

نشریه مهندسی سازه و ساخت (علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

بررسی متغیرهای ضریب تضعیف خطی و مقاومت فشاری بتن سنگین با سنگدانه ی باریتی حاوی پودر بیسموت و پودر میکروسیلیس در برابر اشعه گاما

اشکان سهرابی^۱، رضا فرخ زاد^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

چکیده

در ساخت بتن سنگین به جای سنگدانه معمولی از سنگدانه های سنگین یا خرده های فولاد، چدن و یا سرب استفاده می شود؛ کاربرد اینگونه بتن برای جلوگیری از تشعشع اشعه هایی مانند ایکس و گاما می باشد؛ اصولاً از این نوع بتن در سازه های مربوط به تأسیسات اتمی و بیمارستانها استفاده می شود؛ بتن سنگین، بتنی است که اساساً دارای وزن مخصوص بزرگتری نسبت به بتن های ساخته شده با سنگدانه های معمولی می باشد؛ بتن سنگین معمولاً با استفاده از سنگدانه های سنگین وزن تهیه می گردد و به طور ویژه به عنوان سپر محافظ در مقابل تشعشع به کار می رود؛ وزن مخصوص بتن سنگین حدود ۱/۵ تا ۲/۵ برابر وزن مخصوص بتن معمولی است. در این مقاله هدف، بررسی متغیر ضریب تضعیف خطی و مقاومت فشاری نمونه های مکعبی ساخته شده از بتن سنگین، با ترکیبات سنگدانه معمولی، سنگدانه باریت، پودر فلز بیسموت، پودر میکروسیلیس و افزودنی فوق روان کننده بتن و مقایسه نتایج بدست آمده این نمونه ها با نمونه ی شاهد ساخته شده است. نتایج نشان می دهند که متغیر ضریب تضعیف خطی نمونه های بتنی ساخته شده، مربوط به اشعه گامای چشمه ی سزیم ۱۳۷، رابطه ی مستقیم با درصد ترکیبات استفاده شده در ساخت نمونه ها، یعنی درصد سنگدانه معمولی، سنگدانه باریت، فلز بیسموت و پودر میکروسیلیس دارد، اما در مورد متغیر مقاومت فشاری بتن اینگونه نیست.

کلمات کلیدی: بتن سنگین، ضریب تضعیف خطی، مقاومت فشاری، اشعه گاما، سنگدانه باریت، پودر بیسموت، پودر میکروسیلیس

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/JSCE.2018.100005.1345	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/JSCE.2018.100005.1345	۱۳۹۸/۰۶/۰۱	۱۳۹۶/۱۲/۱۲	۱۳۹۶/۱۲/۱۲	۱۳۹۶/۱۰/۱۸	۱۳۹۶/۰۷/۱۱
				رضا فرخ زاد	*نویسنده مسئول:	
				R.farokhzad@qiau.ac.ir	پست الکترونیکی:	

Investigating the Linear Attenuation Coefficient and Compressive Strength Parameters of Heavy Concrete with Barite Aggregates Containing Bismuth Powder and Microsilica Powder Against Gamma Rays

Ashkan Sohrabi¹, Reza Farokhzad^{2*}

1- M.Sc. Student in Structural Engineering, Faculty of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

2-Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

ABSTRACT

In the production of heavy concrete, instead of typical aggregates, heavy aggregates or steel spalls, cast iron or lead is used; The use of such concrete is to prevent the emission of radiation such as X and gamma; Basically, this kind of concrete is used in structures related to nuclear facilities, and hospitals; Heavy concrete, is a concrete that has a substantially higher specific gravity than concrete with typical aggregates; Heavy concrete is usually produced using heavyweight aggregates and is especially used as a protective shield against radiation; The specific gravity of heavy concrete is about 1.5 to 2.5 times the typical concrete weight. The aim of this paper is to investigate the linear attenuation coefficient and compressive strength parameters of cube samples made from heavy concrete, with typical aggregate, barite aggregate, bismuth powder, microsilica powder, and concrete super-lubricant additive compounds; and compare the results of these samples with built control sample result. The results show that the linear attenuation coefficient parameter of built concrete samples, relates to cesium 137 gamma rays, directly correlates with the percentage of compounds used in the manufacture of samples, ie, the percentage of typical aggregate, barite aggregate, bismuth metal and microsilica powder, but this is not the case with the compressive strength parameter of concrete.

ARTICLE INFO

Received: 03/10/2017

Revised: 08/01/2018

Accepted: 03/03/2018

Keywords:

*Heavy concrete,
Linear attenuation coefficient,
Compressive strength,
Gamma ray,
Barite aggregate,
Bismuth powder,
Microsilica powder.*

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2018.100005.1345

*Corresponding author: Reza Farokhzad

Email address: R.farokhzad@qiau.ac.ir

۱- مقدمه

اثرات مرگبار پرتوهای ساطع شده از چشمه های پرتوزا بر انسان در محیط های آزمایشگاهی مختلف، از جمله آزمایشگاه های تحقیقاتی فیزیک هسته ای، مراکز درمانی، مراکز غنی سازی اورانیوم و بطور کلی کلیه ی مراکز ی کارکنان آن در معرض تابش پرتو قرار دارند، همواره موضوع مهمی بوده است. به همین دلیل از گذشته تا کنون مهندسی علوم فیزیک هسته ای و عمران در ارتباطی نزدیک بر آن بوده اند تا از انعطاف پذیری ماده ی ارزشمند بتن در جهت ساخت سپرهای محافظ در برابر پرتوهای زیان آور استفاده کنند.

در ابتدا از بتن سنگین به منظور افزایش ایمنی ساختمانهای ویژه در برابر لغزش استفاده می کردند. با توسعه انرژی اتمی و به خصوص برای جلوگیری از تابش اشعه های مرگبار مانند نوترون و گاما، که قابلیت نفوذ در اشیاء را دارند، بتن سنگین به عنوان محافظ هسته ای کاربرد پیدا نموده است. مقدار جرم مخصوص و آب مورد نیاز بتن محافظ پرتوگیر معمولاً بر اساس نوع و شدت تابش تعیین می شود. کارایی حفظ بتنی در برابر پرتوهای گاما تقریباً با جرم مخصوص بتن متناسب است. جرم مخصوص بیشتر، حفاظ موثرتری ایجاد میکند. از طرف دیگر حفاظ موثر در برابر تابش نوترونی مستلزم هر دو عامل جرم مخصوص بالا و مقدار آب بالای پس از عمل هیدراتاسیون در بتن است. باریت ($BaSO_4$) متداول ترین دانه بندی برای ساخت بتن سنگین است. مهم ترین عملکرد باریت در حفاظ بتنی تولید بتنی با بیشترین دانسیته و مقاومت سازه ای بالا می باشد. باریت با ویسکوزیته مخصوص بالا می تواند گزینه ی ایده آلی برای استفاده در دانه بندی بتن سنگین باشد [۱]. همچنین طی سالیان متمادی تحقیق در زمینه ی عناصر قابل استفاده در ساخت بتن های سنگین به منظور جذب تشعشعات مضر، عناصر بسیاری قابلیت جذب تشعشع خود را به محققین این امر نشان داده اند. یکی از این عناصر فلز بیسموت می باشد. بیسموت کاربردهای مختلفی در صنعت و علوم مختلف دارد؛ از جمله برای ساخت مواد منفجره، به عنوان مواد ترموکوپل، پاک کننده ها، لحیم کاری، حامی برای سوخت در رآکتورهای اتمی، شیشه، سرامیک، در تولید سوهان، و به عنوان فلزی جاذب انرژی جهت ذخیره ی انرژی های بصورت موج در انواع منابع ذخیره ی انرژی به کار می رود [۲]. بالا بودن جرم مخصوص بتن های سنگین مورد استفاده در حفاظ های تاسیسات هسته ای و مراکز آموزشی، نیز عاملی محرک برای کاهش دادن فضاهای خالی موجود در بتن در اثر هوای عمدی و غیر عمدی در ساخت بتن، و افزایش هرچه بیشتر چگالی بتن ساخته شده است. تاثیر ماده ی میکروسیلیس در انبساط خمیر سیمان و پرکردن فضاهای خالی بتن و افزایش چگالی در علوم مهندسی عمران از دیرباز مورد توجه مهندسی این رشته بوده است، تا با جایگزین نمودن درصدی از این ماده به جای سیمان مصرفی در طرح اختلاط بتن، بتنی یکپارچه و بدون خلل و فرج با مقاومت بالا را تهیه سازند [۳].

در طرح اختلاط عوامل موثر بر ضریب میرایی γ -ray و مقاومت بتن معمولی و بتن سنگین مطالعاتی انجام شده است. نتایج نشان می دهند که استفاده از مصالح باریت ضریب میرایی را به میزان ۳۰٪ افزایش می دهد. همچنین در مقایسه مقاومت فشاری بتن معمولی ساخته شده با مصالح سنگ آهک و بتن سنگین ساخته شده با مصالح باریت، نتایج بیانگر این است که در نسبت های آب به سیمان بالا مقاومت فشاری هردو بتن بسیار به یکدیگر نزدیک است؛ اما در نسبت های آب به سیمان پایین، مقاومت فشاری بتن معمولی بالاتر از بتن سنگین می باشد [۴]. خواص محافظ اشعه گاما در بتن ساخته شده با مصالح باریت در انرژی های مختلف بررسی شده اند. مقایسه نتایج نشان می دهد که محافظت در برابر اشعه گاما در بتن باریتی ساخته شده با نسبت آب به سیمان پایین، نسبت به مواد استاندارد سربی ۲۰٪ افزایش داشته و آلودگی زیست محیطی آن در برابر مواد سربی محافظ نزدیک به صفر می باشد [۵]. اثر فلز سرب به عنوان یک ماده افزودنی در مقاومت و پایداری بتن نشان می دهد که بتن، برای اینکه بتواند به عنوان یک سپر در مقابل تشعشعات هسته ای به کار گرفته شود، باید دارای ویژگی های خاصی از جمله چگالی بالا باشد. با مقایسه اطلاعات به دست آمده از نمونه های بتن با سرب و بدون سرب، مشاهده شد که، اگر پودر سرب به نسبت ۹۰٪ وزن سیمان در مخلوط بتن اضافه شود، بتن را می توان به عنوان یک سپر مناسب در مقابل اشعه گاما استفاده نمود، اما از آلودگی سرب موجود در بتن که خود به عنوان یک آلاینده ی زیست محیطی است نباید غافل بود [۶]. در این پژوهش با مطالعه ی تحقیقات انجام شده، تصمیم بر این شده است تا با استفاده از درصد های مختلف سنگدانه ی باریت، جایگزین سنگدانه ی معمولی، درصد های مختلف پودر فلز بیسموت، جایگزین ریزدانه، درصد های مختلف پودر میکروسیلیس و افزودنی فوق روان کننده بتن، نمونه های

مکعبی ۱۵*۱۵*۱۵ سانتی متری ساخته شوند. سپس در سن ۲۸ روزه بتن، افزایش یا کاهش پارامتر ضریب تضعیف خطی (μ) و مقاومت فشاری بتن نسبت به نمونه ی شاهد، برحسب درصدهای مختلف ترکیبات استفاده شده را گزارش و تفسیر گردد.

۲- برنامه ی آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح مصرفی

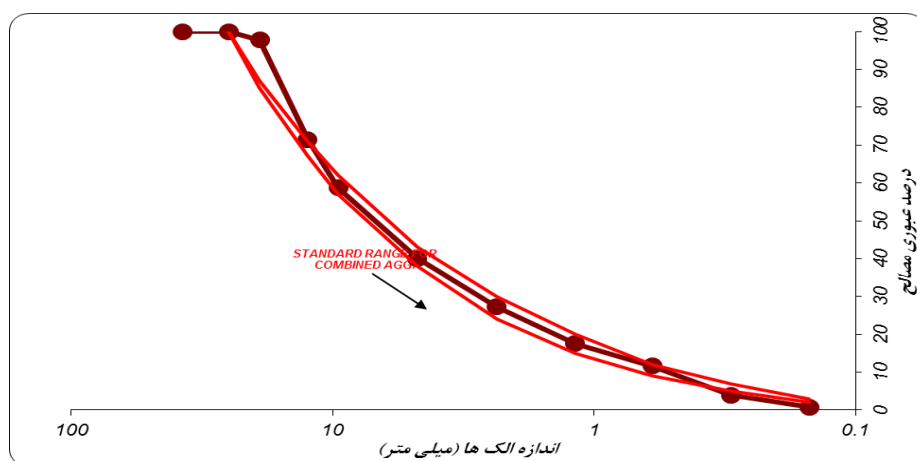
برای ساخت نمونه ها، سنگدانه معمولی درشت دانه و ریزدانه از نوع رودخانه ای، از معدن ۶۶ کردان کرج، و سنگدانه سنگین باریت بصورت شکسته، از معدن طبس مشهد استفاده شده است. پودر فلز بیسموت بکار رفته با خلوص ۹۹/۹ درصد می باشد. پودر میکروسیلیس و افزودنی فوق روان کننده بتن استفاده شده، ساخت شرکت نامیکاران قزوین، و سیمان مصرفی، سیمان پرتلند تیپ ۲ کارخانه سیمان آبیگ قزوین می باشند.

۲-۲- آزمایش های مورد نیاز طرح اختلاط

۲-۲-۱- آزمایش دانه بندی سنگدانه ها

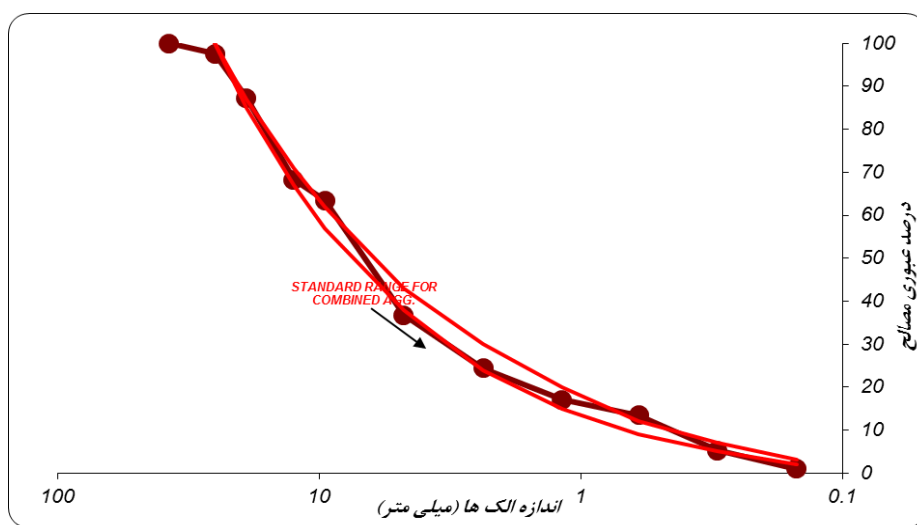
در ابتدا آزمایش های مربوط به دانه بندی سنگدانه معمولی و باریت به منظور یکسان نمودن ترکیب دانه بندی سنگدانه ها در نمونه های مختلف به شرح ذیل انجام گردید [۷]:

شایان ذکر است که با مراجعه به طرح ملی مخلوط ایران، توصیه های مربوط در خصوص نحوه ساخت بتن سنگین و طبیعت این نوع از بتن، از منحنی های دانه بندی درشت بافت در ساخت نمونه ها استفاده گردیده است. با بررسی پوش نواحی دانه بندی پیشنهادی که مشتمل بر ۴ ناحیه می باشد، از پوش منحنی دانه بندی ناحیه ۲ که دانه بندی یک بتن درشت بافت قابل پمپ است، استفاده گردید [۸]. لازم به توضیح است که تمامی آزمایشات انجام گرفته بر روی مصالح بر اساس استانداردهای ASTM انجام گردیده است [۹]. طبق روش انجام آزمایش ASTM C136-84a، ۵ کیلوگرم از سنگدانه های معمولی و باریت دانه بندی گردید [۹]. پس از انجام آزمایش دانه بندی سنگدانه معمولی با نمره الک های استاندارد ASTM C136-84a، مشاهده شد که سنگدانه معمولی در فاصله الک های نمره ۳/۸ و ۴ انفصال دانه بندی دارد. بنابراین با انجام آزمون و خطا در تکرار دانه بندی، و اضافه نمودن شن نخودی با درصدهای مختلف به درشت دانه و ریز دانه، اصلاح دانه بندی برای قرار گرفتن منحنی دانه بندی در پوش مورد نظر انجام شد. نتایج به شرح شکل ۱ بدست آمد.



شکل ۱: منحنی دانه بندی سنگدانه ی معمولی بعد از اصلاح دانه بندی

با انجام همین مراحل برای سنگدانه باریت، و تکرار در ترکیب های مختلف درشت دانه و ریز دانه باریتی، دانه بندی مطلوب به شرح شکل ۲ حاصل گردید.



شکل ۲: منحنی دانه بندی سنگدانه باریتی بعد از اصلاح دانه بندی

بدین ترتیب با قرار گیری منحنی های دانه بندی هر دو نوع سنگدانه در پوش منحنی مورد نظر، این اطمینان حاصل گردید که ترکیب آنها نیز در پوش منحنی قرار خواهد گرفت. پس می توان یکسان بودن دانه بندی در تمامی نمونه ها را فراهم ساخت.

۲-۲-۲- آزمایش ارزش ماسه ای (SE)

- آزمایش ارزش ماسه ای (SE) بر اساس استاندارد ASTM D2419-87 برای ریزدانه ی معمولی و ریزدانه ی باریتی انجام شد که پس از انجام آزمایش نتایج به شرح جدول ۱ بدست آمد [۹].

جدول ۱: آزمایش ارزش ماسه ای

نتایج	آزمایش ارزش ماسه ای
۸۰ درصد	سنگدانه ی معمولی
۷۰ درصد	سنگدانه ی باریتی

با توجه به پایین بودن ارزش ماسه ای ریزدانه ی باریت، به دلیل وجود خاکی زیاد اقدام به شست و شوی مختصر مصالح گردید. پس از جدا نمودن خاکی مصالح آزمایش مجدداً تکرار شد. در نتیجه SE بدست آمده به ۸۰ درصد افزایش پیدا کرد. طبق دستور العمل ASTM که ریزدانه با SE بزرگتر یا مساوی ۷۵ درصد قابل استفاده در بتن می باشد، هر دو ریزدانه بصورت جداگانه، و در ترکیب با یکدیگر نیز، قابلیت استفاده در ساخت نمونه ها را پیدا نمودند [۹].

۲-۲-۳- آزمایش لس آنجلس

آزمایش لس آنجلس طبق استاندارد ASTM C131-89 بر روی درشت دانه ی معمولی و باریتی اعمال گردید که نتایج به شرح جدول ۲ بدست آمد [۹].

جدول ۲: آزمایش لس آنجلس

نتایج	آزمایش لس آنجلس
۱۸,۵۵ درصد	مصالح از دست رفته سنگدانه ی معمولی
۹۸ درصد	مصالح از دست رفته سنگدانه ی باریتی

قابل توجه این که وزن مصالح استفاده شده طبق روش ASTM C131-89 برای هر دو نوع سنگدانه ۵ کیلوگرم و تعداد گلوله ی های سربی استفاده شده ۱۲ عدد می باشد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص است که سنگدانه ی باریتی، هیچ گونه مقاومتی در برابر ضربه و سایش ندارد و براحتی تبدیل به خاکه می گردد. اما سنگدانه ی معمولی استفاده شده مقاومت معقولی در برابر ضربه و سایش در طی آزمایش از خود نشان داده است.

۲-۲-۴- آزمایش درصد شکستگی سنگدانه

آزمایش درصد شکستگی برای سنگدانه های مورد استفاده طبق استاندارد ASTM-D5821- 2001 می باشد، که نتایج به شرح جدول ۳ بدست آمده است [۹].

جدول ۳: آزمایش درصد شکستگی سنگدانه ها

نتایج	آزمایش درصد شکستگی
٪۷۹	درصد شکستگی درشت دانه ی معمولی
٪۹۲	درصد شکستگی ریزدانه ی معمولی
٪۶۹,۲	درصد شکستگی درشت دانه ی باریتی
٪۹۵	درصد شکستگی ریزدانه ی باریتی

۲-۲-۵- آزمایش چگالی و درصد جذب آب

آزمایش چگالی و درصد جذب آب برای هر دو نوع سنگدانه بر اساس استانداردهای ASTM-C128-88 و ASTM-C127-88 انجام گردید که نتایج آن در جدول ۴ ارائه گردیده است [۹].

جدول ۴: چگالی و درصد جذب آب سنگدانه های معمولی و باریتی

درصد جذب آب	چگالی ظاهری	چگالی فضایی (اشباع با سطح خشک)	چگالی فضایی (خشک)	نوع سنگدانه
۱,۶۹	۲,۵۸	۲,۵۲	۲,۴۸	درشت دانه معمولی
۰,۳	۴,۲	۴,۱۶	۴,۱۵	درشت دانه باریتی
۴,۴۹	۲,۴۸	۲,۳۳	۲,۲۳	ریز دانه معمولی
۲,۵۸	۴,۱۷	۴,۱۷	۴,۰۶	ریز دانه باریتی

۲-۲-۶- آزمایش وزن مخصوص توده ای

آزمایش وزن مخصوص توده ای بر روی هر دو نوع سنگدانه طبق ASTM C29/C29M-90 انجام شد و نتایج به شرح جدول ۵ بدست آمد [۹].

جدول ۵: آزمایش وزن مخصوص توده ای سنگدانه ها

آزمایش وزن مخصوص توده ای	نتایج (kg/m ³)
درشت دانه ی معمولی	1531
ریزدانه ی معمولی	1713
درشت دانه ی باریتی	2685
ریزدانه ی باریتی	3111

۲-۲-۷- آزمایش چگالی ذرات سیمان و میکروسیلیس

آزمایش های دیگر صورت گرفته آزمایش چگالی ذرات سیمان و چگالی ذرات میکروسیلیس، طبق استاندارد ASTM C188-89 بود، که چگالی ذرات سیمان ۳,۰۸ گرم بر سانتی متر مکعب، و چگالی ذرات میکروسیلیس ۲۵۰ گرم بر سانتی متر مکعب بدست آمد.

۲-۳- طرح اختلاط

پس از جمع بندی نتایج آزمایشات، طرح اختلاط هر نمونه به روش طرح ملی مخلوط ایران تهیه شد. میزان ترکیبات سنگدانه ی باریتی، جایگزین سنگدانه ی معمولی با درصدهای ۰,۲۵,۵۰,۷۵,۱۰۰ می باشد. پودر فلز بیسموت با درصدهای ۰,۱۵,۱۰,۵,۰ در نمونه ها استفاده و، پودر میکروسیلیس با درصدهای ۰,۴,۷، بر حسب وزن سیمان مصرفی، منظور گردیده است. شایان ذکر است که در جدول ۷ واحد تمامی ترکیبات استفاده شده بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب می باشد.

نسبت آب به سیمان در تمامی نمونه ها به میزان ثابت ۰,۴ در نظر گرفته شده، و پودر فلز بیسموت اضافه شده در نمونه ها، بصورت درصد وزنی سیمان جایگزین ریزدانه موجود در نمونه می باشد. حداکثر اندازه ی سنگدانه ها ۱۹ میلی متر منظور گردیده است. همچنین تعداد نمونه ها با جایگشت درصد های مختلف ترکیبات استفاده شده به تعداد ۶۰ نمونه رسید. در نام گذاری طرح های اختلاط، از علائم اختصاری برای معرفی نمونه ها استفاده شد. در اول نام نمونه، Ba علامت اختصاری باریت و عدد بعد از آن درصد استفاده از باریت را معرفی می کند. سپس Bi علامت اختصاری فلز بیسموت، و عدد بعد از آن درصد استفاده از بیسموت را بیان می نماید. در آخر Mi علامت اختصاری پودر میکروسیلیس، و عدد بعد از آن درصد استفاده از میکروسیلیس را مطرح می سازد. به عنوان مثال نمونه ی Ba25Bi15Mi7 است که، در آن ۲۵ درصد سنگدانه ها باریتی و ۷۵ درصد بصورت معمولی می باشند. درصد بیسموت استفاده شده ۱۵ درصد بر حسب وزن سیمان استفاده شده در نمونه، و جایگزین ماسه است. میکروسیلیس، ۷ درصد، بر حسب وزن سیمان استفاده شده می باشد.

جدول ۶: طرح اختلاط نمونه های ساخته شده

ردیف	نام طرح	سیمان	آب	سنگدانه معمولی	سنگدانه باریتی	پودر فلز بیسموت	پودر میکروسیلیس	روان کننده
۱	Ba0Bi0Mi0	۳۵۰	۱۸۴	۱۷۳۹	۰	۰	۰	۳/۳
۲	Ba0Bi0Mi4	۳۳۶	۱۸۴	۱۷۴۸	۰	۰	۱۴	۴/۳
۳	Ba0Bi0Mi7	۳۲۶	۱۸۴	۱۷۵۵	۰	۰	۲۵	۴/۹
۴	Ba0Bi5Mi0	۳۵۰	۱۸۴	۱۷۳۹	۰	۱۷/۵	۰	۳/۳
۵	Ba0Bi5Mi4	۳۳۶	۱۸۴	۱۷۴۸	۰	۱۶/۸	۱۴	۴/۳
۶	Ba0Bi5Mi7	۳۲۶	۱۸۴	۱۷۵۵	۰	۱۶/۳	۲۵	۴/۹
۷	Ba0Bi10Mi0	۳۵۰	۱۸۴	۱۷۳۹	۰	۳۵	۰	۳/۳
۸	Ba0Bi10Mi4	۳۳۶	۱۸۴	۱۷۴۸	۰	۳۳/۶	۱۴	۴/۳
۹	Ba0Bi10Mi7	۳۲۶	۱۸۴	۱۷۵۵	۰	۳۲/۶	۲۵	۴/۹
۱۰	Ba0Bi15Mi0	۳۵۰	۱۸۴	۱۷۳۹	۰	۵۲/۵	۰	۳/۳
۱۱	Ba0Bi15Mi4	۳۳۶	۱۸۴	۱۷۴۸	۰	۵۰/۴	۱۴	۴/۳
۱۲	Ba0Bi15Mi7	۳۲۶	۱۸۴	۱۷۵۵	۰	۴۸/۹	۲۵	۴/۹
۱۳	Ba25Bi0Mi0	۳۵۰	۱۸۱	۱۳۰۵	۷۴۹	۰	۰	۳/۳
۱۴	Ba25Bi0Mi4	۳۳۶	۱۸۱	۱۳۱۱	۷۵۳	۰	۱۴	۴/۳

ادامه جدول ۶:

ردیف	نام طرح	سیمان	آب	سنگدانه معمولی	سنگدانه باریتی	پودر فلز بیسموت	پودر میکروسیلیس	روان کننده
۱۵	Ba25Bi0Mi7	۳۲۶	۱۸۲	۱۳۱۶	۷۵۵	۰	۲۵	۴/۸
۱۶	Ba25Bi5Mi0	۳۵۰	۱۸۱	۱۳۰۵	۷۴۹	۱۷/۵	۰	۳/۳
۱۷	Ba25Bi5Mi4	۳۳۶	۱۸۱	۱۳۱۱	۷۵۳	۱۶/۸	۱۴	۴/۲
۱۸	Ba25Bi5Mi7	۳۲۶	۱۸۲	۱۳۱۶	۷۵۵	۱۶/۳	۲۵	۴/۸
۱۹	Ba25Bi10Mi0	۳۵۰	۱۸۱	۱۳۰۵	۷۴۹	۳۵	۰	۳/۳
۲۰	Ba25Bi10Mi4	۳۳۶	۱۸۱	۱۳۱۱	۷۵۳	۳۳/۶	۱۴	۴/۲
۲۷	Ba50Bi0Mi7	۳۲۶	۱۷۹	۸۷۸	۱۵۱۱	۰	۲۵	۴/۸
۲۸	Ba50Bi5Mi0	۳۵۰	۱۷۸	۸۷۰	۱۴۹۸	۱۷/۵	۰	۳/۲
۲۹	Ba50Bi5Mi4	۳۳۶	۱۷۹	۸۷۴	۱۵۰۵	۱۶/۸	۱۴	۴/۱
۳۰	Ba50Bi5Mi7	۳۲۶	۱۷۹	۸۷۸	۱۵۱۱	۱۶/۳	۲۵	۴/۸
۳۱	Ba50Bi10Mi0	۳۵۰	۱۷۸	۸۷۰	۱۴۹۸	۳۵	۰	۳/۲
۳۲	Ba50Bi10Mi4	۳۳۶	۱۷۹	۸۷۴	۱۵۰۵	۳۳/۶	۱۴	۴/۱
۳۳	Ba50Bi10Mi7	۳۲۶	۱۷۹	۸۷۸	۱۵۱۱	۳۲/۶	۲۵	۴/۸
۳۴	Ba50Bi15Mi0	۳۵۰	۱۷۸	۸۷۰	۱۴۹۸	۵۲/۵	۰	۳/۲
۳۵	Ba50Bi15Mi4	۳۳۶	۱۷۹	۸۷۴	۱۵۰۵	۵۰/۴	۱۴	۴/۱
۳۶	Ba50Bi15Mi7	۳۲۶	۱۷۹	۸۷۸	۱۵۱۱	۴۸/۹	۲۵	۴/۸
۳۷	Ba75Bi0Mi0	۳۵۰	۱۷۶	۴۳۷	۲۲۵۹	۰	۰	۳/۱
۳۸	Ba75Bi0Mi4	۳۳۶	۱۷۶	۴۳۹	۲۲۷۰	۰	۱۴	۴/۱
۳۹	Ba75Bi0Mi7	۳۲۶	۱۷۶	۴۴۱	۲۲۷۹	۰	۲۵	۴/۷
۴۰	Ba75Bi5Mi0	۳۵۰	۱۷۶	۴۳۷	۲۲۵۹	۱۷/۵	۰	۳/۱
۴۱	Ba75Bi5Mi4	۳۳۶	۱۷۶	۴۳۹	۲۲۷۰	۱۶/۸	۱۴	۴/۱
۴۲	Ba75Bi5Mi7	۳۲۶	۱۷۶	۴۴۱	۲۲۷۹	۱۶/۳	۲۵	۴/۷
۴۳	Ba75Bi10Mi0	۳۵۰	۱۷۶	۴۳۷	۲۲۵۹	۳۵	۰	۳/۱
۴۴	Ba75Bi10Mi4	۳۳۶	۱۷۶	۴۳۹	۲۲۷۰	۳۳/۶	۱۴	۴/۱
۴۵	Ba75Bi10Mi7	۳۲۶	۱۷۶	۴۴۱	۲۲۷۹	۳۲/۶	۲۵	۴/۷
۴۶	Ba75Bi15Mi0	۳۵۰	۱۷۶	۴۳۷	۲۲۵۹	۵۲/۵	۰	۳/۱
۴۷	Ba75Bi15Mi4	۳۳۶	۱۷۶	۴۳۹	۲۲۷۰	۵۰/۴	۱۴	۴/۱
۴۸	Ba75Bi15Mi7	۳۲۶	۱۷۶	۴۴۱	۲۲۷۹	۴۸/۹	۲۵	۴/۷
۴۹	Ba100Bi0Mi0	۳۵۰	۱۷۳	۰	۳۰۱۲	۰	۰	۳
۵۰	Ba100Bi0Mi4	۳۳۶	۱۷۳	۰	۳۰۲۷	۰	۱۴	۴
۵۱	Ba100Bi0Mi7	۳۲۶	۱۷۳	۰	۳۰۳۹	۰	۲۵	۴/۶
۵۲	Ba100Bi5Mi0	۳۵۰	۱۷۳	۰	۳۰۱۲	۱۷/۵	۰	۳
۵۳	Ba100Bi5Mi4	۳۳۶	۱۷۳	۰	۳۰۲۷	۱۶/۸	۱۴	۴
۵۴	Ba100Bi5Mi7	۳۲۶	۱۷۳	۰	۳۰۳۹	۱۶/۳	۲۵	۴/۶
۵۵	Ba100Bi10Mi0	۳۵۰	۱۷۳	۰	۳۰۱۲	۳۵	۰	۳
۵۶	Ba100Bi10Mi4	۳۳۶	۱۷۳	۰	۳۰۲۷	۳۳/۶	۱۴	۴
۵۷	Ba100Bi10Mi7	۳۲۶	۱۷۳	۰	۳۰۳۹	۳۲/۶	۲۵	۴/۶
۵۸	Ba100Bi15Mi0	۳۵۰	۱۷۳	۰	۳۰۱۲	۵۲/۵	۰	۳
۵۹	Ba100Bi15Mi4	۳۳۶	۱۷۳	۰	۳۰۲۷	۵۰/۴	۱۴	۴
۶۰	Ba100Bi15Mi7	۳۲۶	۱۷۳	۰	۳۰۳۹	۴۸/۹	۲۵	۴/۶

۳- ساخت نمونه ها

پس از تهیه ی طرح های اختلاط، نمونه ها به ترتیب جدول ۶ ساخته شدند. مصالح هر نمونه به همان میزان لازم برای ساخت نمونه توزین گردید. سپس بصورت دستی در مدت ۱۵ الی ۲۰ دقیقه ترکیب، و درون قالب های مکعبی ریخته شد. سپس طی ۳ مرحله با

میله ی مخصوص به تعداد ۲۵ بار مورد عمل تراکم قرار گرفتند. نمونه های ساخته شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط آزمایشگاه (۲۴ درجه سانتی گراد) درون قالب بوده، و پس از آن درون حوضچه ی آرامش به مدت ۲۸ روز برای انجام فرآیند عمل آوری قرار داده شدند. پس از تهیه ی طرح اختلاط تمامی نمونه ها برچسب هایی برای شناسایی نمونه ها تهیه گردید، که شامل درصد پارامترهای مختلف از جمله سنگدانه ی باریت، سنگدانه ی معمولی، بیسموت و میکروسیلیس بود. یک نسخه از آن به همراه شماره ی نمونه بر روی طرح اختلاط نمونه و نسخه ی دیگر مشابه آن در داخل قالب نمونه به منظور شناسایی نمونه قرار گرفت.

۴- آزمایشات پرتو دهی

پس از خارج شدن نمونه ها از آب و رسیدن به سن ۲۸ روزه، نمونه های ساخته شده به آزمایشگاه فیزیک هسته ای، جهت قرار گرفتن در معرض اشعه ی گامای چشمه ی سزیم ۱۳۷، منتقل گردیدند، که فرآیند انجام آزمایشات پرتو دهی به شرح ذیل می باشد. منبع تولید اشعه گاما، عنصر سزیم ۱۳۷ که در فاصله یک متری با آهنگ دز 7/115 mSv/hr پرتو افکنی می کند و در شکل ۳ تصویر آن نشان داده شده است [۱۰].



شکل ۳: چشمه ی سزیم ۱۳۷ ساطع کننده ی اشعه ی گاما

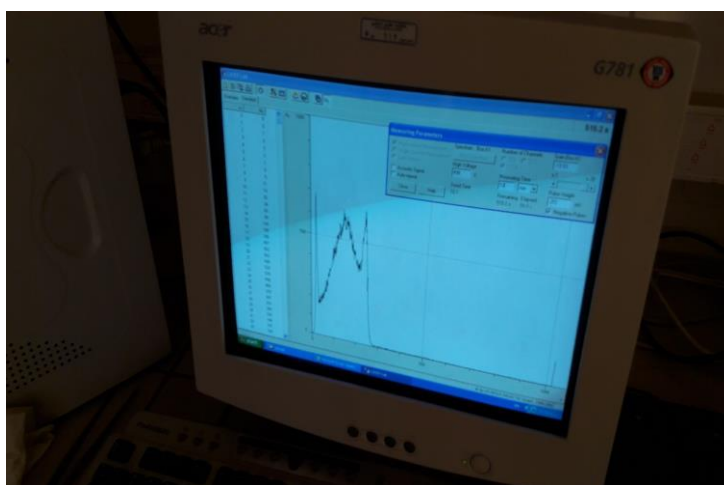
این چشمه با اکتیویته 5 μCi و 3/7 MBq و قدرت 662 Kev می باشد. چشمه نقطه ای در فاصله ۱ سانتی متری و در مرکز عرض نمونه قرار دارد که با حفاظ سربی در کناره ها و زیر و روی چشمه، همانگونه که در شکل ۴ نمایش داده شده، مورد حفاظت قرار می گیرد [۱۱].

نمونه های بتنی مختلف تحت عبور اشعه قرار گرفته، و میزان اشعه گامای عبور کرده از بتن، توسط دستگاه دتکتور (آشکارساز)، در شکل ۴ که در برابر نمونه ی بتنی قرار دارد، اندازه گیری گردید.



شکل ۴: قرار گرفتن آشکارساز پشت نمونه و دریافت اشعه ی گامای عبور کرده از بتن

تمامی نمونه ها به مدت ۱۰ دقیقه و به منظور پایین آوردن خطای آزمایش دوبار در معرض پرتو دهی اشعه قرار گرفته و نتایج با میانگین گیری از داده های این دو مرحله ثبت گردیدند. آشکارساز مورد استفاده در این آزمایش دارای این مشخصات می باشد: 3 NaI (Tl) inch که قطر و ارتفاع آن هر دو ۳ اینچ بوده و بعلاوه بازدهی بالا مورد استفاده قرار می گیرد [۱۲]. ترمینال (دیداکتیک) مورد استفاده که آشکارساز را به دستگاه تقویت ولتاژ متصل می نماید ترمینال ۱۰۲۴ کاناله می باشد، که در کانال های مختلف اشعه ی گامای عبوری تشخیص داده شده آشکارساز را به تقویت کننده ارسال می دارد. همانگونه که در شکل ۵ پیداست، در نمودار ارائه شده ی نرم افزار cassy lab، که انرژی های عبوری از نمونه را بر حسب کانال عبوری بصورت نمودار ترسیم می نماید، ۳ قله وجود دارد. دو قله ی اول مربوط به تشعشعات پراکنده شده از دیواره های سربی و محیط هستند که به قله کمپتون معروف می باشند. این قله ها در محاسبات ضریب تضعیف خطی نمونه های تاثیری ندارند [۱۳].



شکل ۵: نمودار ترسیمی توسط نرم افزار cassy lab

روند محاسبه ی ضریب تضعیف خطی برای هر نمونه بتنی به این صورت می باشد که نمودار در قله ی سوم جدا گشته و شمارش های دستگاه مربوط به کانال های دو قله ی اول کسر می گردند. شمارش مربوط به قله ی تشعشعات گاما از شمارش زمینه بدون حضور بتن، که در ابتدای هر آزمایش اندازه گیری شده است کسر می شوند. در ادامه ماکسیمم قله ی هر نمونه توسط نرم افزار پیدا می شود؛ با انداختن ماکسیمم قله ها بر روی یکدیگر و در نظر گرفتن نیمی از سمت چپ و نیمی از سمت راست نمودارها پس از تطبیق ماکسیمم ها، مساحت زیر قله ی فتوالکتریک (قله ی تمام انرژی) برای تمامی نمونه ها بدست می آید [۱۴]. سپس با استفاده از فرمول شماره ۱ ضریب تضعیف خطی مربوط به هر نمونه استخراج می گردد [۱۵].

$$N = N_0 e^{-\mu X} \Rightarrow \mu = \frac{1}{X} \ln \frac{N_0}{N} \quad (1)$$

N = شمارش خالص به ازای نمونه های بتنی

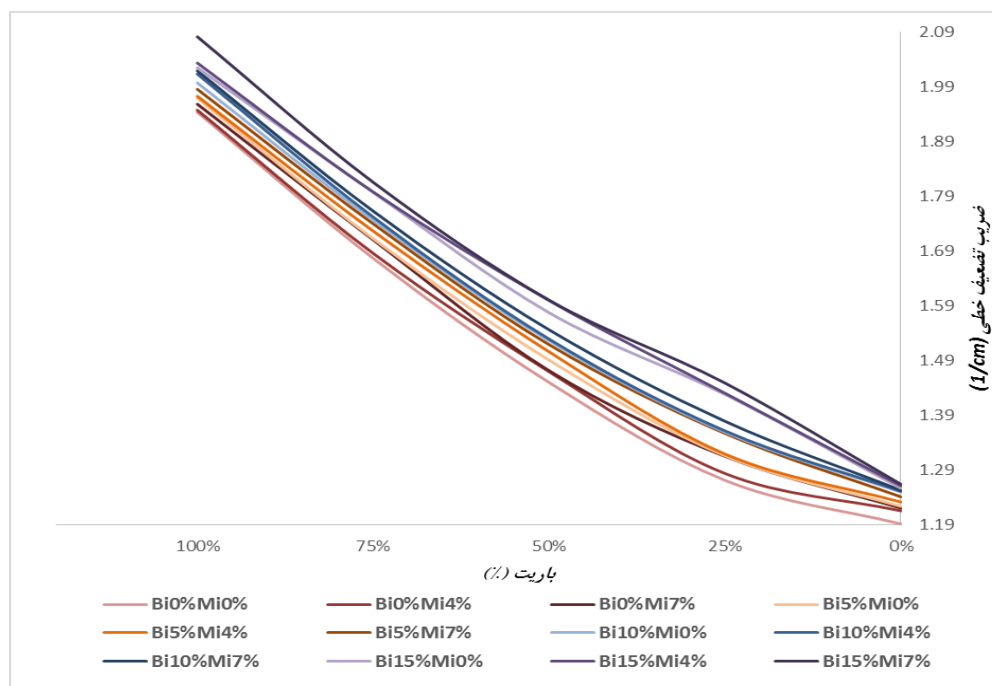
N_0 = شمارش خالص چشمه بدون حضور بتن

μ = ضریب تضعیف خطی بتن (1/cm)

X = ضخامت بتن (cm)

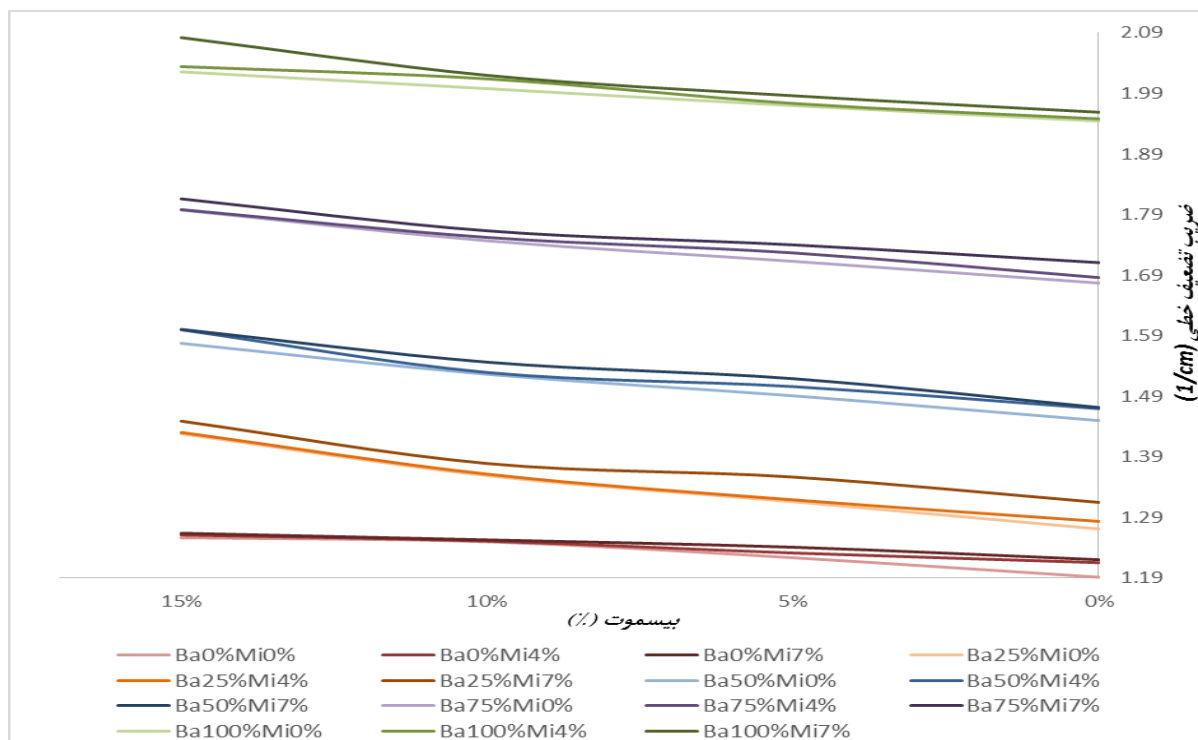
۵- بحث و بررسی نتایج

پس از بدست آمدن نتایج و طبقه بندی آنها، نمودارهای مقایسه ای ضرایب تضعیف خطی و مقاومت فشاری نمونه ها، بر حسب درصدهای مختلف ترکیبات استفاده شده از جمله باریت، بیسموت و پودر میکروسیلیس به شرح شکل های ۶ تا ۱۱ ترسیم گردید.



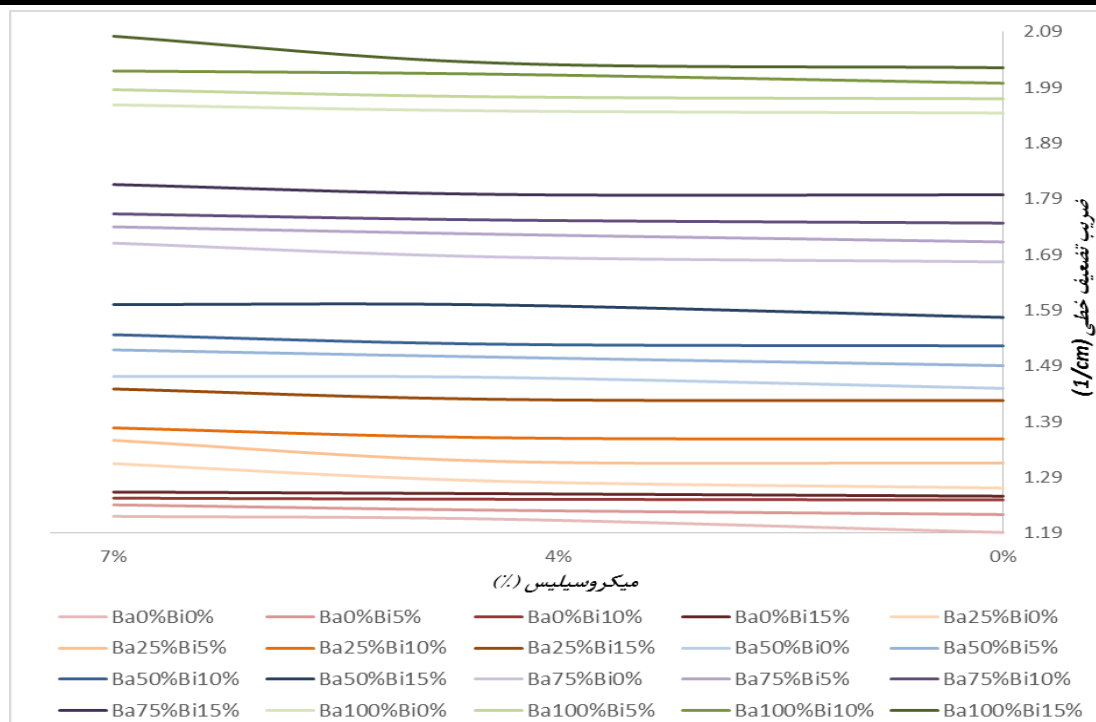
شکل ۶: نمودار ضریب تضعیف خطی بر حسب باریت و درصدهای مختلف بیسموت و درصدهای مختلف میکروسیلیس

با بررسی نمودار شکل ۶ می توان دریافت که، در یک درصد بیسموت ثابت، روند افزایشی ضریب تضعیف خطی بر حسب باریت با افزایش درصد میکروسیلیس تغییر چندانی پیدا نمی کند و سه نمودار نارنجی، سبز و آبی رنگ که به ترتیب نمایانگر درصدهای ۰،۴،۷، افزایش درصد میکروسیلیس هستند، بسیار به یکدیگر نزدیک می باشند. اما افزایش ضریب تضعیف خطی در درصد بیسموت که در نمودار ۱ ارائه گردیده است، به مراتب نسبت به میکروسیلیس رشد محسوس تری را نشان می دهد. بدین ترتیب که با افزایش درصد بیسموت مصرفی، بصورت ۰،۵،۱۰،۱۵ درصد، روند رشد ضریب تضعیف خطی سرعت بیشتری پیدا کرده و نمودارها در درصدهای بالاتر بیسموت مصرفی شیب صعودی بالاتری از خود نشان می دهند. همچنین راجع به درصدهای مختلف باریت نیز اینگونه می توان اظهار نظر نمود که تقریباً از باریت ۲۵٪، روند رشد ضریب تضعیف خطی شتاب بیشتری بخود گرفته و با یک شیب تقریباً ثابت، سیر صعودی خود را تا افزایش باریت به میزان ۱۰۰٪ ادامه می دهد. همچنین با بررسی نمودار ۱ مشخص است که ضریب تضعیف خطی در بیسموت ۱۵٪ و درصدهای مختلف میکروسیلیس در بازه های مختلف درصد باریت، رشد بالاتری از خود نشان داده است. بعبارتی دیگر این سه نمودار در درصد بیسموت ۱۵٪ و درصدهای ۰ تا ۷ میکروسیلیس، از ابتدا خود را از نمودارهای قبلی درصدهای بیسموت جدا نموده اند و ضرایب تضعیف خطی بالاتری از خود نشان می دهند.



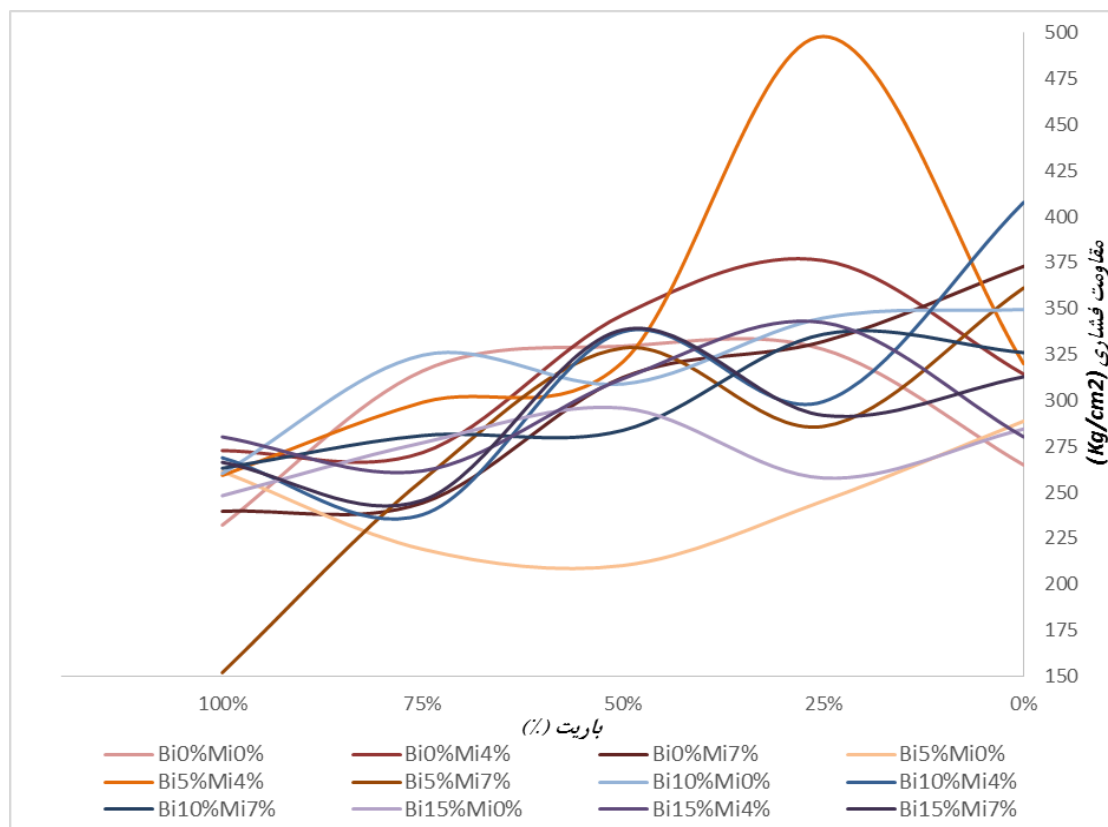
شکل ۷: نمودار ضریب تضعیف خطی بر حسب بیسموت و درصدهای مختلف باریت و درصدهای مختلف میکروسیلیس

با بررسی نمودار ۷ می توان دریافت که ضریب تضعیف خطی بتن، در یک درصد باریت ثابت با افزایش درصد میکروسیلیس تغییر محسوسی از خود نشان نمی دهد و نمودارها در یک درصد باریت ثابت و میکروسیلیس های متغیر بر حسب بیسموت مصرفی، بسیار به یکدیگر نزدیک هستند. این نزدیکی به مراتب بیشتر از نمودارهای میکروسیلیس در یک درصد بیسموت خاص بر حسب باریت است. بدین معنا که افزایش درصد میکروسیلیس در یک نسبت ثابت بیسموت به نسبت یک درصد ثابت باریت، تاثیر کمتری بر روی روند افزایش ضریب تضعیف خطی بتن نهاده است. نکته ی دیگر این نمودارها افزایش پله ای روند رشد نمودارهای بیسموتی در مقایسه با باریتی است. بدین معنا که در نمودارهای باریتی (تغییرات بر حسب باریت) نمودارهای بصورت یک نیمه ی نمودار X^2 می باشند اما در نمودارهای بیسموتی (تغییرات بر حسب بیسموت) نمودارها تقریباً بصورت یک نمودار $X+2$ می باشند، که با افزایش درصد باریت مصرفی از یکدیگر جدا شده و بصورت پله ای افزایش می یابند. این روند رشد پله ای در درصدهای باریت ۰ و ۲۵ درصد به نسبت درصدهای بالاتر، فاصله ی کمتری از خود نشان داده است. بدین معنا که افزایش ضریب خطی بر حسب بیسموت مصرفی در بازه ی باریت ۰ و ۲۵٪ رشد کمتری از خود، به نسبت بازه های ۲۵٪ و ۵۰٪ یا ۵۰٪ و ۷۵٪ نشان داده است. همچنین با مشاهده ی نمودار شکل ۷ ملاحظه می گردد که، در بازه های باریتی ۲۵٪ تا ۱۰۰٪ افزایش پله ای ضریب تضعیف بر حسب بیسموت به نسبت یکدیگر، تقریباً یکسان می باشد. همچنین کلیه ی افزایش ضرایب تضعیف خطی بر حسب بیسموت از ۰٪ الی ۱۵٪ به نسبت افزایش ضرایب تضعیف خطی بر حسب باریت از ۰٪ الی ۱۰۰٪، سرعت رشد کمتری دارند (مقایسه ی شیب نمودارهای X^2 و $X+2$ در نقاط مختلف)، یعنی تاثیر ماده ی باریت بر افزایش ضریب خطی به مراتب بیشتر از تاثیر عنصر بیسموت بوده است. نکته ی دیگر این است که تاثیر میکروسیلیس در باریت ۰٪ بر حسب بیسموت مصرفی بسیار کم رنگ است و نمودارها در این بازه بسیار به یکدیگر نزدیک می باشند (خطوط قرمز رنگ در نمودار شکل ۷). اما در ترکیبات باریت ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪، این نمودارها بر حسب افزایش درصد میکروسیلیس از یکدیگر فاصله گرفته اند و تغییرات میکروسیلیس، بر افزایش ضریب تضعیف خطی محسوس تر است. این بدان معناست که حضور باریت در نمونه ها، تاثیر افزایش میکروسیلیس مصرفی با افزایش میزان بیسموت، در روند رشد ضریب تضعیف خطی نمونه ها را پر رنگ تر نموده است.



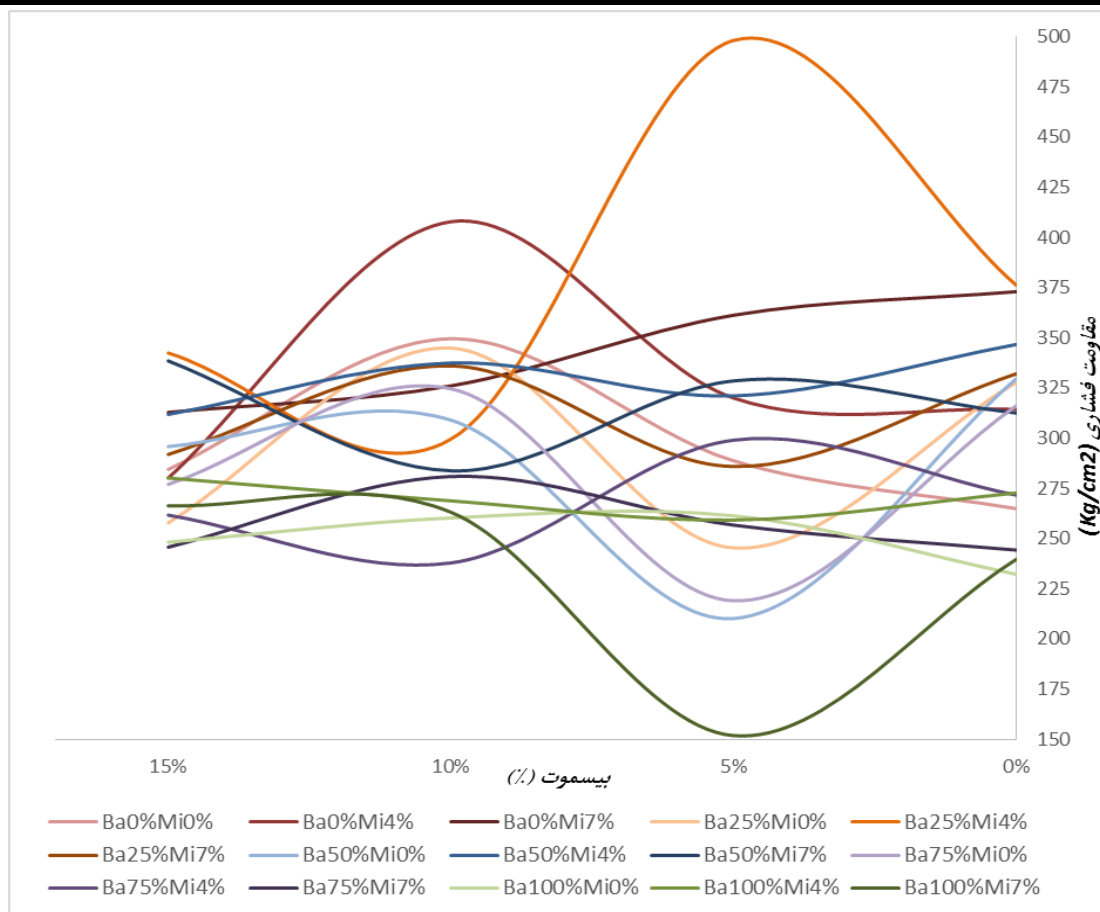
شکل ۸: نمودار ضریب تضعیف خطی بر حسب میکروسیلیس و درصدهای مختلف باریت و درصدهای مختلف بیسموت

با بررسی نمودار شماره ۸ مشاهده می شود که اکثر نمودارها شیب ناچیزی دارند. بدان معنا که همانطور که در نمودارهای پیش از این نیز مشاهده گردید، تاثیر میکروسیلیس در درصدهای مختلف استفاده شده ۰،۴،۷ درصد، در افزایش ضریب تضعیف خطی بتن در درصدهای مختلف باریت و درصدهای مختلف بیسموت ناچیز بوده است. همچنین با بررسی نمودار شکل ۸ ملاحظه می گردد، در شرایط عدم حضور باریت، نمودارها در درصدهای مختلف بیسموت بر حسب میکروسیلیس بسیار به یکدیگر نزدیک می باشند؛ این بدان مفهوم است که مشابه نمودارهای تغییرات ضریب تضعیف خطی بتن بر حسب بیسموت، افزایش درصد باریت، در افزایش تاثیر میکروسیلیس بر افزایش ضریب تضعیف خطی بتن موثر است. همانطور که ملاحظه می گردد با افزایش درصد باریت از ۰٪ به ۲۵٪، نمودارهای مختلف بیسموت از ۰٪ الی ۱۵٪ از یکدیگر فاصله پیدا کرده و همانند نمودارهای بیسموتی به صورت پله ای بالاتر می روند. این افزایش طبقاتی در بازه های باریتی ۰٪ و ۷۵٪ و ۱۰۰٪ به نسبت بازه های قبلی ۵۰٪ و ۷۵٪ محسوس تر است، که همانطور که ذکر شد نشانگر این مدعا است که افزایش درصد باریت باعث افزایش تاثیر میکروسیلیس بر افزایش ضریب تضعیف خطی نمونه ها بوده است. نکته ی مهم دیگر فاصله ی محسوس نمودارها در بیسموت ۱۵٪ در درصدهای باریت ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ از درصدهای پایین تر بیسموت است، که بیانگر این است که تاثیر افزایش درصد بیسموت، بر افزایش تاثیر میکروسیلیس در افزایش ضریب تضعیف خطی، تقریباً تا استفاده از بیسموت ۱۰٪ محسوس نیست، اما با افزایش درصد بیسموت به ۱۵٪ و حضور باریت در نمونه ها، می توان شاهد افزایش تاثیر بیسموت بر تاثیر گذاری میکروسیلیس استفاده شده بود، اما با رسیدن میزان باریت به ۱۰۰٪ این تاثیر گذاری عملاً ناچیز می گردد.



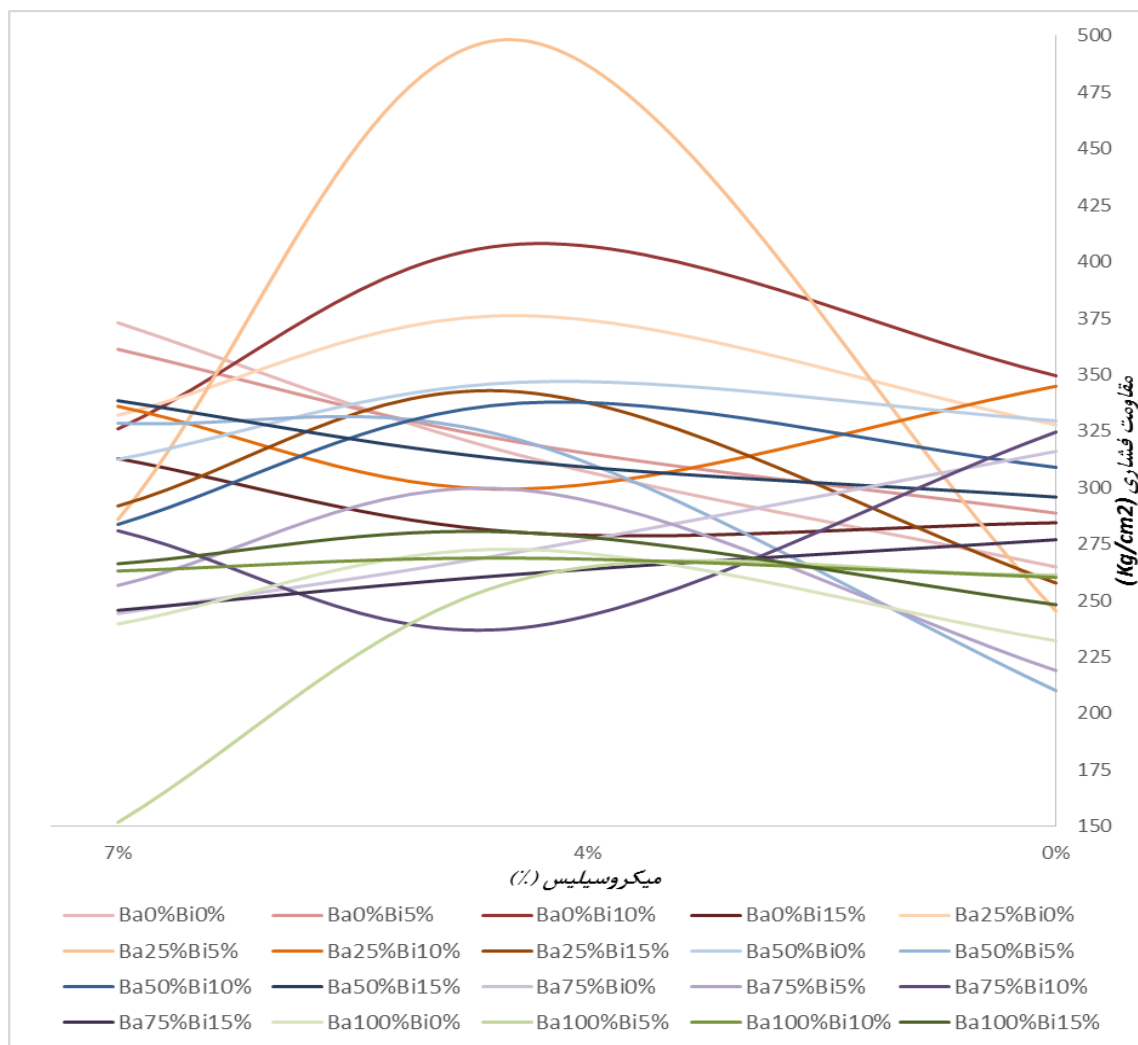
شکل ۹: نمودار مقاومت فشاری بر حسب باریت و درصد های مختلف بیسموت و درصد های مختلف میکروسیلیس

همانگونه که از نمودار شکل ۹ پیداست، مقاومت فشاری بتن در درصد های مختلف ترکیبات استفاده شده، تغییرات متنوعی را از خود نشان داده است. تاثیر باریت بر روی مقاومت فشاری به طور ویژه بستگی به میزان پودر میکروسیلیس استفاده شده در نمونه دارد؛ اما بطور کلی می توان اینگونه اظهار نظر نمود که، تاثیر باریت بر مقاومت فشاری وابسته به میزان مصرف خود باریت و میکروسیلیس مصرفی در بتن است. این گونه که در اکثر نمودارها در بازه میکروسیلیس صفر تا ۵/۵٪، بتن در ابتدا با افزایش درصد باریت تا میزان ۲۵٪ از خود رشد مقاومت نشان داده و پس از آن با افزایش درصد باریت از خود کاهش نشان می دهد؛ در بازه میکروسیلیس ۵/۵٪ تا ۷٪، بتن در ابتدا با افزایش درصد باریت تا میزان ۲۵٪ از خود کاهش مقاومت نشان داده و پس از آن با افزایش درصد باریت افزایش مقاومت نشان می دهد. علت این امر را باید در برهم کنش تاثیر باریت و سنگدانه معمولی و میکروسیلیس با یکدیگر در افزایش یا کاهش مقاومت فشاری بتن جستجو نمود. در رابطه با درصد از استفاده از باریت باید به نتایج آزمایش لس آنجلس باریت و درصد شکستگی سنگدانه ها رجوع نمود؛ به دلیل درصد شکستگی و تیز گوشگی بالای هر دو سنگدانه، باریت به علت شکنندگی ذاتی خود هرگاه به عنوان پرکننده در کنار سنگدانه ی معمولی قرار گرفته است توانسته نقش موثری در افزایش مقاومت ایفا کند؛ اما با افزایش درصد آن و قرار گرفتن به عنوان سنگدانه ی غالب در بتن به جای سنگدانه معمولی باعث کاهش مقاومت نسبت به نمونه شاهد گردیده است. این بدان معنی است که استفاده از درصدی از پودر باریت به عنوان پرکننده در کنار سنگدانه ی اصلی تاثیر بالاتری نسبت به استفاده از این سنگدانه به صورت غالب در بتن دارد. همانگونه که از نمودار پیداست، بیشترین مقاومت فشاری مربوط به حالت باریت ۲۵٪ و میکروسیلیس ۴٪ با مقاومت ۴۹۸ kg/cm² و کمترین مقدار مربوط به حالت باریت ۱۰٪ و میکروسیلیس ۷٪ با مقاومت ۱۵۲ kg/cm² می باشد.



شکل ۱۰: نمودار مقاومت فشاری بر حسب بیسموت و درصد های مختلف باریت و درصدهای مختلف میکروسیلیس

شکل شماره ۱۰ در رابطه با تاثیر پودر فلز بیسموت بر مقاومت فشاری، باید گفت که با توجه خصوصیات این عنصر، یعنی فلز بودن آن و استفاده از این عنصر به میزان بسیار اندک در نمونه ها (حداکثر ۳۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و جایگزین ریزدانه مصرفی، نمی توان تاثیری برای حضور آن در بتن، بر روی مقاومت فشاری قائل شد و اساسا تاثیر این ماده تنها بر افزایش ضریب تضعیف خطی بتن می باشد و افزایش یا کاهش مقاومت فشاری بر حسب بیسموت مصرفی نیز به دلیل تاثیر باریت و میکروسیلیس بر مقاومت فشاری است که در نمودار مقاومت فشاری بر حسب بیسموت بروز پیدا کرده است و نه به علت تاثیر خود فلز بیسموت.



شکل ۱۱: نمودار مقاومت فشاری بر حسب میکروسیلیس و درصدهای مختلف باریت و درصدهای مختلف بیسموت

با توجه به شکل ۱۱ مانند نمودار ارائه شده بر حسب درصدهای بیسموت می توان شاهد رفتار دوگانه ی میکروسیلیس نیز بود بدین ترتیب که میکروسیلیس نیز در درصد ۵/۵ رفتاری دوگانه در افزایش مقاومت فشاری از خود نشان داده است. در غالب نمودارها در درصدهای باریت بالای ۵۰٪ افزایش میکروسیلیس تا میزان ۵/۵٪ در نمونه ها باعث افزایش مقاومت گردیده و پس از آن باعث کاهش مقاومت گردیده است اما در درصدهای باریت زیر ۵۰٪ بصورت عکس عمل نموده است. یعنی تا میزان ۵/۵٪ باعث کاهش مقاومت نمونه ها و پس از آن باعث افزایش مقاومت نمونه ها گردیده است. در رابطه با میکروسیلیس نیز باید خواص این ماده در واکنش با سیمان و آب مورد نیاز هیدراتاسیون سیمان را مد نظر قرار داد؛ استفاده از پودر میکروسیلیس تا میزان ۵/۵٪ سیمان مصرفی در بتن بدون کاهش آب مورد نیاز هیدراتاسیون سیمان، باعث انبساط خمیر سیمان و پر کردن فضاهای خالی میان سنگدانه ها و افزایش مقاومت فشاری بتن گردیده، اما با افزایش میزان میکروسیلیس تا ۷٪، به علت جذب آب بالای میکروسیلیس، باعث کاهش آب مورد نیاز برای هیدراتاسیون سیمان و در نتیجه کاهش مقاومت فشاری بتن بوده است. این موضوع را می توان بیشینه و کمینه بودن مقاومت در درصد میکروسیلیس ۵/۵٪ و ۷٪ که به ترتیب در درصد باریت ۲۵٪ و ۱۰۰٪ رخ داده است نیز مشاهده نمود.

۶- نتیجه گیری

همانگونه از نمودارهای ترسیم شده پیداست ضریب تضعیف خطی بتن با افزایش درصد ترکیبات استفاده شده یعنی سنگدانه ی باریت، پودر فلز بیسموت و پودر میکروسیلیس افزایش می یابد. لیکن افزایش ضریب تضعیف خطی یا بعبارتی، توان بتن در جذب فوتون های عبوری، به ترتیب برحسب افزایش سنگدانه ی باریت سپس پودر فلز بیسموت، و در نهایت پودر میکروسیلیس محسوس تر و نمایان تر است. بعبارتی می توان گفت با افزایش درصد باریت، ضریب تضعیف خطی نسبت به افزایش درصد فلز بیسموت نرخ رشد بالاتری از خود نشان داده است و همینطور با افزایش درصد پودر فلز بیسموت ضریب تضعیف خطی نسبت به افزایش درصد پودر میکروسیلیس نرخ رشد بالاتری از خود نشان داده است؛ این مطلب را می توان از روی شیب نمودارهای ترسیمی برحسب باریت و بیسموت و میکروسیلیس گواهی نمود. علت افزایش ضریب تضعیف خطی بتن با افزایش میزان باریت مصرفی، افزایش ضریب تضعیف جرمی بتن در اثر افزایش چگالی بتن است که باعث کاهش فوتون های عبوری اشعه گاما از ضخامت بتن می گردد. در رابطه با تاثیر عنصر بیسموت بر افزایش ضریب تضعیف خطی، می توان شاهد خاصیت این فلز در جذب امواج ساطع شده از چشمه ی اشعه گاما بود، که باعث افزایش ضریب خطی بتن گردیده است. پودر میکروسیلیس، همان گونه که از خواص آن بر می آید، توانسته با واکنش با سیمان و پرکردن فضاهای خالی میان سنگدانه ها، تاثیر مثبت در افزایش چگالی و تولید بتن متراکم تر، ایفا کند و منجر به افزایش ضریب تضعیف خطی و توان بتن در برابر فوتون های ساطع شده گردد. مقاومت فشاری بتن در درصدهای مختلف ترکیبات استفاده شده تغییرات متنوعی را از خود نشان داده است. تاثیر باریت بر مقاومت فشاری وابسته به میزان مصرف خود باریت و میکروسیلیس مصرفی در بتن است. این گونه که در اکثر نمودارها در بازه میکروسیلیس صفر تا ۵/۵٪، بتن در ابتدا با افزایش درصد باریت تا میزان ۲۵٪ از خود رشد مقاومت نشان داده و پس از آن با افزایش درصد باریت از خود کاهش نشان می دهد؛ در بازه میکروسیلیس ۵/۵٪ تا ۷٪، بتن در ابتدا با افزایش درصد باریت تا میزان ۲۵٪ از خود کاهش مقاومت نشان داده و پس از آن با افزایش درصد باریت افزایش مقاومت نشان می دهد. علت این موضوع را باید در تاثیر فیزیکی باریت و میکروسیلیس به تنهایی، و تاثیر شیمیایی این دو ماده با یکدیگر جستجو کرد. از آنجا که باریت سنگدانه ای شکننده محسوب می شود استفاده از آن به تنهایی در بتن باعث کاهش مقاومت فشاری می گردد، به همین علت استفاده از پودر این عنصر به عنوان ریزدانه و پرکننده در کنار سنگدانه ی معمولی باعث افزایش مقاومت فشاری گردیده است. علت تاثیر گذاری پودر میکروسیلیس نیز بر تاثیر باریت در مقاومت فشاری را، همانگونه که ذکر شد باید به دو عامل تاثیر فیزیکی پودر میکروسیلیس و تاثیر شیمیایی این دو ماده با یکدیگر مربوط دانست. در رابطه با تاثیر فیزیکی پودر میکروسیلیس باید گفت که به دلیل استفاده از نسبت آب به سیمان نسبتا کم در نمونه ها، میکروسیلیس به علت جذب آب بالای ذاتی خود تا آنجا که باعث کاهش آب مورد نیاز هیدراتاسیون نگردیده باعث انبساط خمیر سیمان، و پر کردن فضاهای خالی بین سنگدانه ها و در نتیجه ایجاد بتن یکپارچه با تراکم بالاتری گردیده است. اما با استفاده از درصدهای بالاتر، میکروسیلیس با جذب زیاد آب مورد نیاز باعث کاهش هیدراتاسیون و کاهش مقاومت بتن بوده است. در مورد تاثیر شیمیایی میکروسیلیس باید گفت، افزودن میکروسیلیس به مخلوط بتن باعث می گردد، SiO_2 فعال آن با محلول هیدروکسید کلسیم Ca(OH)_2 آزاد موجود در منافذ موئین بتن ترکیب گردد و کریستال سیلیکات کلسیم نامحلول تولید نماید و در نهایت باعث تراکم ساختار خمیر سیمان و کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت فشاری گردد. در بازه میزان مصرف صفر تا ۵/۵٪ میکروسیلیس، کریستال سیلیکات کلسیم تولید شده، تا میزان مصرف ۲۵٪ باریت باعث افزایش چسبندگی میان سنگدانه معمولی و سنگدانه باریت گردیده و پس از آن با افزایش درصد باریت به همانگونه که پیشتر توضیح داده شده شاهد کاهش مقاومت فشاری بتن هستیم. اما در بازه میزان مصرف بالاتر میکروسیلیس از ۵/۵٪ تا ۷٪ به علت افزایش میزان سیلیکات کلسیم تولید شده در ترکیب شیمیایی سنگدانه معمولی و باریت، و تولید آهک آزاد که ناشی از هیدراتاسیون سیمان است، شاهد کاهش مقاومت فشاری بتن می باشیم. به عبارت دیگر افزایش میزان میکروسیلیس و سیلیکات کلسیم موجود در بتن، و غالب شدن میزان آهک آزاد شده در ترکیب به نسبت، به باریت مانع از تاثیر مقاومتی سنگدانه باریت در کنار سنگدانه معمولی گردیده است، و هرچا که افزایش میزان باریت منجر به تعادل در ترکیب با سیلیکات کلسیم بوده است، شاهد تاثیر گذاری باریت در افزایش مقاومت فشاری بتن در کنار سنگدانه معمولی هستیم. پودر فلز بیسموت به دلیل قیمت بالا و میزان اندک استفاده شده در بتن، تاثیر قابل مشاهده ای بر مقاومت فشاری بتن نداشته است و عمده ی تاثیر این ماده بر افزایش ضریب تضعیف خطی بتن بوده است.

طبق نتایج بدست آمده از آزمایشات پرتو دهی نمونه ها، مشخص گردید که نمونه ی شماره ۶۰ با بالاترین میزان ضریب تضعیف خطی و با ترکیب باریت ۱۰۰ درصد، بیسموت ۱۵ درصد، و میکروسیلیس ۷ درصد با ضریب تضعیف خطی $1/cm$ $1/0.82$ ، نسبت به نمونه شاهد (نمونه شماره ۱) که فاقد باریت، بیسموت و میکروسیلیس، با ضریب تضعیف خطی $1/cm$ $1/1.91$ ، تقریباً ۷۵ درصد رشد از خود نشان داده است. به عبارتی با جایگزینی کامل سنگدانه معمولی با سنگدانه باریت، و استفاده از بیسموت به میزان ۱۵ درصد، و پودر میکروسیلیس به میزان ۷ درصد، به نسبت سیمان مصرفی، در شرایط یکسان نسبت به نمونه شاهد که یک بتن معمولی است، توانایی بتن در برابر جذب اشعه گاما، ۷۵ درصد رشد از خود نشان داده است. همچنین با بررسی نتایج آزمایش مقاومت فشاری نمونه ها نیز، مشخص گردید که نمونه شماره ۱۷ با بالاترین میزان مقاومت فشاری و با ترکیب باریت ۲۵ درصد، بیسموت ۵ درصد و میکروسیلیس ۴ درصد با مقاومت فشاری kg/cm^2 $498/1$ ، نسبت به نمونه شاهد با مقاومت فشاری kg/cm^2 $264/9$ ، رشد ۸۸ درصدی مقاومت از خود نشان داده است.

۷- مراجع

- [1] Gencil O., Brostow W., Ozel C., Filiz M. (2009). An investigation on the concrete properties containing colemanite. *International Journal of Physical Sciences*, Volume 5 (3), Pages 216-225.
- [2] Yilmaz E., Baltas H., Kiris E., Ustabas I., Cevik U., El-Khayatt A.M. (2011). Gamma ray and neutron shielding properties of some concrete materials. *Annals of Nuclear Energy*, Volume 38 (10), Pages 220-224.
- [3] Rezaei-Ochbelagh D., Azimkhani S., Gasemzadeh Mosavinejad H. (2011) Effect of gamma and lead as an additive material on the resistance and strength of concrete. *Nuclear Engineering and Design*, Volume 241 (6), Pages 2359-2363.
- [4] Mostofinejad D., Reisi M., Shirani A. (2012). Mix design effective parameters on γ -ray attenuation coefficient and strength of normal and heavyweight concrete, *J. Construction and Building Materials*, Volume 28, Pages 224-229.
- [5] Rezaei-Ochbelagh D., Azimkhani S. (2012). Investigation of gamma-ray shielding properties of concrete containing different percentages of lead. *Applied Radiation and Isotopes*, Volume 70 (10), Pages 2282-2286.
- [6] Gencil O., Bozkurt A., Kam E., Korkut T. (2011). Determination and calculation of gamma and neutron shielding characteristics of concretes containing different hematite proportions. *Annals of Nuclear Energy*, Volume 38 (12), Pages 2719-2723.
- [7] Demir F., Budak G., Shahin R., Karabulut A., Oltulu M., Un A. (2011). Determination of radiation attenuation coefficients of heavyweight- and normal-weight concretes containing colemanite and barite for 0.663 MeV γ -rays. *Annals of Nuclear Energy*, Volume 38 (6), Pages 1274-1278.
- [8] Building and housing research, C., (2011). A guide to the preparation of concrete mix designs according to the Iranian concrete regulations, the national regulations of Iran (Chapter 9), the general technical specifications of construction works and roads (Journal No. 55 and 101). Tehran: Publication of Building and Housing Research Center, Pages 32-40.
- [9] Shah-Nazari, M.R. (2007). Concrete laboratory guidelines according to ASTM regulations. Eighth edition. Tehran: Science and Technology Publishing House 110, Pages 15-60.
- [10] Akkurt I., Akyildirim H., Mavi B., Kilincarslan S., Basyigit C. (2010). Gamma-ray shielding properties of concrete including barite at different energies. *Progress in Nuclear Energy*, Volume 52 (7), Pages 620-623.
- [11] Demir F., Budak G., Shahin R., Karabulut A., Oltulu M., Serifoglu K., Un A. (2010). Radiation transmission of heavyweight and normal-weight concretes containing colemanite 6 MV and 18 MV X-rays using linear accelerator. *Annals of Nuclear Energy*, Volume 37 (3), Pages 339-344.
- [12] Damla, N., Cevik, U., Kobya, A.I., Celik, A. (2010). Radiation dose estimation and mass attenuation coefficients of concrete includes barite in different rate. *Annals of Nuclear Energy*, Volume 37, Pages 644-649.
- [13] Bashter I.I. (1993). Fast-neutron flux distributin in ducted light and heavy concrete shields. *Annals of Nuclear Energy*, Volume 20 (8), Pages 547-552.
- [14] Salavatiha, A., Delnavaz A. (2015). The effect of barite aggregate on concrete strength and gamma ray passage rate. In: National Conference on Civil and Environmental Engineering. Qazvin: Research Deputy of Faculty of Civil Engineering and Mapping, Islamic Azad University of Qazvin, Pages 4-8.
- [15] Najm-Abadi, F. (2012). Radiation physics and radiology. Tehran: Jahad University Press, Allameh Tabatabaei University, Pages 20-26.
- [16] Farokhzad, R., Mahdikhani, M., Bagheri, A., & Baghdadi, J. (2016). Representing a logical grading zone for self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 115, 735-745.
- [17] FAROKHZAD, R., YASERI, S., ENTEZARIAN, M. H., & YAVARI, A. (2016). Investigating Effects of Sulfates on Compressive Strength of Different Types of Pozzolan Concrete and Measuring Penetration Rate by Ultrasound Tests at Different Ages.