

## ارزیابی میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در بتن های ژئوپلیمری

مازیار غلامی رستم<sup>۱</sup>، میلاد جمالی<sup>۲</sup>، حسین پهلوان<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - مدیریت ساخت، دانشگاه پردیسان، فریدونکنار، ایران

۲- دانشجوی دکتری عمران، دانشگاه نوشیروانی، بابل، ایران

۳- استادیار گروه سازه و زلزله دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

mgholami847@yahoo.com

### چکیده

یکی از عوامل تولید و انتشار گاز دی اکسید کربن، تولید بتن می باشد. در تولید مواد اولیه بتن و همچنین در هنگام تولید بتن گاز دی اکسید کربن تولید و منتشر می شود. بدیهی است که سیمان پرتلند یکی از پر مصرف ترین مصالح در ساخت و سازها است. اما با توجه به معایبی که در چرخه تولید و مصرف آن در بتن در محیط های مختلف وجود دارد میتوان از موادی بعنوان جایگزین آن استفاده نمود. ژئوپلیمر بعنوان یک راهکار علمی و عملی میتوان جایگزین مناسب برای سیمان های پرتلند باشد. بتن ژئوپلیمری بواسطه کاهش حجم ورودی دی اکسید کربن به اتمسفر، کاهش مصرف انرژی و منابع طبیعی، کاهش تخریب محیط زیست را به دنبال دارد. استفاده از ضایعات صنعتی که خود نوعی از بازیافت به حساب آمده و دست اندازی به محیط زیست را کاهش می دهد، همه و همه در حفظ شرایط مطلوب طبیعی برای نسل های آینده می باشد. هدف از این مقاله با انجام آزمایش بر روی بتن ژئوپلیمری با مقاومت های مختلف به بررسی آلاینده گی و همچنین قیمت بتن ژئوپلیمری نسبت به بقیه نمونه های بتن می باشد. که پس از بررسی نمونه ها به این نتیجه دست یافته ایم که بتن ژئوپلیمری آلاینده گی کمتری نسبت به بتن معمولی و بتن ژئوپلیمری بازیافتی دارد. بتن ژئوپلیمری بازیافتی قیمت تمام شده کمتری نسبت به بتن معمولی و بتن ژئوپلیمری دارد. بتن ژئوپلیمری بازیافتی به دلیل استفاده از مصالح بازیافتی شاخص آلاینده گی بیشتری نسبت به بتن ژئوپلیمری دارد. همچنین با افزایش مقاومت بتن، درصد آلاینده گی بتن ژئوپلیمری به بتن معمولی بسیار است. با افزایش مقاومت نمونه ها تاثیر زیادی را بر روی افزایش آلاینده گی و افزایش قیمت نمونه ها مشاهده می کنیم. همچنین با بررسی بر روی بلوک های ژئوپلیمری، بلوک ژئوپلیمری بازیافتی قیمت تمام شده کمتری نسبت به سایر بلوک ها دارد و این هم به دلیل استفاده از مصالح بازیافتی می باشد. بلوک های ژئوپلیمری هم به دلیل اینکه مصالح اولیه آنها در طبیعت به فراوانی یافت می شود قیمت تمام شده کمتری نسبت به بقیه بلوک ها دارد. که با بررسی نتایج فوق به این نتیجه می رسیم که استفاده از بتن ژئوپلیمری برای حفظ و بقای محیط زیست بسیار مناسب تر است.

کلمات کلیدی: بتن ژئوپلیمری، آلاینده گی، زیست محیط

## ۱. مقدمه

مواد سیمانی یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده بتن می باشد. سیمان پرتلند پر کاربردترین ماده چسباننده ی هیدرولیکی برای تولید بتن در دنیا است. با این حال تولید سیمان پرتلند فرآیندی بسیار انرژی بر است، به طوری که برای تولید هر تن سیمان حدود ۴ گیگاژول انرژی مصرف می شود. این انرژی با استفاده از سوخت های فسیلی تأمین می شود و تولید هر تن سیمان با تولید تقریباً یک تن دی اکسید کربن همراه است، به طوری که صنعت سیمان سهم ۷ درصدی در تولید دی اکسید کربن تولید شده در جهان را دارد. هزینه های بالای انرژی مصرفی در تولید سیمان پرتلند و آلاینده های ناشی از تولید این ماده، منجر به تلاش های فراوانی برای کاهش میزان تولید کلینکر سیمان پرتلند و در نتیجه یافتن موادی برای جایگزینی آن شده است. در این راستا توجه ویژه ای به پوزولان ها به عنوان جایگزین کامل سیمان پرتلند در بتن با هدف تولید سیمان ها و بتن های ژئوپلیمری (بتن های بدون سیمان) شده است. در این میان تولید و استفاده از سیمان های ژئوپلیمری از چند دهه قبل مورد توجه عده ی کمی از دانشمندان قرار گرفته است. ژئوپلیمرها به دلیل خواص بسیار خوب و عملکرد مناسبشان، از اواخر قرن بیستم به عنوان جایگزین مصالح ساختمانی مورد توجه قرار گرفتند. در دهه ی گذشته به دلیل کاربرد این مواد در زمینه های مختلف مهندسی، تحقیقات گسترده ای در این زمینه انجام شده است. ژئوپلیمرها گروهی از مواد سیمانی مقاوم و بادوام هستند که در دمای زیر ۱۰۰ درجه سانتیگراد سخت می شوند.

هریزو و همکاران در سال ۲۰۱۷ طی مطالعه مروری خود بر انواع مختلف مواد ژئوپلیمری و اثرات زیست محیطی آنها به این نتیجه رسیدند که در مقایسه بین سیمان ژئوپلیمری و سیمان معمولی، سیمان ژئوپلیمری نتایج بهتری بر محیط زیست میگذارد. زیرا طی فرایند تولید، نصف میزان سیمان معمولی دی اکسید کربن تولید میکند [۱]. رشنوادی و همکاران در سال ۲۰۱۳ طی مطالعات خود که در زمینه ارزیابی جایگزینی سیمان ژئوپلیمر با سیمان پرتلند در ساخت و سازها داشتند به این نتیجه رسیدند که بتن ژئوپلیمری علاوه بر دارا بودن محاسن بتن سیمان پرتلندی، شامل مزیت های مزیت های مضاعفی مانند انرژی تولید پایین، دوام بالا در برابر محیط های مهاجم، پایین بودن خزش و بعضاً کاهش انقباض نسبت به بتن های معمولی می باشد. بواسطه کاهش حجم ورودی دی اکسید کربن به اتمسفر، کاهش مصرف انرژی و منابع طبیعی و همچنین کاهش تخریب محیط زیست را بدنبال دارد [۲]. روت در سال ۲۰۱۲ طی بررسی های خود در زمینه چرخه عمر بتن های ژئوپلیمری به این نتیجه رسید که کاهش در انتشار گازهای گلخانه ای برای بتن های ژئوپلیمری در مقایسه با بتن استاندارد در درجه اول به کاهش به دست آمده از طریق استفاده از ماده چسبنده ژئوپلیمر نسبت داده می شود. ماده چسبنده بتن های ژئوپلیمری حدوداً دارای ۸۰٪ شدت گازهای گلخانه ای کمتری نسبت به مقادیر معادل با ماده چسبنده سیمان پرتلند معمول مورد استفاده در بتن مرجع با طول مشابه است [۳]. مک لان و همکاران در سال ۲۰۱۱ طی مقایسه ای که از نظر هزینه و تولید کربن محصول ژئوپلیمری و سیمان پرتلند داشتند به این نتیجه رسیدند که محصولات ژئوپلیمری میتواند ۴۴-۶۴ درصد از گازهای گلخانه ای را در مقایسه با سیمان معمولی کاهش دهند [۴].

هابرت و همکاران در سال ۲۰۱۱ طی مطالعه خود در زمینه ارزیابی زیست محیطی بتن های ژئوپلیمری دریافتند که وقتی این نوع سیمان ژئوپلیمر با سیمان هیدرولیک که بر مبنای سیمان استاندارد است مقایسه میشود، این حقیقت را آشکار میکند که این نوع جدید از بایندر باعث کاهش چشمگیری از گرمایش کره زمین می شود. سیمان معمولی ۳۰۶ کیلوگرم در هر متر مکعب دی اکسید کربن آزاد می کند، در حالیکه سیمان پلیمری در هر متر مکعب ۱۶۹ کیلوگرم دی اکسید کربن تولید می

۱ Hariz

۲ Reshnovadi

۳ Rout

۴ Mac Ielawn

۵ Habert

کند [۵]. هاردیجیتو<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۵ طی مطالعه ای در مورد بتن ژئوپلیمری گزارش دادند که قیمت تمام شده بتن ژئوپلیمری در متر مکعب تقریباً برابر با بتن حاوی سیمان پرتلند می‌باشد. همچنین به دلیل مسائل محیط زیستی مربوط به تولید سیمان پرتلند، آینده مناسبی برای استفاده از این نوع بتن خصوصاً در صنعت بتن پیش ساخته پیش بینی کرده اند [۶].

## ۲. توضیح آزمایشات

مصالح مورد نیاز جهت ساخت ملات ژئوپلیمری عبارتند از سرباره، سدیم سیلیکات (آب شیشه)، پتاسیم هیدروکسید ۱۰ مولار و ماسه استاندارد. نمونه ها باید در قالب مکعبی با ابعاد ۵۰ میلی متر ریخته شوند. هدف از انجام آزمایش تعیین مقاومت فشاری یک نمونه ملات ژئوپلیمری ساخته شده با ماسه استاندارد و مواد قلیایی و سرباره است.

### ۱.۲. روش انجام آزمایش

ابتدا ۲۲۰۰ گرم ماسه استاندارد را جدا کرده، سپس ۹۰۰ گرم سرباره را توزین می‌نماییم. در مرحله بعد ۷۰۰ گرم آب را در یک ظرف توزین نموده و در آن نقطه علامت گذاری می‌نماییم و بعد از علامت گذاری آب موجود در ظرف را خالی می‌کنیم. سپس میزان ۳۹۳ گرم پودر پتاسیم هیدروکسید ۱۰ مولار مورد نیاز می‌باشد که توزین می‌نمائیم. همچنین ۳۰۰ گرم پودر سیلیکات سدیم (آب شیشه) و ۳۰۰ گرم آب را توزین می‌نماییم و با هم مخلوط کرده و هم می‌زنیم تا ۶۰۰ گرم محلول آب شیشه حاصل شود. سپس مقدار ۳۹۳ گرم پودر پتاسیم هیدروکسید ۱۰ مولار را در ظرف مذکور که قبلاً علامت گذاری شده بود می‌ریزیم و تا قسمت نشانه گذاری شده آب اضافه می‌کنیم و آن را هم می‌زنیم تا محلول پتاسیم هیدروکسید ۱۰ مولار حاصل شود. در نتیجه ساخت محلول ذکر شده گرمای زیادی آزاد می‌شود. سپس ۹۰۰ گرم سرباره ی توزین شده را در استانبولی می‌ریزیم و محلول پتاسیم هیدروکسید ۱۰ مولار را به آن اضافه کرده و بعد محلول آب شیشه را به آن می‌افزاییم و با کمچه ترکیب حاصله را مخلوط می‌کنیم و در طی هم زدن به تدریج میزان ۲۲۰۰ گرم ماسه نیز به ترکیب اضافه می‌کنیم و بتن ژئوپلیمری حاصل می‌شود.

### ۲.۲. ریختن ملات در قالب ها

قالب ها را تمیز می‌کنیم و روغن می‌زنیم و ملات ها را درون قالب می‌ریزیم و روی دستگاه لرزاننده قرار می‌دهیم. سپس سطح فوقانی را با کاردک صاف می‌کنیم. بعد از یک روز، نمونه ها را از قالب باز می‌کنیم و در محیط آزمایشگاه قرار می‌دهیم. ۲ نمونه را ۷ روزه، ۲ نمونه را ۱۴ روزه و نهایتاً ۲ نمونه را ۲۸ روزه به صورت فشاری می‌شکنیم و نتایج را یادداشت می‌کنیم.

### ۳.۲. انتشار دی اکسید کربن در مواد خام

استخراج و تولید مواد خام منجر به انتشار گازهای گلخانه ای می‌شود، جدول زیر عوامل انتشار مورد استفاده در این مقاله را به طور کامل شرح می‌دهد.

جدول ۱- میزان انتشار دی اکسید کربن به ازای موادخام

ردیف	مواد خام	عامل انتشار t co2 e/t
۱	سیمان	۰,۹۰۴
۲	سرباره	۰,۱۱۳
۳	مواد شیمیایی (سیلیکات سدیم، پتاسیم هیدروکسید)	۱,۰۷
۴	ماسه	۰,۰۰۳
۵	شن	۰,۰۰۵۲
۶	مصالح بازیافتی	۰,۰۱۳۳
۷	آب	۰,۰۰۰۷

برای بدست آوردن آلاینده‌گی بتن موردنظر در طرح اختلاط از فرمول ۱-۳ استفاده می کنیم که در این فرمول  $m$  میزان هر ماده در طرح اختلاط و  $g$  انتشار دی اکسید کربن بدست آمده در هر ماده می باشد که از جدول ۲-۳ بدست می آید.

$$Co_2F = \sum m_i \times g_i \quad (1)$$

#### ۴.۲. طرح اختلاط

با بررسی بر روی نمونه های بتن معمولی، بتن ژئوپلیمری و بتن ژئوپلیمری بازیافتی جدول طرح اختلاط زیر ارائه می گردد، در ضمن در جداول ارائه شده حروف A نشان دهنده مقاومت ۵ مگاپاسکال، حروف B نشان دهنده مقاومت ۱۰ مگاپاسکال، حروف C نشان دهنده مقاومت ۱۵ مگاپاسکال، حروف D نشان دهنده مقاومت ۲۰ مگاپاسکال، حروف E نشان دهنده مقاومت ۲۵ مگاپاسکال و همچنین اندیس ۱ برای بتن ژئوپلیمری، اندیس ۲ برای بتن ژئوپلیمری بازیافتی و اندیس ۳ برای بتن معمولی می باشد.

#### ۵.۲. روش ساخت

ابتدا محلول قلیایی را وزن کشی نموده و در میزان آب محاسبه شده حل می کنیم تا به مولاریته مد نظر خود برسیم سپس وزن کشی مصالح از قبیل ماسه و سرباره را انجام می دهیم. و سپس اختلاط مصالح را آغاز می کنیم. ابتدا ماسه را در ظرف اختلاط می ریزیم و محلول های قلیایی را به آن اضافه می کنیم و هم می زنیم و در آخر میزان سرباره ی سنجش شده را به آن اضافه می کنیم و هم زدن را ادامه می دهیم تا زمانی که عمل ژئوپلیمرایزاسیون انجام گیرد. پس از آن ملات مد نظر را در داخل قالب ۵\*۵ می ریزیم و پس از ۲۴ ساعت قالب را باز می کنیم و آن ها را در شرایط عمل آوری مد نظر قرار می دهیم و پس از سپری شدن مدت مد نظر آزمایش مورد نیاز را انجام می دهیم.



شکل ۱- نمونه های بتن ژئوپلیمری ساخته شده



شکل ۲- نمونه بتن ژئوپلیمری باز یافتی شکسته شده

#### ۴.۲. نمونه‌ها

در این تحقیق از انواع ابعاد و اندازه و اشکال قالب برای تست های مختلف به شرح زیر استفاده شده است.  
مقاومت فشاری:

قالب مکعبی با ابعاد:  $10 \times 10$  سانتی متر.

مقاومت کششی دو نیم شدن:

قالب استوانه ای با ابعاد:  $15 \times 30$  سانتی متر.

مدول الاستیسیته:

قالب استوانه‌ای با ابعاد:  $15 \times 30$  سانتی متر.

#### ۵.۲. بتن‌ریزی قالب‌ها و عمل‌آوری نمونه‌ها

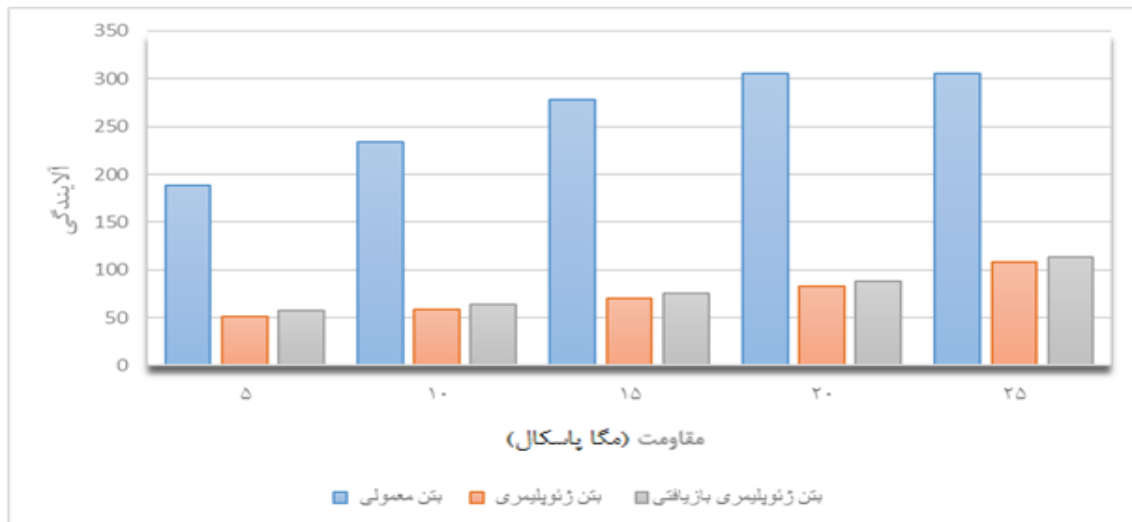
قبل از بتن‌ریزی قالب‌ها به طور مناسب تمیز شده و سطح آن به منظور جلوگیری از چسبیدن بتن به قالب به روغن آغشته گردید. سپس قالب‌ها برای هر یک از طرح‌های اختلاط بتن‌ریزی شدند. بعد از ۲۴ ساعت قالب‌ها باز شده و نمونه‌ها درون حوضچه آب به مدت ۷، ۲۸ و ۵۶ روز عمل‌آوری شدند.

#### ۳. جداول و نمودار های نتیجه گیری

##### ۱.۳. جدول آلاینده‌گی

جدول ۲- کل آلاینده‌گی

مقاومت	بتن معمولی	بتن ژئوپلیمری	بتن ژئوپلیمری بازیافتی
۵	۱۸۸/۱۵	۵۱/۳۴	۵۷/۰۱
۱۰	۲۳۳/۳۵	۵۸/۷۱	۶۳/۸۶
۱۵	۲۷۸/۰۲	۷۰/۳	۷۵/۱۶
۲۰	۳۰۵/۳۷	۸۳/۲۲	۸۸/۴۹
۲۵	۳۰۵/۳۸	۱۰۸/۰۲	۱۱۳/۲۸



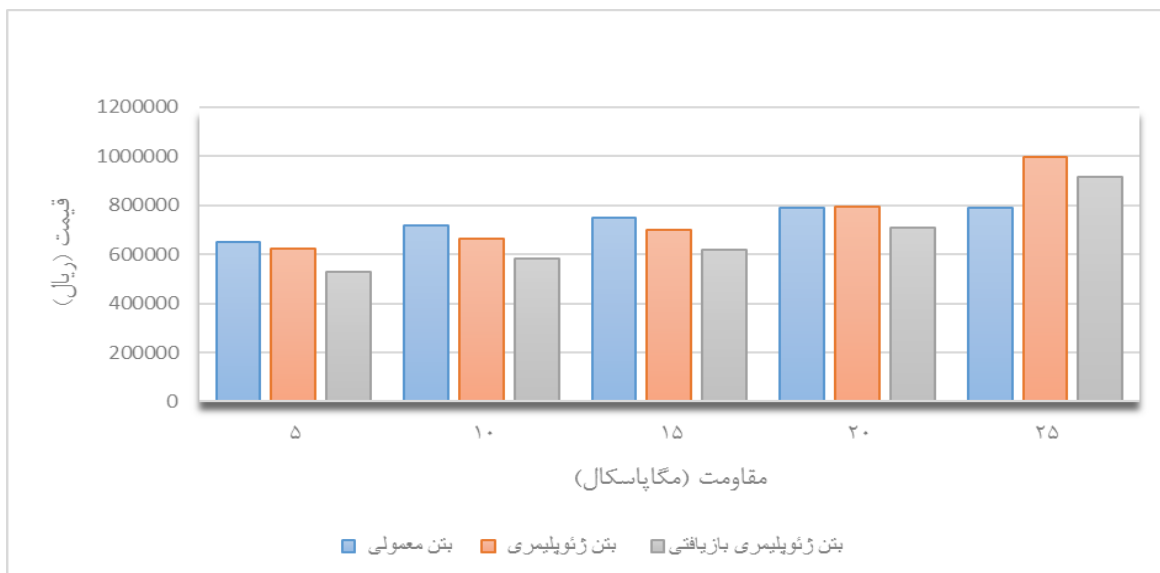
شکل ۳- نمودار کلی بررسی آلاینده‌گی

با توجه بررسی نمودار ۱ به این نتیجه می‌رسیم که شاخص آلاینده‌گی بتن‌های معمولی، بتن ژئوپلیمری و بتن ژئوپلیمری بازیافتی که در رده‌های مقاومتی مختلف بر اساس مقدار مصالح تشکیل دهنده در طرح اختلاط بدست آوردیم برای بتن‌های غیر سازه‌ای کمتر و برای بتن‌های سازه‌ای بیشتر بدست آمده است. که طبیعی است برای بتن‌های معمولی بر اساس استفاده از مقدار سیمان در رده مقاومتی نمودار تغییر می‌کند و برای بتن‌های ژئوپلیمری استفاده از مواد شیمیایی بیشترین تاثیر را روی نمودار می‌گذارد و این نسبت برای بتن‌های ژئوپلیمری بازیافتی با کمی تغییرات مشخص شده که همانند بتن‌های ژئوپلیمری می‌باشد.

۲.۳. جدول قیمت

جدول ۳- کل قیمت

مقاومت	بتن معمولی	بتن ژئوپلیمری	بتن ژئوپلیمری باز یافتی
۵	۶۵۱۰۰۰	۶۲۱۵۰۰	۵۳۰۵۰۰
۱۰	۷۱۶۲۵۰	۶۶۵۸۰۰	۵۸۱۳۰۰
۱۵	۷۵۱۵۰۰	۶۹۸۰۰۰	۶۲۰۰۰۰
۲۰	۷۹۰۶۵۰	۷۹۲۱۰۰	۷۰۷۶۰۰
۲۵	۷۹۰۷۵۰	۹۹۸۲۰۰	۹۱۳۷۰۰



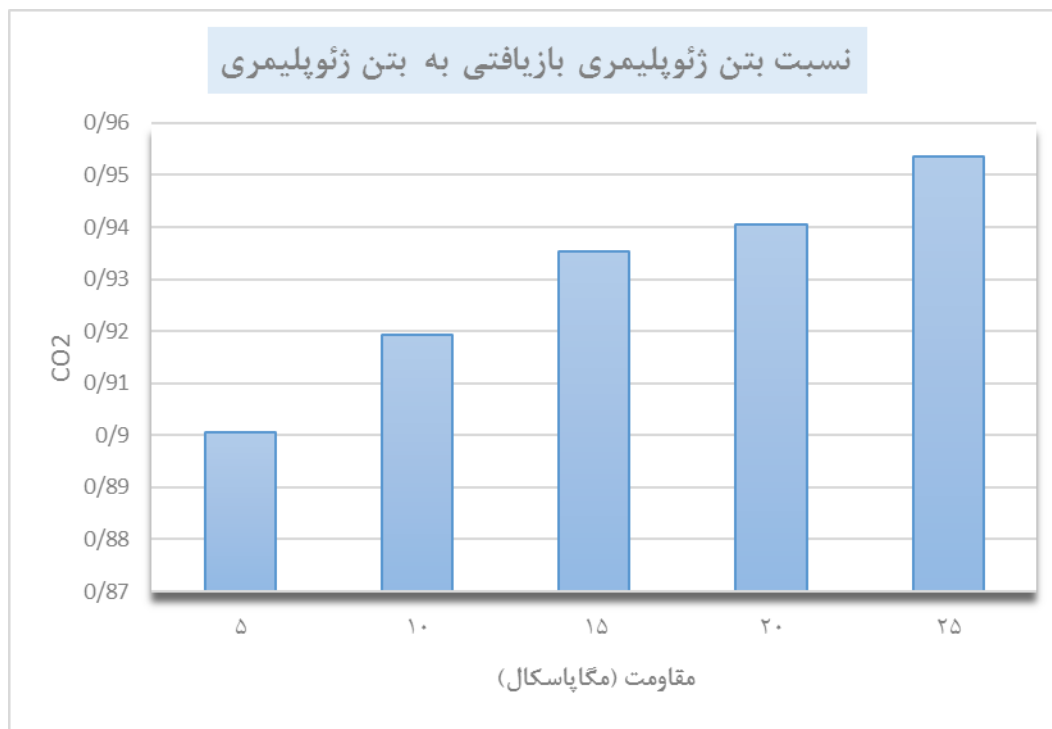
شکل ۴- نمودار کلی بررسی قیمت

در نمودار کلی بررسی قیمت، هر سه بتن با اختلاف کمی با هم تولید می شوند، اما در بتن های غیر سازه ای، بتن های معمولی قیمت بیشتری نسبت به دو بتن دیگر دارند ولی هرچقدر به سمت بتن های سازه ای می رویم، افزایش قیمت بتن های ژئوپلیمری را مشاهده می کنیم و آن هم به دلیل استفاده از مواد شیمیایی است، که در قیمت تمام شده بتن تاثیر می گذارد.

۳،۳. جدول درصد آلاینده‌گی

جدول ۴- درصد آلاینده‌گی کلی

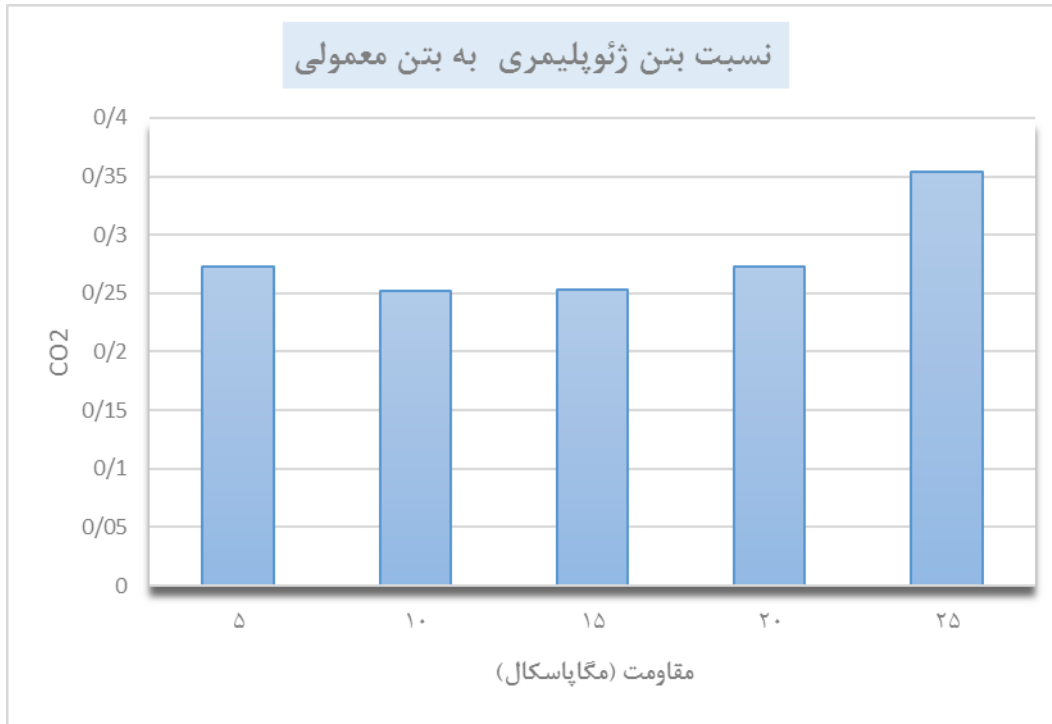
نسبت شاخص آلاینده‌گی			
ردیف	مقاومت	بتن ژئوپلیمری به بتن معمولی	بتن ژئوپلیمری بازیافتی به بتن ژئوپلیمری
A	۵	۰/۲۷۲۹	۰/۹۰۰۵
B	۱۰	۰/۲۵۱۶	۰/۹۱۹۴
C	۱۵	۰/۲۵۲۹	۰/۹۳۵۳
D	۲۰	۰/۲۷۲۵	۰/۹۴۰۴
E	۲۵	۰/۳۵۳۷	۰/۹۵۳۶



شکل ۵- نمودار نسبی شاخص آلاینده‌گی بتن ژئوپلیمری بازیافتی نسبت به بتن ژئوپلیمری

همانطور که مشاهده می شود نسبت آلاینده‌گی بتن ژئوپلیمری نسبت به بتن ژئوپلیمری بازیافتی به نسبت پایین تر می باشد؛ اما با افزایش مقاومت این مقدار کمتر می شود و درصد آلاینده‌گی دو بتن نزدیک هم می شود.





شکل ۶- نمودار نسبی شاخص آلاینده‌گی بتن ژئوپلیمری نسبت به بتن معمولی

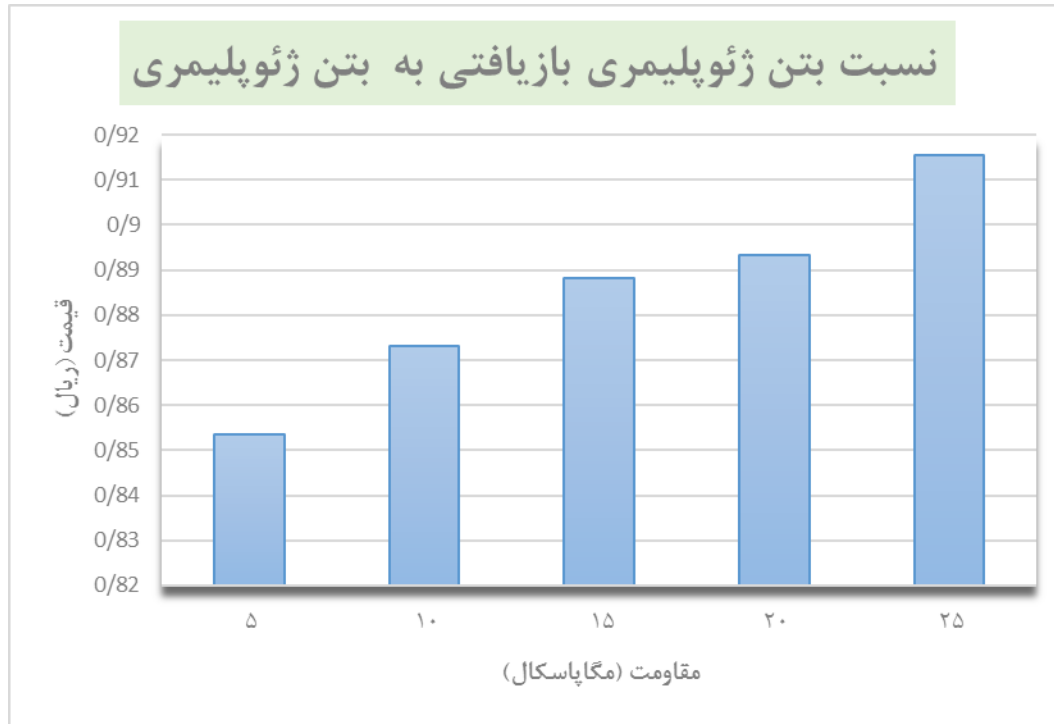
همانطور که مشاهده می شود نسبت آلاینده‌گی بتن ژئوپلیمری نسبت به بتن معمولی به نسبت خیلی پایین تر می باشد؛ البته مشاهده می شود با افزایش مقاومت نیز این مقدار تغییر خاصی نمی کند.

#### ۴,۳. جدول درصد قیمت

بعد از بررسی آلاینده‌گی بتن های مورد نظر، حال به بررسی قیمت در بتن های مورد نظر می پردازیم.

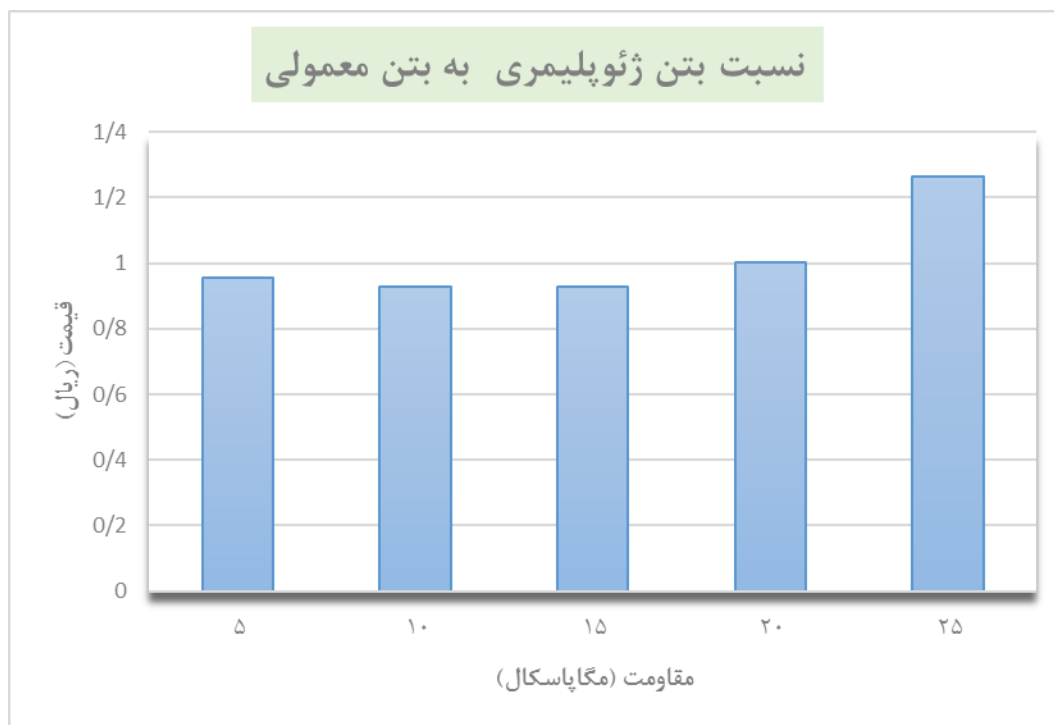
جدول ۵- کل درصد قیمت

ردیف	مقاومت	بتن ژئوپلیمری به بتن معمولی	بتن ژئوپلیمری بازیافتی به بتن ژئوپلیمری
A	۵	۰/۹۵۴۷	۰/۸۵۳۶
B	۱۰	۰/۹۲۹۶	۰/۸۷۳۱
C	۱۵	۰/۹۲۸۸	۰/۸۸۸۳
D	۲۰	۱/۰۰۱۸	۰/۸۹۳۳
E	۲۵	۱/۲۶۲۳	۰/۹۱۵۳



شکل ۷- نمودار نسبی قیمت بتن ژئوپلیمری بازیافتی نسبت به بتن ژئوپلیمری

همانطور که مشاهده می شود نسبت قیمت بتن ژئوپلیمری بازیافتی نسبت به بتن ژئوپلیمری به نسبت پایین تر می باشد؛ اما با افزایش مقاومت این مقدار کمتر می شود و قیمت دو بتن نزدیک هم می شود.



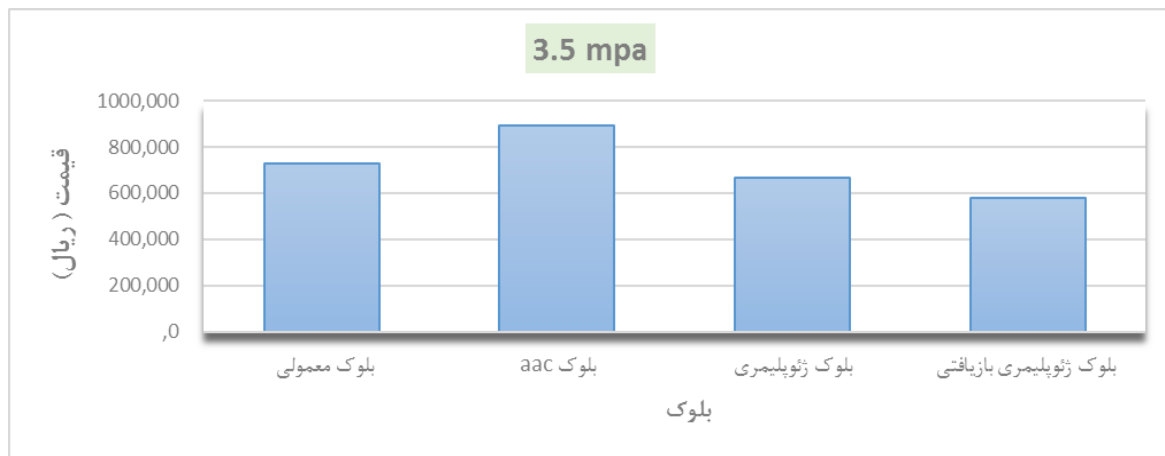
شکل ۸- نمودار نسبی قیمت بتن ژئوپلیمری نسبت به بتن

همانطور که مشاهده می شود قیمت بتن ژئوپلیمری نسبت به بتن معمولی تا مقاومت ۱۵ مگاپاسکال به نسبت پایین تر می باشد و در مقاومت ۲۰ مگاپاسکال این مقدار تقریباً برابر و در مقاومت ۲۵ مگاپاسکال قیمت بتن ژئوپلیمری نسبت به بتن معمولی بیشتر می شود.

### ۵.۳. جدول قیمت بلوک

جدول ۶ - مقایسه بلوک های بتن معمولی، بلوک AAC، بتن ژئوپلیمری و بتن ژئوپلیمری بازیافتی در مقاومت ۳.۵ مگاپاسکال

قیمت یک مترمکعب (ریال)				
مقاومت	بلوک معمولی	بلوک AAC	بلوک ژئوپلیمری	بلوک ژئوپلیمری بازیافتی
۳.۵	۷۲۹۵۰۰	۸۹۳۵۰۰	۶۶۸۵۰۰	۵۷۷۵۰۰



شکل ۹ - مقایسه بلوک های بتن معمولی، بلوک AAC، بتن ژئوپلیمری و بتن ژئوپلیمری بازیافتی در مقاومت ۳.۵ مگاپاسکال

در مقایسه بلوک ها دو نوع بلوک بتن معمولی و بتن اتوکلاو شده را با بلوک ژئوپلیمری با مقاومت های یکسان مقایسه کردیم و همانطور که در نمودار مشاهده می کنید قیمت تمام شده بلوک ژئوپلیمری کمتر از دو بلوک دیگر بوده است و همانطور که در نمودار مشاهده می کنید قیمت تمام شده بلوک ژئوپلیمری بازیافتی نسبت به بلوک ژئوپلیمری کمتر بوده است و توانسته ایم بخشی از ضایعات ساختمان را به چرخه تولید برگردانیم.

### ۴. نتیجه گیری

همانطور که در بخش سوم مشاهده شد سه نمونه بتن معمولی بتن ژئوپلیمری و بتن ژئوپلیمری بازیافتی مورد معرفی قرار گرفتند و از لحاظ در صد آلاینده گی و برآورد قیمت مصرفی مورد بررسی قرار گرفتند در این فصل به نتیجه گیری آزمایشات انجام شده و پیشنهادات برای پیشرفت هرچه بیشتر و بهتر بتن ژئوپلیمری خواهیم پرداخت. شاخص آلاینده گی بتن ژئوپلیمری بین ۲۵ تا ۴۰ درصد بتن معمولی و ۹۰ تا ۹۶ درصد بتن ژئوپلیمری بازیافتی است. قیمت تمام شده بتن ژئوپلیمری بین ۹۰ تا ۱۳۰ درصد بتن معمولی و قیمت تمام شده بتن ژئوپلیمری بازیافتی ۸۵ تا ۹۵ درصد بتن های ژئوپلیمری می باشد. در ارزیابی

ساخت بلوکهای ژئوپلیمری با استفاده از طرح اختلاط مذکور نشان داد که قیمت تمام شده بلوکهای ژئوپلیمری حدود ۸۰ درصد بلوک معمولی و بلوک های ژئوپلیمری بازیافتی قیمت تمام شده کمتری نسبت به بلوک های ژئوپلیمری دارد. هر چقدر مقاومت نمونه ها بیشتر باشد تاثیری بر افزایش آلاینده‌گی و افزایش قیمت در بلوکهای ژئوپلیمری مشاهده میشود. لذا بهترین حالت استفاده از بتن های ژئوپلیمری در قطعات غیرسازه ای است.

## ۵. مراجع

- [1] Zain, H., Abdullah, M. M. A. B., Hussin, K., Ariffin, N., & Bayuaji, R. (2017). Review on various types of geopolymers materials with the environmental impact assessment. In MATEC Web of Conferences (Vol. 97, p. 01021). EDP Sciences.
- [2] Rashnavadi, A., Mohamadi, M., Abaszadeh, A. (2013). Evaluation of replacement geopolymers concrete with Portland I construction. International conference on civil engineering Architecture & Urban Sustainable Development. Tabriz, Iran.
- [3] Rouwette, R. (2012). ACM – LCA of Geopolymer Concrete (E-crete). Start2See Pty Ltd, Australia,
- [4] McLellan, B. C., Williams, R. P., Lay, J., Van Riessen, A., & Corder, G. D. (2011). Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement. Journal of cleaner production, 19(9-10), 1080-1090.
- [5] Habert, G., De Lacaillerie, J. D. E., & Roussel, N. (2011). An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: reviewing current research trends. Journal of cleaner production, 19(11), 1229-1238.
- [6] Hardjito, D. (2005). Studies of fly ash-based geopolymer concrete (Doctoral dissertation, Curtin University).