# فهرست مطالب


مقدمه مؤلفان ..... ۳

فصل ۱: مبانی بتن ..... ۱۱

**۱-۱- مقدمه ..... ۱۱**

**۱-۲- طبقه‌بندی بتن ..... ۱۵**

۱-۲-۱- براساس چگالی ..... ۱۵

۱-۲-۲- براساس مواد چسباننده ..... ۱۶

۱-۲-۳- براساس کاربرد ..... ۱۷

۱-۲-۴- براساس درجه مقاومت ..... ۱۷

۱-۲-۵- براساس روش تولید و اجرا ..... ۱۸

۱-۲-۶- براساس استاندارد ..... ۱۹

**۱-۳- مشخصات ..... ۱۹**

**۱-۴- گریدهای بتن ..... ۲۴**

**۱-۵- مزایا و معایب بتن ..... ۲۷**

۱-۵-۱- مزایای بتن ..... ۲۷

۱-۵-۲- معایب بتن ..... ۲۸

**۱-۶- اجزای بتن ..... ۲۸**

**۱-۷- انواع سیمان ..... ۳۰**

**۱-۸- سنگدانه‌ها ..... ۳۱**

**۱-۹- آب ..... ۳۶**

۱-۹-۱- نسبت آب به مواد سیمانی ..... ۳۷

۱-۹-۲- نقش آب در بتن ..... ۳۸

۱-۹-۳- کیفیت آب اختلاط در بتن ..... ۳۸

۱-۱۰- مواد افزودنی ..... ۳۹

فصل ۲: آب در بتن ..... ۵۱
۲-۱- آب اختلاط برای بتن ..... ۵۱
۲-۲- منابع آب اختلاط ..... ۵۲
۲-۳- قلیاها، کربنات و بی‌کربنات ..... ۵۵
۲-۴- سیمان‌ها ..... ۵۶
۲-۵- سولفات ..... ۵۶
۲-۶- سایر نمک‌های متداول ..... ۵۷
۲-۷- نمک‌های آهن ..... ۵۷
۲-۸- سایر نمک‌های معدنی ..... ۵۷
۲-۹- آب دریا ..... ۵۸
۲-۱۰- آب‌های اسیدی ..... ۵۸
۲-۱۱- آب‌های قلیایی ..... ۵۹
۲-۱۲- آب حاصل از تولید بتن ..... ۶۰
۲-۱۳- فاضلاب صنعتی ..... ۶۱
۲-۱۴- ناخالصی‌های آلی ..... ۶۱

فصل ۳: سیمان‌های پرتلند، مخلوط و سایر سیمان‌های هیدرولیکی ..... ۶۵
۳-۱- مقدمه ..... ۶۵
۳-۲- آغاز یک صنعت ..... ۶۶
۳-۳- تولید سیمان پرتلند ..... ۷۳
۳-۴- انواع سیمان پرتلند ..... ۷۹
۳-۵- سیمان‌های پرتلند هوازا ..... ۸۶
۳-۶- سیمان پرتلند سفید ..... ۸۷
۳-۷- سیمان‌های هیدرولیکی مخلوط ..... ۸۸
۳-۸- سیمان‌های هیدرولیکی ..... ۹۱
۳-۹- سیمان‌های ویژه ..... ۹۵

**۳-۱۰- سیمان‌های بنایی و ملات ۹۵**
**۳-۱۱- سیمان‌های پلاستیک ۹۸**
**۳-۱۲- سیمان‌های ریزدانه آسیاب شده (سیمان‌های فراریز) ۹۹**
**۳-۱۳- سیمان‌های منبسط‌شونده ۱۰۰**
**۳-۱۴- سیمان‌های چاه نفت ۱۰۱**
**۳-۱۵- سیمان‌های دارای افزودنی‌های عملکردی ۱۰۲**
**۳-۱۶- سیمان‌های آب‌گریز ۱۰۲**
**۳-۱۷- سیمان‌های با گیرش تنظیم‌شده ۱۰۲**
۳-۱۷-۱- سیمان‌های ژئوپلیمری ۱۰۳
۳-۱۷-۲- سیمان‌های اترینگایتی ۱۰۳
۳-۱۷-۳- سیمان‌های سخت‌شونده سریع ۱۰۳
۳-۱۷-۴- سیمان آلومینات کلسیم ۱۰۳
۳-۱۷-۵- سیمان فسفات منیزیم ۱۰۴
۳-۱۷-۶- سیمان‌های گوگردی ۱۰۴
**۳-۱۸- انتخاب و تعیین مشخصات سیمان‌ها ۱۰۵**
**۳-۱۹- دسترسی به سیمان ۱۰۶**
**۳-۲۰- کاربردها در آب آشامیدنی ۱۰۷**
**۳-۲۱- مشخصات سیمان کانادایی و اروپایی ۱۰۸**
**۳-۲۲- ترکیبات شیمیایی و هیدراتاسیون سیمان پرتلند ۱۱۰**
**۳-۲۳- آب (تبخیرپذیر و غیرتبخیرپذیر) ۱۱۸**
**۳-۲۴- خواص فیزیکی سیمان ۱۲۱**
**۳-۲۵- سالم بودن (عدم انبساط مخرب) ۱۲۲**
**۳-۲۶- قوام ۱۲۵**
**۳-۲۷- تعیین زمان گیرش ۱۲۶**
**۳-۲۸- سخت‌شدگی زودرس (گیرش کاذب و گیرش ناگهانی) ۱۲۸**
**۳-۲۹- مقاومت فشاری ۱۲۹**
**۳-۳۰- گرمای هیدراتاسیون ۱۳۱**
**۳-۳۱- افت سوختن ۱۳۵**

۳-۳۲- چگالی و چگالی نسبی (وزن مخصوص)..... ۱۳۵
۳-۳۳- چگالی توده‌ای..... ۱۳۷
۳-۳۴- آنالیز حرارتی..... ۱۳۸
۳-۳۵- آنالیز گرماسنجی (TGA)..... ۱۳۹
۳-۳۶- آزمایش مجازی سیمان..... ۱۴۱
۳-۳۷- حمل‌ونقل و بسته‌بندی..... ۱۴۲
۳-۳۸- نگهداری سیمان..... ۱۴۴
۳-۳۹- سیمان داغ..... ۱۴۵

فصل ۴: مبانی بتن..... ۱۴۷
۴-۱- مقدمه..... ۱۴۷
۴-۲- ویژگی‌های سنگدانه‌ها..... ۱۵۲
۴-۳- دانه‌بندی..... ۱۵۳
۴-۴- دانه‌بندی سنگدانه ریز..... ۱۵۸
۴-۵- مدول نرمی..... ۱۶۰
۴-۶- دانه‌بندی سنگدانه درشت..... ۱۶۱
۴-۷- دانه‌بندی ترکیبی سنگدانه‌ها..... ۱۶۴
۴-۸- سنگدانه‌های با دانه‌بندی گسسته..... ۱۶۶
۴-۹- شکل ذرات و بافت سطحی..... ۱۶۷
۴-۱۰- چگالی توده‌ای (وزن واحد حجم) و فضاهای خالی..... ۱۶۹
۴-۱۱- چگالی نسبی (وزن مخصوص ظاهری)..... ۱۷۰
۴-۱۲- چگالی..... ۱۷۱
۴-۱۳- جذب آب و رطوبت سطحی..... ۱۷۱
۴-۱۴- حالت‌های رطوبتی سنگدانه..... ۱۷۱
۴-۱۵- مقادیر معمول جذب و آب آزاد..... ۱۷۲
۴-۱۶- تورم ماسه..... ۱۷۳
۴-۱۷- مقاومت در برابر یخزدگی و ذوب..... ۱۷۴
۴-۱۸- نقش اندازه و نوع حفرات..... ۱۷۵

۴-۱۹- اندازه بحرانی ذره ..... ۱۷۵
۴-۲۰- ترک‌خوردگی ..... ۱۷۶
۴-۲۱- ارزیابی مقاومت سنگدانه در برابر یخزدگی ..... ۱۷۷
۴-۲۲- آزمایش سولفات ..... ۱۷۸
۴-۲۳- آزمایش آزادسازی سریع فشار ..... ۱۷۹
۴-۲۴- خواص تر و خشک شدن ..... ۱۷۹
۴-۲۵- مقاومت سایشی و مقاومت لغزش ..... ۱۸۰
۴-۲۶- مقاومت و جمع‌شدگی ..... ۱۸۱
۴-۲۷- مقاومت در برابر اسید و سایر مواد خورنده ..... ۱۸۲
۴-۲۸- باران اسیدی و آب‌های طبیعی ..... ۱۸۳
۴-۲۹- مقاومت در برابر آتش و خواص حرارتی ..... ۱۸۴
۴-۳۰- مواد بالقوه زیان‌آور در سنگدانه‌ها ..... ۱۸۵
۴-۳۱- واکنش قلیایی- سنگدانه ..... ۱۸۸
۴-۳۲- واکنش قلیایی- سیلیسی ..... ۱۸۹
۴-۳۳- واکنش قلیایی-کربناتی ..... ۱۹۴
۴-۳۴- بهسازی سنگدانه ..... ۱۹۶
۴-۳۵- مدیریت و انبارش سنگدانه‌ها ..... ۱۹۷
۴-۳۶- سنگدانه‌های دریایی ..... ۱۹۹
۴-۳۷- سنگدانه‌های بازیافتی بتن ..... ۲۰۰

فصل ۵: پوزولان‌ها ..... ۲۰۴
۵-۱- مقدمه ..... ۲۰۵
۵-۲- خاکستر بادی ..... ۲۰۸
۵-۳- سرباره ..... ۲۰۹
۵-۴- دوده سیلیسی ..... ۲۱۲
۵-۵- پوزولان‌های طبیعی ..... ۲۱۳
۵-۶- اثرات بر بتن تازه مخلوط شده ..... ۲۱۷
۵-۷- نیاز آبی ..... ۲۱۷

۵-۸- کارایی..... ۲۱۹
۵-۹- آب‌انداختگی و جداشدگی..... ۲۱۹
۵-۱۰- مقدار هوا..... ۲۲۰
۵-۱۱- زمان گیرش..... ۲۲۳
۵-۱۲- قابلیت پرداخت..... ۲۲۴
۵-۱۳- قابلیت پمپ شدن..... ۲۲۵
۵-۱۴- ترک‌خوردگی خمیری..... ۲۲۵
۵-۱۵- عمل‌آوری..... ۲۲۵
۵-۱۶- اثرات بر بتن سخت شده..... ۲۲۶
فهرست مراجع..... ۲۴۱

# فصل ۱

# مبانی بتن

## ۱-۱- مقدمه

بتن از دو جزء خمیر و سنگدانه تشکیل شده است. خمیر شامل سیمان پرتلند و آب بوده و سنگدانه‌ها شامل شن و ماسه است. سنگدانه‌ها در حین سخت شدن، به دلیل واکنش شیمیایی سیمان با آب، به هم چسبیده و ماده‌ای سنگ مانند را ایجاد می‌کنند (شکل ۱-۱).

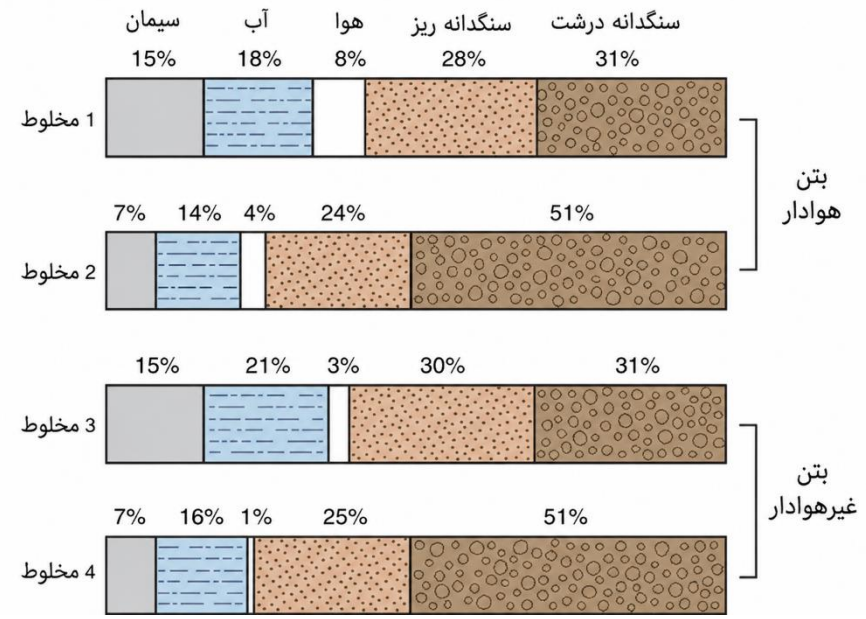


شکل ۱-۱مواد تشکیل‌دهنده بتن (سیمان، آب، سنگدانه ریز و درشت).

از مواد سیمانی مکمل و افزودنی‌های شیمیایی نیز ممکن است در خمیر سیمان استفاده شود. سیمان پرتلند یک سیمان هیدرولیکی سیلیکات کلسیم است که از حرارت دادن هم‌زمان مواد دارای کلسیم، سیلیسیم، آلومینیوم و آهن تولید می‌شود.

سنگدانه‌ها به دو گروه ریز و درشت تقسیم می‌گردند. سنگدانه‌های ریز شامل ماسه طبیعی یا مصنوعی با اندازه ذرات تا ۴/۷۵ میلی‌متر هستند. سنگدانه‌های درشت نیز، ذراتی هستند که بر روی الک ۴/۷۵ میلی‌متر باقی می‌مانند و اندازه آنها تا ۱۵۰ میلی‌متر می‌رسد. عموماً در کارهای متداول بتنی، از سنگدانه با حداکثر اندازه ۲۵ یا ۳۷/۵۰ میلی‌متر استفاده می‌شود. گاهی اوقات از یک سنگدانه با اندازه میانی حدود ۱۵ یا ۱۹ میلی‌متر نیز برای بهبود دانه‌بندی استفاده می‌گردد.

خمیر از مواد سیمانی، آب و هوای محبوس (به طور طبیعی) یا هوای عمدی وارد شده (حباب هوا) تشکیل شده است. تقریباً ۲۵ تا ۴۰ درصد از حجم کل بتن را خمیر تشکیل می‌دهد. شکل ۱-۲ نشان می‌دهد که حجم مطلق سیمان، معمولاً بین ۷ تا ۱۵ درصد و حجم آب بین ۱۴ تا ۲۱ درصد است. میزان هوای موجود در بتن هوادار نیز از حدود ۴ تا ۸ درصد حجم بتن، متغیر است.




شکل ۱-۲ نسبت مواد در بتن برحسب حجم مطلق
(مخلوط ۱ و ۳ با سیمان زیاد – مخلوط ۲ و ۴ با سیمان کم).

شکل ۱-۲- مخلوط ۱ نشان‌دهنده بتن هوادار با مقدار سیمان زیاد است. در این حالت، مقدار ریزدانه (۲۸ درصد) و درشت‌دانه (۳۱ درصد) تقریباً برابر است.

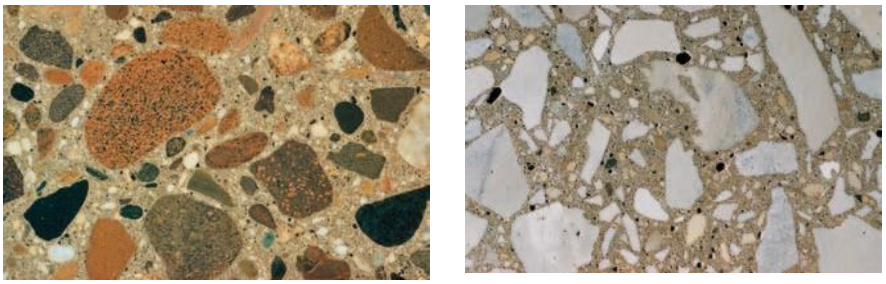
شکل ۱-۲- مخلوط ۲ نشان‌دهنده بتن هوادار با مقدار سیمان کم است. در این حالت، مقدار ریزدانه (۲۴ درصد) کمتر از نصف درشت‌دانه (۵۱ درصد) است.

شکل ۱-۲- مخلوط ۳ نشان‌دهنده بتن بدون حباب هوای با مقدار سیمان زیاد است. در این حالت، مقدار ریزدانه (۳۰ درصد) و درشت‌دانه (۳۱ درصد) تقریباً برابر است.

شکل ۱-۲- مخلوط ۴ نشان‌دهنده بتن بدون حباب هوای با مقدار سیمان کم است. در این حالت، مقدار ریزدانه (۲۵ درصد) کمتر از نصف درشت‌دانه (۵۱ درصد) است.

از آنجا که سنگدانه‌ها حدود ۶۰ تا ۷۵ درصد حجم بتن را تشکیل می‌دهند، لذا انتخاب آنها بسیار مهم است. سنگدانه‌ها باید از مصالح با مقاومت کافی و مقاوم در برابر شرایط محیطی تشکیل شده و نباید حاوی موادی باشند که باعث تخریب بتن گردند.

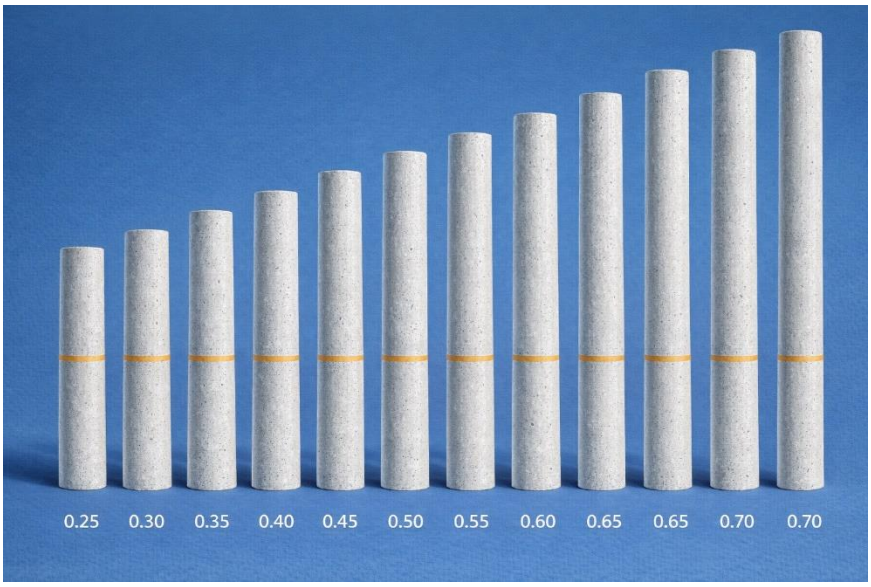
برای استفاده کارآمد از خمیر، داشتن یک دانه‌بندی پیوسته از اندازه سنگدانه، مطلوب است. کیفیت بتن به کیفیت خمیر و سنگدانه و چسبندگی بین آنها بستگی دارد. در بتنِ ساخته شده به شکل صحیح، هر ذره سنگدانه به طور کامل توسط خمیر پوشانده شده و تمام فضای بین ذرات سنگدانه، به طور کامل با خمیر پُر می‌شود. در شکل ۱-۳ دو نوع بتن ساخته شده با شن سیلیسی گردگوشه (سمت چپ) و سنگ آهکی شکسته (سمت راست) نشان داده شده، همان‌طور که مشخص است خمیر سیمان و آب به طور کامل هر ذره سنگدانه را پوشانده و تمام فضای بین ذرات را پر کرده است.



شکل ۱-۳ بتن با شن سیلیسی گردگوشه (سمت چپ) و سنگ آهکی شکسته (سمت راست).

برای هر مجموعه از مواد و شرایط عمل‌آوری، کیفیت بتن سخت شده به شدت تحت تأثیر مقدار آب مصرفی است. در شکل ۱-۴، تعداد ده نمونه از خمیر سیمان با نسبت آب به سیمان ۰/۲۵ تا

۰/۷۰ نشان داده شده است. نوار قائم نشان‌دهنده این است که هر استوانه حاوی مقدار یکسانی سیمان است. افزایش آب، خمیر سیمان را رقیق کرده و منجر به افزایش حجم، کاهش چگالی و کاهش مقاومت می‌شود. آب بیش از نیاز، خمیر سیمان را رقیق می‌کند.




شکل ۱-۴ نمونه خمیر سیمان با نسبت آب به سیمان از ۰/۲۵ تا ۰/۷۰.

کم کردن مصرف آب در بتن دارای مزایای زیادی است. از جمله مزایای کاهش مقدار آب در بتن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- افزایش مقاومت فشاری و خمشی
- کاهش نفوذپذیری و در نتیجه کاهش جذب آب و افزایش آب‌بندی
- افزایش مقاومت در برابر عوامل جوی
- چسبندگی بهتر بین بتن و میلگرد
- کاهش جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن و ترک‌خوردگی
- کاهش تغییرات حجم ناشی از تر و خشک شدن

اگر مخلوط بتن بتواند به‌درستی تراکم یابد، هر چقدر آب کمتری استفاده شود، کیفیت بتن بهتر خواهد بود. مقادیر کمتر آب اختلاط، منجر به مخلوط‌های سفت‌تر شده و با لرزاندن (ویبره)،

می‌توان مخلوط‌های سفت‌تر را به راحتی جای‌دهی کرد. تراکم به همراه لرزاندن، کیفیت بتن را بهبود می‌بخشد.

ویژگی‌های بتن تازه و سخت شده را می‌توان با افزودن مواد افزودنی شیمیایی، معمولاً به صورت مایع، در حین بتن‌ریزی تغییر داد. از مواد افزودنی شیمیایی برای موارد زیر استفاده می‌شود:

- تنظیم زمان گیرش یا سخت شدن
- کاهش نیاز به آب
- افزایش کارایی
- ایجاد عمدی حباب هوا (هواداری)
- تنظیم سایر ویژگی‌های بتن تازه یا سخت شده

پس از انجام مناسب مراحل تناسب‌بندی، بتن‌ریزی، اختلاط، جای‌دهی، تراکم، پرداخت و عمل‌آوری، بتن به ماده‌ای مقاوم، غیرقابل اشتعال، بادوام، مقاوم در برابر سایش و نفوذناپذیر و سخت تبدیل می‌شود که به نگهداری کمی نیاز داشته یا اصلاً نیازی ندارد. علاوه بر این، بتن یک ماده ساختمانی عالی است که از آن می‌توان برای طیف گسترده‌ای از شکل‌ها و رنگ‌ها استفاده نمود.

## ۱-۲- طبقه‌بندی بتن

### ۱-۲-۱- براساس چگالی

بتن براساس چگالی به سه نوع اصلی تقسیم می‌شود:

**بتن با چگالی بالا**

- به بتن‌هایی با چگالی بیش از ۲۶۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب اطلاق می‌شود.
- این نوع بتن معمولاً از سنگدانه‌های سنگین (مانند باریت، براده‌های فولاد، سنگ آهن و غیره) یا سیمان‌های متراکم (مانند سیمان استرانسیوم یا سیمان باریم) ساخته می‌شود.
- به دلیل کاربرد اصلی آن به‌عنوان **"ماده ساختاری ضدتشعشع"** در نیروگاه‌های هسته‌ای به آن **"بتن ضدتشعشع "** نیز گفته می‌شود.

**بتن معمولی**

- چگالی این بتن بین ۲۰۰۰ تا ۲۶۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.

- در آن از سیمان به‌عنوان ماده چسباننده و از ماسه و سنگ‌های طبیعی به‌عنوان سنگدانه استفاده می‌شود.
- این نوع بتن امروزه به‌عنوان استاندارد صنعت، جایگزین بتن‌های سیمانی قدیمی شده است.

**بتن سبک‌وزن**

- به بتن‌هایی با جرم حجمی کمتر از ۱۹۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب گفته می‌شود.
- این بتن معمولاً با استفاده از سنگدانه‌های سبک و متخلخل (مانند رس منبسط شده) یا بتن بدون سنگدانه متخلخل همراه با عامل کف‌زا تولید می‌شود.
- براساس عملکرد و کاربرد، به سه دسته تقسیم می‌گردد:
  - بتن سبک عایق حرارتی
  - بتن سبک سازه‌ای
  - بتن سبک سازه‌ای با عایق‌بندی اضافه

### ۱-۲-۲- براساس مواد چسباننده

مواد چسباننده، بتن را به دو دسته کلی تقسیم می‌کنند:

**بتن با چسباننده معدنی**

این گروه شامل:

- "بتن با چسباننده سیلیکات آهک" (مانند بتن پرتلند)
- "سیستم بتن سیمان پرتلند" (مانند سیمان معمولی، سیمان پرتلند، سیمان سرباره‌ای، سیمان پوزولانی، سیمان خاکستر بادی، بتن سیمان زودگیر و غیره)

همچنین بتن‌های ساخته شده از ترکیبات مختلف:

- "سیمان کلسیم-آلومینا" (شامل سیمان آلومینای بالا، شاتکریت، سیمان آلومینات خالص، بتن سیمان فوق سخت‌شونده و غیره)
- سیمان گچی، سیمان منیزیایی، سولفور، سیلیکات آب‌شیشه (سدیم سیلیکات)، سیمان‌های فلزی و سایر مواد چسباننده.

**بتن با چسباننده آلی**

شامل انواعی مانند:

- بتن آسفالتی
- بتن آغشته به پلیمر
- بتن پلیمر- سیمان
- بتن رزینی

بتن پلیمر- سیمان و بتن پلیمری، زیرمجموعه‌هایی از "بتن کامپوزیتی با چسباننده معدنی- آلی" محسوب می‌شوند.

### ۱-۲-۳- براساس کاربرد

انواع بتن براساس کاربری شامل:

- بتن سازه‌ای
- بتن دریایی
- بتن هیدرولیک
- بتن ضدآب
- بتن راه‌سازی
- بتن جمع‌شوندگی جبران شده
- بتن تزئینی
- بتن مقاوم به حرارت
- بتن مقاوم به اسید
- بتن ضدتشعشع

### ۱-۲-۴- براساس درجه مقاومت

بتن براساس مقاومت فشاری به چهار دسته تقسیم می‌شود:

- بتن کم‌مقاومت (مقاومت $\geq$ ۳۰ مگاپاسکال)
- بتن با مقاومت متوسط (۳۰ تا ۶۰ مگاپاسکال)
- بتن پر مقاومت (مقاومت $\leq$ ۶۰ مگاپاسکال)
- بتن فوق‌مقاوم (مقاومت $\leq$ ۱۰۰ مگاپاسکال)

### ۱-۲-۵- براساس روش تولید و اجرا

انواع بتن براساس روش ساخت و اجرا شامل:

- بتن آماده[۱]
- شاتکریت[۲]
- بتن پمپ شده[۳]
- بتن مهرخورده[۴]
- بتن غلتکی[۵]
- بتن گریز از مرکز[۶]
- بتن خلأ[۷]

همچنین بتن براساس مقدار سیمان مصرفی در هر مترمکعب، به دو نوع تقسیم می‌شود:

- **بتن کم‌سیمان**[۸] **(سیمان کمتر از** ۱۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب)
- **بتن پُر سیمان**[۹] **(سیمان بیشتر از** ۲۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب)

انواع دیگر بتن شامل:

- بتن خاکستر بادی
- بتن الیافی
- بتن سرباره کوره‌های ذوب
- بتن دوده سیلیسی
- بتن سیلیکاتی

---

1- Ready Mix
2- Shotcrete
3- Pumped Concrete
4- Stamped Concrete
5- Roller Compacted Concrete
6- Centrifugal Concrete
7- Vacuum Concrete
8- Lean Concrete
9- Rich Concrete

### ۱-۲-۶- براساس استاندارد

بتن براساس استاندارد به دو دسته اصلی تقسیم می‌شود:

**بتن معمولی**

- بتن معمولی مخلوط‌شده‌تر
- بتن پمپ شده
- بتن زیرآبی

هر یک از این انواع به دو زیرگروه تقسیم می‌شوند:

- بتن با سنگدانه شکسته[۱]
- بتن با سنگدانه گرد[۲]

**بتن مقاوم به یخ‌زدگی**

- بتن نیمه‌خشک
- بتن پمپ شده

هر یک از این انواع نیز به دو زیرگروه تقسیم می‌شوند:

- بتن با سنگدانه شکسته
- بتن با سنگدانه گرد

## ۱-۳- مشخصات

بتن با دو ویژگی کلیدی تعریف می‌شود: **کارایی**[۳] و **دوام**.[۴] این خصوصیات پایه، عملکرد و کیفیت بتن را در کاربردهای مختلف، تعیین می‌کنند.

---

[1]- Gravel Concrete
[2]- Pebble Concrete
[3]- Consistency
[4]- Durability

### ۱. کارایی[1]

- به قابلیت بتن تازه در مخلوط شدن، حمل، ریختن و تراکم‌پذیری بدون جداشدگی اجزا اشاره دارد.
- عوامل مؤثر:
  - نسبت آب به سیمان
  - نوع و دانه‌بندی سنگدانه‌ها
  - استفاده از افزودنی‌ها (مانند روان‌کننده‌ها)
- استانداردهای اندازه‌گیری:
  - آزمایش اسلامپ (Slump Test)
  - آزمایش جریان (Flow Table Test)

### ۲. دوام[2]

- به مقاومت بتن در برابر **شرایط محیطی مخرب** (مانند یخ‌زدگی، خوردگی، نفوذ یون‌های کلرید، واکنش‌های قلیایی- سیلیسی) در طول عمر سازه، اشاره می‌کند.
- عوامل بهبوددهنده دوام:
  - تراکم مناسب (کاهش تخلخل)
  - استفاده از مواد مکمل (مانند دوده سیلیسی)
  - پوشش مناسب میلگردها

### سایر ویژگی‌های مهم بتن:

- **مقاومت فشاری:**[3] معیار اصلی برای سنجش کیفیت بتن (برحسب مگاپاسکال).
- **مقاومت کششی:**[4] معمولاً ۸–۱۵٪ مقاومت فشاری.
- **مدول الاستیسیته:**[5] نشان‌دهنده سفتی بتن تحت بار.

---

1- Consistency
2- Durability
3- Compressive Strength
4- Tensile Strength
5- Elastic Modulus