به نام خدا

بتن سنگین

۱- مقدمه

- امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی ، بتن به یکی از پر مصرف ترین مواد برای تولید و ساخت انواع سازه ها تبدیل شده است.
- بتن با داشتن خواص فیزیکی و مکانیکی متنوع جزء انتخاب های اولیه برای طرح سازه های مختلف با کاربریهای متفاوت مورد بررسی قرار می گیرد .

از لحاظ وزن:

بتن به صورت کلی به سه دسته بتن سبک ، معمولی و بتن سنگین تقسیم می شود که در ادامه به بررسی خواص ،نحوه رفتار و طرح بتن سنگین می پردازیم.

- سولفات باریم: ۳۵۰۰ Kg/m^3
- مگنتیت : ۳۹۰۰ Kg/m^3
- آهن یا سرب: تا ۶۴۰۰ Kg/m^3

جدول ۱- مشخصات انواع سنگدانه‌های مورد استفاده در بتن‌های سنگین

مصالح	توصیف	چگالی	جرم حجمی بتن (kg/m^3)
لیمونیت(Limonite)	سنگ آهن آبدار	۳/۴-۳/۸	۲۸۸۰-۳۱۲۰
ژئوتیت(Geothite)			
باریت(Barite)	سولفات باریم	۴/۰-۴/۴	۳۲۸۰-۳۶۰۰
ایلمنیت(Ilmenite)			
هماتیت(Hematite)	سنگ آهن	۴/۲-۵/۰	۳۴۴۰-۳۸۴۰
مگنتیت(Magnetite)			
فولاد-آهن	ساچمه-گلوله، دَم قیچی و غیره	۶/۵-۷/۵	۴۹۷۰-۵۶۰۰

دلایل اضافه قیمت بتن سنگین

- حفاری معدن
- حمل مصالح
- شکستن دانه بندی مصالح
- هزینه حمل و نقل
- استهلاک سریع دستگاه های سنگ شکن و اختلاط بتن

۲- نقش اصلی بتن سنگین

* ساخت وزنه های تعادلی (بتن های وزنی)
* در موارد نیاز به افزایش بار مرده سازه، (بدون افزایش حجم)

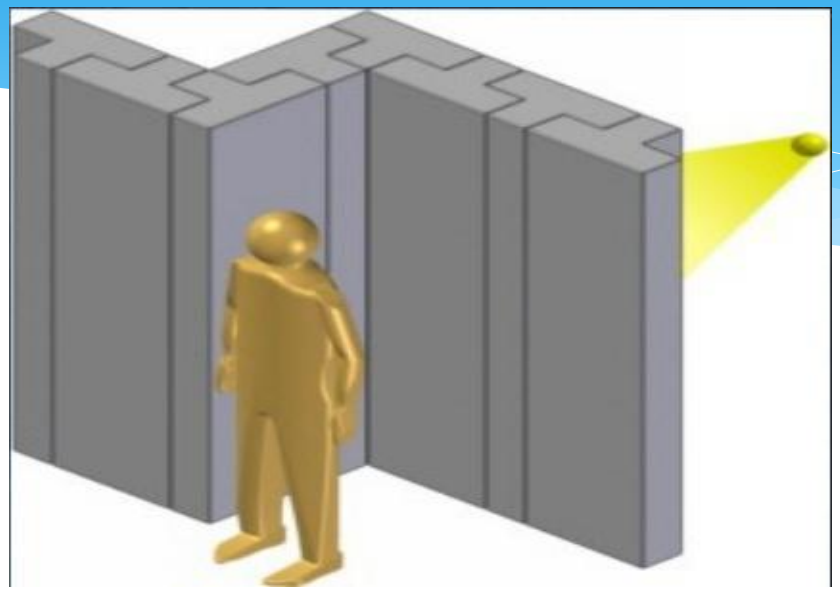
(در مواقعی که در فضای کم به وزن زیادی نیاز داریم)

* جلوگیری از تشعشع اشعه Xو گاما و پرتو های نوترون
* شتاب دهنده های ذرات ، آزمایش های رادیو ایزوتروپ و ...
* تولید سوخت هسته ای و نگهداری زباله های هسته ای

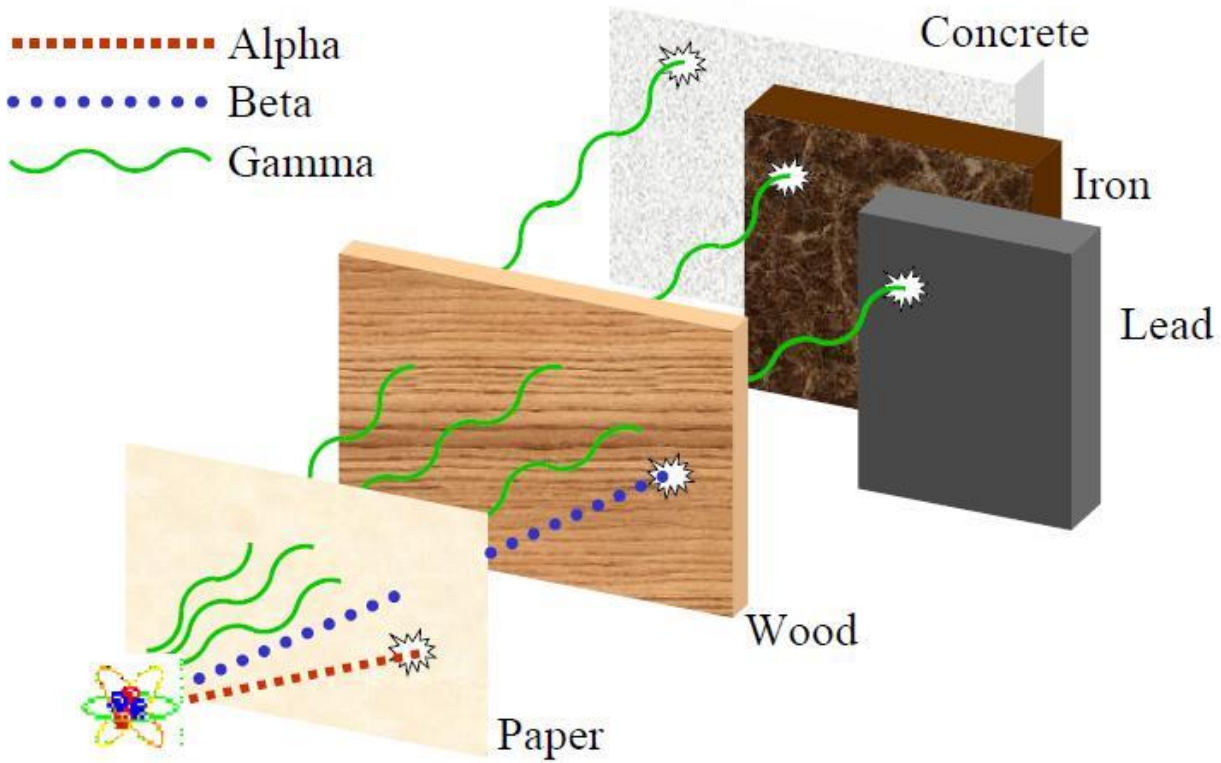
(radiation attenuation)

مکلین و مارتنز(۱۹۶۴) ، شیفر(۱۹۷۳) ،جایگر(۱۹۷۵) ، شیلتون و همکاران(۱۹۸۴) ، کاپلان (۱۹۸۹) ، در کتابهای خود بیان می کنند که بتن سنگین، به عنوان یک ماده بسیار عالی و پر تنوع، به عنوان ماده حفاظتی مورد توجه می باشد و مورد استفاده قرار می گیرد .

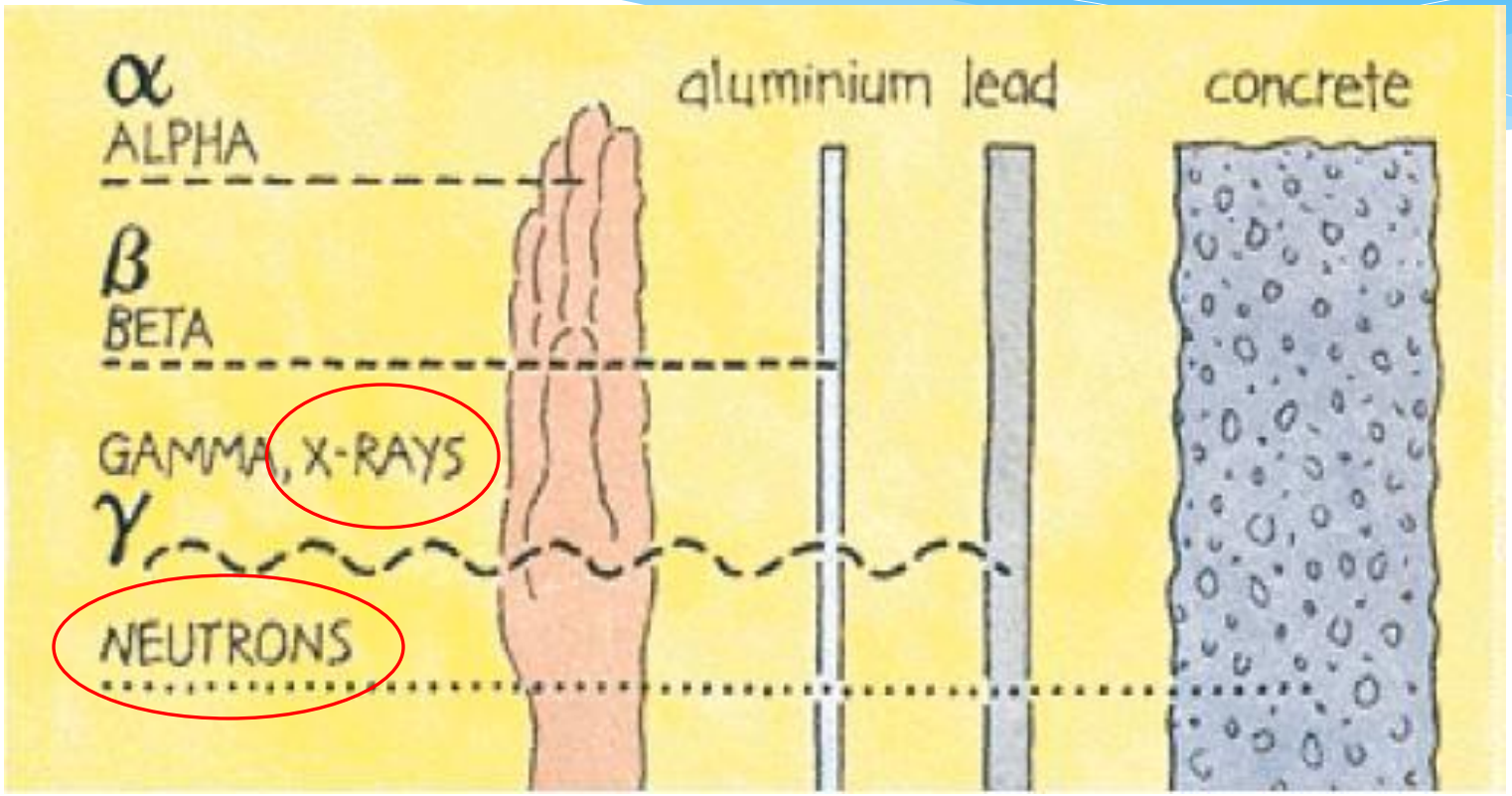
جلوگیری از تشعشع



* سرب
* آهن
* گرافیت
* پلی اتیلن
* بتن (سهولت در ساخت و هزینه کم در ساخت و نگهداری)



[4]


α
ALPHA
β
BETA
GAMMA, X-RAYS
γ
NEUTRONS
aluminium
lead
concrete

[2]

چرا بتن سنگین؟

- ✓ حجم کمتر نسبت به بتن معمولی
- ✓ میزان عبور اشعه کمتر نسبت به بتن معمولی با همان حجم
- ✓ ضریب انبساط حرارتی پایین
- ✓ مقاومت در برابر سایش
- ✓ مدول الاستیسیته بالا
- ✓ تغییر شکل الاستیک و خزش پایین
- ✓ مقاومت فشاری بالا

۲-۱- تعریف بتن سنگین

براساس تعریف ACI Committee 304 بتن سنگین، بتنی است که اساساً دارای وزن مخصوص بزرگتری نسبت به بتن های ساخته شده با سنگدانه های معمولی میباشد و معمولاً با استفاده از سنگدانه های سنگین ساخته شده است.

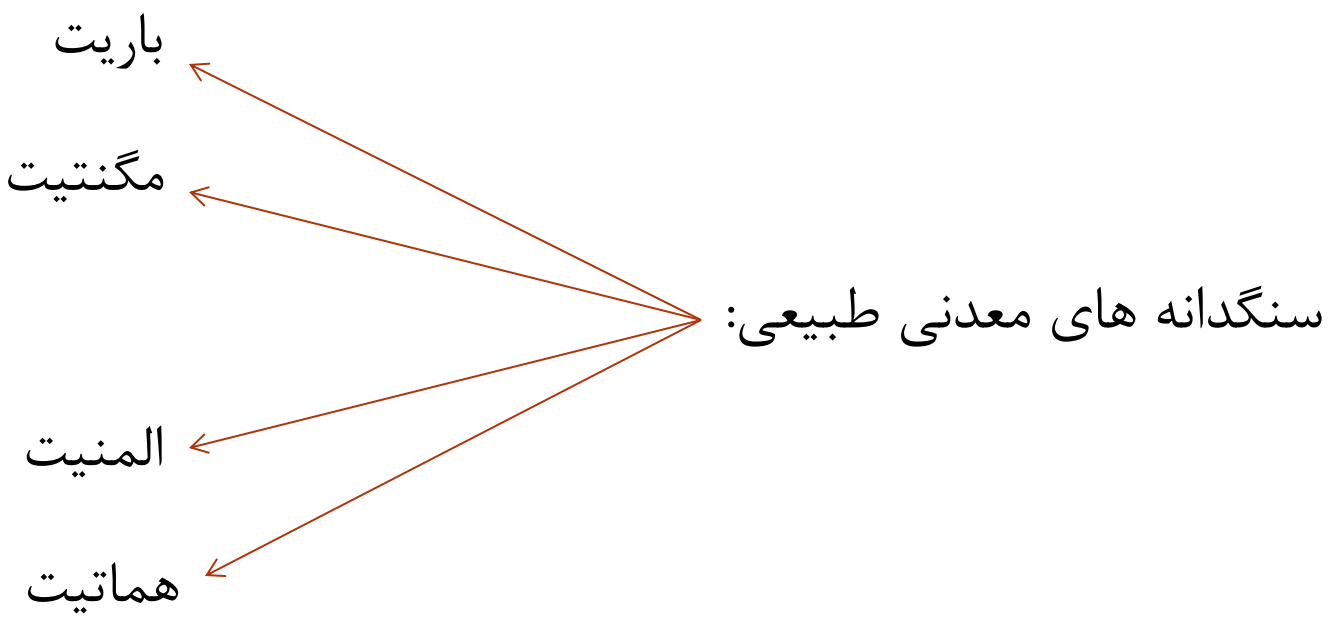
با توجه به این که بتن سنگین به عنوان وزنه های باسکولی نیز مورد استفاده قرار میگیرد اما عمدتا برای حفاظت سازه های تحت تاثیر تشعشات هسته ای استفاده می شود .

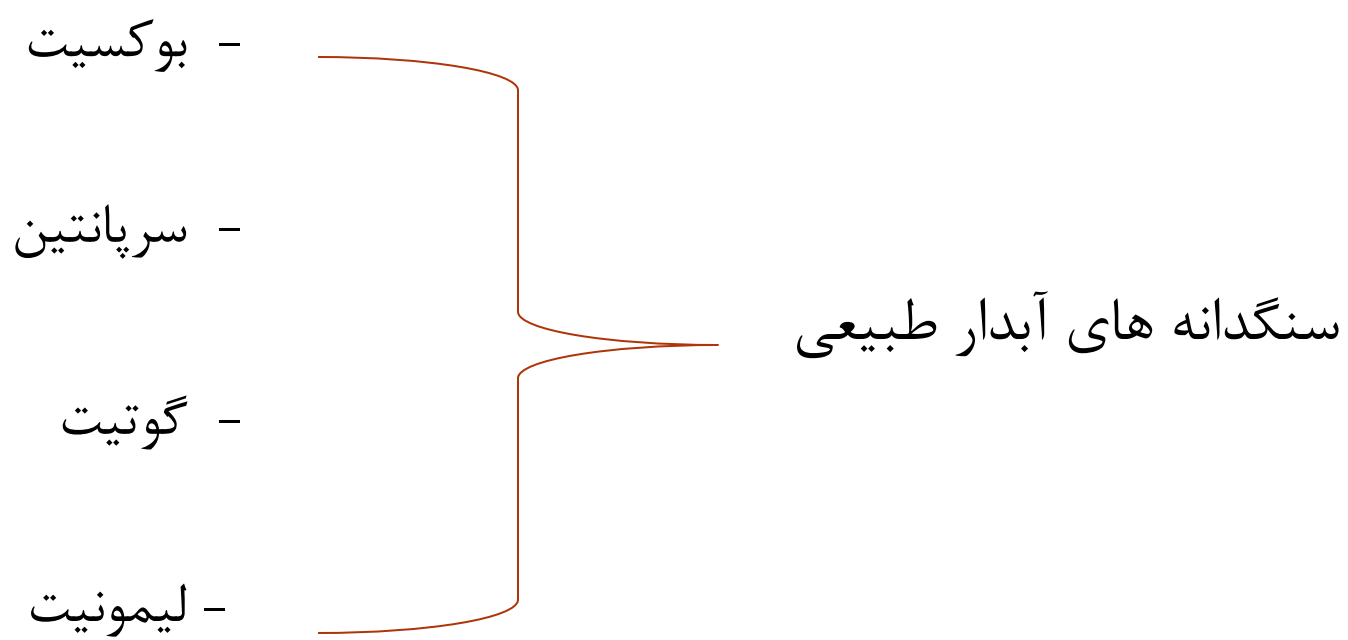
زمانی که بتن سنگین برای جذب اشعه های گاما استفاده میشود، چگالی مصالح از اهمیت ویژه های برخوردار است .

۳- انواع سنگدانه های مورد استفاده در ساخت بتن سنگین

سنگدانه ها معمولاً ، حداقل ۷۵ ٪ حجم بتن را تشکیل می دهند و بنابراین اثر مهمی بر روی خواص آن دارند. همچنین انواع خاصی از سنگدانه ها برای بهبود بخشیدن به خواص تضعیف کنندگی بتن و یا کاهش دادن ضخامت حفاظ های بتنی استفاده میشود .

۳-۱- سنگدانه های معدنی




سنگدانه های آبدار طبیعی
- بوکسیت
- سرپانتین
- گوتیت
- لیمونیت

Typical aggregates

Heavy Aggregate	Composition[§]	Specific Gravity[†]		Percent by weight	
		Coarse pieces	Fine sand	Iron	Fixed water
Ilmenite	Fe, Ti, O, etc.	4.50	4.60	40	0
Limonite-goethite	$2Fe_2O_3$-$3H_2O$	3.45	3.70	55	11
Magnetite	Fe_3O_4, etc.	4.50	4.55	60	1
Magnetite	Hydrous iron	4.30	4.34	60	2-5
Barite	>92 percent $BaSO_4$	4.20	4.24	1-10	0
Barite	>90 percent $BaSO_4$	4.28	4.31	<1	0
Ferrophosphorous[**]	Fe_3P, Fe_2P, Fe	6.30	6.28	70	0
Steel aggregate		7.78		99	0
Iron shot			7.50	99	0

*Source: Reference 4.

[†]Material water-saturated. with its surface drv.

[§]In some instances the composition may be more important than the specific gravity if the aggregate's attenuation characteristics are good.

[**]Ferrophosphorous when used in portland cement concrete will generate flammable and possibly toxic gases that can develop high pressures if confined.

رایج ترین سنگدانه های سنگین مصرفی در ساخت

سپر محافظ در مقابل تشعشع ← مگنیت وایلمنیت می باشد،

در ساخت وزن های تعادلی ← باریت و سنگدانه های فولادی

به کار میروند.

در بعضی موارد ترکیبی از سنگدانه های فوق الذکر مثلا به صورت ترکیب از جنس مگنتیت و ریزدانه ازجنس تراشه های فولادی نیز به کار میرود .

نمونه ای از باریت دلیجان

Elements	Aggregate type			
	Cement	Gravel	Baryte	Ilmenite
TiO_2	0.01	0.02	0.38	21.4
Fe_2O_3	3.0	1.02	0.02	65.74
FeO	0.02	0.5	0.1	0.68
SiO_2	21.5	95.1	0.1	5.86
Al_2O_3	6.1	1.5	1.8	3.52
BaO	0.45	0.05	0.62	0.1
$BaSO_4$	0.1	0.04	90.1	0.05
SiO_3	0.01	0.02	4.8	0.74
CaO	63.5	0.1	0.05	0.2
MgO	3.8	0.2	0.05	0.1
L.O.I.	1.4	0.1	1.90	1.06

ترکیب شیمیایی سیمان، سنگدانه طبیعی، باریت و ایلمینیت

سرب

سرب ، عنصری سنگین ، سمی و چکش خوار است که دارای رنگ خاکستری کدری می باشد. هنگامی که تازه تراشیده شده ، سفید مایل به آبی است، اما در معرض هوا به رنگ خاکستری تیره تبدیل میشود.

ازسرب در سازه های ساختمانی ، خازنهای اسید سرب ، ساچمه و گلوله استفاده شده و نیز بخشی از آلیاژهای لحیم ، پیوتر و آلیاژهای گدازپذیر میباشد.

۴. مشخصات استاندارد ASTM برای سنگدانه های ویژه

بسیاری از مشخصات استاندارد ASTMکه برای سنگدانه های معمولی به کارمی- رود برای سنگدانه های ویژه در ساخت بتن نیز قابل کاربرد است.

ASTM-C9 on Concrete and Concrete Aggregates

ASTM-C638 Standard Descriptive Nomenclature of Constituents of Aggregates for Radiation-Shielding Concrete و

ASTM-C637. Standard Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete1

۵-طرح اختلاط بتن سنگین

- نسبت آب به مواد سیمانی حداقل ۰/۳۷ و حداکثر ۰/۶

- در صورت استفاده از فوق روان کننده، حداکثر تا ۱ درصد

- استفاده از مواد هوازا در صورتی که بتن در برابر سیکل های ذوب و یخبندان شدید قرار ندارد توصیه نمیشود .

- استفاده از خاکستر بادی با توجه به استاندارد ASTM C618

- استفاده از پوزولان طبیعی و ژل میکروسیلیس با توجه به استاندارد ASTM C618

Typical proportions for heavyweight concrete

Conventionally placed concrete

Density (unit weight), lb/ft³ (kg/m³)	Compressive strength, age 3 months psi (MPa)	Cement, lb/ft³ (kg/m³)	Heavy aggregate, lb/ft³ (kg/m³)				Mix water, lb/ft³ (kg/m³)	Water content* lb/ft³ (kg/m³)	
			Fine		Coarse			Minimum	Maximum
300 (4810)	5000 (34.5)	23.5 (376)	Iron shot	195 (3120)			12.0 (192)	3.5 (56)	12.0 (192)
			Magnetite	70 (1120)					
300 (4810)	4870 (33.6)	24.1 (386)	Ferrophospho-rous	92 (1470)	Ferrophospho-rous	171 (2740)	12.7 (203)	3.6 (58)	12.7 (203)
262 (4200)	5350 (36.9)	23.7 (380)	Ferrophospho-rous	70 (1120)	Ferrophospho-rous	70 (1120)	12.8 (205)	3.6 (58)	12.8 (205)
			Barite	35 (560)	Barite	50 (800)			
232 (3720)	6500 (44.8)	24.3 (389)	Magnetite	86 (1380)	Magnetite	110 (1760)	11.5 (184)	5.7 (91)	13.5 (216)
222 (3560)	6000 (41.4)	19.3 (309)	Barite	86 (1380)	Barite	105 (1680)	11.6 (186)	2.9 (46)	11.6 (186)
219 (3510)	6500 (44.8)	24.9 (399)	Hydrous iron ore	82 (1310)	Hydrous iron ore	100 (1600)	12.0 (192)	9.2 (147)	17.5 (280)
190 (3040)	5750 (39.6)	20.9 (335)	Serpentine	50 (800)	Magnetite	106 (1700)	13.0 (208)	9.1 (146)	19.0 (304)

Density (unit weight), lb/ft³ (kg/m³)	Compressive strength, age 3 months psi (MPa)	Cement, lb/ft³ (kg/m³)	Heavy aggregate, lb/ft³ (kg/m³)				Mix water, lb/ft³ (kg/m³)	Water content* lb/ft³ (kg/m³)	
			Fine		Coarse			Minimum	Maximum
Preplaced-aggregate method									
346 (5540)	3000 (207)	20.6 (330)	Magnetite	44 (700)	Punchings	270 (4330)	11.3 (181)	3.5 (56)	11.8 (189)
300 (4810)	5000 (34.5)	19.8 (317)	Magnetite	42 (670)	Magnetite	67 (1070)	10.9 (175)	4.1 (66)	12.0 (192)
					Punchings	160 (2560)			
263 (4210)	6000 (41.4)	22.2 (356)	Limonite	28 (450)	Limonite	60 (960)	12.2 (195)	13.0 (208)	21.9 (351)
					Punchings	140 (2240)			
262 (4200)	4800 (33.1)	19.8 (317)	Magnetite	42 (670)	Magnetite	122 (1950)	10.9 (175)	4.7 (75)	12.6 (202)
					Punchings	67 (1070)			
245 (3920)	— —	19.5 (312)	Serpentine	23 (370)	Serpentine	48 (769)	9.8 (157)	— —	— —
					Punchings	145 (2320)			
244 (3910)	5000 (34.5)	17.5 (280)	Magnetite	37 (590)	Magnetite	180 (2880)	9.7 (155)	4.8 (77)	11.9 (191)
215 (3440)	5000 (34.5)	22.7 (364)	Limonite	29 (460)	Limonite	28 (450)	12.5 (200)	10.9 (175)	20.0 (320)
					Magnetite	122 (1950)			

*Maximum water content is water weight when concrete is wet. Minimum water content is amount left after drying to constant weight at 185 F (85 C). Difference between the maximum water content and the amount of mix water added is the water of crystallization held by the aggregate. The difference between the minimum water content and the water of crystallization is the water retained by the hardened cement paste.

روشهای اختلاط و بتن ریزی

از متداولترین روشهای اختلاط و بتن ریزی بتن سنگین میتوان به موارد زیر اشاره کرد :

۱) روشهای مرسوم : اغلب از روشهای مرسوم اختلاط و بتن ریزی استفاده می شود ، اما باید از اضافه بارکردن مخلوط کن پرهیز کرد ، به ویژه در مورد سنگدانه های بسیار سنگینی همچون ذرات پانچی فولادی اندازه محموله را باید تا حدود ۵۰ ٪ ظرفیت اسمی مخلوط کن کاهش داد .

۲) روشهای سنگدانهٔ پیش آکنده : از این روشها می توان برای ریختن بتن معمولی و سنگین در فضاهای محدود و در اطراف اقلام تو کار استفاده کرد .

بدین ترتیب جداشدگی سنگدانهٔ درشت به ویژه ذرات پانچی و ساچمه های فولادی به حداقل کاهش پیدا می کند. همچنین با این روش جمع شدگی ناشی از خشک شدن کاهش یافته و بتنی با جرم مخصوص و ترکیب یکنواخت ساخته می شود .

مقاومت

۷-۱- مقاومت در برابر حرارت

بررسی آزمایش انجام شده در دپارتمان تشعشعات هسته ای قاهره:

- اندازه آزمونه های مکعبی : ۶۰۰× ۴۰۰ ×۴۰۰ میلی متر
- حداکثر دمای آزمایش ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد
- نرخ افزایش دما ۱۰ درجه سانتیگراد در دقیقه
- مصالح معدنی از نوع دانه بندی خوب

Proportional mix designs of different types of concrete

Type of concrete	Materials used				
	Cement content [kg/m^3 of concrete]	Fine aggregate (<5 mm) [kg/m^3 of concrete]	Coarse aggregate (5–20 mm) [kg/m^3 of concrete]	Mixing water (W/C = 40%) [l/m^3 of concrete]	Super plasticizer (sikament-163) [l/m^3 of concrete]
Gravel	400	750	1125	160	–
Baryte	400	1236	1510	160	1.5
Ilmenite	400	1041	1933	160	2.1

Physical properties of different types of studied concrete

Type of concrete	Physical properties		
	Slump (according to ASTM C-149-90a) [mm]	Density after 28 days [kg/mm^3]	Absorption % after 28 days (ASTM C462-90)
Gravel	100–120	2.35×10^{-6}	3.75
Baryte	50–70	3.25×10^{-6}	2.8
Ilmenite	20–30	3.45×10^{-6}	2.5

Maximum compressive strength (MPa) of different types of concrete at different temperatures (°C)

Type of concrete	Temperature				
	25 °C	250 °C	500 °C	750 °C	950 °C
Gravel	44	36.79	18.2	6.58	0.0
Baryte	47	43.95	28.25	15.0	6.77
Ilmenite	51	47.58	43.2	29.92	13.44

۷-۲- مقاومت فشاری و کارایی

بررسی آزمایش انجام شده در دانشگاه قم :

- اندازه آزمونه های مکعبی : ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰میلی متر
- حداکثر دمای آزمایش ۴۰ درجه سانتیگراد
- بتن ساخته شده با سنگدانه های مگنتیت
- سیمان پرتلند تیپ ۲

نتایج دانه بندی مصالح درشت دانه مصرفی

	اندازه الک	37.5mm	25mm	19mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm
شن با Dmax= 25mm	درصد عبوری	۱۰۰	۹۶	۷۳	٤۸	۳٦	۰
شن با Dmax=12.5mm	درصد عبوری	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۱	٦۰	۰

نتایج دانه بندی مصالح ریز دانه مصرفی

	اندازه الک	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100
ماسه نوع ۱	درصد عبوری	۱۰۰	۹٤	٦٦	٤۰	۱۳	۲.۳
ماسه نوع ۲	درصد عبوری	۱۰۰	۹۰	٦۱	٤۱	۲۲	۲.۳
ماسه نوع ۳	درصد عبوری	۱۰۰	۸۳	٦۳	٤۳	۲٤	۲.۳
ماسه نوع ٤	درصد عبوری	۱۰۰	۸۱	٥٦	٤۷	۳۰	۲.۳

طرح اختلاط برای ماکزیمم اندازه دانه۲۵mm					
شن (kg)	ماسه (kg)	سیمان (kg)	آب (kg)	دانه بندی ماسه	کد طرح
۱۶۱۶	۱۰۷۲	۵۰۵	۲۰۲	نوع ۱	SP 25-1
״	״	״	״	نوع ۲	SP 25-2
״	״	״	״	نوع ۳	SP 25-3
״	״	״	״	نوع ٤	SP 25-4
طرح اختلاط برای ماکزیمم اندازه دانه۱۲.۵ mm					
شن (kg)	ماسه (kg)	سیمان (kg)	آب (kg)	دانه بندی ماسه	کد طرح
۱۳۶۷	۹۹۵	۵۷۵	۲۳۰	نوع ۱	SP 12.5-1
״	״	״	״	نوع ۲	SP 12.5-2
״	״	״	״	نوع ۳	SP 12.5-3
״	״	״	״	نوع ٤	SP 12.6-4

نتایج آزمایشات اسلامپ و مقاومت فشاری

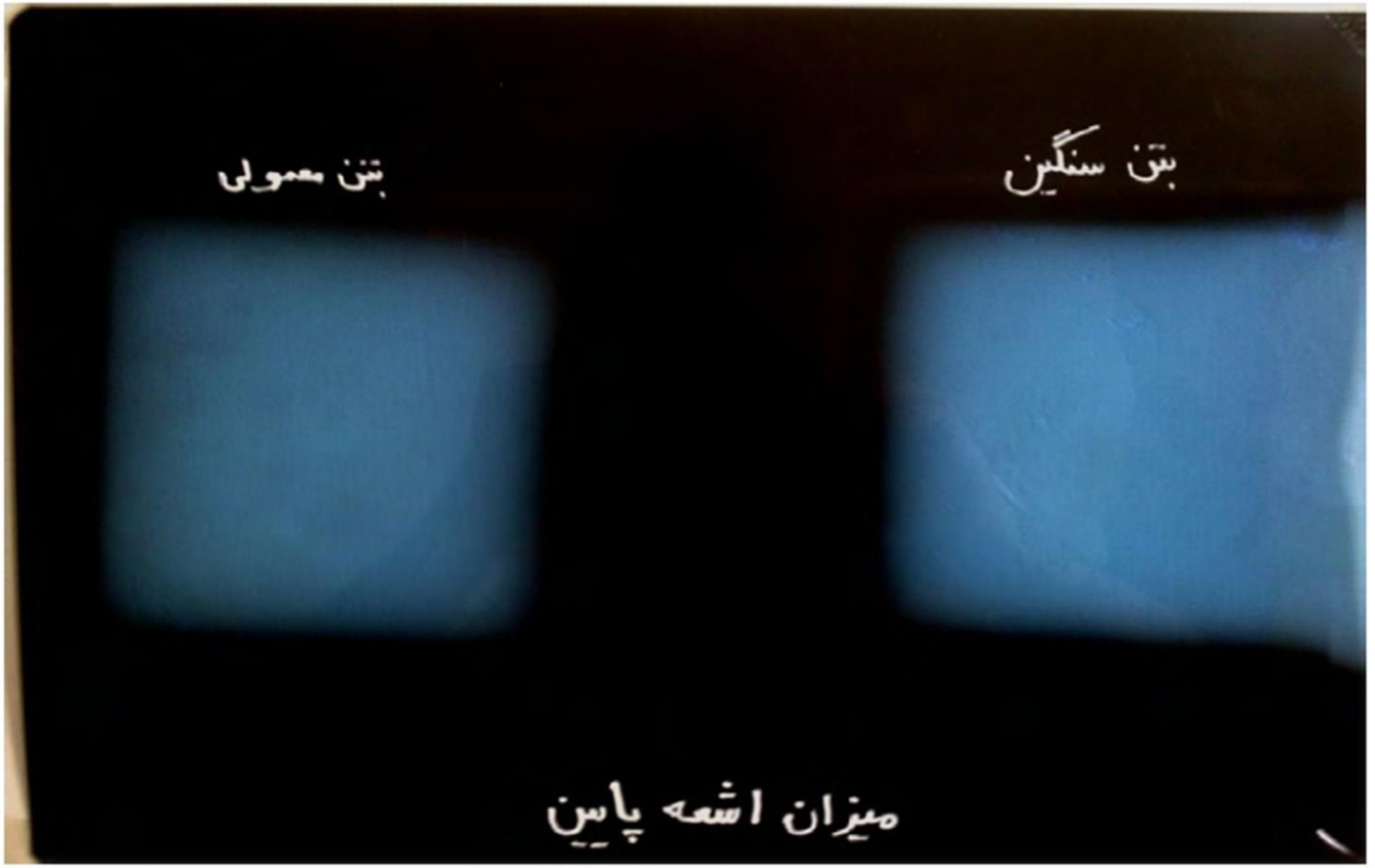
کد طرح	اسلامپ بتن (mm)	مقاومت فشاری kg/cm²		
		۷روزه	۲۸ روزه	٤۲ روزه
SP 25-1	۳۰	۳٤۹	٤٦۳	٤۸۰
SP 25-2	٤۰	۳٦۰	٤۸٦	٤۸۹
SP 25-3	٤٥	۳٦۹	٤۸۹	٤۹۸
SP 25-4	۳۰	۳۸٤	٥۰۳	٥۱٥
SP 12.5-1	٤۰	۳٦۷	٤٦۷	٤۸٤
SP 12.5-2	٤٤	۳۷۲	٤۷۷	٤۸۹
SP 12.5-3	۷۰	۳٦۱	٤۸۳	٤۹۸
SP 12.6-4	٦۰	۳۹۲	٤۹۳	٥۱۰

۷-۳- مقاومت در برابر تشعشعات

بررسی آزمایش انجام شده در دانشگاه امام خمینی :

- اندازه آزمونه های مکعبی : ۱۵۰×۱۵۰× ۱۵۰میلی متر
- نسبت آب به سیمان ۰/۴
- بتن ساخته شده با ذرات پانچی فولاد چربی زدایی شده
- سیمان پرتلند تیپ ۲ با مقامت ملات استاندارد ۳۵۰ kg/cm^2
- وزن مخصوص بتن ۲۷۰۰ kg/m^3

عکس به وسیله اشعه X از نمونه های بتنی با شدت پایین (سمت راست بتن سنگین و سمت چپ بتن معمولی)



عکس به وسیله اشعه X با شدت نسبتا بالا از نمونه های بتنی (سمت راست بتن سنگین و سمت چپ بتن معمولی)

عکس به وسیله اشعه X با شدت بسیار بالا از نمونه های بتنی (سمت راست بتن سنگین و سمت چپ بتن معمولی)

۱- بخشی، نعمت ا...، طراحی و ساخت بتن‌های سنگین و حاوی بور برای حفاظ پرتوهای نوترون و گاما در شتاب دهنده‌های پروتونی، پایان نامه کارشناسی ارشد،(اساتید راهنما دکترعلی مهدوی، دکتر غلامرضا رئیس علی)، (استاد مشاور سرکار خانم ناهید حاجیلو)، دانشگاه مازندران، ۱۳۸۵.

۲- کومار مهتا، پ، مونته ئیرو، ج.م. ، تکنولوژی بتن پیشرفته، رمضانیانپور، علی اکبر، قدوسی، پرویز، گنجیان، اسماعیل، چاپ اول، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، (۱۳۸۳).

3. ACI Committee 211,"standard practice for normal,heavy weight, and mass concrete (ACI 211.1-91)", american concrete institute, (2002).

4. ACI committee 304, "heavy concrete, measuring, mixing, transporting, and placing(ACI 304.3R-96)", Detroit, american concrete institute, (1996).

5. Kaplan, M.F, "concrete radiation shielding", First published, London,Longman, capt (5,6,8,9), (1989).

6. Mclain, S., Martens, J., "on the utilization of heavy concrete for radiation shielding", Annals of Nuclear Energy, Volume 23, Issue3, P.195-206, (1964).

7. Akkurt, I. et al, "The Shielding of y-rays by Concrete Produced with Barite", Progress in Nuclear Energy, Vol. 46, Issue 1, P, 1-11, (2005).

8.Akkurt, I, et al, "Radiation shielding of concretes containing different aggregates", Cement and Concrete composites, Volume 28, Issue 2, P. 153-157, (2006).

9. American Society for Testing and Materials, "Annual Book of ASTM Standards", Signinficance of tests and properties of concrete and concrete making materials, United States, ASTM spesial publication, Vol. 04.01, 04.02, (2002).

10-K. Sakr and E. EL-Hakim “Effect of high temperature or fire on heavy weight concrete properties” Atomic Energy Authority, Hot Laboratory Center, Radiation Protection Department, P.O. Box 135759, Kalubiuah , Cairo-A.R.E., Egypt 2004