های صنعتی باعث کاهش نیروی انسانی لازم بشویم.
- یکی از دلایل اولیه استفاده از این سیستم این است که ما عموما نیازی به وسایل و تجهیزات سنگین مثل جرثقیل نداریم. یعنی کل قطعاتی که شما می خواهید نصب کنید در نهایت حدودا ۱۰۰ کیلو است که می توان با ۳ نفر کارگر این را حمل کرد. مثلا اگر در محلی دارید ساختمان می سازید که امکان آمدن جرثقیل یا تراک میکسر را ندارید (مثلا دارید یک ویلا می سازید) می توانید از این سیستم استفاده کنید. در حقیقت سبکی این سازه به خاطر ضخامت های کم ورق های گالوانیزه (۱ تا ۱،۲ میلی متر) است.

- عمر مفید این سیستم ۵۰ سال پیش بینی می شود. یعنی منابع ملی فولاد و بتنی که در این سیستم استفاده می کنید حداقل ۵۰ سال به شما سرویس میدهد (فکر کنید اگر بخواهید یک ساختمان را هر ۲۰ سال یک بار بکوبید و دوباره بسازید چه حجم ضایعاتی باقی می ماند که باید این ها را دوباره در یک جایی دیو کرد). دلیل عمر زیاد این سیستم اینست که ما در این سیستم در تمامی اعضا از آهن گالوانیزه استفاده می کنیم. اگر شما آهنی را بخواهید رنگ بکنید ممکن است ضخامت رنگی که می زنید کافی نباشد. احتمال ریختن رنگ در اثر جابجایی تحت زلزله وجود دارد. معمولا تمام زوایا را نمی توانید رنگ کنید. همین محل ها، نقطه هایی می شوند برای شروع خوردگی در سازه. ولی وقتی یک ورق را به کارخانه می برند و در حوضچه «روی» تمام سطح آن ۱۲۰ تا ۱۶۰ میکرون پوشیده می شود اتوماتیک در برابر یک عامل مخرب مثلا خوردگی، مقاومت سیستم ساختمانی شما افزایش می یابد.
- سهولت در نصب تاسیسات برقی و مکانیکی را در عکس می بینید. همچنین امکان دسترسی به تاسیسات جهت تعمیر، ترمیم و یا تعویض برخی قطعات به سادگی امکان پذیر بوده و به عنوان یکی دیگر از مزایای سیستم LSF که منجر به افزایش عمر مفید ساختمان نیز خواهد شد، محسوب می گردد. ایجاد تغییرات حین اجرا در نقشه های تاسیسات، معمولا به سادگی انجام می شود.



- کاهش ۶۰ درصدی در وزن مرده این ساختمان کاملاً یک امر بدیهی است. خود سازه ۲۰ تا ۳۰ درصد کاهش می یابد. ما اصلاً در طبقات بتن مصرف نمی کنیم به جز بتنی که در کف سازی و چسباندن کاشی و سرامیک داریم. در مقایسه این سیستم با یک سیستم بتنی، حداقل ۶۰ درصد کاهش وزن دارید. وزن کم این سیستم باعث می شود به عنوان گزینه ای مناسب برای مناطق با مقاومت خاک کم، تلقی شود.
- از لحاظ معماری، شما با افزایش فضای مفید داخلی مواجه هستید. در سیستم LSF ضخامت دیوارها به ۱۰ سانتی و ۱۵ سانتی تمام می شود.
- صرفه جویی در مصرف انرژی به دلیل اینکه فضای داخل دیوارها بتان خالی است. می توانید انواع عایق ها را در دیوارها استفاده بکنید. یعنی کاملاً دست شما باز است که هیچی نگذارید (یعنی عایق ۱۰ سانتی هوا داشته باشید)، پشم سنگ بگذارید، پلی یورتان تزریق بکنید، بتن سبک بگذارید و انواع مختلف عایق های دیگر. در سیستم آجر و بلوک، شما چنین فضایی را برای گذاشتن عایق ندارید.
- موضوع دیگر، زمان بازگشت سرمایه است. هر چه زودتر پروژه شما تمام شود می توانید یک پروژه دیگر را شروع کنید.



- یک مزیت بسیار مهم در سیستم LSF اینست که فضای اطراف بادبند ها را با بلوک و سفال پر نمی کنیم. در سیستم های سنتی این فضا را پر می کنند و این امر مانع عملکرد صحیح بادبند ها می شود.
- به طور کلی هزینه تمام شده ساخت یک ساختمان به چند مورد تقسیم می شود: هزینه های قنداسیون و اسکلت، سفت کاری و نازک کاری. در مقایسه هزینه ساخت دو سیستم با هم می بایست هزینه های مربوط به نازک کاری را در نظر بگیریم چرا که نازک کاری به مواردی مثل نوع شیر آلات ، در و پنجره ها و مواردی از این دست برمی گردد که در یک سیستم سنتی و یک سیستم صنعتی با هم تفاوتی ندارند. در هر دو بستگی به انتخاب کارفرما دارد. با توجه به این موضوع، سیستم LSF نسبت به سیستم های سنتی در موارد کاربردی که در ادامه توضیح داده خواهد شد به صرفه تر است زیرا همانطور که گفته شد مصرف فولاد و بتن در این سیستم بسیار کمتر از سیستم های سنتی است. ضمناً در این سیستم هم، چیزی به نام سفت کاری نداریم. بدین خاطر که تیغه چینی نداریم.



### موارد کاربرد LSF

- همانطور که قبلا هم ذکر شد برای مجتمع های ویلایی در بالای کوه و تپه و جایی که دسترسی به آن منطقه نباشد یا مشکل باشد، استفاده از این سیستم گزینه خوبی است.
- در ساختمان های اداری مصرف فولاد تا حدود ۴ طبقه عدد بهینه ای است.
- در وسط بیابان که برق و آب و جوش و موتور پمپ بتن و ... وجود ندارد این روش دوباره گزینه خیلی خوبی است.
- به دلیل امکان مونتاژ و دیمونتاژ کردن این سیستم، می توان از آن به عنوان قسمت های تجهیز کارگاه استفاده کرد زیرا پس از پایان پروژه، به جای اینکه اتاق ها و ... را خراب و مواد زاید را در یک جایی دپو کرد، این ساختمان را می توان برچید و با خود برد.
- گاهی به یکسری مراکز درمانی یا آموزشی موقت نیاز دارید.
- به دلیل سریع الاحداث بودن، می توان در مواقع بروز حوادث طبیعی همانند سیل یا زلزله از این سیستم استفاده کرد.



- در ساختمان های قدیمی ممکن است بخواهید در بالای ساختمان یک طبقه دیگر احداث کنید (اصطلاحاً به این کار «اضافه اشکوب» می گویند) اگر ایزوگام و آسفالت روی سقف را بردارید می توان به جای آن از این سیستم که سبک است استفاده کرد. ضمناً اگر بام به صورت شیب دار یا زاویه بیشتر از ۱۰ درصد ساخته شود، طبق مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان، بار زنده بام صفر در نظر گرفته می شود به این ترتیب بدون نیاز به اقدام خاصی می توان یک طبقه به ساختمان اضافه کرد. این کار بیشتر در دانشگاه ها و بیمارستان ها انجام می شود. ضمناً به کمک LSF، مشکلات کثیف کاری بنایی سنتی که اغلب موجب بروز مشکل و نارضایتی ساکنین واحدهای زیرین می گردد از بین می رود. همچنین پس از اجرای نما، نمای طبقه اضافه شده با سایر طبقات زیرین کاملاً یکسان و یکدست خواهد شد.



- همانطور نیز که قبلا هم گفته شد می توان از پل های LSF به عنوان دیوار های جداکننده داخلی یا خارجی استفاده کرد (به شرطی که نقش سازه ای نداشته باشد). این امر نه تنها باعث اجرای راحت تر نعل درگاهی ها می شود بلکه به شدت وزن سازه را کم می کند و به تبع آن، ابعاد مقاطع تیر و ستون ها کاهش می یابد یعنی در هزینه های اسکلت هم صرفه جویی می شود.



جداکننده های داخلی



جداکننده های خارجی

### مراحل کار از تولید تا اجرا

۱. در کارخانه ورق های گالوانیزه وارد یکسری غلتک ها می شوند. از طرف دیگر به صورت مقاطع مختلف خارج می شوند.



رول ورق گالوانیزه



غلتک ها در حال خم کردن ورق ها

۲. قطعات کوچک با توجه به نقشه ها بهم دیگر متصل می شوند و یک قاب را تشکیل می دهند. محل باز شوها و بقیه مشخصات در این مرحله پیش بینی می شوند.
۳. سپس قاب ها به محل پروژه منتقل می گردند.

۴. در محل کارگاه بر اساس شماره هر قاب، قاب ها در کنار هم مثل یک پازل چیده می شوند. یکی از دلایل اجرای سریع این سیستم همین است. مثلاً برای کار گذاشتن یک درب در سیستم های سنتی، بتا باید آجرهای اطراف را بچیند. یکی نباید و درب را بگذارد. بعد یک جوشکار بیاید و بالای درب را یک نعل درگاهی بگذارد و... یعنی برای یک نصب درب، کلی وقت تلف میشود و ضمناً دقت لازمه را هم ندارد. در حالی که چون این کارها در کارخانه انجام می شود دقت و سرعت بالایی رود. نهایتاً درگاه درب با ۲ میل درز بیشتر اجرا می شود و بعد در محل درز، ترریق پلی یورتان انجام می شود.

۵. اتصال این قالب ها به صورت پیچ و سوراخ نیست. در اسکلت پیچ و مهره ای، سوراخ هایی که در کارخانه ساخته می شوند ممکن است دقیقاً روبروی هم نیفتند و ضمناً نیاز به گرفتن مهره از یک طرف و بستن پیچ دارد ولی در این سیستم، تمامی اتصالات توسط دریل و با یکسری پیچ های مخصوص انجام می شود. این پیچ ها در سرشان مته هایی دارند که پیچیده می شوند. در یک لحظه هم ورق را سوراخ می کنند و هم کار تمام می شود. (اصطلاحاً به این پیچ ها self screw یا پیچ های اتوماتیک گفته می شود).



۶. همزمان با تولید قاب ها در کارخانه، فونداسیون ساختمان در کارگاه اجرا می شود. (پس از نگهداری و تسطیح و رگلاژ زمین و ریختن بتن مگر، ابتدا شبکه آرماتورهای بافته شده در روی زمین قرار داده می شود. سپس قالب بندی و بتن ریزی فونداسیون انجام می شود.) ضمناً از آنجایی که این سیستم به صورت دیوار باربر عمل می کند، معمولاً پی این سیستم از نوع پی های نواری است.



آرماتورهای فنداسیون



قالب بندی فنداسیون

برای اتصال قاب ها به پی هم، باید پیچ هایی به نام رول بولت در داخل فونداسیون پیش بینی شوند که بعد از قرار دادن قاب ها در محل های مورد نظر، قاب ها را به پی متصل کنند. بسته به ابعاد ساختمان، تعداد و فاصله این پیچها طراحی می شوند. هر چه ساختمان باریک تر و بلند تر باشد، تعداد این پیچ ها افزایش می یابد. در تصویر زیر، محل رول بولت ها با دایره نشان داده شده است. اگر ساختمان ما مرتفع بشود می بایستی از یکسری اتصالات به نام hold up و hold down استفاده گردد.



اتصال قاب و پی توسط رول بولت



رول بولت

۷. پس از پایان یافتن نصب قاب ها، کارهای اولیه کشی آب و برق و شوقاز و بقیه تاسیسات انجام می شود. (برای عبور این تاسیسات، سوراخ هایی در استاد ها و تیر های درون سقف پیش بینی شده است.)
۸. بعد از قرار دادن عایق های مورد نظر در داخل دیوار ها،
۹. در طرفین این فریم ها، تخته های گچی به نام «گچ برگ» متصل می شوند. در نما هم علاوه بر امکان استفاده از انواع مختلف پانل های نما، مصالح سنتی نما نیز قابل استفاده اند، منتها به روش دیوار خشک (dry wall) یعنی به شیوه های اتصال پیچی و کشویی و یا استفاده از چسب و آجرهای پلاک. نمونه هایی از اجرای نازک کاری های متنوع را در این سیستم در شکل های زیر مشاهده می کنید.



ورق های MDF



نما خارجی از پانل های چوبی



نما اجرای سنتی



Cement board



نصب گچ برگ در دیوارهای داخلی



سقف شیبدار

۱۰. در این سیستم حتی پله هم پیش ساخته اجرا می شود، امکان گذاشتن آسانسور در این سیستم وجود دارد.
۱۱. در این روش امکان نصب تابلوهای مختلف و حتی سنگین تر از آن، روشویی های دیواری (wall hang) نیز وجود دارد که وزن هر کدام در حدود ۱۰۰-۱۵۰ کیلوگرم است برای نصب تابلو، اگر پیش بینی هیچ چیزی نشده باشد می توان با حرکت یک آهنربا روی دیوار، محل استاد ها را که به فاصله ۶۰ سانتی هم قرار دارند پیدا کرد و در آن محل ها اقدام به میخ کوبی کرد ولی معمولاً در محل هایی که احتمالاً قرار است وسیله ای دور تا دور همانند کابینت نصب شود یک سری تسمه های افقی نیز در ارتفاعات مختلف به موازات رانرها پیش بینی می شوند که مشکلی هم از نظر نصب چنین وسایلی در دیوار ها وجود نداشته باشد.
۱۲. سقف ها در این سیستم می توانند شیبدار باشند یا نباشند. سیستم سقف هم از مقاطعی مشابه با مقاطع استفاده شده در دیوار ها ساخته می شود. تیرهای سقف به صورت خورجینی (balloon) اجرا می شوند. روی قابها، تیری (track) قرار داده می شود که تیرچه ها بر روی آن یا درون آن قرار داده می شوند.



تیرچه ها روی track



تیرچه ها درون track

ضمناً می توان از قبل در جان تیرچه ها، سوراخ هایی برای عبور تاسیسات از کف تعبیه کرد. امکان اجرای سقف طبقات به صورت های صلب و نیمه صلب وجود دارد یعنی می توان از بتن در سقف استفاده کرد و یا به صورت ترکیبی از ورقهای پرگیت و بتن سبک و تسمه های افقی به صورت ضربدری، بدون نیاز به آرماتوربندی، سقف را بنا کرد.



بتن ریزی سقف

### معایب سیستم LSF

- یکی از معایب این سیستم ، به مسائل فرهنگی برمی گردد ، معمولاً ما ایرانی ها عادت کرده ایم که دیوارهای ما توپر باشد و صدای توخالی بودن ندهد. در این سیستم چون که از مصالح آجری یا بتنی استفاده نشده است این احساس ناخوشایند به استفاده کنندگان از این سیستم داده می شود که این ساختمان مقاومت کافی را در برابر زلزله یا بارهای دیگر ندارد.
- اجرای ساختمان های بلند مرتبه در این سیستم ، با مشکل مواجه است. در مناطق با خطر نسبی کم، متوسط و زیاد (مطابق آیین نامه ۲۸۰۰) استفاده از این سیستم سازه ای بعنوان قاب ساختمانی ساده به همراه دیوار برشی بتن آرمه حداکثر در ۵ طبقه یا ارتفاع ۱۸ متر بلامانع است و در مناطق با خطر نسبی کم، متوسط و زیاد (مطابق آیین نامه ۲۸۰۰) استفاده از این سیستم سازه ای تا حداکثر ۲ طبقه یا ارتفاع ۷،۲۰ متر از تراز پایه، با اجرای مهاربندی قطری بلامانع است و همچنین یکارگیری این سیستم در مناطق لرزه خیز یا خطر نسبی بسیار زیاد (مطابق آیین نامه) ۲۸۰۰ مجاز نیست. صرفاً زمانی که نقش LSF به عنوان عضو باربر سازه نباشد همانند دیوارهای خارجی ساختمانی یا دیوارهای داخلی ، محدودیتی در ارتفاع وجود ندارد.



مهاربند جانبی



مهاربند افقی

- مواد تشکیل دهنده LSF بار حریق ندارند ولی پروفیل های سرد نورد شده مقاومت کمی در برابر حریق دارند و بایستی بخوبی محافظت گردند، که یکی از دلایل کاربرد گچ به عنوان پوشش داخلی رسیدن به این هدف است.

# اجرای صنعتی ساختمان ها

(ویژه دوره ارتقا به پایه یک مهندسين ناظر)  
سید عبدالنبی رضوی



## سیستم قالب تونلی

### معرفی کلی سیستم

یکی از روش های مورد استفاده برای اجرای ساختمان های با سیستم باربر دیوار و سقف بتنی است. نام تونلی به دلیل شکل قالب های فلزی همزمان دیوارها و سقفها است.

در سیستم تونلی، دیوارها و سقف های بتن مسلح به صورت همزمان آرماتوربندی، قالب بندی و بتن ریزی می شوند. این روش ضمن بالا بردن سرعت و کیفیت اجرا، عملکرد سازه ای و رفتار لرزه ای مجموعه سازه را به لحاظ یکپارچگی اعضا و اتصالات آنها به نحو چشم گیری بهبود می بخشد.

قالب های مورد استفاده به اندازه تقریبی فضاها هستند برای قالب بندی یا قالب برداری نیازی به خرد کردن قالب ها و تبدیل آنها به ابعاد کوچک نیست و با همان ابعاد اولیه و به صورت یکپارچه از فضا خارج می شوند. جدارهایی که با استفاده از این روش اجرا می شوند جدارهای اصلی داخلی و بعضی جدارهای خارجی (جانبی) هستند.

در ساختمانهای با سیستم تونلی، در برخی موارد برای افزایش سهولت و سرعت اجرا، اجزای غیر سازه ای مانند دیوارهای جداکننده، پله ها و پانل های نما به صورت پیش ساخته در نظر گرفته می شوند و بعد از تکمیل سازه اصلی به آن متصل می شود. در کشورهای نظیر مجارستان، رومانی، ترکیه و چین با اصلاح مدیریت اجرا و با استفاده از فناوری های روز برای بهینه سازی روانی بتن، تسریع گیرش و افزایش مقاومت آن، سرعت اجرا را با استفاده از این روش به طور چشم گیری افزایش داده اند. هم اکنون با استفاده از روش تونلی، انبوه سازان با برنامه ریزی اجرای یک طبقه در دو روز، مجتمع های مسکونی بزرگ را می سازند.

### معرفی اجزاء تشکیل دهنده سیستم

#### ۱) شالوده بتن مسلح

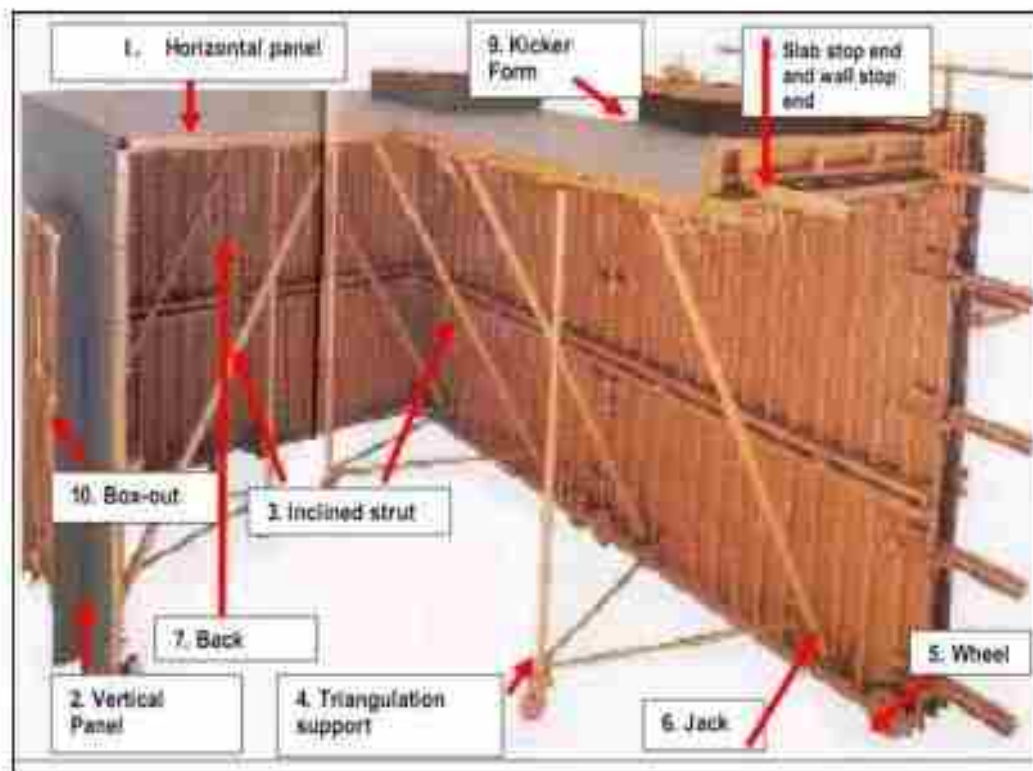
شالوده سیستم تونلی معمولاً نواری و به صورت شالوده دیوار است. این نوع شالوده یک تکیه گاه سرتاسری برای دیوارهای باربر سازه فراهم می کند. در صورتی که احداث سازه بر روی خاک های مسالهدار صورت می گیرد، راه حل مناسب می تواند استفاده از شالوده گسترده یا شالوده های عمیق مانند شمع ها باشد.

#### ۲) دیوارها و سقفهای بتن درجا

در روش اجرای تونلی، دیوارها و سقف های هر طبقه به صورت هم زمان بتن ریزی می شود. برای این منظور لازم است قالب های خاصی با اندازه های تیب و مدولار طراحی و ساخته شود. در این روش ابتدا آرمانتوربندی و جاگذاری مدارهای برقی دیوارها انجام می شود و همزمان با این اقدامات قالب بندی بازشوهای مورد نیاز برای تاسیسات و در و پنجره اجرا می شود. سپس با استفاده از قالب های ۳ شکل به صورت پشت به پشت (۱۱۳)، دوطرف دیوار را قالب بندی می کنند و با قرار گرفتن قالب های متوالی در کنار هم بدون قالب واسط سقفی (۱۲۱۲) یا همراه با آن (۱۲۱۲) مجموعه قالب های دیوار و سقف را تشکیل می دهند. در صورت سه تکه بودن قالب، با تغییر تکه وسط می توان به راحتی دهانه های مختلف را پوشش داد.

قالب ها از ورق های ۳ و ۴ میلیمتری فولادی ساخته می شوند و با مقاطع قوطی شکل در فواصل حدود ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتری از یکدیگر تقویت می شوند. جرخ های زیر لبه تحتانی این قالب ها، حرکت آنها را برای قرارگیری در محل موردنظر و باز کردن قالب تسهیل می کند.

جک های زیر قالب که به صورت عمودی یا مایل قرار دارند، برای قرارگیری مناسب، تنظیم و تثبیت زاویه قالب، ایجاد خیز اولیه در سقف (در صورت لزوم) و جلوگیری از تغییر شکل های احتمالی قالب بر اثر لرزش به کار می روند.



### ۳) رابط دوطرف قالب یا تای بولت (Tie Bolt)

این قطعه به صورت یک پیچ و مهره بزرگ، دو قالب مجاور را در قسمت های افقی قالب و از طریق حفره های تعبیه شده در قالب به هم وصل می کند. وجود این قطعه سبب می شود قالب در جای خود تثبیت شود و نیروی هیدرواستاتیکی بتن سبب ایجاد قوس در دیواره نشود. وجود این قطعه ها در زمان اجرا سبب می شود حفره هایی در دیوار بتنی باقی بماند. بخش میله ای (پیچی) این قطعه را می توان در یک غلاف پلیمری (برای مثال لوله PVC) قرار داد تا مستقیماً با بتن در تماس نباشد و آزادسازی آن آسان تر باشد. سوراخ های به جای مانده برای نصب نما به جدار بتنی و نیز اجرای سکو (پلت فرم) موقت طبقه فوقانی مورد استفاده قرار می گیرد.

### ۴) رامکا

تنظیم قالب برای قرارگیری در محل مناسب و قابلیت تغییر اندازه اندک آن برای باز شدن و خروج آن از محل نیاز به قطعه ای به نام رامکا دارد. رامکا در حقیقت پایه ای بتنی برای دیوارها است تا نیاز به امتداد یافتن قالب دیوار تا کف نباشد و قسمت تحتانی قالب برای تنظیم آن آزاد باشد. آزاد بودن قسمت تحتانی قالب این امکان را فراهم می سازد که رامکا همانند قالبی در این قسمت مانع از خروج بتن شود.

### ۵) قالب لبه

لبه های خارجی دیوارها و دال کف به وسیله هیچکدام از قالب های بزرگ پوشیده نمی شود، لذا برای قالب بندی این بخش، از قالب های ساده و تختی استفاده می شود که به دو قالب بزرگ که پشت به پشت نسبت به هم قرار دارند (در دیوار) و یا روی کف قالب (در سقف) وصل می شود تا لبه های دیوارها و سقف برای بتن ریزی مسدود شود. این قالب ها اولین قسمت هایی هستند که پس از عمل آوری بتن، باز می شوند.

### ۶) بازشدگی ها در دیوارها و سقف ها

بازشدگی در دیوار و سقف با پیش بینی قالب بندی در دیوار و سقف ایجاد می شود. قالب بندی می تواند فلزی یا چوبی باشد. لازم است تمهیدات لازم برای تثبیت قالب اطراف بازشدگی در محل پیش بینی شده، در نظر گرفته شود.



### ۷) دیوارهای خارجی

تعدادی از دیوارهای خارجی در سیستم تونلی برای ایجاد مسیر خروج قالب ها، با بتن مسلح اجرا نمی شوند. این دیوارها که بخش بزرگی از نمای ساختمان را تشکیل می دهند پس از اجرای اسکلت، با انواع دیگری از مصالح قابل اجرا است. دیوارهای خارجی که با بتن مسلح اجرا شده اند نیز می توانند به صورت نمایان باقی بمانند و یا با مصالح و فراورده های پوششی مختلف، نماسازی شوند.

اتصال دیوارهای خارجی به لبه های دیوارهای بتنی داخلی و کف و سقف می تواند از طریق اتصال به ورق های فلزی انتظار کار گذاشته شده در بتن آنها باشد و یا با میخ کوبی در بتن (هیلتی کوبی) اتصال برقرار شود. همچنین اتصال دیوارهای پوششی نما بر روی دیوار بتنی می تواند توسط میلگردهای درگیر در حفره های باقی مانده از رابط دوطرف قالب (تای بولت) تامین یا تقویت شود. در این حالت یک سر میلگرد که در وجه داخلی دیوار قرار می گیرد با جوش دادن قطعه ای به آن درگیر می شود و سر دیگر آن به صورت خم در نمای پوششی قرار می گیرد.

### ۸) پله ها

مجریان سیستم تونلی، با توجه به نیاز به بالا بردن سرعت و سهولت اجرا در این سیستم، پله های پیش ساخته را ترجیح می دهند. در اجرای دیوارهای اطراف جعبه پله (Stair Box)، پلیت های انتظاری در نظر گرفته می شود که بعداً با جوش دادن یک نبشی سرتاسری، تکیه گاهی برای یک انتهای هر رمپ پله ایجاد می کند.

## ویژگیهای فنی مصالح مورد استفاده

### (۱) سیمان

در مورد سیمان مصرفی رعایت کلیه ضوابط میحت ۵ و ۹ مقررات ملی ساختمان اجباری است.

### (۲) سنگدانه

حداکثر اندازه سنگهای مورد استفاده باید بر اساس حداقل ضخامت اعضا و فاصله میلگردها، مطابق با ضوابط میحت ۹ مقررات ملی انتخاب شود.



سیستم سازه‌ای تونلی معمولاً به سه روش اجرا می‌شود که عبارتند از :

- ۱- استفاده از قالب‌بندی کامل و همزمان دیوارها و سقف‌ها
- ۲- استفاده از قالب‌های موسوم به میز پرنده
- ۳- استفاده از پیش‌دال‌ها یا دال‌های پیش‌ساخته برای سیستم سقف



### بررسی رفتار سازه‌ای سیستم تونلی

عناصر باربر اصلی در ساختمان‌های با سیستم تونلی، دیوارهای باربر (دیوارهای برشی) و دال‌های تخت نسبتاً نازک (در مقایسه با ساختمان‌های بتن مسلح متعارف) هستند. در این ساختمان‌ها، نقش دیوارهای سازه‌ای به عنوان عناصر اصلی مقاوم در برابر بارهای جانبی و نیز اعضای اصلی (در ترکیب با دال سقف) برای تحمل و انتقال بارهای قائم (به علت فقدان تیرها و ستون‌ها) بسیار حائز اهمیت است.

در سازه‌های با سیستم تونلی، بارهای ثقلی و جانبی توسط سیستم دیوار و دال به طور یکنواخت به شالوده منتقل می‌شوند و سعی می‌شود تا حد امکان از انتقال بارها توسط اعضای پیش ساخته مانند پله‌های بتن مسلح یا پانل‌های نما جلوگیری شود. برای جلوگیری از تمرکز تنش‌های موضعی و نیز به حداقل رساندن اثر پیچش، توصیه می‌شود پیوستگی دیوارهای برشی سازه‌ای در سرتاسر ارتفاع ساختمان حفظ شود که از دیدگاه معماری موجب محدود شدن فضاهای داخلی شده و از نقاط ضعف این سیستم‌ها محسوب می‌شود.

قالب‌بندی یکپارچه و بتن ریزی هم‌زمان دیوارها و دال‌های سقف، عملکرد لرزه‌ای سیستم‌های تونلی را بهبود می‌بخشد و موجب پیوستگی افقی و عمودی اجزای سازه به یکدیگر می‌شود. این پیوستگی و یکنواختی سبب می‌شود که تشکیل لولاهای پلاستیک در اعضا و نواحی بحرانی سازه نظیر اتصالات دیوارها به سقف‌ها یا اطراف بازشوهای دیوارها به تعویق افتد و این سیستم عملکرد لرزه‌ای مناسبی از خود نشان دهد.

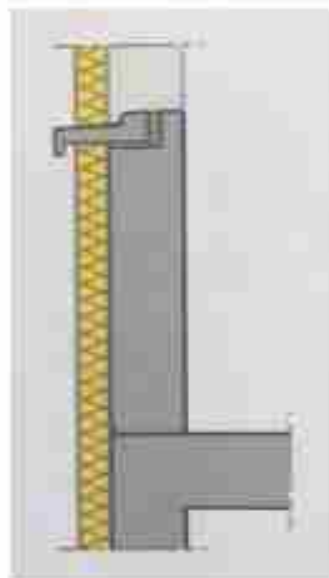
از آنجا که سیستم سازه‌ای تونلی نامعینی زیادی دارد، انتظار می‌رود رفتار لرزه‌ای قابل قبولی از خود نشان دهد. نتایج حاصل از تحلیل‌های انجام شده نشان می‌دهد که حداقل مقدار ضریب رفتار برای ساختمانی پنج طبقه با سیستم تونلی، عدد ۴ است. با مقایسه حداقل ضریب رفتار به دست آمده در پژوهش‌ها با ضریب رفتار پیشنهاد شده در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ ایران، برای سیستم سازه‌ای دیوارهای باربر با سیستم مقاوم جانبی دیوارهای برشی بتن مسلح (برای دیوارهای برشی بتن مسلح معمولی یا با شکل پذیری کم  $R=5$ ، برای شکل پذیری متوسط  $R=6$  و برای حالت ویژه یا شکل پذیری بالا  $R=7$ )، به نظر می‌رسد استفاده از ضریب رفتار استاندارد ۲۸۰۰ ایران (با ملاحظه سطح شکل پذیری) برای محاسبه نیروهای طراحی سازه‌های با سیستم تونلی، نسبتاً واقع گرایانه است.

### بررسی عملکرد حرارتی سیستم

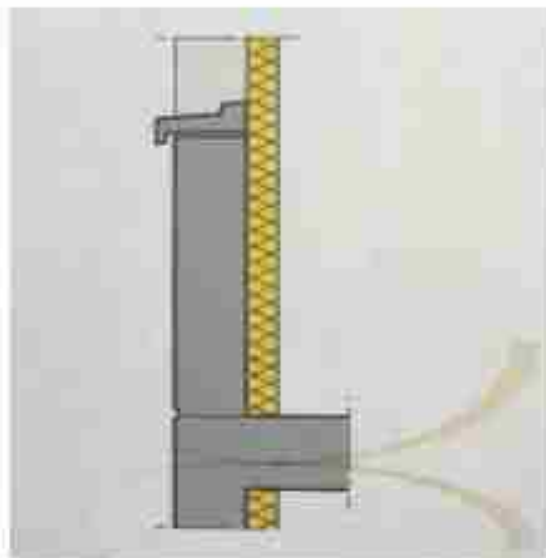
بتن و خصوصاً بتن مسلح جزو مصالحی است که بیشترین میزان انتقال حرارت را دارد. ضریب هدایت حرارت بتن حدوداً ۷۵ درصد بیشتر از سفال و حداقل سه برابر بیشتر از گچ است.

| نوع جدار                        | مقاومت حرارتی | ضریب انتقال حرارت |
|---------------------------------|---------------|-------------------|
| شیشه تک جداره ۶ میلیمتری        | ۰/۰۰۶         | ۵/۸۰              |
| بتن توپر به ضخامت ۱۰ سانتیمتر   | ۰/۰۶          | ۴/۴۰              |
| بتن توپر به ضخامت ۲۰ سانتیمتر   | ۰/۱۱          | ۳/۵۲              |
| شیشه دوجداره ساده پر شده با هوا | ۰/۱۶          | ۳/۰۳              |
| دیوار بلوک سفالی ۲۰ سانتیمتری   | ۰/۳۰          | ۲/۱۳              |

لذا از طرفی باید عایق کاری حرارتی مناسب برای جدارهای پوسته خارجی ساختمان در نظر گرفته شود و از طرف دیگر باید حتی الامکان اثر پل های حرارتی کاهش یابد.



عایق کاری از خارج



عایق کاری از داخل

### بررسی عملکرد آکوستیکی سیستم

- تمام جدارهای ساختمان باید از نظر صدابندی جوابگوی مقادیر ارائه شده در مبحث هجدهم مقررات ملی ساختمان باشند. در مورد صدابندی دیوارها می توان به موارد زیر اشاره نمود:
- هرچقدر ضخامت لایه بتنی دیوار بیشتر شود صدابندی افزایش می یابد.
  - در صورت استفاده از الیاف معدنی روی دیوار به عنوان عایق حرارتی، صدابندی افزایش می یابد.
  - استفاده از دیوار دولایه، صدابندی را بطور قابل توجهی افزایش می دهد و دیگر نیازی به اقدامات تکمیلی نخواهد بود.

### صدابندی سقفها

ضخامت دال بتنی سقف موجب می شود که همانند دیوارها، کاهش صدای هوابرد قابل توجه و جوابگوی انتظارات باشد. ولی در مورد صدای کوبه ای، لایه بتنی به تنهایی جوابگو نیست و لازم است با یک لایه ارتجاعی در کف تکمیل شود.

### بررسی نقاط ضعف و قوت سیستم

#### نقاط ضعف

- به علت ضرورت وجود دیوارهای سازه‌ای متعدد موازی، محدودیت‌هایی در زمینه معماری وجود دارد که موجب می‌شود آزادی عمل در طراحی ساختار اصلی معماری به‌طور قابل توجهی کمتر از سیستم‌های دیگر باشد. لذا میزان اختیار در تعیین ابعاد فضاها در مقایسه با دیگر سیستم‌ها (نظیر تیر ستون سقف بتنی، اسکلت فلزی (بادبند دار یا قاب خمشی)) کمتر است.
- با وجود اینکه امکان پیش بینی مدارهای تاسیسات الکتریکی در این سیستم در داخل دیوارها وجود دارد اما با توجه به ضخامت محدود دیوارها و سقف‌ها در روش تونلی، در عمل بخش اعظم مدارهای تاسیسات مکانیکی خارج از دیوار، در داخل داکت یا به صورت نمایان اجرا می‌شود.
- قابلیت باز یافت مصالح و عناصر مورد استفاده در این سیستم همانند تمامی ساختمان‌های بتنی با مشکلات فراوان روبرو است.
- با توجه به سنگین بودن قطعات قالب دیوار و سقف مورد استفاده، وجود جرثقیل و دیگر امکانات سنگین نصب الزامی است.
- فراوری مواد و مصالح در کارگاه ساختمانی از سیستم‌های متداول بیشتر و حساس تر است. این امر خصوصاً در صورتی که ضخامت دیوارهای بتنی محدود باشد از اهمیت خاصی برخوردار است.

- محدودیت های فصلی در خصوص اجرای این سیستم جدی تر و تعیین کننده تر از سیستم های متداول است. با توجه به این نکته که بتن اجرا شده در جا تنها توسط لایه های نازک فلزی قالب محافظت می شود، تکانه های حرارتی خصوصاً در مواقعی که ضخامت دیوارهای بتنی کم است می تواند مشکلات جدی ایجاد کند و در صورتی که دمای متوسط هوا در زمان بتن ریزی پایین باشد باید تمهیدات لازم برای گیرش مناسب و محافظت بتن در برابر یخ زدگی در نظر گرفته شود.
- هم نشینی و ارتباط دیوارها و سقف های بتنی به دست آمده با سایر اجزا و قطعات الحاقی با محدودیت هایی روبرو است که برای کاهش یا برطرف کردن آن لازم است پیش بینی های لازم در زمان طراحی و ساخت قطعات صورت گیرد.
- امکان تغییر ابعاد قطعات پس از تولید منتفی است. در نتیجه در صورت وجود اشتباه در ساخت قطعه (ابعاد، میلگرد گذاری و ...) تخریب و اجرای مجدد بخش های مورد نظر یا دشواری ها و و پیچیدگی های متعدد همراه است.
- امکان دسترسی به مدارهای تاسیسات الکتریکی در دوره بهره برداری وجود ندارد و در صورت بروز مشکل در اکثر موارد لازم خواهد بود مدار جایگزینی به صورت روکار اجرا شود. در مورد مدارهای سیستم تاسیسات مکانیکی با توجه به لازمه رایزری یا روکار بودن تمامی مدارها، این مشکل مطرح نیست.
- جایگزینی و یا تعمیر دیوارها یا سقف های بتنی آسیب دیده با سختی فراوان و با هزینه های زیاد انجام می شود.
- تامین انتظارات در خصوص عایق کاری حرارتی جدارها با مشکلات فراوان همراه است.
- عدم تامین انتظارات در خصوص صدایتندی کوبه ای سقف های بین طبقات. البته در سقف های متداول از جمله تیرچه و بلوک نیز این مشکل به طور جدی مطرح است.

- خطر بروز میعان و مشکلات ناشی از آن را می توان در فاز طراحی و بسته به نوع و محل قرارگیری عایق حرارتی ردیابی و برطرف کرد. در حالت عایق کاری از داخل، این خطر در محل پل های حرارتی محل های اتصالات به سقف ها و دیوارهای داخلی باقی می ماند و لازم است در مناطق سردسیر توجه خاصی به آن شود.
- بالا بودن سرمایه گذاری اولیه برای تهیه قالب ها.
- وابستگی شدید به چند مصالح استراتژیک و عدم وجود امکان جایگزینی با دیگر مصالح و فراورده ها.
- ضرورت کنترل منظم اجرا خصوصاً در مرحله بتن ریزی برای حصول اطمینان از عملکرد مناسب سازه ای و همچنین تامین یکنواختی سطوح بتنی و عدم نیاز به ترمیم و بتونه کاری مضاعف.



### نقاط قوت

- امکان طراحی مدولار با این سیستم فراهم است.
- در صورت طراحی اصولی، این سیستم در مقایسه با سیستم های متداول می تواند اندکی سبک تر باشد. مصرف بتن در اجرای تونلی بیشتر از ساختمان های با اسکلت فلزی یا بتنی است ولی مصرف میلگرد و خصوصاً آهن آلات در این روش به طور قابل توجهی کمتر از ساختمان های با اسکلت فلزی و بتنی است.
- در صورت کاربرد این سیستم، نماهای بتنی ترجیحاً بتن نمایان با طرح های مختلف در نظر گرفته می شود. این امر موجب می شود هزینه های مربوط به نما به حداقل برسد.
- این سیستم از نظر تجهیزات، قطعات مورد استفاده در تجهیزات و مواد اولیه، وابستگی چندانی به فناوری خارجی ندارد.
- برای اجرای این سیستم به غیر از قالب های سنگین فلزی، به ابزارهای کمکی خاصی نیاز نیست. ابزار مورد نیاز به تعداد محدود و به راحتی در دسترس هستند.
- قابلیت موازی کردن اقدامات اجرایی در سطح، وابسته به حجم پروژه و تعداد قالب های موجود است. در این روش با توجه به این نکته که نصب مدارهای الکتریکی قبل از بتن ریزی در داخل دیوارها و سقف ها صورت می گیرد و این که پیش بینی های لازم برای عبور مدارهای تاسیسات مکانیکی نیز از قبل انجام می شود و با در نظر گرفتن این مطلب که در عمل، کیفیت دیوارها و سقف های بتنی به دست آمده به گونه ای است که عملیات تازک کاری داخلی و اجرای نمای خارجی روی دیوارهای بتنی به حداقل می رسد، می توان ادعا کرد که اجرای برخی عملیات به صورت موازی صورت می گیرد و این به عنوان یک نقطه قوت اصلی سیستم تلقی می شود.

- قطعات قالبی که برای این سیستم طراحی و ساخته می شوند معمولاً چندکاره هستند و می توانند برای بخش های مختلفی از دیوار یا سقف ساختمان در نظر گرفته شوند.
- در صورت اجرای مناسب بتنی دیوارها و سقف ها، بازدهی های لازم برای تعمیر و نگهداری دیوار و سقف کمتر از سیستم های متداول خواهد بود.
- کاربرد این سیستم منافات و تضادی با استانداردهای زیست محیطی ندارد.
- این سیستم مانند دیگر سیستم های بتنی در صورت اجرای مناسب لایه بتنی خارجی، عملکرد مناسبی در برابر هواز دگی، محیط های خورنده، تابش شدید آفتاب و تکان های حرارتی خواهد داشت.
- ایستایی سیستم در ساختمان های میان مرتبه و حتی بلند مرتبه در صورت طراحی و اجرای اصولی اتصالات به راحتی قابل تامین است.
- در اکثر موارد، در صورت طراحی معماری متناسب با قابلیت ها و محدودیت های این روش، سرعت ساخت به طور محسوسی بیشتر از سیستم های متداول بتنی است.
- اتلاف و ضایعات مصالح و فراورده ها در روند ساخت در مقایسه با حالت های متعارف به طور محسوسی کمتر است.
- محدودیت شعاع حمل و مصرف اقتصادی یا توجه به عدم نیاز به قطعات بزرگ و سنگین (به غیر از قالب هایی که در زمان تجهیز کارگاه حمل می شوند) وجود ندارد.
- عملکرد یکپارچه دیوارها و سقف ها و عکس العمل مناسب و مقاوم در برابر زلزله نسبت به سیستم متداول و سنتی.

- استهلاک پایین و عمر طولانی ساختمان در زمان بهره برداری.
- استفاده کمتر از نیروی انسانی نسبت به سیستم سنتی.
- کاهش ضخامت جدارها و در نتیجه افزایش فضای داخلی مفید.
- قابلیت برنامه ریزی و کنترل پروژه دقیق برای زمان مشخص تحویل (در صورتی که محدودیت های فصلی به شکل واقع بینانه پیش بینی شده باشد).
- کاهش برخی ردیف های عملیات سفیدکاری، گچ و خاک، نصب در و پنجره، تاسیسات (برق و مکانیک)، دوغاب ریزی پشت کاشی و ...
- وجود دانش فنی و مقررات و ضوابط و آئین نامه های بتن مسلح در کشور.



### خلاصه و جمع بندی

سیستم قالب تونلی از روش های اقتصادی انبوه سازی است. تعداد طبقات بهینه در این روش بین ۸ تا ۱۰ طبقه است. در این روش، هزینه ها در مقایسه با سایر روش های رایج بتنی و فلزی به طور محسوسی کمتر است. طبق برآوردهای انجام شده توسط انبوه سازان مطرح، هزینه های تا اتمام اسکلت، دیوارها و اندودهای داخلی، نسبت به روش های رایج اسکلت بتنی و فلزی به ترتیب ۱۹ و ۲۸ درصد کمتر است.

نقطه ضعف اصلی این روش عدم امکان جوابگویی به انتظارات عملکردی پارکینگ ها است. در عمل لازم است برای پارکینگ فضایی مجزا در نظر گرفته شود. در اکثر موارد لازم است ساختمانی مستقل و جداگانه پیش بینی شود. از طرف دیگر شیب زمین پروژه نیز باید بسیار کم (حداکثر ۵ درصد) باشد. این سیستم صرفاً برای طرح های انبوه سازی مطرح است و در پروژه های کوچک توجیه ندارد.



# اجرای صنعتی ساختمان ها

(ویژه دوره ارتقا به پایه یک مهندسين ناظر)  
سيد عبدالنبي رضوي



سیستم عایق ماندگار  
ICF

### ۱- مقدمه

سیستم قالب های ماندگار اساساً شامل قالبهای دائمی است که برای بتن ریزی و ساخت دیوارهای بتن مسلح استفاده شده و پس از بتن ریزی جزئی از دیوار محسوب میشود. عمده قالب ها در این سیستم از جنس پلی استایرن متبسط شده دارای وزن مخصوص بالا می باشد و به ندرت از پلاستیک ها یا مصالح دیگر مانند کامپوزیت پلی استایرن سیمان یا فوم پلی یورتان استفاده می شود.

در این سیستم قالب به صورت قطعاتی برای بتن سازهایی به صورت دیوار باربر و غیر باربر زیر سطح زمین یا روی سطح زمین بکار می روند. این قطعات پس از بتن ریزی و عمل آوری بتن در محل باقی می مانند و می بایست با مواد تازک کاری داخلی و خارجی محافظت شوند.

### ۲- تاریخچه استفاده از سیستم ICF

فن آوری قالب های عایق ماندگار یکی از پیشرفته ترین روش های تولید صنعتی انبوه مسکن در کشورهای پیشرفته جهان میباشد. برای اولین بار در سال ۱۹۶۶ جهت اجرای فونداسیون ها در آمریکا از این روش استفاده شد که در سال ۱۹۶۸ این روش اجرا به کل ساختمان تعمیم داده شد. بیشترین سابقه استفاده از این سیستم در آمریکا، کانادا و بعد از آن کشورهای اروپایی و آمریکای لاتین، چین، نیوزلند و استرالیا می باشد.

### ۳- درباره سیستم قالب عایق ماندگار (ICF)

سیستم ICF یک فناوری پیشرفته قالب بندی و عایق کاری ساختمان می باشد. مبنای سیستم استفاده از دو لایه قالب عایق در دو طرف و بتن ریزی سازه های فی مابین آنها پس از عملیات آرماتور بندی می باشد. جنس قالب ها معمولاً از EPS و یا XPS می باشد. قالب ها به مانند لگو و با سرعت بالایی به هم متصل شده و قالب سازه را شکل می دهند. در صورت نیاز می تواند قسمتی از قالب یا سایر سیستم های متداول قالب بندی صورت پذیرد.



#### ۴- مصالح مورد استفاده در این سیستم :

##### ۴-۱. بتن

بتن مورد استفاده در دیوارها از نوع سازه‌ای با حداقل مقاومت ۲۸ روزه نمونه استوانه‌ای استاندارد ۲۱۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می‌باشد. اندازه بزرگترین دانه سنگی مورد استفاده در بتن نباید از ۱۹ میلیمتر بیشتر باشد. اسلایب بتن مذکور نباید از ۱۰۰ میلیمتر کمتر و از ۱۵۰ میلیمتر بیشتر باشد. بتن مربوطه باید بر اساس مشخصات مصالح محلی طرح و در بجینگ پلانت ساخته و با تراک میکسر به محل حمل و با پمپهای بتن یا بوم متحرک به صورت پیوسته و در مراحل ارتفاعی مختلف ریخته شود.

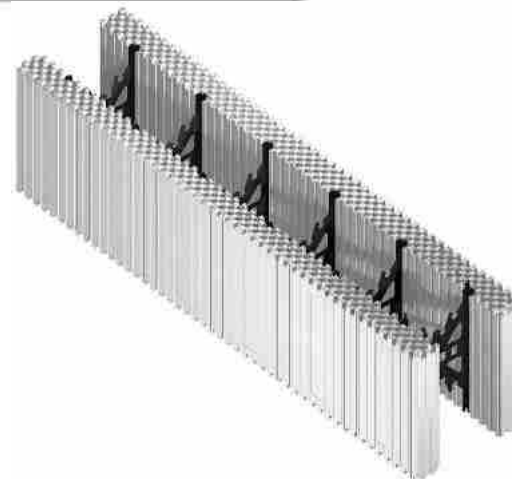
##### ۴-۲. فولاد

آرماتور سازه‌ای مورد استفاده باید از نوع آجدار و با حداقل تنش تسلیم ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع باشد. آرماتورها باید بر اساس محاسبات سازه‌ای بر مبنای آیین نامه‌های محلی و یا آیین نامه‌های معتبر بین المللی طراحی شوند.

### ۳-۴. قالبهای پلی استایرن

پلی استایرن مورد استفاده باید از نوع کندسوز بوده و الزامات آیین نامه ASTM C578 را برآورده کند. قالبهای پلی استایرن این فناوری از نوع پلی استایرن منبسط شونده (EPS) بوده و با حد اقل دانسیته ۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب تولید می شوند.

|                                    |                                              |
|------------------------------------|----------------------------------------------|
| Density (minimum)                  | 25 Kg/m <sup>3</sup> (minimum)               |
| Compressive Strength               | 1.05 Kg/cm <sup>2</sup> @10% deformation     |
| Flexural Strength                  | 2.76 Kg/cm <sup>2</sup>                      |
| Thermal Resistance: minimum per cm | 0.28 K.M <sup>2</sup> /W @ 24 <sup>o</sup> C |
| Flame Spread                       | 20 as tested per ASTM E84                    |
| Smoke Density                      | 150~300 as tested per ASTM E84               |



فولاد گالوانیزه مورد استفاده جهت خربای I شکل، با حداقل تنش تسلیم ۲۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد. از این خرباهای I شکل در ساخت سازه های بدون محدودیت طبقات بهره جسته می شود. میزان درصد کاهش سطح مقطع بتن به دلیل وجود جان گالوانیزه به میزان ۰.۰۳ درصد سطح مقطع دیوار می باشد.



#### ۴-۵. مقاطع از جنس PVC

پی وی سی مورد استفاده در خرابای I شکل (برای ساختمانهای دو طبقه و کوتاهتر) باید از نوع پی وی سی سخت باشد. میزان درصد کاهش سطح مقطع بتن به دلیل وجود جان PVC به میزان ۵۰ درصد سطح مقطع می باشد.

|                       |                           |
|-----------------------|---------------------------|
| Density @ 23°C        | 1.4 gr/cm <sup>3</sup>    |
| Tensile Stress        | 55 N/mm <sup>2</sup>      |
| Modulus of Elasticity | 3050 N/mm <sup>2</sup>    |
| Thermal conductivity  | 0.16 W/m.K                |
| Flame Spread          | 20 as tested per ASTM E84 |
| Color                 | Gray                      |

## ۵- ویژگی های سازه ای و مشخصات سیستم

با توجه به سیستم سازه ای این تکنولوژی هیچگونه محدودیتی در مورد سقف سازه وجود ندارد. سیستم سقف تیرچه بلوک با بلوک های پلی استایرن سقفی به عنوان یکی از سیستم های سقف سازه ای برای این تکنولوژی توصیه می گردد. سقف های با دال بتن مسلح، دال های بتنی مسلح پیش تنیده پیش ساخته و سقف های تیرچه بلوک معمولی و سقف های کامپوزیت با فناوری cold form و یا LSF از دیگر سقف های قابل اجرا با این تکنولوژی می باشند.

### ۵-۱. مقاومت در برابر بار جانبی

به دلیل استفاده از دیوارهای بتن مسلح بعنوان سیستم باربر ثقلی و جانبی در این تکنولوژی تولید علی الخصوص از نوع Flat ICF ساختمان های ساخته شده با این تکنولوژی از مقاومت سازه ای بسیار بالایی در برابر نیروهای جانبی زلزله و تندباد برخوردار می باشند. یکی از بهترین و مطمئن ترین سیستم های باربر جانبی در سازه ها علی الخصوص سازه های کوتاه، دیوارهای برشی بتن مسلح می باشند و در عمل برای ساختمان های با تعداد طبقات کم و متوسط بهترین عملکرد سازه ای را در زلزله های گذشته از خود نشان داده اند.

### ۵-۲. بارهای ثقلی

در این تکنولوژی بارهای ثقلی توسط دیوارهای بتن مسلح به بی منتقل می گردند. به عبارتی دیوارهای بتنی مسلح کاربردی دو منظوره داشته و علاوه بر انتقال نیروهای جانبی وظیفه انتقال بارهای ثقلی را هم عهده دار هستند. همان گونه که اشاره شد سیستم سازه ای این تکنولوژی دیوارهای بتنی مسلح درجا ریز می باشد و بصورت یکپارچه و همزمان در هر طبقه بتن ریزی می شوند. و این ساختمان ها نقاط ضعف و مشکلات ساختمان های بتن مسلح پیش ساخته را در اتصالات نخواهند داشت.

### ۶- آیین نامه ها و ضوابط سازه‌ای

#### ۱-۶. آیین نامه‌های سازه‌ای

یکی از آیین نامه‌های متداول که در این مورد به آن بیش از دیگر آیین نامه‌ها رجوع شده است آیین نامه (ACI) می‌باشد. دولت ایالات متحده آمریکا و کانادا به دلیل مزایای غیر قابل انکار این سیستم ساخت و ساز علی‌الخصوص در زمینه مقاومت سازه‌ای بسیار بالا در برابر زلزله و باد و همچنین صرفه جویی بسیار زیاد انرژی، تبلیغات فراوانی جهت استفاده هر چه بیشتر از این تکنولوژی نموده‌اند. آیین نامه ساختمان‌های مسکونی (IRC) برای استفاده از این سیستم در ساختمان‌های مسکونی تا ۳ سقف دارای دستورالعمل مبسوط طراحی می‌باشد. این دستورالعمل، به جهت بی‌نیاز کردن سازندگان از محاسبات سازه‌ای با بودجه دولت و چند موسسه دیگر تدوین گردیده است. اغلب شرکت‌های سازنده این سیستم شرکت‌های بزرگ بین‌المللی از کشورهای آمریکا و کانادا هستند و اغلب کشورهای اروپایی بسته به آیین نامه محلی خود به این شرکت‌ها تاییدیه داده‌اند و در حال حاضر این شرکت‌ها مشغول ساخت و ساز صنعتی در آن کشورها می‌باشند.



عایق کاری حرارتی دیوارها، کف، بام و بازشوها، مشخصات دقیق مانند چگالی، ضخامت و ضریب هدایت حرارت، ضریب انتقال حرارت کلی و گروه ایترسی حرارتی جدار یا توجه به مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان انجام می شود. در جدول زیر مقاومت حرارتی ورقهای پلی استایرن مورد استفاده در تکنولوژی ICF برای دانسیته های مختلف و در درجه حرارت گوناگون آمده است.

| EPS TYPE | جرم حجمی اسمی | مقاومت حرارتی در نمای ۲۹ درجه سانتیگراد برای ضخامت ۹۵ سانتی متر | مقاومت حرارتی در نمای ۹ درجه سانتیگراد برای ضخامت ۹۵ سانتی متر |
|----------|---------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| II       | ۲۴            | ۰/۷۰۴                                                           | ۰/۷۷                                                           |
| IX       | ۳۲            | ۰/۷۳۹۷                                                          | ۰/۸۱                                                           |

ساختمان ساخته شده با تکنولوژی ICF (طبق گروه بندی مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران) در زمرة ساختمانهای با صرفه جویی بسیار زیاد در مصرف انرژی قرار می گیرند. (گروه یک ا)

### ۷- انواع سیستمهای مختلف ICF از نظر قالب بندی:

فناوری قالب های عایق ماندگار ICF با روش ها و سیستم های مختلفی اجرا می شود. هر یک از این سیستم ها مزایا و معایب مربوط به خود را دارد. به طور کلی سیستم های اجرایی این فناوری را از نظر قالب بندی می توان به سه دسته تقسیم نمود.

۱- سیستم های افقی ICF

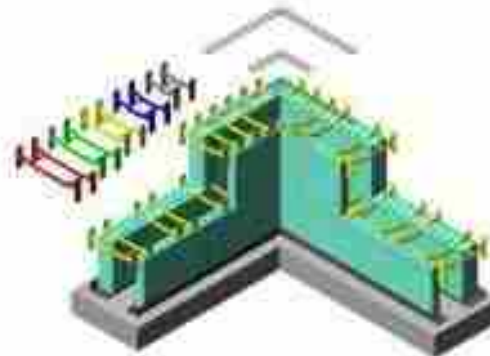
۲- سیستم های پانلی ICF

۳- سیستم های عمودی ICF



### ۱-۷. سیستمهای افقی ICF

در این سیستم ها عملیات قالب بندی به صورت افقی انجام می پذیرد.



#### مزایای این سیستم

- هزینه و تکنولوژی تولید آنها در این سیستم به نسبت دو سیستم دیگر بسیار پایین تر است.

#### معایب این سیستم :

- با توجه به ابعاد قالب و شیوه نصب، سرعت و دقت عملیات قالب بندی به مراتب از دو سیستم دیگر کمتر است.
- نسبت به دو سیستم دیگر نیاز به اسکافولد بندی بیشتری دارد.
- پس از بستن قالب امکان دسترسی به قالب وجود ندارد. به همین دلیل محدودیت آرماتور بندی در این شیوه به نسبت سیستم عمودی بیشتر است.
- به دلیل قبل امکان بستن آرماتورهای قائم به افقی و محکم نمودن آنها بسیار دشوار است.

### ۲-۷. سیستمهای پانلی ICF

در این سیستم قالبها در سایزهای بزرگ و به صورت پانلی به کارگاه حمل و نصب می شوند. در برخی سیستمهای پانلی حتی درصد عمده‌ای از عملیات آرماتور بندی نیز در کارخانه صورت می پذیرد.



#### مزایای سیستم پانلی :

- سرعت نصب در این سیستم بالاتر از سیستم افقی است.
- این سیستم نسبت به سیستم افقی، نیاز به اسکافولدهای بسیار کمتری دارد.
- برای سازه های مدولار از نظر آرماتور بندی، به دلیل آرماتور بندی در کارخانه، سرعت عملیات اجرایی در کارگاه افزایش می یابد.

#### معایب سیستم پانلی :

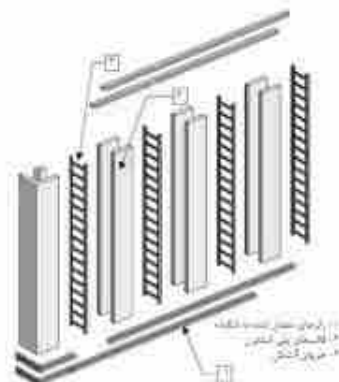
- به دلیل آرماتور بندی در کارخانه، اجرای دیتالیهای خاص آرماتور بندی در کارگاه، محدودیتها و دشواریهای خاص خود را دارد. در گوشه ها امکان اتصال و دیوار با آرماتور دوخت وجود ندارد.

- آرماتور بندی علی الخصوص در اتصال گوشه ها و دیوارهای متعامد و همچنین در محل اتصال دو پانل به یکدیگر بسیار دشوار است.
- آرماتور بندی در کارخانه، این قالب ها را بسیار حجیم کرده و هزینه حمل را برای مسافت های دور تر بسیار بالا می برد.
- با توجه به سایز و وزن پانل ها، حمل و نقل و نصب آنها در کارگاه ساده نبوده و برای فرستادن آنها به طبقات بالاتر نیاز به جرثقیل وجود دارد.
- بریدن و اندازه کردن پانل ها در سایت بسیار دشوار است.



### ۳-۷. سیستمهای عمودی

در این سیستم ها قالب ها به صورت نوارهای عمودی در کنار یکدیگر نصب می شوند. سائز قالب ها به نسبت سیستم های افقی بزرگتر می باشد. عملیات آرماتوربندی بسته به نیاز طرح در کارگاه صورت می پذیرد.

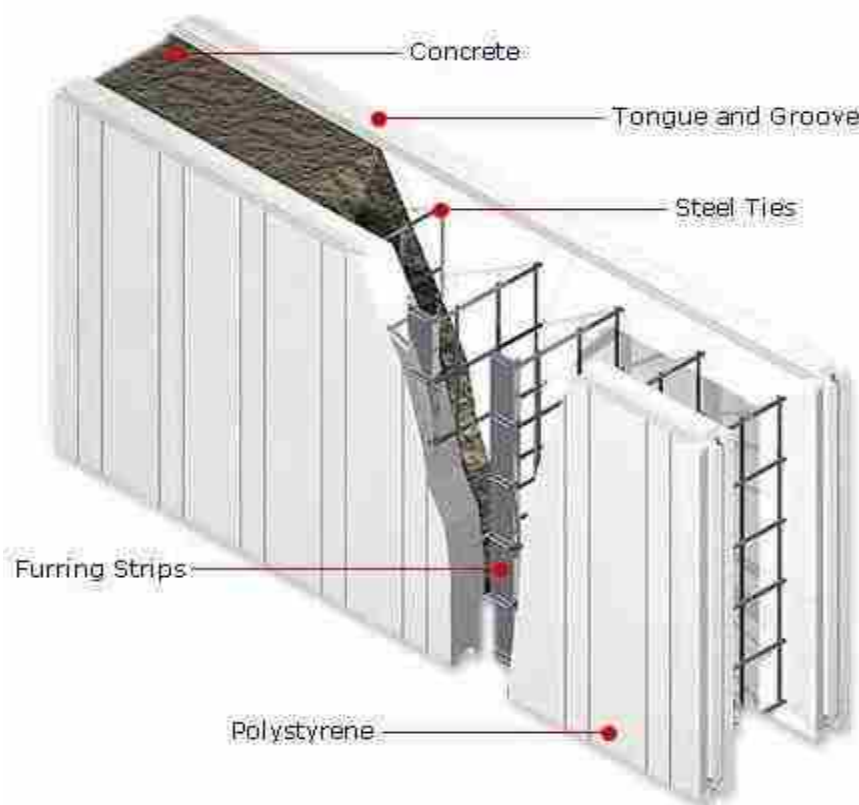


### مزایای سیستم عمودی :

- با توجه به سائز قالب ها عملیات اجرایی به نسبت سیستم افقی بسیار بالاتر است.
- با توجه به وجود تیرهای I شکل در این سیستم نیاز به اسکافولدها بسیار کاهش می یابد.
- قالب ها به صورت خود ایستا بوده و امکان دسترسی به درون قالب به جهت تکمیل و یا اصلاح آرماتوربندی و یا ثابت کردن و محکم کردن آرماتورها به یکدیگر به راحتی وجود دارد.
- امکان تعبیه ستون و یا المان مرزی در قالب، و آرماتوربندی خاص جهت دستیابی به شکل پذیری بالاتر وجود دارد.
- قالب ها و تیرهای I شکل به صورت جداگانه به کارگاه حمل شده و هزینه حمل به نسبت سیستم پانلی به مراتب پایین تر خواهد بود.
- با توجه به ابعاد قالب ها حمل آنها در کارگاه به سادگی و توسط یک کارگر بدون نیاز به کمک دیگری و یا جرثقیل، امکان پذیر است.
- پس از انجام قالب بندی و بتن ریزی دیوارها، در عمل زیرسازی نما و نازک کاری خشک انجام شده و مراحل فوق الذکر با سرعت بالایی بدون نیاز به کار اضافی قابل انجام است.

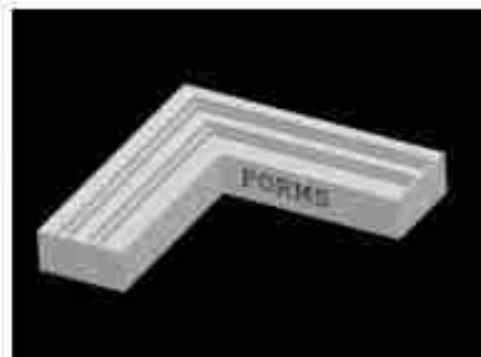
### معایب سیستم عمودی:

- هزینه قالبها و تیرهای I شکل به نسبت سیستم افقی بالاتر و تکنولوژی تولید آن دشوار تر است.
- سیستمهای پانلی در ساختمانهای کوتاه، سرعت یالاتری نسبت به این سیستم دارند.
- یاد در نظر گرفتن معایب و محاسن سیستم ICF عمودی، این سیستم به عنوان بهترین فناوری ساختمانی توسط مؤسسه فناوریهای نوین مسکن در ایالات متحده امریکا در سال ۲۰۰۷ میلادی انتخاب گردیده است.

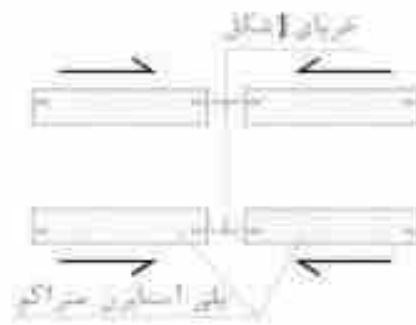


## ۸- نحوه اجرای سیستم عمودی ICF

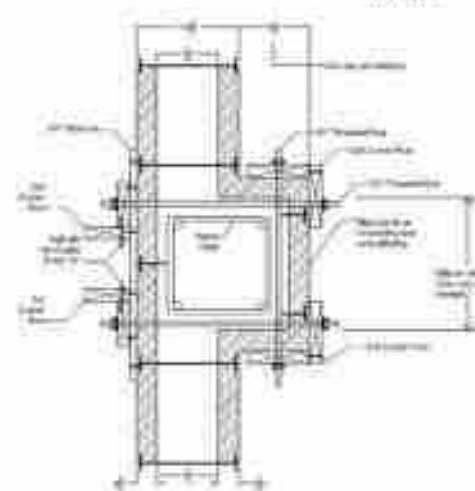
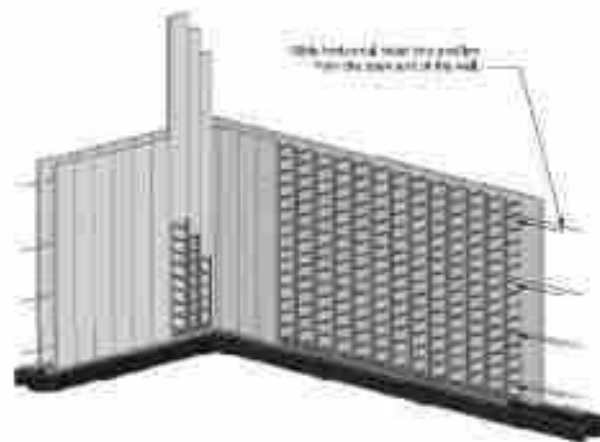
قالیها و خریاهای I شکل در کارخانه تولید می شوند و سپس به طور جداگانه به محل کارگاه حمل می شوند. پس از اجرای پی و تعبیه آرماتورهای انتظار در آن ناودانیهای گالوانیزه یا میخهای هیلتی در محل خود نصب می شوند سپس قالب ها از گوشه ساختمان آغاز می گردد.



در این سیستم قطعات پلی استایرن به ارتفاع ۳ متر و عرض ۲۰۰ میلیمتر دو وجه قالب را تشکیل داده و با خریاهای ویراندل I شکل به یکدیگر و به قطعات کناری متصل می شوند.



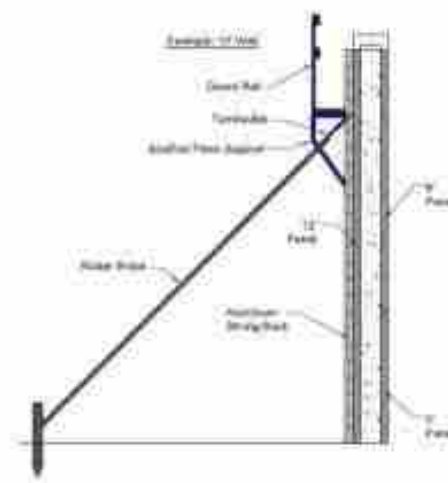
در صورت نیاز به المانهای مرزی و یا ستونهای بتنی، در ابتدا قبل از انجام هر گونه عملیات قالب بندی، عملیات آرماتور بندی این المانها صورت پذیرفته و در محل خود نصب و به آرماتورهای ریشه تعبیه شده در فونداسیون محکم می شوند. سپس عملیات آرماتور بندی دیوارها صورت می گیرد.



در تمامی مراحل قالب بندی می توان با لغزاندن قالب ها به بالا به درون قالب دست یافت و آرماتورهای قائم را به آرماتورهای ریشه و آرماتورهای افقی محکم و ثابت نمود و یا اشیاء و ابزار سقوط کرده در قالب را از داخل آن خارج نمود.



قالب ها با اسکافولدهای مخصوص، شاعول و محکم می شوند و پس از آن به وسیله جک های مخصوص عملیات بتن ریزی صورت می



## ۹- معایب و مزایای سیستم ICF:

### ۹-۱. مزایای سیستم ICF

- مقاومت بالا در برابر نیروهای جانبی مانند زلزله و باد
- صرفه جویی در مصرف انرژی (عایق حرارت، برودت، رطوبت و صوت)
- حداقل نیاز به نیروی انسانی متخصص
- سرعت اجرا
- سهولت اجراء
- انعطاف پذیری نسبی در قالب طرح های معماری
- امکان اجرا در اکثر شرایط آب و هوایی (خصوصاً مناطق دارای رطوبت نسبی بالا)
- سهولت اجرای تاسیسات برقی و مکانیکی
- مراحل نصب در محل کارگاه بدون ماشین های سنگین
- مزیت های زیست محیطی و فقدان مضرات اکولوژیکی
- مقاومت حرارتی بالا به سبب استفاده از دو لایه عایق حرارتی پلی استایرن که هر کدام به طور معمول ضخامتی برابر ۵ سانتی متر دارند.
- درز بندی و هوا بندی مناسب دیوار و در نتیجه قابل اغماض بودن مقدار نفوذ هوا و تبادل حرارتی ناشی از آن
- یکنواختی دمای سطح داخلی جدار به علت وجود لایه داخلی عایق حرارتی و عدم وجود پل های حرارتی قابل توجه. تنها در صورت استفاده از قطعات فلزی با ابعاد قابل توجه به منظور اتصال دو لایه عایق حرارتی اثر پل های حرارتی قابل ملاحظه است و یکنواختی دمای سطحی بتن از بین می رود.

۹-۲. معایب سیستم ICF

- عدم تولید مواد اولیه اصلی مورد نیاز تولید بلوک ها (پلی استایرن کندسوز) در داخل کشور
- سنگینی وزن ساختمان
- امکان از بین رفتن لایه های پلی استایرن موجود در دو طرف دیوار بر اثر عوامل طبیعی و تاثیر حشرات و جوندگان
- وابستگی کامل به سیمان با توجه به کمبود سیمان در کشور
- وابستگی به ماشین آلات و تجهیزات خارجی جهت تولید با سرعت و کیفیت بالا
- عدم تولید مواد اولیه اصلی مورد نیاز تولید بلوک ها (پلی استایرن کندسوز) در داخل کشور
- سنگینی وزن ساختمان
- امکان از بین رفتن لایه های پلی استایرن موجود در دو طرف دیوار بر اثر عوامل طبیعی و تاثیر حشرات و جوندگان
- وابستگی کامل به سیمان با توجه به کمبود سیمان در کشور
- وابستگی به ماشین آلات و تجهیزات خارجی جهت تولید با سرعت و کیفیت بالا

## ۱۰- بررسی نقاط قوت و ضعف سیستم

### ۱۰-۱. عوامل مربوط به هزینه

مواد اصلی تشکیل دهنده قالب های این سیستم پلی استایرن متبسط شده است که با قیمت های نسبتاً قابل قبول در دسترس هستند. البته باید به این نکته اشاره کرد که پلی استایرن مورد نیاز برای این نوع بلوک ها باید دارای چگالی حدود ۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب باشد (مگر این که طراحی خاصی با فواصل کم تر رابط ها امکان کاهش چگالی را فراهم کند). تولید انواع مختلف بلوک های این نوع سیستم توسط شرکت های مختلف داخلی در حال انجام است.

میزان عایق حرارتی مورد استفاده در این سیستم با ضخامت متوسطی بالای ۱۰ سانتی متر به طور قابل توجهی بیش از میزان عایق حرارتی مورد نیاز طبق مقررات ملی ساختمان در زمینه صرفه جویی است. به عبارت دیگر، ضخامت و چگالی بالای لایه های پلی استایرن قالب ها که باعث بالا رفتن هزینه قالب و در نتیجه هزینه کلی ساختمان می شود به دلیل بحث صرفه جویی در مصرف انرژی نیست بلکه بیش تر به خاطر تامین مقاومت مورد نیاز برای قالب در زمان بتن ریزی در نظر گرفته شده است. عدم نیاز به ماشین آلات و ابزار گران قیمت از دیگر شرایطی است که هزینه های اجرایی این محصول را کاهش می دهند.

### ۱۰-۲. عوامل مربوط به زمان

در مقایسه با سیستم های مورد استفاده در پروژه های تک سازی مزیت رقابتی این محصول سرعت اجرای قالب بندی آن است ولی در انبوه سازی این سیستم در رقابت با برخی از سیستم های بتن درجا مانند سیستم تونلی سرعت پایین تری دارد علاوه بر این میزان عایق حرارتی این قطعات در حدی است که دستیابی به انتظارات تعیین شده در مقررات ملی ساختمان به سهولت انجام می شود.

با توجه به این نکته که محدودیت قالب در این سیستم وجود ندارد موازی کردن اقدامات در قسمت های مختلف یک پروژه و ایجاد هم پوشانی های لازم بین فعالیت های مختلف اجرایی به سهولت و بدون بالا بردن هزینه های پروژه امکان پذیر است.

محصول مورد بحث نیاز به ابزار و ماشین آلات خاص یا غیر قابل دسترس ندارد از نکته های شاخص این محصول به دلیل استفاده از قالب های عایق حرارتی امکان بتن ریزی در شرایط دمایی متنوع و در اغلب فصول سال است. در زمان اجرای دیوار با استفاده از این سیستم می توان گفت می توان گفت که همزمان با این اقدام عایق کاری حرارتی دیوار نیز انجام می شود و در ضمن اجرای نازک کاری داخلی و نمای خارجی نیز با سهولت و سرعت بیشتر انجام می شود.

## ۱۰-۳. عوامل مربوط به قابلیت های اجرایی

نیاز به ابزارهای ساده و محدود در این روش از نقاط قوت این سیستم ساختمانی است در اجرای این محصول می توان با آموزش مختصری نیروی انسانی لازم را آماده کار کرد. تعداد مراحل کاری در این روش بسیار کم است و کار نسبتاً تکراری است. قطعات به کار گرفته شده برای قالب بندی به عنوان عایق حرارتی کاربرد دارند. استفاده از پلی استایرن منبسط به عنوان پایه قالب محصول امکان ایجاد برش در قالب و تغییر در ابعاد و شکل آن را فراهم می کند در نتیجه می توان چنین محصولی را هم در معماری مدولار و هم غیر مدولار استفاده کرد ولی روشن است در حالت مدولار آماده سازی قطعات و اجرا با سرعت و سهولت بیشتری انجام می شود.

برای افزایش قابلیت باربری می توان از انواع عریض قالب ICF استفاده نمود علاوه بر قابلیت تنوع در ضخامت می توان از ارتفاع را نیز به دلخواه تنظیم کرد. امکان برش در محصول و نیز جیدمان آن در کنار هم قابلیت اجرای باز شو در محصول را فراهم می کند محدودیتی که در اجرای باشو در دیوار بتنی بابر است.

شرایط نگهداری سیستم ساده است و نیاز به تمهیدات خاص ندارد سطح تمام شده بخش اعظم این نوع سیستم ها اسفنج پلی استایرن منبسط است که از لحاظ هم نشینی با سایر مصالح محدودیتی ندارد. در صورتی که دیوار دچار تخریب موضعی شده باشد اگر تخریب در بتن رخ داده باشد با قالب بندی درجا و بتن ریزی در محل قابل اصلاح است اگر تخریب در پلی استایرن باشد می توان قطعه پلی استایرن محل تخریب را جایگزین کرد.

عبور لوله های تاسیساتی از دیوارهای بتنی یا سوراخ کردن اسفنج پلی استایرن امکان پذیر است روشن است عبور دادن لوله ها از بخش بتنی با مشکلاتی جدی روبه رو است مشکل اول سختی کندن بتن و مشکل دوم مسئله ایستایی یا دوام دیوار است.

### ۱۰-۴. عوامل مربوط به کیفیت و قابلیت های فنی

کنترل کیفیت جاگذاری قطعات ICF ساده است و با استفاده از ابزارهای ساده مهندسی صورت می گیرد کیفیت بتن ریزی نیز در صورتی که از رابطه های پلاستیکی یا فلزی استفاده شود با مشکل خاصی روبرو نخواهد بود ولی در صورتی کاربرد قطعات یکپارچه با رابطه های از جنس قالب خطر بر نشدن فضای زیر ماهیچه های پلی استایرن وجود دارد.

ضخامت و وزن زیاد دیوار و کاهش فضای مفید ساختمان از دیگر نقاط ضعف این محصول برای انبوه سازی است. از آن جا که برای طرح های کوچک طراحی و اجرای قطعات قالب ICF می تواند به سادگی و با استفاده از روش ها و دستورالعمل های تجویزی معتبر انجام شود و با توجه به سهولت ایجاد تغییرات در قطعات قالب می توان ضمن رعایت ملاحظات سازه ای و با نظر مهندس محاسب تغییراتی در طرح ساختمان در حین اجرا اعمال کرد اگر در نقشه های تاسیساتی نیز تغییری رخ دهد معمولا می توان با تمهیدات ساده امکان انطباق با طرح را فراهم کرد. محصول مورد بحث در شرایط مختلف جوی و در برابر مخاطراتی نظیر هوازدهی و خوردگی نوسانات حرارت و یخ زدگی میگرورگانیسم و تشعشع رفتارهای قابل قبول و مقاومت مناسبی را از خود نشان می دهد. در صورت طراحی مناسب رفتار این سیستم در زمین لرزه قابل قبول است. تامین کارگر ماهر برای اجرای این سیستم با آموزش مختصر اولیه امکان پذیر است سیستم مورد نظر عایق حرارتی مناسبی است به علاوه می توان با کمک شیوه های مناسب نماسازی از تاثیر رطوبت در آن کاملاً جلوگیری کرد.

بار مرده دیوارهای این سیستم زیاد است و لازم است دیوارهای طبقات مختلف درست در یک راستا قرار داشته باشند این امر محدودیت در زمینه معماری محسوب می شود هر چند آزادی عمل این سیستم نسبت به دیگر سیستم های دیوار بتنی در جا بیشتر است به منظور کاهش فضای اشغال شده توسط دیوارهای باربر کاهش بار مرده ساختمان و بهبود عملکرد لرزه ای ساختمان توصیه شده است مقدار دیوارها در پلان ساختمان به حداقل مورد نیاز جهت پاسخگویی به نیازهای سازه ای ساختمان محدود شده و برای ساخت دیوارهای تیغه از سایر انواع سیستم های رایج و معتبر استفاده شود.

در این سیستم می توان به سهولت انواع مختلف نماها را نصب کرد برای این کار قطعات فلزی توسط پیچ یا میلگرد به بتنی که در فاصله بین دو لایه عایق ریخته می شود متصل می شود.



# اجرای صنعتی ساختمان ها

(ویژه دوره ارتقا به پایه یک مهندسین ناظر)



سپاس از حضور و توجه سروران ارجمند

- [www.abdRazavi.ir](http://www.abdRazavi.ir)
- [Razavi.Abd@gmail.com](mailto:Razavi.Abd@gmail.com)
- [Telegram.me/abdRazavi](https://t.me/abdRazavi)