

# صفر تا صد سازه ها و بتن هوشمند ضد انفجار

طبق استانداردهای بین المللی، ساختمان ها و سازه های مختلف بایستی ویژگی های کاربردی مناسب داشته باشند. یکی از مهمترین ویژگی های مورد انتظار از هر ساختمان این است که مقاومت کافی در برابر تنش ها و شرایط محیطی داشته باشد. تاکنون روش ها و آیین نامه های مختلفی برای طراحی و ساخت سازه های متنوع، منتشر شده که توسط مهندسان و معماران مختلف استفاده می شود. آنچه که تاکنون در رابطه با ساختمان ها چندان مورد توجه قرار نگرفته است، مقاومت آنها در برابر انفجار و آثار ناشی از آن می باشد. به ویژه که در دنیای امروز احتمال انفجار بر اثر حملات تروریستی یا حوادث صنعتی افزایش یافته است. در میان مصالح مختلفی که می تواند به منظور مقاومت در برابر امواج زلزله استفاده شود، بتن هوشمند ضد انفجار از محبوبیت زیادی برخوردار بوده به همین منظور در این مقاله طراحی سازه های ضد انفجار و بتن هوشمند ضد انفجار مورد بررسی قرار گرفته است.



## لزوم طراحی سازه های ضد انفجار

عوامل مختلفی از قبیل دوام، مقاومت، زیبایی ظاهری، در دسترس بودن مصالح، شرایط اقلیمی و اقتصادی در طراحی سازه های ضد انفجار تأثیر گذار هستند. از بین پارامترهای مؤثر بر طراحی سازه ها، مقاومت در برابر حوادثی از قبیل زلزله، آتش سوزی و انفجار نیز به عنوان مهمترین پارامترهای مورد توجه در طراحی سازه ها شناخته می شوند. در طی سال های اخیر احتمال انفجار در ساختمان ها بر اثر تجمع گازهای مشتعل در ایستگاه های سوخت گیری، عدم رعایت اصول ایمنی در مراکز صنعتی و یا حملات تروریستی، بسیار افزایش یافته است. به همین دلیل مهندسان، پیمانکاران و دست اندرکاران صنعت ساخت و ساز به سمت طراحی سازه های ضد انفجار گرایش پیدا کرده اند. هدف از طراحی این

سازه ها، افزایش امنیت ساختمان در برابر آثار ناشی از انفجار است. به منظور طراحی این سازه ها، موارد کنترلی مربوطه شناسایی شده و در مراحل مختلف طراحی و اجرای سازه در نظر گرفته می شود.

## **بتن هوشمند ضد انفجار چیست؟**

در راستای تلاش مهندسان برای طراحی سازه های ضد انفجار و همزمان با پیشرفت حوزه های مختلف فناوری به ویژه نانو تکنولوژی، نوع خاصی از سازه های بتنی ضد انفجار تحت عنوان **بتن هوشمند ضد انفجار** توسعه یافته است. به طور کلی، بتن هوشمند نوعی کامپوزیت پایه سیمانی چند منظوره است که دارای یک یا چند ویژگی عملکردی هوشمند مانند خود سنجش، خودترمیم شونده، گرمایش از خود، هدایت الکتریکی عالی و ویژگی های الکترومغناطیسی باشند. این نسل جدید از کامپوزیت های پایه سیمانی می تواند برای توسعه زیرساخت های هوشمند و دستیابی به نظارت خودکار بر سلامت ساختاری، افزایش امنیت، دوام، و انعطاف پذیری زیرساخت ها مورد استفاده قرار گیرند. این نوع کامپوزیت های پایه سیمانی هوشمند با عملکرد بالا و چند منظوره را می توان با ترکیب مواد افزودنی و پرکننده های مختلف در بتن معمولی ساخت.

## **طراحی سازه های ضد انفجار**

مهمترین عامل در طراحی سازه های ضد انفجار تأثیر بارهای انفجاری بر ساختمان است که باید در مراحل طراحی مورد توجه قرار گیرد. بارهای انفجاری در واقع بارهای دینامیکی هستند که باید دقیقاً مانند بارهای زلزله و باد محاسبه شوند. این بارها به صورت موج جابجا شده و تحت عنوان موج ضربه ای نیز شناخته می شوند. موج ضربه ای، به صورت هوای بسیار فشرده ای است که به شکل کروی با سرعتی بسیار زیاد از منبع انفجار به سمت خارج پرتاب می شوند. پس از محاسبه میزان بارهای انفجاری باید راهکارهای مناسب برای مقاومت و پایداری سازه در برابر این نوع بارها در مرحله طراحی ملاحظه شود. بهترین راهکار می تواند استفاده از مصالح ساختمانی باشد که از قابلیت هوشمند بودن نسبت به انفجار و آثار آن برخوردار باشند. همانطور که در بخش های قبلی نیز اشاره شد، یکی از کارآمدترین و رایج ترین مصالح در این زمینه بتن هوشمند ضد انفجار می باشد.



## بتن هوشمند ضد انفجار

### اصول ساخت بتن هوشمند ضد انفجار

ساخت بتن هوشمند ضد انفجار مشابه مراحل ساخت بتن معمولی است؛ با این تفاوت که افزودنی های مقاوم در برابر بارهای انفجاری به طرح اختلاط بتن معمولی اضافه می شود. مواد اصلی تشکیل دهنده بتن هوشمند ضد انفجار شامل سیمان، سنگدانه های درشت، سنگدانه های ریز، آب و نانو لوله های کربنی می باشد. برای طراحی بتن هوشمند ضد انفجار، ابتدا سیمان پرتلند و سنگدانه های ریز و درشت با یکدیگر مخلوط می شوند. سپس با در نظر گرفتن نسبت مناسب آب به سیمان، مقدار آب با دقت توزیع شده و به مخلوط اضافه می گردد. ناگفته نماند نسبت معمول آب به سیمان مورد استفاده در ساخت بتن هوشمند ضد انفجار بستگی به سطح مخصوص سیمان و توزیع دانه بندی سنگدانه ها دارد که این نسبت بین ۰/۲۲ تا ۰/۴۵ متغیر است.

مهمترین مرحله در ساخت بتن هوشمند ضد انفجار، انتخاب و اضافه کردن افزودنی هایی است که نقش اصلی مقاومت در برابر انفجار را دارند. این افزودنی ها از گروه نانو مواد انتخاب می شوند و تحت عنوان نانو لوله های کربنی شناخته می شوند. برای اضافه کردن نانو لوله های کربنی می توان آن ها را در آب اختلاط بتن پراکنده کرد و یا در حالت خشک به مخلوط سیمان و سنگدانه اضافه نمود.

نکته اساسی در رابطه با اضافه کردن نانو مواد در مراحل ساخت بتن هوشمند ضد انفجار، نحوه اضافه کردن نانو لوله های کربنی به مخلوط بتن است. به دلیل اینکه نانو لوله های کربن به دلیل داشتن انرژی سطح بالا و نیروهای پیوندی

بین مولکولی قوی دچار حالت کلوخه ای و تجمع می شوند. در حالی که برای داشتن یک بتن هوشمند ضد انفجار با کارایی مناسب در طراحی سازه های ضد انفجار بایستی افزودنی های نانو لوله کربنی به طور یکنواخت در تمام سطح بتن پراکنده شوند. برای غلبه بر این مشکل، سه روش مختلف برای پراکنده کردن نانو لوله های کربنی در آب وجود دارد که بنا به شرایط آزمایشگاه و پروژه می توان از هر یک از آنها استفاده نمود.



#### • روش اول

ساده ترین روش این است که نانو لوله های کربنی پس از ریخته شدن در آب اختلاط بتن به مدت ۳۰ دقیقه در حمام التراسونیک قرار می گیرند تا به کمک امواج صوت، به خوبی از هم جدا شده و در آب پراکنده شوند.

#### • روش دوم

در روش دوم بخشی از یک ماده اصلاح کننده خواص سطحی به آب اختلاط مورد استفاده در طراحی بتن هوشمند ضد انفجار اضافه شده و سپس نانو لوله های کربنی با آن ترکیب می شود. محلول حاصل، می تواند به روش مکانیکی، دستی یا با استفاده از روش فراصوت مخلوط شود تا نانو لوله های کربنی به طور یکنواخت در آب اختلاط پراکنده شوند.

در روش سوم علاوه بر نانو لوله های کربنی از ماده کمکی استفاده می شود که می توانند حالت آب دوستی نانو لوله ها را تغییر داده و موجب پراکندگی بهتر نانو لوله های کربنی در آب شوند.

## اصول طراحی سازه های ضد انفجار

اصلی ترین هدف مورد انتظار از طراحی سازه های ضد انفجار، به حداقل رساندن عواقب وارد بر زیرساخت های سازه و ساکنان آن در صورت انفجار است. در این راستا، الزام اصلی طراحی سازه های ضد انفجار جلوگیری از خرابی فاجعه بار کل سازه یا قسمت های زیادی از آن می باشد. همچنین لازم است اثرات امواج انفجاری که از طریق روزنه ها به داخل ساختمان منتقل می شوند به حداقل رسیده و اثرات پرتابه ها بر ساکنان آن ساختمان کاهش یابد.

برای کاهش تهدیدات احتمالی و خطرات ناشی از انفجار می توان در مرحله طراحی سازه های ضد انفجار، از اصول استاندارد استفاده کرد. در طراحی سازه های ضد انفجار، اولویت اصلی باید ایجاد حداکثر فاصله بین منشأ احتمالی انفجار و ساختمان باشد. به همین منظور، بایستی پناهگاه مناسبی در داخل ساختمان در نظر گرفته شود. از سوی دیگر در مراکز متراکم شهر ممکن است فضای کمی برای تغییر موقعیت ساختمان وجود داشته باشد یا هیچگونه محدودیتی وجود نداشته باشد، اما آنچه که در آن وضعیت بایستی لحاظ شود این است که فضای آزاد کافی برای شرایط ناشی از انفجار در نظر گرفته شود. این امر می تواند با مکان یابی استراتژیک اعضای از قبیل ستون، درختان و مبلمان شهری محقق گردد.

فرم داخلی سازه پارامتر دیگری است که بایستی در طراحی سازه های ضد انفجار لحاظ شود. چون در اصل، فرم داخلی سازه است که بارهای انفجاری ساختمان را بسیار تحت تأثیر قرار می دهد. قوس ها و گنبدها انواع فرم های سازه ای هستند که اثرات انفجار را در مقایسه با فرم حفره ای بر روی ساختمان کاهش می دهند. اشکال پیچیده ای که باعث انعکاس های متعدد موج انفجار می شوند، نباید در طراحی سازه های ضد انفجار استفاده شوند. لازم به ذکر است که ساختمان های یک طبقه در مقایسه با ساختمان های چند طبقه مقاومت بیشتری در برابر انفجار دارند.



## سازه های ضد انفجار

### کاربرد طراحی سازه های ضد انفجار

طراحی سازه های ضد انفجار برای ایجاد انبار مواد منفجره، ایستگاه های سوخت گیری، انبار واحدهای شیمیایی صنعتی و ساختمان های حساس نظامی استفاده می شود. به عنوان نمونه های عملی از کاربرد طراحی سازه های ضد انفجار به چند مورد اشاره می شود. در کشور مکزیک، به منظور حفاظت از مرکز پردازش داده ها، یک ساختمان بتنی مقاوم در برابر آتش و انفجار طراحی و ایجاد شد. همچنین در کشور هلند پس از انجام تجزیه و تحلیل ریسک، یک ساختمان مقاوم در برابر انفجار و آتش سوزی در نزدیکی یک پمپ بنزین ساخته و در ساخت این ساختمان از اصول طراحی سازه های ضد انفجار استفاده شد. برای ساخت این ساختمان، حدود ۳۰۰۰ مترمکعب بتن هوشمند ضد انفجار استفاده شد. در این پروژه، طبق اصول طراحی سازه های ضد انفجار، ابتدا یک نمونه دیوار به استفاده از بتن هوشمند ضد انفجار به صورت پایلوت در مرکز تحقیقاتی ساخته شد. سپس این دیوار تحت آزمایش های شبیه سازی شرایط انفجار و آتش سوزی فیزیکی قرار گرفت. نمونه دیوار طراحی شده در این آزمایش ها تحت دمای ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت و این دما را برای بیش از ۶۰ دقیقه تحمل کرد. همچنین در معرض آزمایش موج فشار ضربه بیش از ۱/۱ بار برای ۸۰ میلی ثانیه قرار گرفت. نتایج آزمایش موج ضربه نیز موفقیت آمیز بود و در نهایت از طرح اختلاط بتن هوشمند ضد انفجار، در ایجاد ساختمان نهایی استفاده شد.



## مزایای طراحی سازه های ضد انفجار



مهمترین مزیت طراحی سازه های ضد انفجار، خاصیت چند منظوره بودن آنها می باشد؛ زیرا ساختمان های مقاوم در برابر انفجار به گونه ای طراحی می شوند که به طور همزمان بتوانند مقاومت مکانیکی و دینامیکی کافی در برابر انواع تنش ها را داشته باشند. از سوی دیگر مصالح مورد استفاده در این سازه ها، موجب افزایش دوام و پایداری ساختمان در طول مدت زمان زیاد شده و علاوه بر این، سازه های ضد انفجار موجب کاهش خسارات وارده به زیرساخت ها و اموال فیزیکی می شود. مهمتر از همه، آنچه که در دنیای امروز به عنوان مزیت اصلی طراحی سازه های ضد انفجار مطرح می شود، محافظت از جان انسان ها در برابر حملات تروریستی و حوادث مختلف می باشد.

## معایب طراحی سازه های ضد انفجار

## معایب سازه های ضد انفجار



هزینه های بالای اجرا  
محدودیت های زیبایی شناختی  
محدودیت های بودجه ساخت و ساز

با وجود مزیت های قابل توجهی که روش های طراحی سازه های ضد انفجار بر ایمنی زندگی انسان ها دارد، معایبی نیز وجود دارد. مهمترین عیب سازه های ضد انفجار بالا بودن هزینه آنها می باشد، چون در طراحی این ساختمان ها نیاز به استفاده از تجهیزات و افزودنی های دارای تکنولوژی پیشرفته می باشد که قیمت بالایی دارند. از سوی دیگر در برخی موارد، روش های طراحی سازه های ضد انفجار، با معیارهای زیبایی شناختی، دسترسی، مقررات اطفای حریق و محدودیت های بودجه ساخت و ساز مغایرت دارد.

### جمع بندی

در این مقاله روش ها و اصول طراحی سازه های ضد انفجار و بتن هوشمند ضد انفجار مورد بررسی قرار گرفت. مهمترین نقش سازه های ضد انفجار این است که در برابر امواج ناشی از انفجار مقاومت کرده و از اموال فیزیکی و جان انسان ها محافظت کنند. برای طراحی سازه های ضد انفجار میتوان از مصالح مختلف استفاده کرد که یکی از این مصالح مورد استفاده، بتن هوشمند ضد انفجار است. اصول طراحی بتن هوشمند ضد انفجار مشابه طرح اختلاط بتن معمولی بوده که افزودنی های نانو مواد با آن ترکیب شده است. رایج ترین نانو مواد مورد استفاده در ساخت بتن هوشمند ضد انفجار، نانو لوله های کربنی هستند که مقاومت چندین برابر فولاد دارند.