

# طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه

## آزمونهای نظام مهندسی

تالیف  
هوشیار خزائی



نشر عالم عمران

[www.elme-omran.com](http://www.elme-omran.com)  
[Info@elme-omran.com](mailto:Info@elme-omran.com)

عضو:



انجمن مهندسی عمران کتابخانه

این اثر مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر و مؤلف، نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

[www.Civil808.com](http://www.Civil808.com)

---

سرشناسه	:	خزائی، هوشیار، ۱۳۵۱-
عنوان و نام پدیدآور	:	طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه- آزمونهای نظام مهندسی/تالیف هوشیار خزائی.
مشخصات نشر	:	تهران: علم عمران، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	:	۴۰۸ص.
شابک	:	978-600-5176-21-6
وضعیت فهرست نویسی	:	فیبا
موضوع	:	ساختمان سازی -- صنعت و تجارت -- قوانین و مقررات -- ایران
موضوع	:	ساختمان سازی با بتن مسلح
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۳ ط ۴/خ/ KM۳۴۰۲
رده بندی دیویی	:	۳۴۳/۵۵
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۵۷۶۶۴۰

---



نشر علم عمران

---

طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه- آزمونهای نظام مهندسی  
تالیف: هوشیار خزائی

چاپ اول	تابستان ۱۳۹۳
صفحه آرای و حروفچینی	نشر علم عمران- طرح نگار پارسی
چاپ	پرستش
تعداد و قطع صفحات	۴۰۸ صفحه و زیری
شمارگان	۱۰۰۰
بهای کتاب	۲۶۰۰۰۰ ریال
شابک ۹۷۸-۶۰۰-۵۱۷۶-۲۱-۶	ISBN 978-600-5176-21-6

---

نشر علم عمران: تهران، یوسف آباد، خیابان جهان آرا، بین خیابانهای ۱۶ و ۱۸، پلاک ۳۳، طبقه دوم، واحد ۱۱  
تلفن: ۸۸۳۵۳۹۳۰-۳۱ دورنگار: ۸۸۳۵۳۹۳۲  
حقوق چاپ و نشر برای نشر علم عمران محفوظ است.

### مقدمه ناشر

تحلیل، طراحی و اجرای صحیح ساختمانها نیازمند تجربه و تبحر مهندسان ساختمان می باشد. بی شک کسب تجربه در شرکت های مهندسی مشاور و کارگاه های ساختمانی برای مهندسان در کنار افزایش دانش ضروری است؛ که این فرصت معمولاً پس از فارغ التحصیلی برای مهندسان بیشتر فراهم می شود. یکی از آزمون های مهم پس از فارغ التحصیلی از مراکز دانشگاهی، آزمون های نظام مهندسی است. سال های متمادی است که در کشورمان برای ورود به دنیای حرفه ای مهندسی آزمون های مختلف براساس مباحث های مقررات ملی ساختمان برگزار می شود. قبولی در این آزمون ها برای تمام مهندسان عمران در پایه های طراحی، نظارت یا اجرا ضروری است. در این راستا نشر علم عمران سعی نموده با استفاده از دانش و تجربه اساتید مجرب در زمینه این آزمون ها، منابع مناسبی را برای متقاضیان ورود به پایه حرفه مهندسان آماده کند. این منابع به صورتی تهیه شده است که علاوه بر یادآوری و بازنگری نکات مهم دروس مهندسی، از طریق حل نمونه سوالات آزمون های سال های قبل، متقاضیان را هر چه بیشتر با نحوه برگزاری آزمون ها آشنا کند.

مجموعه حاضر یکی از چند درس اصلی مورد نظر برای آزمون های ورود به حرفه مهندسان است. امید است این مجموعه که با همکاری ارزنده جناب مهندس هوشیار خزائی از مدرسین و مولفین گرانقدر در این زمینه تهیه شده است برای علاقمندان مفید واقع شود. علیرغم ویرایش های مکرر در قسمتهای مختلف کتاب ممکن است هنوز ایراداتی وجود داشته باشد. لذا مایه خرسندی است که خوانندگان محترم نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود را از طریق آدرس پست الکترونیک [info@elme-omran.com](mailto:info@elme-omran.com) ارسال کنند.

سید مهدی داودنوبی

مدیر نشر علم عمران

### پیشگفتار مولف

مبحث نهم مقررات ملی ساختمان تحت عنوان "طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه" یکی از منابع آزمون ورود به حرفه مهندسان می‌باشد که بیش از ۲۵ درصد سوالات آزمون را به خود اختصاص می‌دهد. اغلب این سوالات نیز با پیچیدگی‌های خاص و به گونه‌ای طراحی می‌شوند که با توجه به ایجاز و اختصاری که در متن مبحث نهم نهفته است پاسخگویی به آنها را برای داوطلبان تا حدی دشوار می‌سازد. توجه به این مهم، ما را بر آن داشت تا مجموعه حاضر را با ویژگی‌های زیر تهیه کرده و در اختیار علاقمندان قرار دهیم:

- ۱- تشریح مبانی علمی ضوابط مختلف مبحث نهم به زبان ساده و روان، و عاری از هرگونه مفاهیم نظری و پیچیده
- ۲- تصویری نمودن الزامات طراحی و اجرایی مبحث نهم در قسمت‌های مختلف آن جهت استفاده داوطلبان پروانه محاسبات، نظارت و اجرا
- ۳- استفاده از روش گام به گام در تمامی مباحث محاسباتی هم در متن کتاب و هم در پاسخگویی به سوالات چهارگزینه‌ای

روش گام به گام محاسبات که در این کتاب ارائه شده است در واقع یک الگوریتم طراحی را برای هر بخش از مبحث نهم مقررات ملی ساختمان در اختیار خواننده قرار می‌دهد. این موضوع، به خصوص خواننده را در درک صحیح و عمیق از مطالب تئوریک یاری داده و در نتیجه باعث تسریع در پاسخگویی به سوالات آزمون می‌شود. لذا به خوانندگان محترم توصیه می‌شود این الگوریتم‌ها را به دقت بررسی و مطالعه کرده و پاسخگویی به سوالات را بر اساس آنها در دستور کار خود قرار دهند. در اینصورت موفقیت خود در آزمون را تا حد خیلی زیادی تضمین خواهند کرد.

در پایان، فرصت را مغتنم شمرده از زحمات و تلاش‌های بی‌شائبه جناب آقای سید مهدی داودنسی مدیریت محترم انتشارات علم عمران در آماده‌سازی کتاب و ارائه پیشنهادات ارزنده سپاسگزاری می‌نمایم. از اساتید، صاحب‌نظران و مطالعه کنندگان محترم تقاضا می‌گردد با ارائه نظرات و پیشنهادات ارزشمند خود از طریق آدرس الکترونیکی [khazaei@elme-omran.com](mailto:khazaei@elme-omran.com) ما را در ارائه هر چه بهتر این مجموعه در چاپ‌های بعدی آن یاری نمایند.

هوشیار خزائی

تابستان ۱۳۹۳

## فهرست مطالب

فصل اول: خصوصیات مصالح	۱
۱-۱- کلیات	۱
۲-۱- سیمان	۴
۳-۱- سنگدانه	۱۶
۴-۱- آب	۲۱
۵-۱- مواد افزودنی (افزودنی‌های شیمیایی یا چاشنی‌های بتن)	۲۵
۶-۱- مواد جایگزین سیمان یا مکمل سیمان	۲۹
۷-۱- میلگردهای فولادی	۳۲
۸-۱- میلگردهای کامپوزیتی	۳۷
۹-۱- مقاومت فشاری بتن	۳۹
۱۰-۱- منحنی تنش- کرنش بتن	۴۸
۱۱-۱- مدول الاستیسیته استاتیکی بتن	۴۹
۱۲-۱- مدول الاستیسیته دینامیکی	۵۰
۱۳-۱- ضریب پواسون بتن	۵۰
۱۴-۱- مقاومت کششی بتن	۵۰
۱۵-۱- خزش	۵۲
۱۶-۱- جمع‌شدگی (افت یا انقباض یا آبرفتگی)	۵۳
۱۷-۱- دوام (پایایی) بتن و میلگردهای فولادی	۵۴
۱۸-۱- سئوال‌ات چهارگزینه‌ای	۵۹
۱۹-۱- پاسخنامه تشریحی سئوال‌ات چهارگزینه‌ای	۷۹
فصل دوم: اجرای بتن	۹۵
۱-۲- مقدمه	۹۵
۲-۲- اختلاط بتن	۹۵

۹۶	۳-۲- انتقال بتن .....
۹۸	۴-۲- بتن‌ریزی .....
۹۹	۵-۲- تراکم بتن .....
۱۰۳	۶-۲- پرداخت بتن .....
۱۰۴	۷-۲- عمل‌آوری بتن .....
۱۰۵	۸-۲- اجرای بتن در شرایط غیرمتعارف .....
۱۰۹	۹-۲- سئوال‌ات چهار گزینه‌ای .....
۱۲۳	۱۰-۲- پاسخنامه تشریحی سئوال‌ات چهارگزینه‌ای .....

## فصل سوم: اصول تحلیل و طراحی .....

۱۳۵	۱-۳- اهداف طراحی .....
۱۳۵	۲-۳- اصول پایه طراحی .....
۱۳۶	۳-۳- اصول تحلیل سازه .....
۱۳۷	۴-۳- مشخصات مصالح .....
۱۳۹	۵-۳- طراحی در حالت حدی نهایی مقاومت .....
۱۴۰	۶-۳- کنترل در حالت حدی بهره‌برداری .....
۱۴۱	۷-۳- سئوال‌ات چهارگزینه‌ای .....
۱۴۳	۸-۳- پاسخنامه تشریحی سئوال‌ات چهارگزینه‌ای .....

## فصل چهارم: خمش .....

۱۴۵	۱-۴- مقدمه .....
۱۴۵	۲-۴- رفتار اعضای بتن مسلح در خمش خالص .....
۱۴۸	۳-۴- انواع گسیختگی محتمل در اعضای خمشی .....
۱۵۱	۴-۴- بررسی محدوده رفتاری اعضای خمشی .....
۱۵۷	۵-۴- فرضیات محاسباتی .....
۱۵۸	۶-۴- مقطع متعادل .....
۱۶۱	۷-۴- مقطع متعادل مستطیل شکل .....
۱۶۳	۸-۴- محدودیت مقدار آرماتورها در اعضای خمشی با فولاد کششی تنها .....
۱۶۵	۹-۴- محدودیت‌های فاصله میلگردها و تکیه‌گاه‌های جانبی .....
۱۶۷	۱۰-۴- مراحل گام‌به‌گام طراحی مقاطع خمشی مستطیلی با فولاد کششی تنها .....
۱۷۴	۱۱-۴- شکل‌پذیری .....
۱۷۵	۱۲-۴- مقاطع خمشی با فولاد فشاری .....

۱۳-۴- مقاطع خمشی بالدار..... ۱۸۳

۱۴-۴- سوالات چهارگزینه‌ای..... ۱۸۹

۱۵-۴- پاسخنامه تشریحی سوالات چهارگزینه‌ای..... ۲۰۰

**فصل پنجم: برش..... ۲۱۹**

۱-۵- بررسی رفتار تیر تحت اثر تنش‌های برشی..... ۲۱۹

۲-۵- خاموت‌گذاری (مقابله با برش)..... ۲۲۱

۳-۵- طراحی در مقابل برش در حالت حدی نهایی..... ۲۲۴

۴-۵- سوالات چهارگزینه‌ای..... ۲۳۲

۵-۵- پاسخنامه تشریحی سوالات چهارگزینه‌ای..... ۲۴۰

**فصل ششم: پیچش..... ۲۵۱**

۱-۶- مقدمه..... ۲۵۱

۲-۶- توزیع تنش برشی ناشی از پیچش..... ۲۵۲

۳-۶- بررسی رفتار مقطع بتنی غیرمسلح تحت اثر پیچش خالص..... ۲۵۵

۴-۶- بررسی رفتار مقطع بتنی مسلح تحت اثر پیچش خالص..... ۲۵۵

۵-۶- لنگر پیچشی ترک‌خوردگی..... ۲۵۶

۶-۶- مقابله با پیچش..... ۲۵۷

۷-۶- حالت حدی نهایی پیچش..... ۲۵۹

۸-۶- محدودیت‌های آرمان‌تورهای پیچشی..... ۲۶۱

۹-۶- ترکیب پیچش و خمش - پیچش و برش..... ۲۶۳

۱۰-۶- روش گام‌به‌گام طراحی اعضای بتنی تحت اثر توام پیچش و برش..... ۲۶۳

۱۱-۶- سوالات چهارگزینه‌ای..... ۲۶۷

۱۲-۶- پاسخنامه تشریحی سوالات چهارگزینه‌ای..... ۲۷۳

**فصل هفتم: ستون‌ها..... ۲۸۱**

۱-۷- مقدمه..... ۲۸۱

۲-۷- انواع ستون‌ها..... ۲۸۱

۳-۷- بررسی تأثیر نوع خاموت‌ها بر رفتار ستون‌های بتن آرمه..... ۲۸۳

۴-۷- مرکز پلاستیک مقطع..... ۲۸۴

۵-۷- مقاومت نهایی ستون کوتاه تحت بار محوری خالص..... ۲۸۶

۶-۷- ستون کوتاه تحت بار محوری و لنگر خمشی..... ۲۸۷

۲۹۸ ..... ۷-۷- ستون کوتاه تحت بار محوری و لنگر خمشی دو محوره

۲۹۹ ..... ۷-۸- اثرات لاغری و کمانش

۳۰۹ ..... ۷-۹- سئوالات چهارگزینه‌ای

۳۱۹ ..... ۷-۱۰- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهارگزینه‌ای

**فصل هشتم: مهار و وصله آرماتور** ..... ۳۳۳

۳۳۳ ..... ۸-۱- مقدمه

۳۳۳ ..... ۸-۲- قلاب‌های استاندارد

۳۳۴ ..... ۸-۳- حداقل قطر خم‌ها

۳۳۴ ..... ۸-۴- طول گیرایی میلگردهای کششی

۳۳۷ ..... ۸-۵- طول گیرایی میلگردهای فشاری

۳۳۷ ..... ۸-۶- طول گیرایی گروه میلگردها

۳۳۷ ..... ۸-۷- طول گیرایی میلگردهای قلاب‌دار در کشش

۳۳۹ ..... ۸-۸- ضوابط مهار آرماتورهای خمشی

۳۴۲ ..... ۸-۹- وصله میلگردها

۳۴۷ ..... ۸-۱۰- سئوالات چهارگزینه‌ای

۳۵۲ ..... ۸-۱۱- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهارگزینه‌ای

**فصل نهم: دال، دیوار، شالوده** ..... ۳۵۷

۳۵۷ ..... ۹-۱- دال یک‌طرفه

۳۶۰ ..... ۹-۲- دال دو طرفه

۳۶۸ ..... ۹-۳- سئوالات چهارگزینه‌ای

۳۷۳ ..... ۹-۴- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهارگزینه‌ای

**فصل دهم: تغییر شکل و ترک‌خوردگی** ..... ۳۷۹

۳۷۹ ..... ۱۰-۱- مقدمه

۳۷۹ ..... ۱۰-۲- تغییر شکل اعضای خمشی بتن آرمه

۳۸۵ ..... ۱۰-۳- ترک‌خوردگی‌ها

۳۸۷ ..... ۱۰-۴- سئوالات چهارگزینه‌ای

۳۸۹ ..... ۱۰-۵- پاسخنامه تشریحی سئوالات چهارگزینه‌ای

۳۹۱ ..... معرفی مهندسین مشاور سازیران

۳۹۵ ..... معرفی سازه ۹۰، محصولی از شرکت نرم‌افزاری سازه



## فصل اول

### خصوصیات مصالح

#### ۱-۱-۱ کلیات

بتن یک نوع سنگ مصنوعی (ساخته دست انسان) است که از گرفتن و سخت شدن مخلوط متناسب و طراحی شده‌ای از سیمان، سنگدانه (شن و ماسه)، آب و مواد افزودنی (در صورت لزوم) در درون یک قالب با شکل و ابعاد مورد نظر بدست می‌آید. در حقیقت، دوغاب حاصل از واکنش شیمیایی بین آب و سیمان، سنگدانه‌ها را پوشانده و باعث چسبیدن سنگدانه‌ها به همدیگر و یکپارچه شدن آن‌ها می‌گردد.

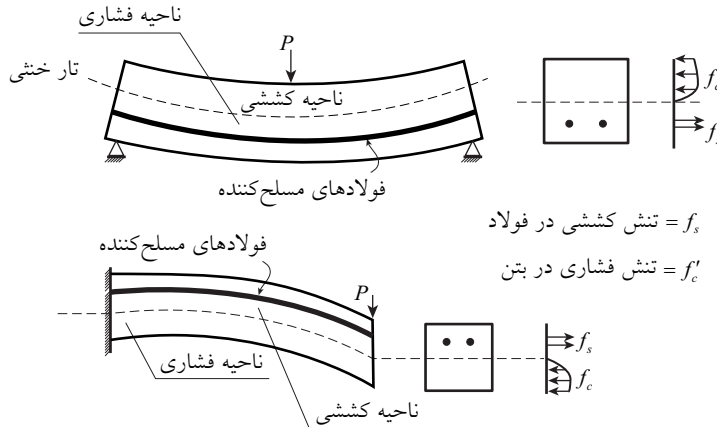
#### ۱-۱-۱-۱ بتن مسلح

بتن، مقاومت فشاری مناسب و مقاومت کششی بسیار پایینی (در حدود 10 درصد مقاومت فشاری آن) دارد. با توجه به اینکه در اغلب اعضای سازه‌ای، تنش‌های کششی مستقیم و یا تنش‌های کششی ناشی از خمش ایجاد می‌گردد، برای جبران ضعف مقاومت کششی بتن، در قسمت‌هایی از اعضای سازه‌ای که تنش‌های کششی ایجاد می‌شود از فولادهای مسلح‌کننده (که مقاومت کششی بالایی دارند) به عنوان عامل مقاوم در برابر کشش استفاده می‌شود. شکل ۱-۱، ترکیب بتن و فولاد را در تحمل تنش‌های کششی و فشاری ناشی از خمش در دو تیر بتن مسلح ساده و طره‌ای نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه مقاومت فشاری فولاد، حداقل 10 برابر بیشتر از مقاومت فشاری بتن (به ازای سطح مقطع یکسان) می‌باشد، لذا استفاده از فولادهای مسلح‌کننده در قسمت‌های فشاری اعضای بتنی در جهت کمک به تأمین مقاومت فشاری بیشتر عضو بتنی اجتناب‌ناپذیر است. به علاوه، این امر اجرای عملیات فولادگذاری را نیز سهل می‌کند.

#### ۱-۱-۲ سازگاری بتن و فولاد

استفاده از بتن و فولاد در ترکیب با یکدیگر و تشکیل یک جسم مرکب موسوم به بتن مسلح ناشی از سازگاری بسیار مناسب آن‌ها می‌باشد که در واقع این سازگاری به دلایل زیر می‌باشد:



$f_s =$  تنش کششی در فولاد

$f'_c =$  تنش فشاری در بتن

شکل ۱-۱- نمایش ایده اولیه در بتن مسلح

- ۱- بتن و فولاد ضرایب انبساط حرارتی تقریباً یکسانی دارند و این باعث می‌شود که در تغییرات دمایی متداول، تنش حرارتی قابل توجهی بین آن‌ها ایجاد نشود.
- ۲- بتن و فولاد چسبندگی بسیار خوبی با هم دارند و به همین دلیل تحت اثر بارهای خارجی (بعد از سخت شدن بتن) هیچگونه لغزش نسبی بین آن‌ها ایجاد نمی‌شود. این چسبندگی به دلیل برجستگی‌های سطح فولاد (آج میلگرد) می‌باشد.
- ۳- پوشش ایجاد شده توسط بتن در مقاطع بتن مسلح از خوردگی فولاد جلوگیری می‌کند.
- ۴- مقاومت فولاد در مقابل آتش‌سوزی بسیار پایین‌تر از بتن است. پوششی بتن روی میلگردها، مقاومت بسیار خوبی در مقابل آتش‌سوزی به وجود می‌آورد.

### ۱-۱-۳- مزایای بتن مسلح

- از جمله مزایای مهم بتن مسلح در مقایسه با سایر مصالح ساختمانی از جمله فولاد به شرح زیر می‌باشد:
- ۱- بتن را با ساختن قالب مناسب، تقریباً می‌توان به هر شکل دلخواه درآورد.
  - ۲- بتن مقاومت بسیار خوبی در مقابل آتش‌سوزی دارد.
  - ۳- سازه بتن مسلح دارای صلبیت بالایی است. به همین سبب ساکنان این نوع ساختمان‌ها در هنگام وقوع زلزله لرزش کمتری احساس می‌کنند.
  - ۴- استفاده از بتن در برخی اعضای سازه‌ای نظیر شمع‌ها، فونداسیون‌ها و دیوارهای زیرزمین تقریباً اجتناب‌ناپذیر بوده و تنها گزینه اقتصادی محسوب می‌شود.
  - ۵- بتن در مقایسه با بسیاری از مصالح ساختمانی، عمر بهره‌دهی بالاتری دارد.

**۱-۴- معایب بتن مسلح**

- سازه بتنی در کنار مزایای فوق، معایب و کاستی‌هایی نیز دارد. برخی از این معایب عبارتند از:
- ۱- بتن، مصالحی ترد بوده و مقاومت کششی پایینی دارد. مقاومت کششی بتن در حدود  $1/10$  مقاومت فشاری آن می‌باشد.
  - ۲- وزن مخصوص بتن حدود 30 درصد وزن مخصوص فولاد و مقاومت فشاری بتن نیز تقریباً 10 درصد مقاومت فشاری فولاد می‌باشد. بنابراین نسبت مقاومت به وزن بتن در حدود  $1/3$  تا  $1/6$  نسبت مقاومت به وزن فولاد خواهد بود. این مسأله باعث می‌شود که وزن و ابعاد عضو بتنی در مقایسه با وزن و ابعاد عضو فولادی بسیار بزرگتر باشد. فولاد در میان مصالح ساختمانی متعارف، بالاترین نسبت مقاومت به وزن را دارا می‌باشد.
  - ۳- کنترل کیفیت بتن (که در کارگاه انجام می‌گیرد) نسبت به کنترل کیفیت فولاد (که در کارخانه و با دقت بالا انجام می‌شود) پایین‌تر است.
  - ۴- بتن، دچار پدیده افت و خزش می‌شود، یعنی با گذشت زمان تغییرات حجمی پیدا می‌کند. این پدیده‌ها به مرور زمان خیز و تغییر شکل اعضا را افزایش می‌دهند.

**۱-۵- بتن پیش‌تنیده**

- در اعضای بتن مسلحی که تحت اثر بارهای نسبتاً سنگینی قرار دارند (به ویژه اعضای خمشی)، استفاده از فولادها (میلگردهای) پر مقاومت برای مسلح کردن بتن به لحاظ فنی مشکلاتی را به دنبال دارد. از جمله این مشکلات این است که با بالا رفتن تنش در میلگردها، کرنش (تغییر شکل) آن‌ها نیز افزایش می‌یابد، با توجه به مساوی بودن کرنش در فولاد و بتن مجاور آن، کرنش (تغییر شکل‌های) بالایی نیز در بتن به وجود می‌آید. با توجه به ضعف بتن در مقابل تنش‌های کششی، این کرنش‌ها (تغییر شکل‌ها) باعث ایجاد ترک‌های عریض در بتن خواهند شد.
- برای غلبه بر این محدودیت، ایده بتن پیش‌تنیده ابداع گردید که در واقع ترکیبی از فولاد پر مقاومت و بتن می‌باشد. به عبارت دیگر، در مقاطع پیش‌تنیده شرایطی فراهم می‌شود که با ایجاد تنش فشاری اولیه، تنش‌های کششی ناشی از خمش (که در اثر بارهای خارجی بر عضو بتنی وارد می‌شوند) خنثی می‌شود. بدین ترتیب در مقطع یا تنش کششی ایجاد نمی‌شود و یا مقدار تنش‌های کششی بسیار ناچیز است. مزیت عمده این طرح، عدم ترک خوردگی بتن می‌باشد. پیش‌تندگی به دو روش انجام می‌گیرد:
- ۱- **روش پیش کشیدگی:** روشی است که در آن ابتدا فولادهای پیش‌تندگی کشیده شده و سپس بتن در تماس با آرماتورها ریخته می‌شود. بعد از گرفتن بتن و کسب حداقل مقاومت لازم، کابل‌ها از جک جدا و نیروی پیش‌تندگی به بتن اعمال می‌شود.
  - ۲- **روش پس کشیدگی:** در این روش ابتدا فضای کابل‌ها که اصطلاحاً غلاف نامیده می‌شود، تعبیه می‌گردد و پس از بتن‌ریزی و کسب حداقل مقاومت لازم، فولاد پیش‌تندگی کشیده و مهار شده و بدین ترتیب نیروی پیش‌تندگی در بتن سخت شده اعمال می‌شود.

## ۱-۱-۶- بتن فروسیمانی

فروسیمان نوعی بتن مسلح می‌باشد که از لایه‌های متعدد و نزدیکی از شبکه‌ها یا میلگردهای نازک که توسط ملات سیمان کاملاً احاطه می‌شوند ساخته می‌شود. فروسیمان خیلی نازک‌تر از بتن مسلح می‌باشد و شبکه آرماتور آن را بدون محدودیت می‌توان به هر شکلی درآورد و سپس روی آن را با پاشیدن ملات سیمان به وسیله دست یا پمپ، پوشانید. این مصالح کاربردهای به‌خصوصی دارد، که از جمله در ساخت بدنه کشتی‌های کوچک و قایق‌ها، سیلوها، مخازن آب و سقف‌های قوسی به‌کار می‌رود. این کاربردهای خاص، ناشی از بالا بودن نسبت مقاومت به وزن فروسیمان نسبت به بتن مسلح معمولی می‌باشد.

در جنس مصالح شبکه‌های فروسیمانی، تنوع گسترده‌ای وجود دارد که از سیم‌های ظریف بافته شده یا متصل شده، تا شبکه‌های فولادی جوش شده، تسمه‌های فلزی کشیده شده و صفحات سوراخ‌دار و مشبک و مصالح غیر فلزی مانند الیاف آلی طبیعی و الیاف شیشه‌ای تغییر می‌کند.

## ۱-۱-۷- دامنه کاربرد

مبحث نهم (ویرایش ۱۳۹۲) در فصل ۹-۱ مقرر می‌دارد که:

۱- ضوابط و مقررات این مبحث باید در مشخصات مواد تشکیل‌دهنده و طرح، محاسبه، اجرا و کنترل ساختمان‌های بتنی، رعایت شوند. این ضوابط مربوط به ساختمان‌های بتنی با سنگدانه‌های معمولی و سبک و سیمان پرتلند یا سیمان آمیخته و با مقاومت مشخصه حداقل برابر ۲۰ مگا پاسکال و یا اعضای بتن پیش‌تنیده با حداقل مقاومت مشخصه ۳۰ مگا پاسکال می‌باشد.

۲- در مواردی که ضوابط این مبحث دارای ابهام یا مسکوت می‌باشد، استعلام از دفتر مقررات ملی ساختمان ملاک عمل خواهد بود.

## ۱-۱-۸- شکل‌پذیری

مبحث نهم، سه حد شکل‌پذیری برای رفتار ساختمان‌های بتن مسلح در برابر آثار ناشی از زلزله منظور نموده است:

۱- شکل‌پذیری کم

۲- شکل‌پذیری متوسط

۳- شکل‌پذیری زیاد (ویژه)

همچنین این مبحث در فصل نهم (بند ۹-۱-۴) بیان می‌دارد که ضوابط مندرج در متن مبحث، تأمین‌کننده حد شکل‌پذیری کم بوده و ضوابط ویژه تأمین حدود شکل‌پذیری متوسط و زیاد در فصل بیست‌وسوم گنجانده شده است.

## ۲-۱- سیمان

### ۱-۲-۱- ترکیبات شیمیایی سیمان

مواد خام تشکیل‌دهنده سیمان عمدتاً آهک (اکسید کلسیم؛  $CaO$ ) و خاک رس (اکسید سیلیسیم؛  $SiO_2$ ) و شیل (اکسید آلومینیوم؛  $Al_2O_3$ ) می‌باشد. جدول ۱-۱ درصد تقریبی این مواد را در سیمان پرتلند نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- مقدار تقریبی مواد اولیه سیمان

مقدار (درصد)	فرمول شیمیایی	نام
60 - 65	$CaO$	اکسید کلسیم
20 - 25	$SiO_2$	اکسید سیلیسیم
5 - 9	$Al_2O_3$	اکسید آلومینیوم
0.5 - 6	$Fe_2O_3$	اکسید آهن
0.1 - 4	$MgO$	اکسید منیزیم

برای تهیه سیمان پرتلند، این مصالح را کاملاً پودر کرده و به نسبت معینی با هم مخلوط می‌کنند. پس از آن، مخلوط حاصل در کوره گردنده در حرارت حدود 1400 درجه سانتی‌گراد پخته می‌شود. در اثر این درجه حرارت، فعل و انفعالات خاصی صورت می‌گیرد که منجر به تولید ماده‌ای به نام کلنیکر می‌شود. کلنیکر را پس از سرد شدن به همراه حدود 2 درصد سنگ گچ (سولفات کلسیم متبلور خام) آسیاب کرده و سیمان پرتلند را به دست می‌آورند.

**نکته:** اضافه کردن گچ به کلنیکر سیمان پرتلند به منظور تنظیم و افزایش زمان گیرش سیمان صورت می‌گیرد.

(نظارت و محاسبات - ۸۰)

مسئله ۱-۱- پس از تهیه کلنیکر، ..... مقداری سنگ گچ با سیمان آسیاب می‌شود.

- ۱) برای افزایش حجم سیمان
- ۲) برای اینکه سیمان به آسانی با ماسه و مواد دیگر مخلوط گردد.
- ۳) برای اینکه بعد از اضافه کردن آب، سیمان سریعاً نگیرد.
- ۴) برای اینکه بعد از اضافه کردن آب، سیمان سریع بگیرد.

**حل:**

با توجه به توضیحات فوق، گزینه (۳) جواب مسئله می‌باشد.

### ۱-۲-۲- فازهای سیمان

ترکیبات شیمیایی (فازهای اصلی) سیمان، حاصل از فعل و انفعالات اکسیدهای تشکیل‌دهنده آن در کوره سیمان‌پزی، به شرح زیر می‌باشند:

الف- تری کلسیم سیلیکات ( $3CaO \cdot SiO_2 : C_3S$ )

۱- در هنگام ترکیب با آب حدوداً 120 کالری بر گرم حرارت آزاد می‌کند.

۲- مقاومت سنین اولیه بتن (28 روز اول) به این ترکیب وابسته است.

۳- مقاومت بتن در برابر حمله سولفات‌ها را کاهش می‌دهد.

### ب- دی کلسیم سیلیکات ( $2CaO \cdot SiO_2 : C_2S$ )

۱- در هنگام ترکیب با آب حدود 62 کالری بر گرم حرارت آزاد می‌کند.

۲- مقاومت نهایی بتن (بعد از 28 روز اول) را تأمین می‌کند.

**نکته:** سیلیکات‌ها (یعنی  $C_2S$  و  $C_3S$ ) در مجموع حدود 80 درصد وزن سیمان را تشکیل می‌دهند و در حقیقت مقاومت سیمان هیدراته شده به این دو ترکیب بستگی دارد.  $C_3S$  در مقاومت تا 4 هفته اول و  $C_2S$  در مقاومت بعد از آن تأثیر می‌گذارد. بعد از یک سال، دو ترکیب فوق به یک میزان روی مقاومت سیمان هیدراته شده تأثیر می‌گذارند.

### پ- تری کلسیم آلومینات ( $3CaO \cdot Al_2O_3 : C_3A$ )

۱- در هنگام ترکیب با آب حدود 207 کالری بر گرم حرارت آزاد می‌کند.

۲- این ترکیب نقشی در مقاومت سیمان به‌جز کمی در سنین اولیه ندارد.

۳- در بتن سخت شده، در معرض حمله سولفات‌ها با تشکیل سولفو آلومینات کلسیم (اترینگایت یا میکرب سیمان) باعث انبساط بتن و خرابی و فساد آن می‌گردد.

۴- در هنگام تولید سیمان باعث سهولت ترکیب اکسید کلسیم با اکسید سیلیسیم می‌شود.

**نکته ۱:** میزان سنگ گچی که به کلینکر سیمان اضافه می‌شود بستگی به مقدار  $C_3A$  و قلیایی‌های سیمان دارد. هر چقدر سیمان ریزتر آسیاب شود، مقدار  $C_3A$  بیشتری در آن تولید می‌گردد و این مسئله میزان سنگ گچ مورد نیاز را افزایش می‌دهد. افزایش سنگ گچ نیز به نوبه خود باعث انبساط بیش از حد و خرابی سیمان سخت شده می‌گردد.

**نکته ۲:** از مطلب فوق می‌توان نتیجه گرفت که هدف از اضافه کردن سنگ گچ به کلینکر سیمان، کنترل گیرش سیمان (جلوگیری از گیرش سریع سیمان) از طریق کنترل  $C_3A$  می‌باشد.

**نکته ۳:**  $C_3A$  در مقایسه با سیلیکات‌ها ( $C_2S$  و  $C_3S$ ) به آب بیشتری برای فعل و انفعال نیاز دارد.

### ت- تتراکلسیم آلومینوفریٹ ( $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 : C_4AF$ )

۱- در هنگام ترکیب با آب حدود 100 کالری بر گرم حرارت آزاد می‌کند.

۲- در مقایسه با سایر ترکیبات سیمان، نقش کم‌رنگ‌تری در خواص سیمان دارد.

۳- مقاومت بتن در مقابل حمله سولفات‌ها را کاهش می‌دهد.

مسأله ۱-۲- مقاومت روزهای اولیه بتن به ترکیبات زیر در سیمان و مقدار آن بستگی دارد؟ (مماسبات ۸۴)

(۱) ترکیب  $C_2S$  (۲) ترکیب  $C_3S$  (۳) ترکیبات  $C_2S$  و  $C_3S$  (۴) ترکیبات  $C_2S$  و  $C_3A$

حل:

با توجه به توضیحات فوق، گزینه (۲) جواب مسأله است.

### ۱-۲-۳- انواع سیمان

الف- سیمان پرتلند نوع یک (I)، یا سیمان پرتلند معمولی: «پ-۱»

معمولی‌ترین نوع سیمان پرتلند است که مرغوبیت بالایی دارد و برای کارهایی که مستلزم ویژگی‌های سایر انواع سیمان پرتلند نباشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیمان در سازه‌های بنایی، ساختمان‌های بتن مسلح، پیاده‌روها و در سازه‌هایی که در معرض خاک یا آب سولفات‌ها نیستند و همچنین در شرایطی که دمای ناشی از حرارت آزاد شده از آبگیری زیاد نباشد به کار می‌رود.

**نکته ۱:** این سیمان در سه نوع «۱-۳۲۵»، «۱-۴۲۵» و «۱-۵۲۵» تولید می‌شود.

**نکته ۲:** اعداد کنار عدد ۱ معرف مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه مکعبی ساخته شده از ملات سیمان به ابعاد ۵۰ میلی‌متر بر حسب  $Kg/mm^2$  می‌باشند.

**نکته ۳:** ملات‌ها و بتن‌هایی که با سیمان پرتلند معمولی ساخته می‌شوند، در هنگام تهاجم اسیدها و سولفات‌ها به شدت صدمه می‌بینند. سولفات‌ها ممکن است در خاک و آجرهای رسی و آب‌های زیرزمینی و آب دریا وجود داشته باشند. همچنین اسیدها ممکن است در خاک‌ها و آب‌های زیرزمینی که نتیجه تجزیه فضولات صنعتی یا مواد آلی در خاک هستند، مشاهده شوند. در این گونه موارد باید از انواع دیگر سیمان‌ها استفاده نمود تا از خرابی بتن جلوگیری شود.

ب- سیمان پرتلند نوع دو (II)، یا سیمان پرتلند اصلاح شده: «پ-۲»

این نوع سیمان تقریباً همانند سیمان پرتلند معمولی است با این تفاوت که مواد اولیه آن را با دقت بیشتری تهیه و تولید می‌کنند. موارد استفاده این سیمان به شرح زیر می‌باشد:

۱- به دلیل گرمای آبگیری کمتر نسبت به سیمان پرتلند نوع یک، برای بتن‌ریزی در هوای نسبتاً گرم و همچنین برای بتن‌ریزی در سازه‌های نسبتاً حجیم مانند پایه‌های بزرگ پل‌ها، لوله‌ها و دیوارهای حایل سنگین مناسب است.

۲- برای بتن‌ریزی در سازه‌هایی که در معرض حمله نه چندان شدید سولفات‌ها (مانند سازه‌های مجاور آب‌های زیرزمینی که غلظت سولفات در آن‌ها چندان شدید نیست) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳- برای بتن‌ریزی در محیط‌های آلوده به املاح هم‌زمان کلر و سولفات (نظیر سواحل خلیج فارس و دریای عمان) به کار می‌رود.

پ- سیمان پرتلند نوع سه (III)، یا سیمان زود سخت‌شونده: «پ-۳»

روند کسب مقاومت این نوع سیمان نسبت به سایر انواع سیمان پرتلند بسیار سریع‌تر است، به گونه‌ای که بتن ساخته شده با این نوع سیمان در مدت کمتر از 3 روز، مقاومتی بیشتر از مقاومت 7 روزه بتن ساخته شده با سیمان پرتلند نوع یک کسب می‌کند. این خاصیت به علت درصد بالای  $C_3S$  (حدود 70 درصد) و ریزی بالا (حداقل  $320 \text{ m}^2 / \text{kg}$ ) می‌باشد، با توجه به این مشخصات، سیمان پرتلند نوع سه را در موارد زیر مورد استفاده قرار می‌دهند:

۱- بتن‌ریزی در هوای سرد (به علت خاصیت حرارت‌زایی بالا) جهت کاهش دوره مراقبت و عمل‌آوری کنترل شده (جلوگیری از یخ‌زدگی)

۲- بتن‌ریزی در شرایطی که قالب‌ها تا حد امکان باید زود باز شوند و یا سازه به سرعت مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

۳- بتن‌ریزی در سازه‌هایی که به کمک قالب لغزان اجرا می‌شوند نظیر سیلوها و دودکش نیروگاه‌ها.

۴- بتن‌ریزی قطعات بتنی پیش‌تنیده.

۵- تعمیرات فوری بتن‌های آسیب‌دیده.

**نکته ۱:** زمان گیرش سیمان‌های پرتلند نوع یک و نوع سه تقریباً یکسان می‌باشد.

**نکته ۲:** مقاومت اولیه بتن ساخته شده با سیمان پرتلند نوع سه بیشتر از مقاومت اولیه بتن ساخته شده با سایر انواع سیمان پرتلند می‌باشد. اما مقاومت نهایی بتن ساخته شده با انواع سیمان‌های پرتلند تقریباً یکسان می‌باشد.

**نکته ۳:** مخلوط‌های پر سیمان حاوی سیمان پرتلند نوع یک را نیز می‌توان برای کسب مقاومت زودرس به‌کار برد، اما در این‌گونه موارد با استفاده از سیمان پرتلند نوع سه مخلوطی رضایت‌بخش‌تر و از لحاظ اقتصادی با صرفه‌تر به دست می‌آید.

**نکته ۴:** سیمان پرتلند نوع سه به علت حرارت‌زایی بالا نباید در بتن‌ریزی حجیم و یا در بتن‌ریزی در هوای گرم مورد استفاده قرار گیرد.

(مسئله ۱-۳) (۸۴)

مسئله ۱-۳- سیمان نوع سه ترجیحاً در موارد زیر مصرف می‌شود:

- ۱) بتن‌ریزی در هوای گرم
- ۲) بتن‌ریزی در هوای سرد
- ۳) بتن‌ریزی‌های حجیم
- ۴) بتن‌ریزی مجاور با خاک سولفاته

حل:

گزینه (۲) جواب مسئله است.

ت- سیمان پرتلند نوع چهار (IV)، یا سیمان با حرارت‌زایی کم: «پ-۴»

این سیمان به علت درصد کمتر ترکیبات  $C_3S$  و  $C_3A$  نسبت به سیمان پرتلند نوع یک، حرارت کمتری در حین



هیدراتاسیون تولید می‌کند و روند کسب مقاومت آن نیز کندتر از سیمان پرتلند نوع یک می‌باشد، به همین دلیل موارد استفاده آن به شرح زیر خواهد بود:

- ۱- بتن‌ریزی در هوای گرم
- ۲- بتن‌ریزی سازه‌های بتنی حجیم نظیر سدهای وزنی بزرگ (جهت جلوگیری از ایجاد تنش‌های حرارتی)

**نکته ۱:** بتن حجیم، بتنی است که سه بعد (طول، عرض و ضخامت) قابل توجه داشته باشد. به عنوان مثال یک دال بتنی وسیع (با طول و عرض زیاد) ولی با ضخامت کم، بتن حجیم محسوب نمی‌شود.

**نکته ۲:** مشکل اصلی در بتن‌ریزی‌های حجیم، گرادیان یا اختلاف دما بین نقاط مختلف بتن می‌باشد و نه دمای زیاد بتن. گرادیان زیاد دما باعث ایجاد تنش‌های زیاد و در نتیجه باعث ترک‌خوردگی بتن می‌شود.

**نکته ۳:** در سیمان پرتلند نوع IV، برای جبران کاهش مقاومت نهایی بتن ساخته شده با آن، باید درصد  $C_4AF$  و  $C_3S$  افزایش داده شود.

### ث- سیمان پرتلند نوع پنج (V)، یا سیمان مقاوم در برابر سولفات: «پ- ۵»

این سیمان به دلیل اینکه درصد کمتری  $C_3A$  (نسبت به سایر سیمان‌های پرتلند) در ترکیب خود دارد، در مقابل حمله سولفات‌ها به بتن پایدار است.

در صورت وجود مقادیر اضافی  $C_3A$  در ترکیبات شیمیایی سیمان، در محیط‌های آلوده به سولفات در اثر ترکیب  $C_3A$  با نمک‌های سولفاتی (که معمولاً سولفات‌های منیزیم و سدیم می‌باشند) ترکیبی به نام سولفوآلومینات کلسیم (اترینگات یا میکرب سیمان) به وجود می‌آید که در مقایسه با مواد اولیه تشکیل‌دهنده آن به میزان چندین برابر منبسط شده و در نتیجه موجب انبساط بیش از حد بتن و تخریب آن می‌گردد. بنابراین برای دستیابی به سیمان مقاوم در برابر چنین شرایطی، باید مقدار  $C_3A$  در ترکیبات آن محدود گردد.

**نکته ۱:** مبحث نهم مقررات ملی ساختمان حداکثر مقدار مجاز  $C_3A$  را در سیمان پرتلند نوع پنج (که مقاومت بالایی در برابر حمله سولفات‌ها دارد) به ۵ درصد و در سیمان پرتلند نوع دو (که مقاومت متوسطی در برابر حمله سولفات‌ها دارد) به ۸ درصد محدود نموده است.

**نکته ۲:** آزمایش‌ها و شواهد نشان داده است که درصد بالای  $C_4AF$  نیز اثر منفی بر مقاومت در برابر سولفات‌ها دارد. به همین علت مبحث نهم مقررات ملی ساختمان حداکثر مقدار مجاز  $C_4AF+2C_3A$  را برای سیمان پرتلند نوع پنج به ۲۵ درصد محدود کرده است.

**نکته ۳:** استفاده از سیمان پرتلند نوع پنج در محیط‌های آلوده به املاح هم‌زمان کلر و سولفات مجاز نمی‌باشد، زیرا کم بودن مقدار  $C_3A$  در این نوع سیمان، باعث آزادی عمل یون‌های کلراید شده که به خوردگی آرماتورها و فولادهای پیش‌تنیدگی منجر می‌شود.

**نکته ۴:** در محیط‌های آلوده به املاح توام کلراید و سولفات باید از سیمان پرتلند نوع دو استفاده کرد، زیرا  $C_3A$  اضافی موجود در این سیمان در اثر ترکیب با یون‌های کلراید، ترکیبی به نام کلرور آلومینات کلسیم (نمک فریدل) به وجود می‌آورد که یون‌های کلراید را به صورت غیر محلول در آب تبدیل می‌کند و بدین ترتیب تا حد زیادی از اثر خوردگی یون‌های کلراید بر روی فولادهای مدفون در بتن کاسته می‌شود.

**نکته ۵:** عامل اصلی خوردگی میلگردها و فولادهای پیش‌تیندگی، کلریدهای محلول در آب هستند و کلریدهای غیر محلول اثر سوء کمتری بر فولادها دارند.

## ۱-۲-۳-۱ - سیمان‌های ویژه

### الف - سیمان پرتلند سفید

این سیمان از آسیاب کردن کلینکر سیمان سفید با مقدار مناسبی سنگ گچ به دست می‌آید. میزان اکسید آهن و اکسید منیزیم در ترکیبات اولیه این سیمان بسیار کم است. زمان گیرش و همچنین روند کسب مقاومت این نوع سیمان مشابه سیمان پرتلند معمولی است. عمل آوردن نماهای ساخته شده با این سیمان نیاز به دقت کافی دارد، زیرا در اوایل کار به راحتی کثیف می‌شود و تمیز کردن آن تقریباً غیرممکن است. استفاده از ورقه‌های پلاستیک برای عمل آوردن آن و دور نگه داشتن آن از گرد و غبار، روش مناسبی برای عمل آوردن ملات در اوایل کار می‌باشد.

### ب - سیمان پرتلند رنگی

سیمان پرتلند رنگی، از افزودن مواد رنگی معدنی بی‌اثر شیمیایی به سیمان پرتلند معمولی یا سفید به دست می‌آید. از سیمان پرتلند معمولی برای ساخت سیمان‌های پرتلند قرمز، قهوه‌ای و سیاه و برای ساخت سیمان‌های به رنگ‌های دیگر، از سیمان سفید استفاده می‌شود.

**نکته:** استفاده از سیمان پرتلند رنگی برای ساخت بتن سازه‌ای مجاز است.

## ۱-۲-۳-۲ - سیمان‌های پرتلند آمیخته

### الف - سیمان پرتلند پوزولانی

سیمان پرتلند پوزولانی از مخلوط کردن و آسیاب کردن پوزولان‌ها (مواد معدنی و یا صنعتی جایگزین سیمان) با کلینکر سیمان پرتلند ساخته می‌شود. این نوع سیمان‌ها بسته به درصد پوزولان‌ها در دو نوع به شرح زیر تولید می‌شوند:

#### ۱- سیمان‌های پرتلند پوزولانی معمولی: «پ. پ»

این نوع سیمان دارای پوزولان به میزان حداقل 5 و حداکثر 15 درصد وزنی می‌باشد و برای کارهای معمولی در ساخت ملات و بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**۲- سیمان پرتلند پوزولانی ویژه: «پ. پ. و»**

این نوع سیمان دارای پوزولان به مقدار حداقل 15 درصد و حداکثر 40 درصد وزنی می‌باشد. حرارت آگیری این نوع سیمان کم بوده و به همین علت روند کسب مقاومت آن نیز کند می‌باشد و مقاومت فشاری سه روز اول بتن ساخته شده با این نوع سیمان کم است.

اکثر پوزولان‌ها ارزان‌تر از سیمانی هستند که با آن جایگزین می‌شوند، لیکن مزیت مهم آن‌ها در هیدراتاسیون آرام و در نتیجه حرارت‌زایی کمترشان می‌باشد. بنابراین کاربرد مهم آن‌ها در بتن‌ریزی‌های حجیم می‌باشد که باید حرارت تولید شده کنترل گردد. این نوع سیمان همچنین برای ساخت بتنی که در معرض تهاجم شیمیایی قرار دارد به کار می‌رود.

**ب- سیمان پرتلند روباره‌ای یا سرباره‌ای**

سیمان پرتلند روباره‌ای از سیمان‌های آبی آمیخته به شمار می‌آید و از آسیاب نمودن مخلوط کلنیکر سیمان پرتلند و 15 تا 95 درصد سرباره کوره آهنگدازی فعال و غیرکریستالی (آمورف) به دست می‌آید. این نوع سیمان نسبت به سیمان پرتلند معمولی:

۱- پایداری بیشتری در مقابل حمله سولفات‌ها دارد و بتن ساخته شده با آن نفوذپذیری کمتر و دوام بیشتری دارد.

۲- دیرگیرتر بوده و حرارت هیدراتاسیون کمتری دارد.

**۱-۲-۳-۳- سیمان بنایی**

این نوع سیمان از اختلاط سیمان پرتلند معمولی و مقداری پودر سنگ بسیار ریز و پرکننده و مواد حباب‌ساز ساخته می‌شود و بدون آن‌که نیاز به آهک باشد، می‌توان از آن ملاتی با کارایی مناسب ساخت. استفاده از این نوع سیمان در بتن و بتن مسلح مجاز نیست و از آن می‌توان فقط در کارهای بنایی، در ساخت ملات و مانند آن استفاده کرد.

**۱-۲-۳-۴- سیمان پرتلند آمیخته آهکی**

این سیمان از خانواده سیمان پرتلند است که حاوی 6 تا 20 درصد سنگ آهک ویژه همراه با درصد مناسبی سنگ گچ (سولفات کلسیم متبلور) و حداقل 80 درصد کلنیکر سیمان پرتلند است:

۱- این سیمان در تهیه ملات و بتن، و همچنین در تمامی مواردی که سیمان پرتلند نوع یک مصرف می‌شود کاربرد دارد.

۲- حرارت هیدراتاسیون این سیمان نسبت به سیمان پرتلند نوع یک کمتر است.

۳- حفظ و نگهداری آب با مصرف سیمان پرتلند آهکی در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی بیشتر است، این امر موجب بهبود کارایی و قابلیت پمپ شدن بتن ساخته شده با آن می‌گردد.

## ۱-۲-۳-۵- سایر انواع سیمان

### الف- سیمان منبسط شونده

خاصیت این سیمان به گونه‌ای است که بتن ساخته شده با آن در روزهای اول فرآیند هیدراتاسیون به صورت جزئی منبسط می‌گردد و بدین ترتیب جمع‌شدگی و ترک‌های ناشی از خشک شدن بتن را جبران می‌کند.

**نکته:** ترکیب شیمیایی انواع سیمان‌های منبسط شونده به گونه‌ای است که بعد از هیدراتاسیون، تولید سولفوآلومینات کلسیم (اترینگایت) می‌کنند که عامل اصلی انبساط خمیر سیمان می‌باشد.

### ب- سیمان پرآلومین (HAC)

مواد اولیه این سیمان شامل آهک یا گچ و بوکسیت (اکسید آلومینیوم هیدراته، اکسید آهن، تیتانیوم و مقدار کمی اکسید سیلیسیم) می‌باشد. این مواد پس از آسیاب شدن در کوره‌های مخصوص تا  $1600^{\circ}C$  و تا نقطه ذوب حرارت داده می‌شوند و سپس سرد و خرد شده و تا حد  $250 m^2 / kg$  تا  $300 m^2 / kg$  آسیاب می‌شوند. این سیمان دارای خواص زیر است:

- ۱- به علت عدم وجود  $Ca(OH)_2$  در ترکیباتش، در مقابل حمله سولفات‌ها بسیار پایدار است.
- ۲- دارای روند افزایش مقاومت بسیار بالایی است (حدود 2.5 برابر بیشتر از سیمان پرتلند نوع سه)، به طوری که بالغ بر 80 درصد مقاومت نهایی خود را طی 24 ساعت اول به دست می‌آورد.

### پ- سیمان پرتلند ضد رطوبت

این نوع سیمان مشابه سیمان پرتلند معمولی است که مقداری ماده مضاعف دافع آب به آن افزوده شده است. خواص سیمان پرتلند ضد رطوبت و همچنین موارد مصرف آن مشابه سیمان پرتلند نوع یک (معمولی) می‌باشد. مزایای عمده این نوع سیمان موقعی است که در پشت لایه نازک کاری استفاده گردد تا عمل مکش آب کنترل و کاهش یابد و لایه نازک کاری آب خود را پس ندهد.

### ت- سیمان پرتلند ضد آب

این نوع سیمان مشابه سیمان پرتلند معمولی است با این تفاوت که در هنگام تولید، فرآیند خاصی بر روی آن انجام می‌گیرد تا یک روکش ضد آب بر روی ذرات سیمان به وجود آید که در موقع انبار کردن از جذب رطوبت جلوگیری نماید.

استفاده از این سیمان محدود به مواقعی است که شرایط انبار کردن نا مطلوب بوده و یا مدت زمان انبار کردن بیش از سه ماه قبل از مصرف باشد.

در هنگام اختلاط، روکش ضد آب از بین می‌رود و سیمان با آب به طور معمول واکنش نشان داده و هیدراته می‌شود. لیکن در هنگام استفاده از این سیمان باید مدت زمان اختلاط را حداقل به میزان یک دقیقه بیشتر از حد معمول افزایش داد، و حتی المقدور از مخلوط‌کن دستی استفاده نشود.