



دانشگاه آزاد اسلامی
واحد تهران جنوب
دانشکده تحصیلات تکمیلی

سمینار برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.sc"
مهندسی پلیمر - صنایع پلیمر

عنوان :

ساخت ترموپلاستیک الاستومر بر پایه لاستیک بازیافتی
و پلی اتیلن

الله اعلم
الحق

فهرست مطالب

1	چکیده
3	مقدمه
5	فصل اول کلیات
6	۱-۱- پیشینه تحقیق
8	۱-۲- اهداف پروژه
11	فصل دوم مروری بر مطالعات انجام شده
12	۱-۲- مقدمه ای بر پلیمرها
12	۱-۱-۲- کوپلیمرها
13	۱-۲- واکنش های پلیمر شدن
14	۱-۲-۳- پلیمریزاسیون زنجیره ای
14	۱-۲-۳-۱- مرحله آغاز
15	۱-۲-۳-۲- مرحله انتشار
15	۱-۲-۳-۳- مرحله پایان
16	۱-۲-۴- پلیمریزاسیون مرحله ای
17	۱-۲-۵- کریستالیته پلیمرها
19	۱-۲-۶- تغییر شکل پلیمرها در دماهای مختلف
20	۱-۲-۲- پلی اتیلن تر فتالات
21	۱-۲-۲- نحوه سنتز پلی اتیلن تر فتالات (PET)
23	۱-۲-۲- انواع گرید PET
24	۱-۲-۳- پارامترهای موثر بر کیفیت رزین PET
30	۱-۲-۳- خط بازیافت پت

۳۲	۱-۳-۲- خط تولید گرانول از ضایعات بطری پت برای تولید بطری ABS-PPL ۲۰۰
۳۴	۴-۲- بازطیفت بطری
۳۷	۵-۲- سیمان
۳۷	۱-۵-۲- سیمان از آغاز تا امروز در یک نگاه
۴۰	۲-۵-۲- سیمان در ایران
۴۱	۳-۵-۲- روشهای ساخت سیمان
۴۲	۴-۵-۲- انواع سیمان
۴۲	۱-۴-۵-۲- سیمان پرتلند نوع ۱ سیمان
۴۲	۲-۴-۵-۲- سیمان پرتلند نوع ۳ P.C-type III
۴۲	۳-۴-۵-۲- سیمان پرتلند نوع ۵ P.C-type V
۴۲	۴-۴-۵-۲- سیمان سفید White Cement
۴۲	۵-۴-۵-۲- سیمان سر باره ای ضد سولفات
۴۲	۶-۴-۵-۲- سیمان پرتلند - پوزولانی P.P.
۴۳	۷-۴-۵-۲- سیمان پرتلند - آهکی P.K.Z.
۴۳	۸-۴-۵-۲- سیمان بناجی Masonry Cement
۴۳	۹-۴-۵-۲- سیمان نسوز ۴۵۰ Rf Cement 450
۴۳	۱۰-۴-۵-۲- سیمان نسوز ۵۰۰ Rf Cement 500
۴۳	۱۱-۴-۵-۲- سیمان نسوز ۵۵۰ Rf Cement 550
۴۴	۱۲-۴-۵-۲- سیمان های چاه نفت
۴۴	۱۳-۴-۵-۲- سیمان های پرتلند ضد آب
۴۴	۱۴-۴-۵-۲- سیمان های با گیرش تنظیم

۴۴	۲-۵-۴-۱۵- سیمان های رنگی
۴۴	۲-۵-۵- ملاتهای سیمانی
۴۵	۲-۶- مروری بر کارهای انجام شده گذشته
۴۶	فصل سوم مواد و دستگاه ها
۴۸	۳-۱- مشخصات مواد به کار رفته
۴۸	۳-۱-۱- سیمان پرتلند نوع ۲
۴۹	۳-۱-۲- ماسه استاندارد
۵۰	۳-۱-۳- PET بازیافتی
۵۰	۳-۱-۴- آب اختلاط
۵۱	۳-۱-۵- اسید سولفوریک
۵۱	۳-۲- مشخصات دستگاههای مورد استفاده
۵۱	۳-۲-۱- دستگاه مخلوط کن داخلی
۵۱	۳-۲-۲- قالب استاندارد به ابعاد
۵۱	۳-۲-۳- حوضچه آب
۵۲	۳-۲-۴- چمبر Chanber
۵۲	۳-۲-۵- دستگاه ضربه زن
۵۲	۳-۲-۶- دستگاه اندازه گیری مقاومت فشاری
۵۲	۳-۲-۷- دستگاه مقاومت خمشی
۵۲	۳-۳- تهیه آمیزه ها و نامگذاری و روشهای انجام
۵۵	فصل چهارم بحث و نتایج
۵۶	۴-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری در محیط اسید

۵۸	۴-۱-۱- نمونه حاوی ۰/۵ درصد پلی اتیلن
۵۹	۴-۱-۲- نمونه حاوی ۱ درصد پلی اتیلن
۵۹	۴-۱-۳- نمونه حاوی ۲ درصد پلی اتیلن
۶۰	۴-۱-۴- مقایسه نمونه Ref با Type های
۶۱	۴-۱-۵- حمله سولفاتها به محصولات سیمانی
۶۶	۴-۱-۶- نتیجه گیری کلی از نمودار ۱-۴
۶۷	۴-۲- نتایج آزمایش مقاومت خمشی در محیط اسید
۷۰	۴-۲-۱- مقایسه مقاومت خمشی در ترکیب
۷۲	۴-۳- بررسی مقاومت فشاری در محیط استاندارد آب
۷۵	۴-۳-۱- مقایسه نمونه های مختلف در ترکیب
۷۵	۴-۳-۲- مقایسه نمونه های مختلف در ترکیب
۷۶	۴-۳-۳- مقایسه رهنه های مختلف در ترکیب
۷۷	۴-۳-۴- مقایسه مقاومت فشاری نمونه ۰.۵ با
۷۸	۴-۳-۵- مقایسه نمونه های حاوی ۱٪ با نمونه
۷۹	۴-۳-۶- مقایسه ترکیب درصد ۲٪ یا ترکیب
۸۰	۴-۳-۷- مقایسه مقاومت فشاری ترکیب درصد
۸۱	۴-۳-۸- مقایسه نمونه Ref با نمونه های شامل
۸۳	۴-۳-۹- نتیجه گیری کلی از نمودار ۸-۴
۸۴	۴-۴- بررسی مقاومت خمشی تحت محیط استاندارد
۸۶	۴-۴-۱- بررسی مقاومت خمشی در ترکیب ۰.۵
۸۷	۴-۴-۲- بررسی مقاومت خمشی در ترکیب ۱ درصد

۸۷	۳-۴-۴- بررسی مقاومت خمشی در ترکیب ۲
۸۸	۴-۴-۴- مقایسه مقاومت خمشی در ترکیب
۸۸	۵-۴-۴- بررسی تأثیر افزایش ترکیب درصد از
۹۰	۶-۴-۴- مقایسه تمامی نمونه‌ها و تمامی
۹۱	۷-۴-۴- مقایسه نمونه‌های PET 2% بازیافتی با
۹۲	۸-۴-۴- نتیجه‌گیری کلی از نمودار ۴-۱۰
۹۲	۵-۴- بررسی مقاومت فشاری در محیط استاندارد
۹۵	۱-۵-۴- مقایسه ترکیب درصد ۰.۵٪ و ۱٪ در تست
۹۸	۲-۵-۴- مقایسه مقاومت خمشی نمونه‌ها در
۱۰۲	۱-۵- خلاصه نتایج
۱۰۴	۲-۵- پیشنهاد برای تحقیقات آتی
۱۰۵	منابع فارسی
۱۰۶	منابع لاتین

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۶۰	جدول ۴-۱- نتایج مقاومت فشاری تمامی نمونه ها در محیط اسید سولفوریک طی ۲۸ روز
۶۵	جدول ۴-۲- انبساط / انقباض تئوری برای واکنش‌های با سولفات کلسیم در بتن سخت شده
۶۷	جدول ۴-۳- نتایج آزمایش مقاومت خمشی در محیط اسید سولفوریک طی ۲۸ روز
۷۳	جدول ۴-۴- نتایج بدست آمده از اندازه گیری مقاومت فشاری
۸۵	جدول ۴-۵- نتایج بدست آمده از اندازه گیری مقاومت خمشی
۹۳	جدول ۴-۶- آزمون مقاومت فشاری در مورد نمونه‌های که با ترکیب درصد
۹۷	جدول ۴-۷- نتایج بدست آمده از اندازه گیری مقاومت خمشی در ترکیب

فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۶۰	شکل ۴-۱- نمودار مقاومت فشاری
۶۱	شکل ۴-۲- نمونه تحت بار در دستگاه
۶۶	شکل ۴-۳- نمودار مقاومت فشاری تمامی نمونه
۶۸	شکل ۴-۴- نمودار مقاومت خمشی تمامی نمونه ها
۷۱	شکل ۴-۵- نمونه تحت بار در دستگاه
۷۴	شکل ۴-۶- نمودار بدست آمده از اندازه گیری
۷۸	شکل ۴-۷- نمونه تحت بار در دستگاه مقاومت

چکیده

استفاده از مواد پلیمری به سرعت در صنایع مختلف از جمله صنایع ساختمانی در حال گسترش می‌باشد. کاربر نوین و موفق، استفاده از این مواد در ساخت بتن های پلیمری است. اما یکی از معایب استفاده از این نوع بتن بهای تمام شده بالای آن است. در این پروژه تلاش شده است که علاوه بر تأثیرگذاری مواد پلیمری روی خواص شیمیایی و فیزیکی بتن، بهای تمام شده آن نیز کاهش یابد. کشور پهناور ایران با داشتن انواع آب و هوا و شرایط اقلیمی مختلف، در جهان به عنوان منطقه ای خاص برای دوام انواع سازه های بتنی مورد نظر می باشد. عدم پایایی و آسیب دیدگی های بتن گاه به هزینه های تعمیراتی کلاری می انجامد. که به مراتب از هزینه های لازم برای یک طراحی خوب و قابل قبول بیشتر است. بعضاً این هزینه ها به قدری زیاد است که تخریب سازه نسبت به تعمیر آن ارجح است. آنچه مشخصی است خلیج فارس از بدترین محیط هایی است که به سلامتی و پایایی بتن ضرر می زند. رطوبت زلزله وجود املاح و نمک های فراوان، محلات سولفاتی، سایش امواج (جزرومد) از عوامل اصلی تخریب سازه های بتنی در محیط سواحل جنوبی به شمار می رود سولفات ها در اغلب نقاط دنیا به طور طبیعی در آب و خاک وجود دارند که این سولفات ها برای بتن فوق العاده مضر می باشند. در مناطق جنوبی کشور، خصوصاً عسلویه و ماهشهر با توجه به منابع عظیم نفت و گاز استفاد از سازه های حجیم بتنی جهت دکل های حفاری نفت و گاز و اسکله ها و... امری ضروری می باشد و محافظت از بتن در مقابل چنین شرایطی بسیار مهم و کارساز است.

از آنجایی که بطری های نوشیدنی و ظروف یکبار مصرف ساخته شده از پلی اتیلن ترفتالات به مقدار زیاد در ایران و دیگر کشورها تولید می شود و همچنین تجزیه این مواد در طبیعت نیاز به زمان زیادی دارد (۴۰۰ سال) که این خود به عنوان یک معضل زیست محیطی به شمار می رود. با توجه به این مشکل زیست محیطی و هم چنین نیاز به تقویت بتن در شرایط مختلف، بر آن شدیم که با استفاده از PET بازیافتی و ترکیب آن با سیمان، ماسه، آب به خواص مطلوبی از جمله افزایش مقاومت فشاری،

مقاومت خمشی، مقاومت در مقابل محیط‌های اسیدی، و همچنین مقاومت در مقابل عوامل محیطی و جوی دست یابیم.

در این پروژه با به کار بردن درصدها و شکل‌های مختلف از PET بازیافتی قرار دادن در محیط آبی و اسیدی در بتن و انجام آزمایشات مقاومت خمشی و فشاری براساس استانداردهای بین المللی و همچنین مقاومت در مقابل سولفات‌ها به نتایج بسیار مطلوبی دست یافتیم.

این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در بتن تحت محیط اسید سولفوریک ۱۰٪ طی ۲۸ روز مقاومت خمشی در ابتدا کاهش و سپس افزایش بسیار چشمگیری و قابل توجهی داشته است همچنین مقاومت فشاری نیز تا ۲۰۰ واحد افزایش پیدا کرده است که بسیار بی نظیر می‌باشد.

با افزایش درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در بتن تحت دمای ۲۰ درجه و رطوبت ۱۰٪ طی ۲۸ روز نیز مقاومت خمشی و فشاری ابتدا افزایش و سپس کاهش داشته است.

همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد که نمونه حاوی پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی به شکل Ribbon اکثر موارد رفتار بسیار بهتری نسبت به نمونه های دیگر و نمونه شاهد داشته است . دستیابی به خواص شیمیایی و فیزیکی منطبق با نیازمندی‌ها و خواص اشاره شده در مراجع فنی (و گاهی بهتر از آنها) در پروژه حاضر، مرهون انتخاب صحیح مواد و روش کار بوده است.

امید است که انجام این پروژه راهگشایی بر پیشرفت‌های بعدی در تولید صنعتی سازه‌ها و محصولات بتن پلیمری، و کاربرد موفق آنها در زمینه‌های مختلف صنعتی و شهری کشور باشد.

مقدمه

پیشرفت صنایع ساختمانی با تحقیقات و گسترش مداوم و پیوسته و طراحی مواد جدید و اصلاح یافته، و بکارگیری آنها در ساختن سازه های گوناگون قرین و همراه است. این مواد جدید همواره جنبه های کارآمدتری نسبت به مواد قدیمی دارند. جنبه‌هایی نظیر استحکام بالاتر، مقاومت بهتر در مقابل عوامل تخریبی و غیره.

صنایع ساختمانی یکی از بزرگترین مصرف کننده مواد پلیمری هستند. ۲۵ تا ۳۰ درصد کل حجم پلیمرهای تولید شده را مصرف می کنند در حال حاضر پرمصرف ترین مصالح ساختمانی مورد مصرف، بتن می باشد که قیمت پایین آن، راحتی استفاده و استحکام فشاری مناسب، دلایل اصلی پذیرش عمومی آن است. اما بتن، دارای نقایصی است که از آن جمله می توان به تخریب یخ زدگی و ذوب (freete-thew deterioration)، تخریب پذیری توسط مواد شیمیایی خورنده و استحکام کششی کم اشاره نمود. لذا به این دلایل تلاش هایی در جهت ارتقاء کیفیت و جایگزینی بتن با موادی شامل پلیمرها آغاز گردید. در کشورهای صنعتی از جمله ژاپن، آمریکا، روسیه و همچنین اروپا تحقیقات و مطالعات وسیعی در این رابطه به انجام رسید. هدف درازمدت این برنامه های تحقیقاتی بررسی و گسترش مواد مرکب پلیمری برای کاربرد به عنوان مواد جدید و اصلاح یافته در ساختمان سازی بوده است.

در پروژه حاضر ساخت بتن پلیمری طبق ابعاد استاندارد با به کارگیری پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی حاصل از بطری های نوشیدنی در درصدهای وزنی مختلف و در شکل های مختلف انجام شده است و خواص فیزیکی آنها شامل مقاومت خمشی و مقاومت فشاری مجاورت محیط های استاندارد مورد بررسی قرار گرفته است و اثر تغییر در سه پارامتر درصد وزنی، شکل پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی و محیطی که بتن پلیمری در مجاورت آن قرار می گیرد روی مقاومت خمشی و فشاری مورد ارزیابی و مقایسه قرار می گیرد.

متغیرها (Variable)

۱- تغییر درصد وزنی PET بازیافتی

-PET Content ۰/۵٪

-PET Content ۱٪

-PET Content ۲٪

۲- تغییر در نوع شکل PET بازیافتی

- Random

- Ribbon

- Zigzay

۳- تغییر در محیط استاندارد

- در مجاورت آب

- در مجاورت اسید سولفوریک.

نتایج حاصله نشانگر موفقیت پروژه بوده و هم اکنون می توان بر مبنای این نتایج کاربردهای صنعتی نظیر اسکله های بنادر، ساخت سکوه‌های نفتی و گازی در دریا و همین سازه هایی که در مجاورت خاک هایی که دارای سولفات بالایی هستند و غیره از بتن تقویت شده با PET بازیافتی استفاده نمود.

این پروژه دریچه‌ای به روی جهان جاذب، نو، و پراهمیت کاربرد مواد پلیمری به عنوان بتن در مملکت می‌گشاید. جهانی که به اقتضای گستردگی اش زوایا و نقاط دیده نشده بسیاری دارد و بالطبع به موازات گسترش زمینه‌های کاربردی این مواد محاسباتی محققان، دانش پژوهان و صنعتگران مملکت به کاوش و دستیابی به پاسخ سوالات و حل معضلات فنی مرتبط با بهره گیری از این مواد در رفع نیازهای صنعتی مملکت بکوشند.

فصل اول

کلیات

PARSETHYLEDOME KISH

۱ - پیشینه تحقیق

از زمان باستان کاربرد مواد سیمانی سابقه ای طولانی دارد. مصریان قدیم از سنگ گچ ناخالص پخته استفاده می کردند و یونانی ها و رومی ها سنگ آهک پخته را بکار می بردند . سیمان می تواند دارای ترکیبات متفاوتی باشد و اصولاً جزو ملاتهای آبی محسوب می گردد . ملاتهای آبی از قدیم شناخته شده بوده اند، آهک از جمله این ملاتهاست که رومی ها و یونانی ها با مخلوط کردن آن با خاکستر آتش فشانی، خاک آجر و آب، به نوعی آهک آبی دست می یافتند که خاصیت سخت شدن و فشار پذیری بالایی داشت و این اولین ساخت سیمان در تاریخ بود . با بکار بردن این ملات رومی ها توانستند ساختمانهای عظیمی بسازند که هنوز بقایای آنها پس از گذشت چند هزار سال پابرجا و قابل مشاهده است. [۱]

در ایران از قدیم در مناطق مرطوب، خصوصاً مناطق شمالی خلیج فارس، از نوعی ساروج استفاده می شده است که دارای خواص هیدرولیکی جالب و مقاومت فشاری بالایی بوده است. معروفترین این ساروج ها، ساروج خمیر است که در بندر خمیر تهیه می گردد. هنوز تأسیسات بندری ساخته شده با این نوع ملات در نقاطی مانند بندر لنگه و بندر بوشهر پابرجاست.

در قرون وسطی کیفیت و کاربرد سیمان تنزل کلی پیدا کرد و فقط در قرن هجدهم است که می توان پیشرفتی در دانش مربوط به سیمان را مشاهده نمود . حدود ۲۰۰ سال پیش و به دنبال بررسی خواص هیدرولیکی مواد آتش فشانی مورد استفاده در کارهای ساختمانی رومیان قدیم، این نکته کشف گردید که وجود ترکیبات خاک رس در سنگ آهک باعث بالا رفتن خواص هیدرولیکی آن می شود. [۱]

در سال ۱۷۵۶ جان اسمیتون انگلیسی دریافت که بهترین ملات از مخلوط پوزولان (خاکستر آتشفشانی) و سنگ آهکی که دارای مقدار زیادی مواد رسی باشد، به دست می آید . اسمیتون با

شناخت نقش رس که تا آن زمان آن را نامطلوب می دانستند، اولین کسی بود که به خواص شیمیایی آهک آبی پی برد. او در راه پیدا کردن ملات مناسب برای احداث چ راغ دریای - به این موفقیت نایل آمد.

به دنبال وی، تحقیقات گسترده آقای ویکات - دانشمند فرانسوی بر روی آهک های آبی (آهک هایی که خاصیت گیرش در زیر آب را دارند) باعث گردید که نامبرده برای اولین بار در تاریخ موفق به تهیه مصنوعی مواد اولیه این نوع ملات ها شود. تحقیقات نامبرده را می توان از اولین پایه های ساخت سیمان پرتلند نامید. البته این سیمان با آنچه که امروز بنام سیمان پرتلند موسوم است تفاوت هایی داشت. بعد سیمان های هیدرولیکی دیگری ساخته شدند نظیر سیمان رومی که توسط « ژوزف پارکر» بدست آمد و توسط یک بنای اهل لیدز به نام ژوزف آسپتین - در سال ۱۸۲۴ به نام «سیمان پرتلند» به ثبت رسید. [۲]

اولین بنای ساخته شده با این نوع سیمان، بنای پارلمان انگلستان است که در فاصله سال های (۱۸۴۰-۱۸۲۵) احداث گردیده است. این سیمان از حرارت دادن خاک رس بسیار نرم و سنگ آهک سخت در کوره، تا زمان متصاعد شدن گاز کربنیک به دست آمد. حرارت این کوره خیلی پایین تر از حرارت لازم برای پخت کلینکر بود. [۲]

در سال ۱۸۴۵ نخستین نمونه سیمان مدرن توسط اسحاق جانسون ساخته شد. او مخلوطی از خاک رس و نوعی از سنگ آهک که بطور عمده شامل صدف های کوچک دریایی است را تا زمان کلینکر شدن پخت، تا واکنشهای ضروری برای تشکیل ترکیبات سیمانی قوی صورت بگیرد. در نهایت به مرور زمان مطالعات علمی برای کشف خواص سیمانی برخی مصالح صورت گرفت و منجر به ساخت آن چیزی که امروزه «سیمان پرتلند» می نامیم شد. [۲]

در ابتدا از کوره هایی با ظرفیت ۵ تن در هفته که کاملاً شبیه کوره های آهک پزی بوده اند، استفاده می شده است.

سیمان با توجه به اینکه کاربردهای فراوانی در صنایع گوناگون دارد و میزان مصرف این ماده در هر کشور نشان دهنده پیشرفت در صنایع مختلف آن کشور محسوب می شود، دارای ضعف هایی از جمله پایین بودن مقاومت خمشی و عدم مقاومت در مقابل سولفات ها، اسیدها، کلرها و عدم کارایی لازم در صنایع استخراج نفت نیز می باشد.

امروزه برای مرتفع شدن برخی از این مشکلات خصوصاً بتن هایی که در معرض محیط های سولفاتی قرار می گیرند تحقیقات گسترده ای در زمینه استفاده از مواد پلیمری در بتن انجام شده است که به بررسی برخی از آنها می پردازیم. [۱]

آقایان Jang-HojayKim, Chan-GiPark, Si-wonLee, Sang-WooLee, Jong-Pil Won در یک کار پژوهشی به بررسی استفاده از الیاف PET به عنوان عامل تقویت کننده که از بازیافت بطری های ضایعاتی حاصل میشود پرداختند. این آقایان نقش تقویت کنندگی الیاف را در سه حالت با سه شکل متفاوت مورد بررسی قرار دادند که عبارت بود از الیاف صاف - الیاف برجسته - الیاف موج. هر کدام از این سه دسته تاثیر بسزایی در جلوگیری از ترک ناشی از آبرفتگی بتن را داشتند. که نتیجه آن شد که الیاف برجسته استحکام بیشتر را به بتن میدهد [۳]

آقای پروفیسور kolhapure و همکارانش در یک کار تحقیقاتی درصدهای ۰ و ۱۰ و ۲۰ از پلیمر sbr به سیمان اضافه کردند و در وضعیت نگه داری نمونه در آب و هوا اثر افزایش مقاومت فشاری خمشی برشی پلیمر را بررسی کردند. در درصدهای بیشتر پلیمر مشاهده شد که خشک شدن نمونه سریعتر انجام میشود و استفاده از درصد وزنی ۲۵-۳۰ پلیمر نسبت به سیمان میتواند بهترین نتیجه اقتصادی و مقاومتی را بدهد. [۴]

در مقاله ای توسط آقایان Byung-Wan jo, Ghi-Ho Tae, Chang-Hyun Kim بررسی اثر خزش در بلند مدت و کوتاه مدت بر روی بتن پلیمری پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مورد بررسی قرار

گرفت. نتایج کریپ کامپلیانس در آزمایش های مختلفی که انجام گرفته شد کمتر از ۴٪ بود. کرنش خزشی در بتن پلیمری بدون فیلر بسیار بالاتر از بتن پلیمری فیلردار شده با CaCO_3 است. میزان خزش همراه با یک استرس افزایش پیدا کرد که به دلیل رفتار غیر خطی بتن پلیمری پلی اتیلن تر فتالات بازیافتی بود. [۵]

آقایان S.okubo, K.fukui, T.ochi از الیاف پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در بتن به عنوان عامل تقویت کننده استفاده کردند. در این روش بتن و الیاف براحتی و با حجم بالای ۳٪ الیاف با یکدیگر مخلوط شد. در این مقاله وابستگی لیف پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی و مقاومت الکی آن را در بتن مورد بررسی قرار دادند. [۶]

۱ ۴ - اهداف پروژه

هدف از این پروژه بررسی خواص PET بازیافتی در ترکیب بار سیمان برای تهیه بتن های پلیمری ویژه است و هدف عمده آن تولید انبوه این بتن پلیمری می باشد. استفاده از PET بازیافتی در بتن می تواند مشکلات زیست محیطی این ماده که به عنوان یک تهدید برای محیط زیست می باشد را کمتر نمود. همچنین ساخت بتن پلیمری ارزان قیمت با استفاده از پی اتیلن ترفتالات بازیافتی می تواند از نظر اقتصادی توجیه پذیر باشد.

با به کارگیری پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در بتن تحت محیط اسید سولفوریک و آب به مقاومت فشاری و مقاومت خمشی بالا دست یافتیم که هر دو هدف پروژه حاضر تحقق یابد. خصوصاً در بحث مقاومت فشاری نتایج بسیار عالی و کاربردی می باشد.

این آزمایشات نشان می دهد که با افزایش درصد PET بازیافتی مقاومت فشاری افزایش می یابد خصوصاً در نمونه PET که به شکل Ribbon می باشد افزایش قابل توجهی نسبت به نمونه های دیگر داشته است.

در تست ۲۸ روزه در محیط آب با ترکیب درصد ۰/۵٪ پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در هر سه نمونه افزایش داشته است که باز هم بیشترین افزایش مربوط به نمونه Ribbon بوده است.

PARSETHYLENE KISH

فصل دوم:

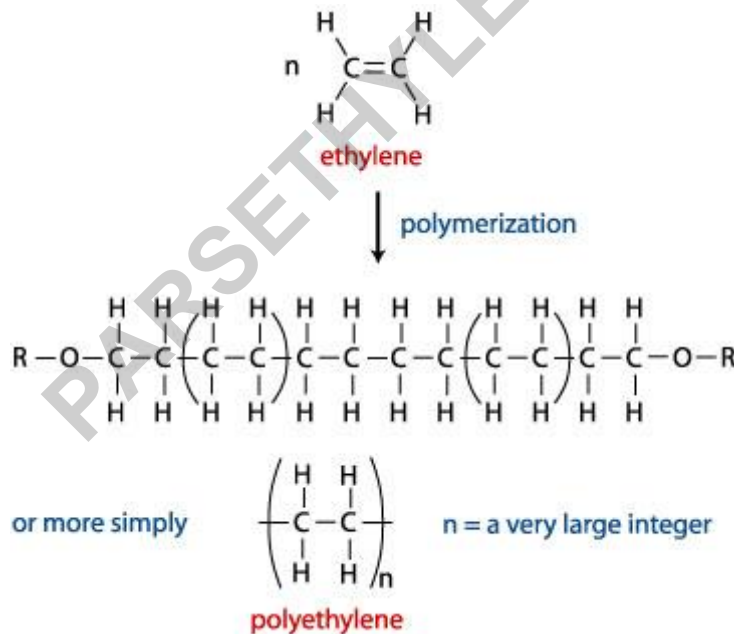
مروری بر مطالعات انجام شده

PARSETHYLENEKISH

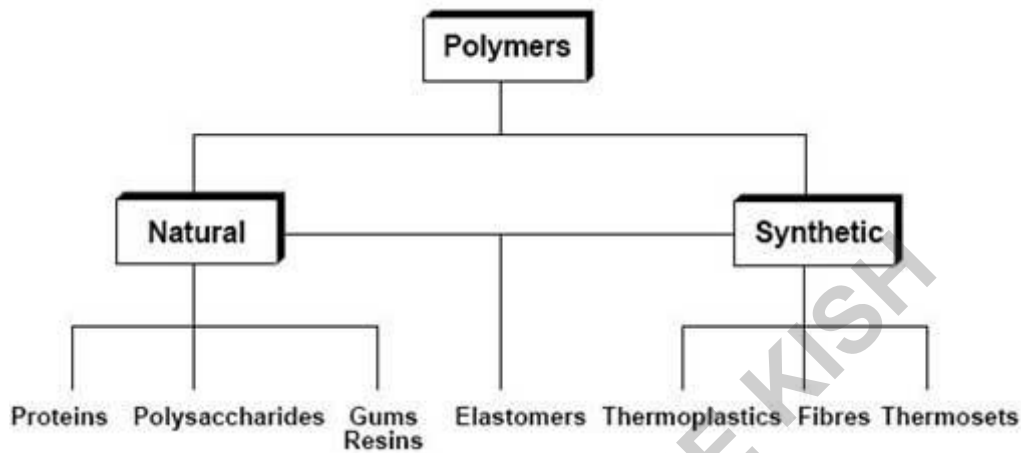
۲-۱- مقدمه ای بر پلیمرها

پلیمر مولکول بزرگی است که از تعداد زیادی مولکول ه ای کوچک تر ساخته شده است . این مولکول های بزرگ ممکن است خطی ، نسبتاً شاخه دار یا دارای اتصالات داخلی متعددی باشند . در صورت وجود اتصالات داخلی ، شبکه های بزرگ و سه بعدی ایجاد خواهد شد .

مولکول های کوچکی که به عنوان قطعات سازنده این مولکول های بزرگ به کار می ر وند مونومر نامیده می شوند. برای مثال ماده مهم صنعتی ، پلی (وینیل کلراید) از مونومر وینیل کلراید ساخته شده است و یا پلی اتیلن از مونومر اتیلن تشکیل شده است . واحدهای تکرار شده در پلیمر، نشان دهنده مونومری است که پلیمر از آن ساخته می شود البته این موضوع همیشه صادق نیست . در شکل زیر فرآیند پلیمریزاسیون اتیلن نشان داده شده است. [۷]



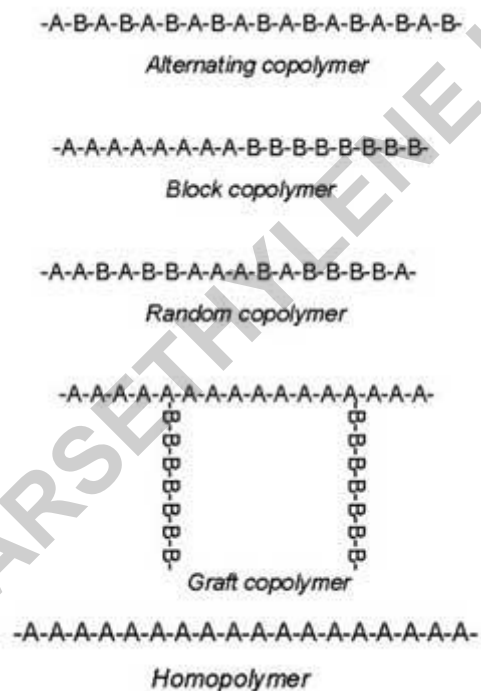
تقسیم بندی پلیمرها در شکل زیر نشان داده شده است . پلیمرهای طبیعی عموماً دارای ساختار پیچیده تری از پلیمرهای سنتز شده می باشند. نشاسته و پروتئین از جمله این پلیمرهای طبیعی هستند.



ترموپلاستیک ها بر اثر حرارت دادن ذوب شده و با سرد کردن به حالت اول باز می گردند از جمله این پلیمرها می توان به پلی اتیلن اشاره کرد. ترموست ها پلیمرهایی اند که بر اثر حرارت دادن می سوزند و ذوب نمی شوند (مانند اپکسی) الاستومرها خاصیتی مابین ترموپلاستیک ها و ترموست ها دارند هم می توانند ساخته شوند و هم به صورت طبیعی موجود باشند .(مانند لاستیک ها) اندازه یک مولکول پلیمر می تواند بر حسب جرم آن یا تعداد واحدهای تکرار شده در مولکول ، به دست آید تعداد این واحدها، درجه پلیمریزاسیون نامیده می شود. بیشتر پلیمرهای صنعتی، دارای ماهیت آلی بوده و از ترکیبات کوالانسی کربن هستند .این مطالب در مورد سیلیکون ها نیز صادق است . این ترکیبات دارای ساختار اصلی سیلیکون - اکسیژن بوده و عموماً از تعداد زیادی از گروه های هیدروکربنی ساخته شده اند . سایر عناصر موجود در پلیمرها، عبارت انداز هیدرو ژن، اکسیژن، کلر، فلوئور، فسفر و گوگرد، که همگی قادر به ایجاد پیوندهای کوالانسی با کربن با قطبیت های مختلف می باشند. [۸]

۲-۱-۱- کوپلیمرها

پلیمرهایی که دارای یک نوع واحد ساختاری در زنجیر خود هستند. هموپلیمر خوانده می‌شوند. گونه های پلیمری که دو نوع واحد ساخ تار ی دارند موجود می باشند که به آنها کوپلیمر گفته می شود. هموپلیمرها و کو پلیمرها می توانند به صورت خطی، شاخه ای و شبکه ای باشند. در شکل زیر برخی از این ساختارها دیده می شود. در صورتی که پلیمر از سه نوع مونومر تشکیل شده باشد ترپلیمر نامیده می شود. و این دسته بندی به همین ترتیب ادامه می یابد. [۹]

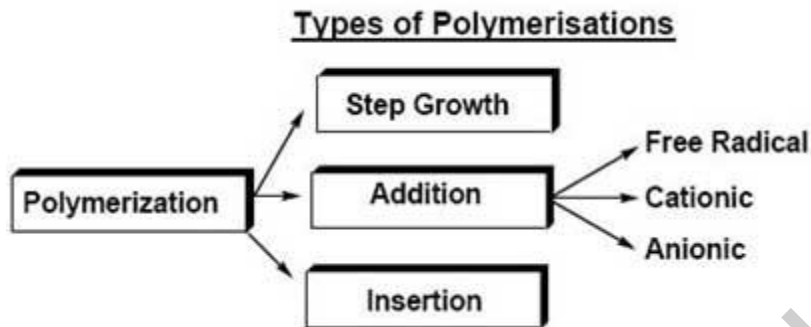


۲-۱-۲- واکنش های پلیمر شدن

نا گفته پیداست که مولکولهای مونومری که قرار است زنجیرهای پلیمر را ب ه سازند باید دو عاملی باشند، اگر مولکولی تک عاملی باشد و یا با مولکول تک عاملی دیگری واکنش دهد . محصول باید یک دیمر باشد. و امکان هیچگونه پلیمر شدنی وجود ندارد اگر علاوه بر مونومرهای دو عاملی،

مولکولهای سه عاملی یا بیشتر در واکنش شرکت کنند. یک شبکه تشکیل می شود. در شکل زیر انواع

روش های سنتز پلیمرها ذکر شده است [۹]



۲-۱-۳- پلیمریزاسیون زنجیره ای

واکنش های پلیمریزاسیونی که بلمکانیزم زنجیره ای انجام می شوند. واکنش هایی هستند که در آنها از مونومرهای غیر اشباع استفاده می شود. این گونه واکنش ها با ایجاد مراکز فعال به صورت شیمیایی، روی مولکول های انتهایی مونومرها آغاز می شوند. این مراکز فعال عموماً رادیکال های آزاد هستند (پلیمر شدن رادیکال آزاد) ولی می توانند آنیون (در پلیمر شدن آنیونی) یا کاتیون (در پلیمر شدن کاتیونی) نیز باشند. و به سهولت با سایر مونومرها، بدون غیر فعال شدن این مراکز واکنش دهند. بدین ترتیب، هر مرکز فعال سبب انجام واکنش تعداد زیادی از مولکول های مونومر می شود. این مولکول ها به پلیمر در حال رشد اضافه شده و جرم مولکولی آن را افزایش می دهند. پلیمریزاسیون زنجیره ای شامل سه مرحله است. این مراحل عبارتند از آغاز، انتشار و پایان. [۹]

۲-۱-۳-۱- مرحله آغاز

مونومرهای به کار رفته در پلیمریزاسیون زنجیره ای غیر اشباع هستند و در برخی موارد، مونومرهای وینیل نامیده می شوند به منظور انجام چنین پلیمریزاسیون هایی، مقادیر کمی از مواد آغاز گر مورد نیاز است. این ترکیبات در اثر حرارت یا قرار گرفتن در معرض اشعه الکترومغناطیس یا

بخش آبی رنگ آن، به سادگی به صورت رادیکال آزاد در می آیند. علاوه بر نور و حرارت، اشعه گاما و X، روش های الکتروشیمیایی نیز می توانند موجب تشکیل رادیکال های آزاد شوند. رادیکال آزاد ایجاد شده به سرعت با مولکول مونومر واکنش داده و ذرات جدید را تولید می کند که خود، رادیکال آزاد هستند. [۹]

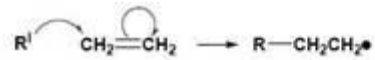
۲-۱-۳-۲- مرحله انتشار

این مرحله شامل مجموعه ای از واکنش ها می باشد که در آنها رادیکال آزاد موجود در انتهای مولکول پلیمر در حال رشد با یک مونومر واکنش داده و طول زنجیر پلیمر افزایش می یابد

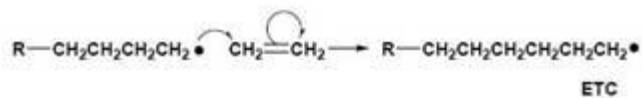
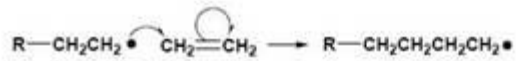
۲-۱-۳-۳- مرحله پایان

واکنش پلیمریزاسیون تا مصرف همه مونومرها ادامه نمی یابد چون رادیکال های آزاد موجود به قدری فعال هستند که راههای مختلفی برای استفاده از فعالیت خود پیدا می کنند. دو روش پایانی پلیمریزاسیون رادیکالی، ترکیب و تسهیم نامتناسب است. اولین روش هنگامی ایجاد می شود که دو ذره با یکدیگر واکنش داده و پیوند ساده و محصولی مشخص را ایجاد کنند. دو رادیکال هم چنین می توانند با مبادله هیدروژن واکنش داده، دو محصول ایجاد نمایند. که یکی از آنها اشباع شده و دیگری غیر اشباع باشد. در شکل زیر فرایند سنتز پلی اتیلن از مونومر اتیلن توسط روش پلیمریزاسیون زنجیره ای رادیکال آزاد نشان داده شده است. [۹]

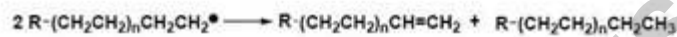
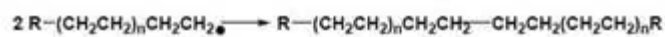
step 1: Initiation



step 2: Propagation


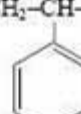


step 3: Termination



در جدول زیر برخی از مونومرهایی که توسط پلیمریزاسیون زنجیره ای رادیکال آزاد پلیمر می شوند

ذکر شده است

Polymer name	Monomer(s)	Polymer
Polyethylene	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$ (ethene)	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$
Polypropylene	$\text{CH}_2=\text{CH}$ CH_3 (1-propene)	$-\text{CH}_2-\text{CH}-$ CH_3
Polystyrene	$\text{CH}_2=\text{CH}$  (styrene)	$-\text{CH}_2-\text{CH}-$ 
Poly(vinyl chloride) (PVC)	$\text{CH}_2=\text{CH}$ Cl (vinyl chloride)	$-\text{CH}_2-\text{CH}-$ Cl
Polytetrafluoroethylene (Teflon)	$\text{CF}_2=\text{CF}_2$ (tetrafluoroethene)	$-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$

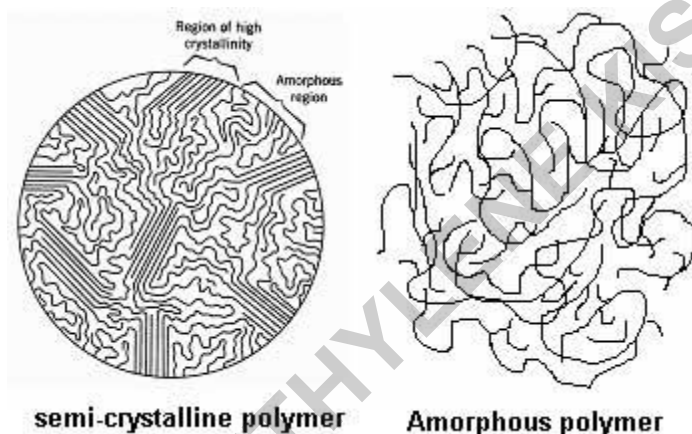
۲-۱-۴- پلیمریزاسیون مرحله ای

پلیمریزاسیون مرحله ای عموماً با واکنش های تراکمی بین مونومرهای انجام می شود که گروه عاملی آنها استخلاف شده است. در این روش دو مونومر مختلف با هم واکنش داده و پلیمر نهایی تولید می شود در محصولات پلیمریزاسیون تراکمی همواره آب یا آمونیاک وجود دارد . برای دست یافتن به محصولاتی با جرم مولی بالا، از واکنشگرهای دو عاملی استفاده می شود. ترکیبات تک عاملی برای کنترل واکنش و واکنشگرهای سه عاملی برای ای جاد پلیمرهای شاخه دار یا پلیمرهای دارای اتصال عرضی به کار می روند. در این نوع پلیمریزاسیون واکنش های متعددی دست اندر کارند. اگر از مونومرهایی با بیش از دو عامل در پلیمریزاسیون مرحله ای استفاده شود . محصول به دست آمده دارای شبکه گسترده و نامحدود سه بعدی خواه د بود و از ویژگی های این پلیمریزاسیون ژل شدن مواد در نقطه ای قبل از تکمیل واکنش است. جدول زیر برخی از مونومرهایی که توسط پلیمریزاسیون مرحله ای پلیمر می شوند ذکر شده است. پلی اتیلن ترفتالات از این روش تولید می شود. [۹]

Polymer name	Monomers	Polymer
Polyamides (nylon)	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{HO}(\text{CH}_2)_n\text{COH} \\ \text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_n\text{NH}_2 \end{array}$	$-\text{C}(\text{CH}_2)_n\text{C}-\text{NH}(\text{CH}_2)_n\text{NH}-$
Polyesters (Dacron, Mylar, Fortrel)	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{HO}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{COH} \\ \text{HO}(\text{CH}_2)_n\text{OH} \end{array}$	$-\text{C}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{C}-\text{O}(\text{CH}_2)_n\text{O}-$
Polyesters (Glyptal resin)	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{HO}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{C}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_4\text{OH} \\ \text{HOCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{C}_6\text{H}_4\text{C}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_4\text{C}(\text{O})\text{CH}_2\text{CH}(\text{O})\text{CH}_2\text{O}- \end{array}$
Polyesters (Casting resin)	$\begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{HO}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{C}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_4\text{OH} \\ \text{HO}(\text{CH}_2)_n\text{OH} \end{array}$	$-\text{C}(\text{C}_6\text{H}_4)\text{C}(\text{O})\text{C}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_4\text{C}(\text{O})\text{CH}=\text{CHC}-\text{O}(\text{CH}_2)_n\text{O}-$

۲-۱-۵- کریستالیته پلیمرها

پلیمرها می توانند به هر دو صورت آمورف و یا کریستالی موجود باشند ولی اغلب به صورت نیمه کریستالی موجود می باشند یعنی پلیمر دارای هر دو ناحیه کریستالی و آمورف می باشد. لازمه یک ساختار کریستالی وجود زنجیرهای کوتاه می باشد. در شکل های زیر هر دو ساختار آمورف (بی شکل) و نیمه کریستالی نشان داده شده است. کریستالیته پلیمرها در واقع بیان کننده میزان ساختار آمورف و کریستالی در یک پلیمر است. [۱۰]



در مورد پلی اتیلن ترفتلات در هر مرحله تولید دارای یک ساختار است که به شرح ذیل می باشد

در ابتدای تولید این پلیمر از مواد اولیه، دارای ساختار آمورف به رنگ شفاف است با زنجیرهای مولکولی کوتاه که برای تولید بطری مناسب نیست. برای افزایش وزن مولکولی و در واقع افزایش طول زنجیرهای پلیمر فرآیند SSP روی رزین انجام می شود و رزین تولید شده سفید رنگ با ساختار کریستالی کمتر از ۵۰ درصد است. این رزین برای تولید پریفرم که همان ماده اولیه تولید بطری است وارد ماشین تزریق شده و محصول، پریفرم با ساختار آمورف است. پریفرم تولید شده توسط دستگاه باد کن به بطری تبدیل می شود که در این حالت پلیمر دارای حدود ۲۵ درصد ساختار

کریستالی است و وجود این میزان کریستالیته برای استحکام بطری مورد نیاز است. پس از مصرف بطری، آن را به پرک (flake) تبدیل می کنند و پس از انجام فرآیند اکستروژن پرک ها، گرانول آمورف حاصل می شود که برای این که بتوان آن را در قالب تزریق کرد باید فرآیند SSP روی آن انجام شود و رزینی با وزن مولکولی بالا که سفید رنگ است تولید کرد. و این چرخه تولید و بازیافت به همین صورت ادامه می یابد (یکی از روش های بازیافت انجام عملیات ذوب و سپس انجام فرآیند SSP است) [۱۰]

۲-۱-۶- تغییر شکل پلیمرها در دماهای مختلف

در پلیمرها سه دمای بحرانی T_d, T_m, T_g را باید مد نظر داشت

T_d : Degradation Temperature

T_m : Melting Temperature

T_g : Glass Transition Temperature

در دمای تخریب T_d پیوندهای پلیمری تخریب شده و در واقع پلیمر می سوزد. در نقطه ذوب

T_m هیچ نیرویی بین زنجیرهای پلیمری وجود ندارد و پلیمر حالت لزجی دارد و دارای بهترین

شرایط برای شکل دهی پلیمر می باشد که این دما در تولید پریفرم مهم است. در دمای عبور شیشه

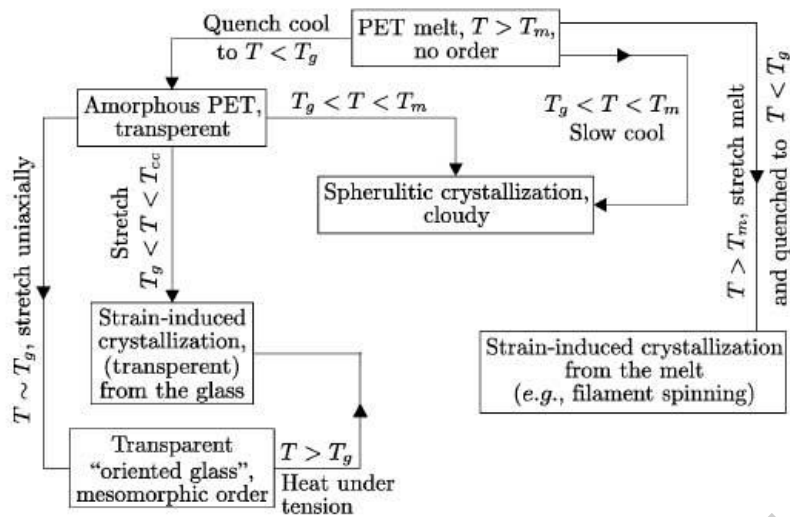
ای T_g و پایین تر نیروهای بین زنجیرها به شدت افزایش یافته و حرکت زنجیرها مشکل می شود و

به همین دلیل در دمایی کمتر از T_g نمی توان بر روی پلیمر شکل دهی انجام داد بلکه در این

محدوده دمایی می توان از پلیمر به صورت کاربردی استفاده نمود. دمای بین T_g و T_{cc} در تولید

بطری مهم می باشد. در نمودار زیر شماتیکی از تاثیر دما بر ساختار پلی اتیلن ترفتالات نشان داده شده

است. T_{cc} دمایی است که در آن بیشترین ساختار کریستالی در PET ایجاد می شود. [۱۱]



Schematic representation of the different pathways to obtain different degrees of long-range order in PET (T_g : glass transition temperature, T_m : melting point, T_{cc} : cold crystallization temperature)

۲-۲- پلی اتیلن ترفتالات

پلی اتیلن ترفتالات یک پلیمر ترموپلاست و از خانواده پلی استرها می باشد. پلیمری با شاخه

های بلند و دارای کاربردهایی همچون سنتز الیاف، بطری برای نگه دارایی مایعات، کاربردهای

ترموفورمینگ و رزینهای مهندسی می باشد

از جمله خصوصیات این پلیمر می توان به موارد زیر اشاره کرد سختی، سفتی و استحکام بالاچقرمگی

خوب حتی در دماهای پایین مقاومت به خزش خوب و پایداری ابعادی بالا دمای کاری بین ۴۰- تا

۱۰۰ درجه سانتیگراد سفید رنگ در حالت نیمه کریستالی و شفاف در حالت آمورف عایق الکتریکی

خوب مقاومت بالا در برابر کشش و پاره شدن فیزیولوژی قابل قبول PET در دمای اتاق در برابر

آب، اسیدهای رقیق، الکل ها، اترها، روغن ها، چربی ها و هیدروکربنات های آروماتیک و آلیفاتیک مقاوم

است عدم مقاومت در برابر محیط قلیایی، بخار آب بیش از حد حرارت داده شده، کتون ها، فنون ها

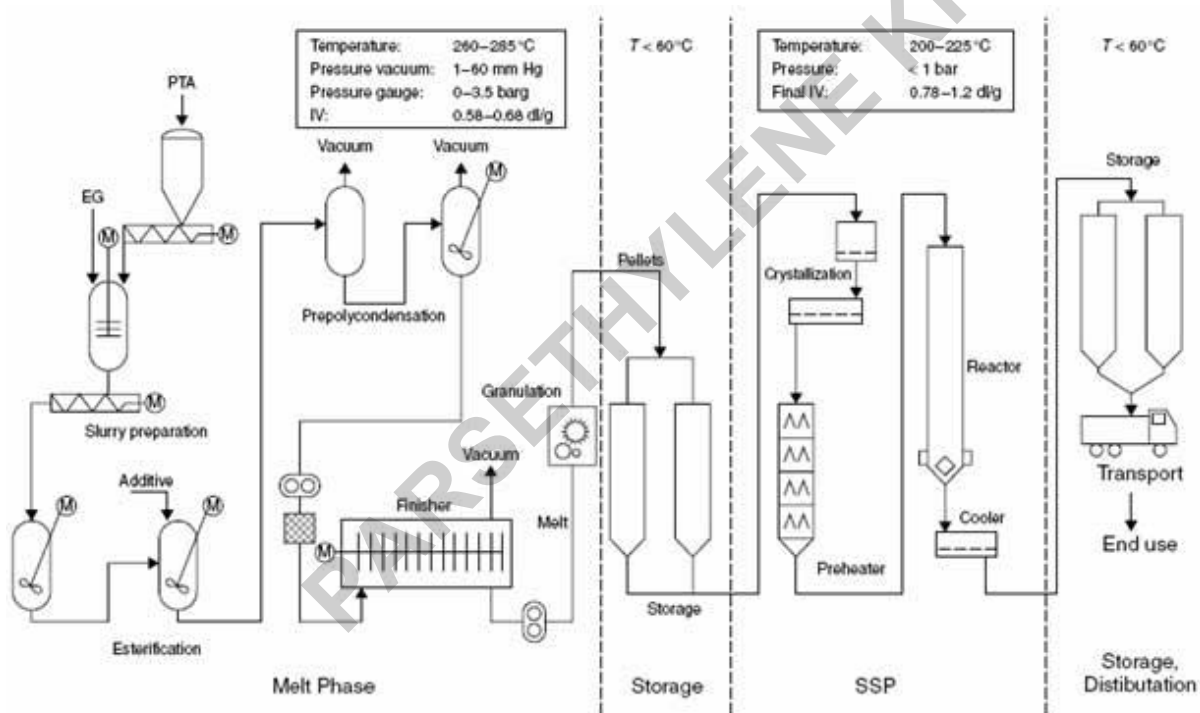
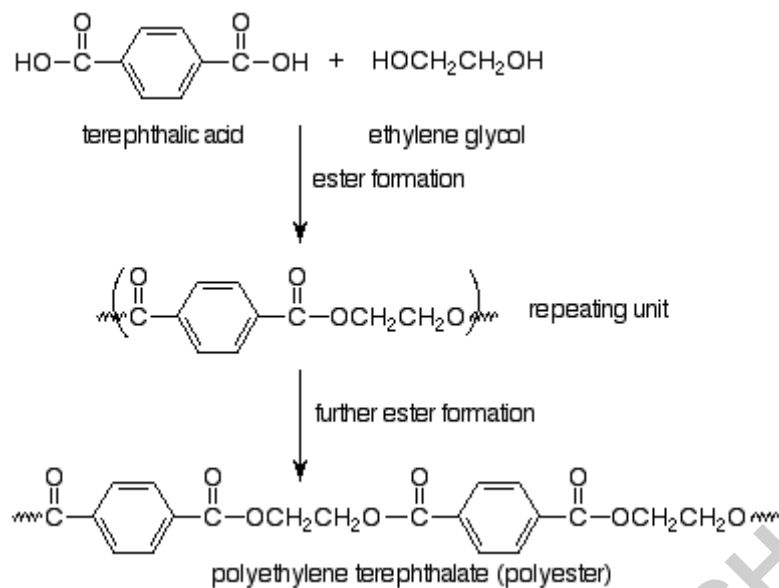
، استرها، و هیدروکربناتهای کلرید ی شده مقاوم در برابر فرسایش و هوای داغ PET آمورف دارای

سختی، سفتی و مقاومت حرارتی کمتری از PET کریستالی است اما چقرمگی بیشتری دارد. [۱۲]

۲-۲-۱- نحوه سنتز پلی اتیلن ترفتالات (PET)

روش رایج تولید PET واکنش بین اسید ترفتالیک خالص و اتیلن گلیکول می باشد برای سنتز پلی اتیلن ترفتالات PTA و EG حاصل شده از نفت را در حضور یک کتالیزور حرارت می دهند وقتی که آنها با هم حرارت داده می شوند در ابتدا یک مونومر (BHET-bis-hydroxyethyl-terephthalate) مخلوط شده با پلیمرهایی با وزن مولکولی کم اولیگومرها (oligomers) تولید می شود. سپس مخلوط بیشتر واکنش داده و EG اضافی تقطیر شده و PET تشکیل می شود در این مرحله PET یک مذاب با ویسکوزیته بالا است که اکستروود شده و پس از کوانچ در آب پلیمری آمورف تشکیل می شود.

برای افزایش وزن مولکولی PET که برای افزایش خواص مکانیکی لازم است مرحله دوم پلیمریزاسیون در حالت جامد و در دمای کمتر انجام می شود و در این حالت همه نا خاصی های فرار همچون آب، گلیکول های آزاد و acetaldehyde حذف می شوند. در فرآیند تولید از کتالیزورهایی همچون تری اکسید آنتیموان در مقادیر کم استفاده می شود که در نهایت مقادیری از آنها در زرم پینه پلیمر و یا در شاخه ها باقی می ماند. هر دوی هوموپلیمرها و کوپلیمرها در رزین PET استفاده می شوند. یک PET هوموپلیمر تنها حاوی EG و PTA است که در نتیجه رزین دارای نقطه ذوب و استحکام بالایی است. یک PET کوپلیمر حاوی مونومرهای اضافی برای گسستن زنجیرهای پلیمر است در نتیجه رزین دارای نقطه ذوب کمتر و کریستالیزاسیون آرامتر است. امروزه از اسید ایزوفتالیک برای ساخت PET کوپلیمر به منظور افزایش استحکام بطری و کریستالیزاسیون آرامتر استفاده می شود. در شکل های زیر مراحل واکنش و شمای کلی از یک کارخانه تولید PET نشان داده شده است. [۱۳]



Schematic of a PET manufacturing chain

محصول نهایی می تواند آمورف و یا نیمه کریستال باشد. که در شکل های زیر نشان داده شده است. که هر محصول در صنعت خاصی کاربرد خواهد داشت. رنگ محصول باتوجه به نوع کاربرد متفاوت است.



۲-۲-۲- انواع گرید PET

۱. PET گرید الیاف: این گرید که در ساخت الیاف به کار برده می شود. بسته به کاربرد دارای وزن مولکولی بین ۱۵۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ گرم بر مول است که این وزن مولکولی نشان دهنده یک IV بین ۰.۴ تا ۰.۷ دسی لیتر بر گرم است. گرید الیاف برای کاربردهای تکنیکی دارای IV برابر یا بیشتر از ۰.۹۵ dl/g است.

۲. PET گرید فیلم: این گرید برای ساخت محصولات همچون فیلم های بسته بندی و نوارهای آیدیو و ویدیو استفاده می شود. و IV آن بین ۰.۶ تا ۱ دسی لیتر بر گرم است.

۳. PET گرید بطری: این نوع گرید برای ساخت بطری استفاده می شود و دارای وزن مولکولی بین ۲۴۰۰۰ تا ۳۶۰۰۰ گرم بر مول است. که نشان دهنده IV بین ۰.۷۵ تا ۱ دسی لیتر بر گرم است. انتخاب IV بر اساس نوع کاربرد است برای مثال در جدول زیر کاربردهای مختلف رزین PET در مصارف مختلف همراه با مشخصه های آن ذکر شده است. [۱۴]

Typical specifications for carbonated soft drink (CSD) and water grade PET as available on the market

Parameter	CSD grade	Water grade
I.V. (dL/g)	0.80-0.84	0.72-0.77
Acetaldehyde (ppm)	< 1	< 1
Diethylene glycol (wt%)	1.3 %	1.3
Isophthalic acid (wt%)	1.0-1.5	1.7-2.0
COOH (meq/kg)	15-30	15-25
Melting range (°C)	249-256	249-256
Dust (wt%)	< 0.01	< 0.01
Color (L*, b*)	(85 to 90, -2.0 to 2.0)	(85 to 90, -2.0 to 2.0)
Catalyst residue (antimony, ppm)	180-250	180-250

L* is a measure of brightness; b* is a measure of yellowness or blueness of the polymer

در جدول زیر نیز خلاصه ای از انواع گریدهای PET همراه با کاربردهای آن ذکر شده است.

The intrinsic viscosity range of PET

PET	$[\eta]$ (dL/g)
Fiber grade	
• Textile	0.40-0.70
• Technical	0.72-0.98
Film grade	
• Biaxially oriented film	0.60-0.70
• Sheet grade for thermoforming	0.70-1.00
Bottle grade	
• Water bottles	0.70-0.78
• Carbonated soft drink grade	0.78-0.85

۳-۲-۲- پارامترهای موثر بر کیفیت رزین PET

۱. ویسکوزیته ذاتی (Intrinsic Viscosity): به طور ساده IV طول شاخه های PET را نشان می دهد. و بیان گر تعداد واحد تکرار شونده در طول یک شاخه می باشد. انتخاب نوع رزین PET بر اساس IV آن مهم می باشد. حرارت، زمان حرارت دهی و رطوبت پارامترهای تاثیر گذار بر روی IV می باشند. در اینجا این نکته قابل ذکر است که ویسکوزیته پایین الزاما به معنای پایین بودن خواص مکانیکی محصول نهایی تولید شده نیست. زیرا برخی از رزینها توسط افزودنی هایی بهسازی شده و در حالی که ویسکوزیته کمی دارند محصول تولید شده دارای خواص مکانیکی مطلوبی است. [۱۲]

۲. استالدهید (Acetaldehyde): محصول فراری است که در اثر تخریب گرمایی PET حاصل می شود و تنها زمانی تولید می شود که پلیمر ذوب شده و اصولاً حاصل واکنش های ترموشیمیایی است. به هر حال کنترل AA برای رزین گرید بطری مهم می باشد زیرا می تواند باعث تغییر مزه نوشیدنی های درون بطری به خصوص آب معدنی شود. حرارت و رطوبت از پارامترهای موثر بر تشکیل این ماده هستند در زیر واکنش تولید AA نشان داده شده است.



۳. گروه های پایانی کربوکسیل (carboxyl end groups (CEG)) و یا COOH: بیشتر بر اثر

تخریب حرارتی پلیمر تشکیل می شود و باعث کاهش پایداری حرارتی پلیمر می شود

۴. دی اتیلن گلیکول (DEG): در برخی از رزین های گرید الیاف برای افزایش قابلیت رنگ پذیری

الیاف تا ۲.۵ درصد به رزین اضافه می شود ولی در سایر گریدها باید در کمترین مقدار حفظ شود زیرا

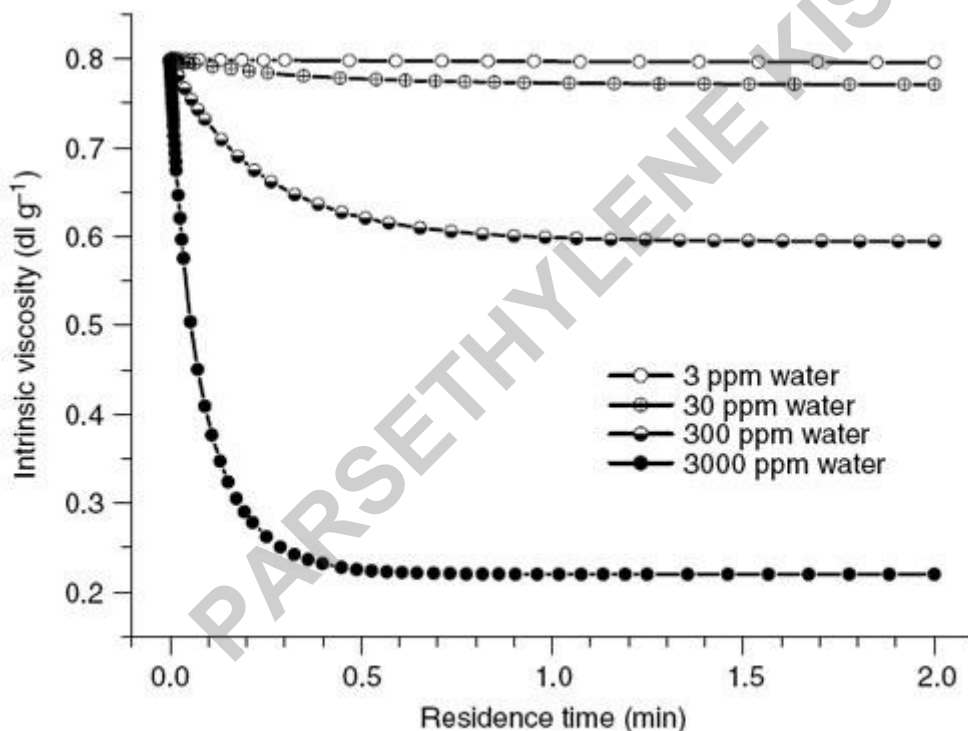
این ترکیب باعث کاهش نقطه ذوب و پایداری حرارتی پلیمر می شود

۵. ذرات کوچک PET: در طول فرآیند تولید بر اثر سایش ذرات درشت PET به وجود می آیند از آنجایی

که IV این ذرات بالاتر از ذرات درشت است بنابراین در فرآیند تزریق حین تولید پریفرم ایجاد

مشکل خواهند کرد.

۶. در صد رطوبت: درصد رطوبت رزین قبل از تزریق و یا درصد رطوبت پرک قبل از گرانول سازی باید در کمترین مقدار ممکن حفظ شود زیرا رطوبت آثار مخربی بر کاهش IV و افزایش CEG, PTA, AA, EG و تغییر رنگ خواهد داشت. برای مثال در نمودار زیر اثر مخرب رطوبت بر کاهش IV در حین فرآیند اکستروژن نشان داده شده است. حدود ۶۰ درصد از موفقیت تولید پریفرم به کنترل رطوبت بستگی دارد. در اینجا این نکته قابل ذکر است که رزینی که رطوبت آن کاهش یافته به راحتی می تواند بین ۵ تا ۱۰ دقیقه بر حسب میزان رطوبت موجود در هوا رطوبت کافی برای نامناسب کردن فرآیند تزریق را جذب نماید



Intrinsic viscosity of the polymer melt as a function of extruder residence time and initial water content for a temperature of 280 °C

۷. رنگ رزین: مقادیر رنگ با سه پارامتر L, b, a مشخص می شوند. L بیان کننده میزان روشنی نمونه است و بین ۰ تا ۱۰۰ می باشد. a بیانگر یک رنگ ترکیبی بین سبز با ۱۰۰- و قرمز با ۱۰۰+ است. b بیانگر یک رنگ ترکیبی بین آبی با ۱۰۰- و زرد با ۱۰۰+ است. رزین با کیفیت بالا دارای مقادیر L بالا و b کم بین

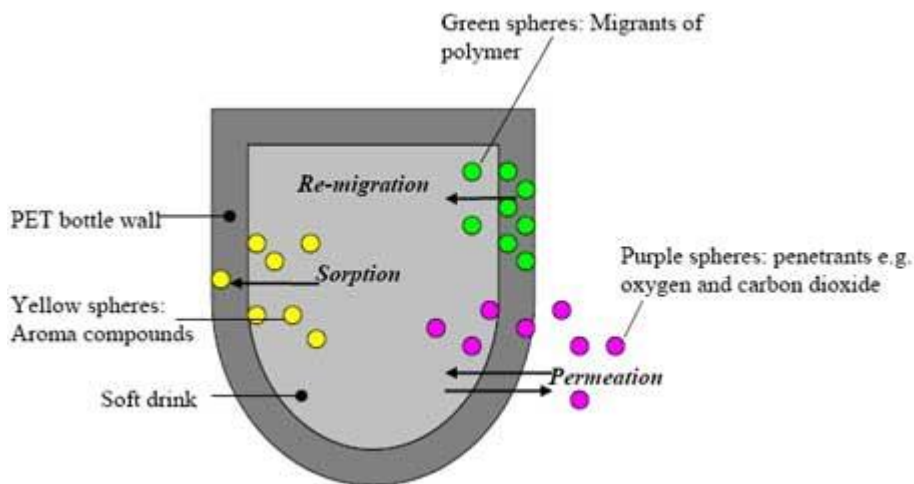
۱-۱ می باشد. در فرآیند بازیافت PET و تولید گرانول مجدد از ضایعات رنگ محصول نهایی به عواملی همچون درصد PVC، رطوبت و چسب درون پرک PET، نوع اکستروژن، دما و زمان اکستروژن بستگی دارد.

۸. اولیگومرها: باعث کدر شدن بطری تولید شده می شوند این پلیمرها همچون AA بر اثر ذوب شدن دوباره ایجاد می شوند. اولیگومرها در تولید لیاف و فیلم نیز مشکلات متعددی را ایجاد می کنند از جمله این عیوب ایجاد حفره و پارگی در محصول و نیز کثیف شدن تجهیزات تولید است. در بسته بندی مایعات در ظروف پلیمری واکنشهایی به دو صورت زیر بین ظرف و محتویات آن انجام خواهد شد.

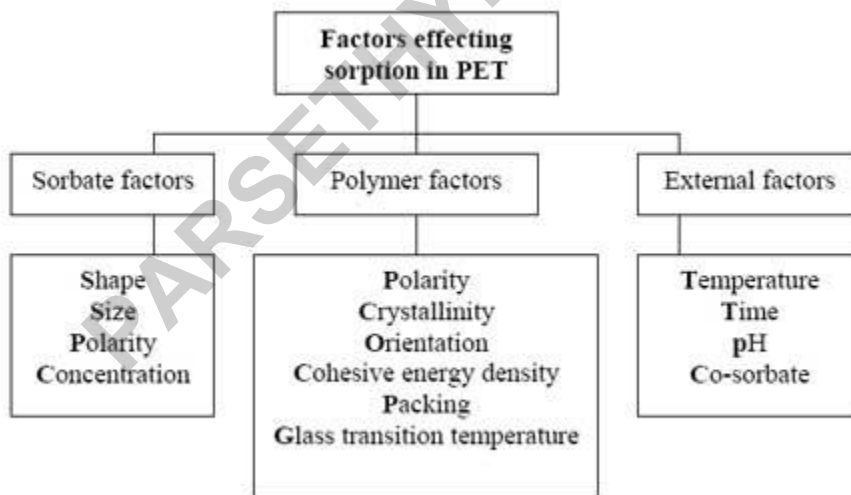
۱. نفوذ ذرات از ظرف به محتویات درون آن

۲. جذب محتویات درون بطری توسط دیواره های آن

در شکل زیر واکنش هایی که بین بطری و محتویات آن اتفاق می افتد نشان داده شده است البته باید توجه داشت که ظروف پلیمری علاوه بر نگه داری مواد غذایی برای نگه داری مواد شیمیایی نیز استفاده می شوند و در نتیجه جذب مواد شیمیایی توسط بطری در حین فرآیند بازیافت باید مد نظر باشد.



جذب محتویات درون بطری توسط PET به عوامل زیر بستگی دارد که در شکل زیر نشان داده شده است.



همچنین انتقال ذرات از PET به محتویات درون بطری به عوامل زیر بستگی دارد.

دما، زمان، کریستالیته، ضخامت، دمای انتقال شیشه ای و فاکتورهای انتقال مثل غلظت، اندازه، شکل، قطبیت و حلالیت محتویات در حین تولید PET از مواد اولیه کاتالیزورها، اتیلن گلیکول،

ترفتالیک اسید، دی متیلن ترفتالات، AA.BHET و اولیگومرها به همراه ترکیبات ذکر شده در زیر از عوامل مهم در آلودگی محتویات بطری هستند که با تنظیم پارامترهای تولید قابل کنترل می باشند [۱۴].

Butoxybenzene

2-phenyl-1,3-dioxolan

2-Methyl-1,3-dioxolan

Dodecanoicacid

Dimethylcyclohexane-1,4-dicarboxylate

Toluene

Hexamethyl-cyclotrisiloxane

Octamethyl-cycloterasiloxane

Decamethyl-cycloterasiloxane

در مورد بازیافت PET آلودگی های زیر در صورتی که بازیافت PET برای کاربردهای غذایی مد نظر باشد مطرح است

۱. ورود بطری با کاربرد غیر غذایی در جریان بازیافت

۲. ورود بطری با کاربرد غذایی که قبلا مصرف کننده از آن برای نگه داری مواد شیمیایی استفاده کرده است مثلا یک بطری آب معدنی برای نگه داری سم استفاده شده است.

۳. مواد شیمیایی که در حین شستشو استفاده می شوند

۴. تخریب حرارتی پلیمر و نیز واکنش با سایر آلودگی ها و ایجاد یک ترکیب جدید

برای بررسی انتقال مواد شیمیایی از بطری به درون ماده غذایی درون آن یک سری آزمایش انجام می شود و میزان مواد آزاد شده درون محتوای بطری اندازه گیری می شود که در جدول زیر یک نمونه گزارش تست نشان داده شده است.

Simulant Used	Test Condition	Overall Migration (mg/dm ²)	Maximum Permissible Limit (mg/dm ²)
		1	
Deionized Water	24 hours at 40°C	< 3	10
3% Acetic Acid (W/V) Aqueous Solution	24 hours at 40°C	< 3	10
10% Ethanol (V/V) Aqueous Solution	24 hours at 40°C	< 3	10
Rectified Olive Oil	24 hours at 40°C	< 3	10

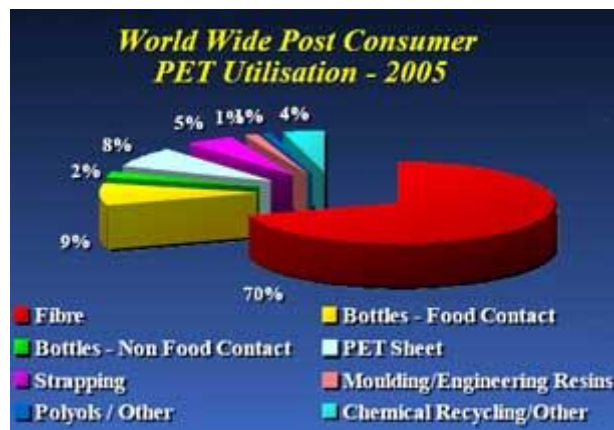
Sample Description:

1. Transparent Plastic (Bottle)

- Note: 1. mg/dm² = milligram per square decimeter
 2. °C = degree Celsius
 3. < = less than

۲-۳- خط بازیافت پت

خط تولید گرانول PET از پرک PET با قابلیت تزریق به منظور تولید مجدد پریفرم و بطری برای اولین بار در ایران امروزه بخش وسیعی از بطری های بسته بندی از پلیمر پلی اتیلن ترفتالات ساخته می شوند. بطری ها پس از مصرف دوباره طی فرآیند بازیافت به محصولات مختلفی تبدیل می شوند که یکی از این محصولات تولید مجدد بطری می باشد. طبق گزارش petcore تولید مجدد بطری از بطریهای ضایعاتی PET در اروپا از ۶۲۰۰۰ تن در سال ۲۰۰۴ به ۶۰۰۰۰۰ تن در سال ۲۰۱۴ خواهد رسید و این برابر با یک رشد ۹۶۸ درصدی می باشد. طبق گزارش PCI بازار مصرف برای بطری های PET بازیافت شده در سال ۲۰۰۵ طبق نمودار زیر بوده است [۱۵]



بطری های PET می توانند به صورت مکانیکی، شیمیایی و یا ترکیبی از روشهای مکانیکی و شیمیایی بازیافت شده و به گرانول مناسب برای ساخت مجدد پریفرم تبدیل شوند. تا به امروز چندین روش برای تبدیل پرک PET تمیز به رزین گرید بطری با کاربردهای غذایی توسعه یافته است. که بر الگوهای زیر استوار می باشند

۱. SSP (پلیمریزاسیون در حالت جامد) (قبل از عملیات ذوب انجام می گیرد)
۲. فقط فرآیند SSP انجام می شود
۳. فقط عملیات ذوب انجام می شود
۴. عملیات ذوب قبل از SSP انجام می شود

برای استفاده از هر یک از این تکنولوژی ها باید پارامترهای تولید زیر را در نظر داشت

۱. هزینه تولید PET بازیافت شده از PET حاصل از مواد اولیه پایین تر باشد
۲. ذرات جامد و ترکیبات آلی مثل بوی باقی مانده از نوشیدنی ها و یا مواد شیمیایی نفوذ کرده در PET که می توانند در بطری ایجاد مشکل کنند حذف شوند

۳. در طول فرآیند تنزل خواص محدود باشد در واقع یک مرح

له سبب کاهش خواص پلیمری که از مرحله

قبلی حاصل شده نشود

۴. کیفیت تولید باید یکنواخت باشد

۵. مواد تولید شده در تجهیزات رایج تولید بطری و پریفرم قابل استفاده باشند

۶. AA در حد استاندارد کاهش یابد

با توجه به ۶ پارامتر ذکر شده در بالا بهترین الگو از نظر کیفیت مح

صول انجام عملیات ذوب قبل از SSP می باشد. هزینه تولید به چندین پارامتر از جمله دسترسی به مواد اولیه یا

افزودنی ها و یا نوع تکنولوژی می باشد برای مثال الگوی ۴ می تواند به چند روش انجام

شود مثلا SSP به صورت مداوم باشد یا غیر مداوم و یا در فرایند تولید از بهسازه استفاده

شود یا خیر با توجه به مصرف روز افزون ظروف پت (PET) در صنایع مختلف غذایی،

بهداشتی، دارویی و ... همچنین عدم وجود تکنولوژی کارآمد در ایران برای تبدیل ظروف

مصرف شده به گرانول قابل تزریق جهت تولید ظروف PET، شرکت آریا بسیار سپاهان پس

از بررسی تکنولوژی ه ای مختلف روز دنیا با همکاری شرکتهای چینی اقدام به ارئه این

تکنولوژی برای اولین بار در ایران نموده است، با استفاده از این خط می توان پرک PET

موجود در بازار ایران را به گرانول مناسب برای تولید مجدد بطری تبدیل نمود، که برخی از

مزایای خط به شرح ذیل می باشد

تولید بطری PET → تولید گرانول با ویسکوزیته بالا → ABS-PPL → تهیه پرک PET

۲-۳-۱- خط تولید گرانول از ضایعات بطری پت برای تولید بطری ABS-PPL ۲۰۰

۱. آسیاب کردن (در صورت موجود بودن پرک PET با اندازه ۱۰*۱۰ میلیمتر این مرحله حذف می شود)

۲. کریستالیزینگ و خشک کردن

۳. اکستروژن و گاززدایی

۴. فیلتراسیون مذاب

۴. فرآیند گرانوله کردن

۵. آبگیری گرانول ها

۶. کریستالیزینگ و پلیمریزاسیون در حالت جامد (SSP)

۷. خنک کردن ، جداسازی ذرات کوچک PET و بسته بندی گرانول های PET

ویژگی های خط تولید ABS-PPL

۱. با استفاده از خط PPL-ABS کلیه پارامترهای موثر بر کیفیت رزین تو لید شده قابل

کنترل هستند به طوری که رزینی مشابه با رزین تولید شده از مواد اولیه تولید خواهد شد.

۲. PPL-ABS گرانولی مناسب برای کاربردهای غذایی و غیر غذایی تولید می کند.

۳. خط به صورت کاملا خودکار بوده، لذا روش کار با خط تولید بسیار آسان می باشد.

۴. تولید گرانول PET با IV بین ۰.۸ تا ۰.۸۵ دسی لیتر بر گرم بر اساس نوع پرک ورودی و نحوه کنترل پارامترهای تولید (IV ثابت می باشد)

۵. امکان افزایش IV تا ۱ دسی لیتر بر گرم و حتی بیشتر بر اساس نیاز بازار.

۶. گرانول تولیدی استوانه ای شکل و دارای ۳mm قطر و ۳mm طول می باشد

۷. تولید محصول با مشخصات یکنواخت

۸. کاهش AA به کمتر از ۱ppm

۹. حداقل تغییر رنگ محصول تولیدی (رنگ نهایی گرانول به فرآیند تولید و پرک PET ورودی بستگی دارد)

۱۰. انعطاف پذیری خط نسبت به مواد ورودی و متناسب با پرک PET موجود در بازار ایران

۱۱. تولید گرانول از پرک PET دارای رطوبت تا سقف ۱۰۰۰۰ppm

۱۲. قابلیت استفاده از پرکها با رنگهای مختلف (شفاف، آبی، سبز)

۱۳. حذف ذرات جامد به واسطه استفاده از فیلتر ۳۲ میکرونی در سیستم اکستروژن خط تولید

۱۴. ظرفیت تولید ۴تن در روز می باشد (افزایش ظرفیت تولید بر اساس سفارش امکان پذیر است)

۱۵. بسته بندی محصول در بسته های ۲۵ تا ۵۰ کیلوگرمی انجام می گیرد

۱۶. میزان برق مصرفی ۱۸۰ کیلو وات







۱۷. ابعاد خط: طول ۲۰ متر، عرض ۵.۵ متر و ارتفاع ۷ متر می باشد (تغییر ابعاد بر اساس سفارش امکان پذیر است)

۱۸. نیروی کار مورد نیاز ۳ نفر می باشد

۱۹. قیمت مناسب نسبت به نمونه های مشابه در دنیا

۲-۴- باز یافت بطری

امروزه به طور گسترده بطری های PET باز یافت می شوند. PET از جمله پلاستیکهایی با قابلیت باز یافت خوب است. برای هر پلاستیک یک کد استاندارد برای شناسایی آن تعیین شده که این کد بر روی محصول پلاستیکی نهایی درج می شود. در جدول زیر کدهای معرف پلاستیکها ذکر شده است.

	Polyethylene Terephthalate (PET)	High Density Polyethylene (HDPE)	Polyvinyl Chloride (PVC)	Low Density Polyethylene (LDPE)	Polypropylene (PP)	Polystyrene (PS)
Plastic ID Code	 PETE	 HDPE	 V	 LDPE	 PP	 PS

برای باز یافت بطری های PET معمولاً باید آنها را به پرک تبدیل نمود. تجهیزات گوناگونی

برای تولید پرک PET موجود است. ولی نکته ای که باید به آن توجه داشت تولید پرک

مناسب با مصرف نهایی پرک است. پرک تولید شده برای تولید دوباره بطری باید دارای

حداقل ناخالصی باشد. زیرا هرگونه ناخالصی خود را به صورت یک عیب در تولید پریفرم نشان خواهد داد. ناخالصی هایی همچون آلومینیوم، شیشه، خرده سنگ، درب و دستگیره بطری از پلاستیک های مختلف، برچسب ها، چسب و جوهر بر چسب می توانند وارد پرک شوند. [۱۷]

فرآیند تولید پرک شامل جداسازی بطری های PET، آسیاب کردن بطریها به صورت خشک یا تر، چندین مرحله شستشو به صورت غوطه وری و پاششی، خشک کردن و بسته بندی است که در طی مراحل ذکر شده بخش زیادی از ناخالصی ها حذف خواهند شد. مهمترین ناخالصی موجود در فرآیند بازیافت PET آلودگی پ رک با PVC است. آلودگی رزین با PVC حتی در مقادیر کم می تواند سبب تغییر رنگ محصول و نیز افت خواص مکانیکی شود. آلودگی مهم دیگر پرکهای تولید شده چسب های باقیمانده از برچسب های بطری ها است که باعث زرد شدن گرانول تولید شده خواهند شد بر اساس نوع تکنولوژی به کار رفته برای تولید گرانول می توان اثر PVC را بر روی گرانول تولید شده کاهش داد برای اندازه گیری میزان خلوص پرک های تولیدی استانداردهای خاصی تدوین شده است. [۱۷]



پرک مصرفی، برای تولید گرانول مناسب برای تزریق باید دارای کمترین ناخالصی باشد. گرانول تولید شده را می توان در مصارف غذایی مثل بسته بندی آب معدنی، دوغ، نوشابه و روغن مایع به کار برد و هم در بسته بندی مواد غیر غذایی همچون مایعات بهداشتی، سموم، مایعات خودرو، تیئرو حتی رنگ که امروزه در اروپا در حال گسترش است به کار برد. یکی از خواص فیزیکی ممتاز PET در برابر سایر پلاستیک ها که بازیافت آن را به منظور صنایع غذایی آسان می کند ضریب نفوذ کم آن است. که این ویژگی سبب می شود که آلودگی ها به سختی به درون آن نفوذ کنند. البته نفوذ مواد شیمیایی به درون PET یک رابطه مستقیمی با وزن مولکولی آنها دارد به طوری که هر چه آلاینده ها دارای وزن مولکولی بالاتر باشند نفوذ آنها در PET دشوارتر خواهد بود. در صورتی که بخواهیم از گرانول تولید شده در کاربردهای غذایی استفاده کنیم به طور کلی ملاحظات زیر را باید در نظر داشت [۱۸]

۱. تا حد امکان تنها از ضایعات بطری مواد غذایی برای تولید پرک استفادۀ اده شود. با اینحال چون احتمال ورود مقادیر کمی از ضایعات بطری مواد شیمیایی وجود دارد باید تکنولوژی بازیافت به گونه ای باشد که بتواند کلیه آلودگی ها را در حد استاندارد حذف کند کارایی تکنولوژی تولید با انجام یک سری آزمایش پیچیده قابل بررسی است.
۲. تکنولوژی تولید پرک و گرانول باید بتواند ناخالصی های مضر را تا حد امکان حذف کند. پرک و گرانول با ناخالصی در حد استاندارد تولید کند.

۳. بطری های رنگی PET از بطری های شفاف و بطری های PET از سایر بطری های پلاستیکی جدا شوند

۴. مواد شیمیایی که در طول فرآیند شستشوی پرک استفاده می شوند باید با فرآیند شستشوی مناسب حذف شوند

۵. باتوجه به اینکه در فرآیند تولید پرک چندین مرحله شستشو انجام می گیرد و نیز در حین تولید گرانول و تولید پریفرم رزین دوبار در دمای حدود ۲۶۰ درجه سانتیگراد ذوب می شود. لذا آلودگی میکروبی مواد غذایی درون بطری را تهدید نمی کند. آنچه که در فرآیند تولید بطری از بطری ضایعاتی مطرح است آلودگی شیمیایی ناشی از عدم حذف در ست ناخالصی ها در محصول تولید شده است. که کنترل تمیزی پرک و نیز بطری تولید شده طی انجام آزمایشاتی قابل کنترل است. در صورتی که موارد ۱ تا ۴ ذکر شده در بالا به درستی رعایت شوند گرانول تولید شده (R-PET) مشکلی برای مصرف در صنایع غذایی نخواهد داشت. به طوری که شرکتهای بزرگی مثل کافی کولا از ضایعات بطری برای تولید مجدد بطری استفاده می کنند. البته باید این نکته را یاد آور شد که معمولاً برای تولید پریفرم از گرانول R-PET آن را با گرانول تولید شده از مواد اولیه V-PET به نسبت های معین مخلوط می کنند که علت آن اختلاف رنگ این نوع رزین ها با V-PET است (البته می توان این میزان را به ۱۰۰ درصد استفاده از R-PET برای ساخت پریفرم افزایش داد) -

[۱۹]

۲-۵- سیمان

کلمه سیمان به هر نوع ماده چسبنده ای اطلاق می شود که قابلیت چسباندن ذرات به یکدیگر و یکپارچه کردن قطعات معدنی را دارا باشد. در شاخه مهندسی عمران، سیمان گردی است نرم، جاذب آب، چسباننده سنگ ریزه، که اساساً مرکب از ترکیبات پخته شده و گداخته شده اکسید کلسیم (آهک)، اکسید سیلیسیم، اکسید آلومینیم، اکسید آهن و اکسید منیزیم و اکسیدهای قلیایی می باشد. ملات این گرد قادر است به مرور در مجاورت هوا

یا در زیر آب سخت شود . سیمان در زیر آب در ضمن داشتن ثبات حجم، مقاومت خود را حفظ نموده و در فاصله ۲۸ روز زیر آب ماندن دارای حداقل مقاومت ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع گردد. [۲۰]

۲-۵-۱- سیمان از آغاز تا امروز در یک نگاه (تاریخچه کشف و مصرف سیمان)

از زمان باستان کاربرد مواد سیمانی سابقه ای طولانی دارد . مصریان قدیم از سنگ گچ

ناخالص پخته استفاده می کردند و یونانی ها و رومی ها سنگ آهک پخته را بکار می بردند.

سیمان می تواند دارای ترکیبات متفاوتی باشد و اصولاً جزو ملاتهای آبی محسوب می گردد

ملات های آبی از قدیم شناخته شده بوده اند، آهک از جمله این ملاتهاست که رومی ها و

یونانی ها با مخلوط کردن آن با خاکستر آتش فشانی، خاک آجر و آب، به نوعی آهک آبی

دست می یافتند که خاصیت سخت شدن و فشارپذیری بالایی داشت و این اولین ساخت

سیمان در تاریخ بود . با بکاربردن این ملات رومی ها توانستند ساختمانهای عظیمی بسازند

که هنوز بقایای آنها پس از گذشت چند هزار سال پا برجا و قابل مشاهده است.

در ایران از قدیم در مناطق مرطوب، خصوصاً مناطق شمالی خلیج فارس، از نوعی ساروج

استفاده می شده است که دارای خواص هیدرولیکی جالب و مقاومت فشار بالایی بوده است

معروفترین این ساروج ها، ساروج خمیراست که در بندر خمیرتهیه می گردد. [۲۰]

هنوز تأسیسات بندری ساخته شده با این نوع ملات در نقاطی مانند بندرلنگه و بندر بوشهر

پا برجاست.

در قرون وسطی کیفیت و کاربرد سیمان تنزل کلی پیدا کرد و فقط در قرن هجدهم است که

می توان پیشرفتی در دانش مربوط به سیمان را مشاهده نمود . حدود ۲۰۰ سال پیش و به

دنبال بررسی خواص هیدرولیکی مواد آتش فشانی مورد استفاده در کارهای ساختمانی

رومیان قدیم، این نکته کشف گردید که وجود ترکیبات خاک رس در سنگ آهک باعث بالا رفتن خواص هیدرولیکی آن می شود. [۲۱]

در سال ۱۷۵۶ جان اسمیتون (jahn smeato) انگلیسی دریافت که بهترین ملات از مخلوط پوزولان (خاکستر آتشفشانی) و سنگ آهکی که دارای مقدار زیادی مواد رسی باشد، به دست می آید. اسمیتون با شناخت نقش رس که تا آن زمان آن را نامطلوب می دانستند، اولین کسی بود که به خواص شیمیایی آهک آبی پی برد. او در راه پیدا کردن ملات مناسب برای احداث چراغ دریایی (eddy stone) به این موفقیت نایل آمد. [۲۲]

به دنبال وی، تحقیقات گسترده آقای ویکات (vicat) دانشمند فرانسوی بر روی آهک های آبی (آهک هایی که خاصیت گیرش در زیر آب را دارند) باعث گردید که نامبرده برای اولین بار در تاریخ موفق به تهیه مصنوعی مواد اولیه این نوع ملات ها شود. تحقیقات نامبرده را می توان از اولین پایه های ساخت سیمان پرتلند (Portland cement) نامید. البته این سیمان با آنچه که امروز بنام سیمان پرتلند موسوم است تفاوت هایی داشت. [۲۳]

بعد سیمان های هیدرولیکی دیگری ساخته شدند نظیر سیمان رومی که توسط « ژوزف پارکر » بدست آمد و توسط یک بنای اهل لیدز به نام ژوزف آسپتین (asptin) در سال ۱۸۲۴ به نام «سیمان پرتلند» به ثبت رسید.

اولین بنای ساخته شده با این نوع سیمان، بنای پارلمان انگلستان است که در فاصله سالهای (۱۸۴۰-۱۸۲۵) احداث گردیده است.

این سیمان از حرارت دادن خاک رس بسیار نرم و سنگ آهک سخت در کوره، تا زمان متصاعد شدن گاز کربنیک به دست آمد. حرارت این کوره خیلی پایین تر از حرارت لازم برای پخت کلینکر بود.

در سال ۱۸۴۵ نخستین نمونه سیمان مدرن توسط اسحاق جانسون ساخته شد . او مخلوطی از خاک رس و نوعی از سنگ آهک که بطور عمده شامل صدف های کوچک دریایی است (سنگ آهک فسیلی) را تا زمان کلینکر شدن پخت، تا واکنش های ضروری برای تشکیل ترکیبات سیمانی قوی صورت بگیرد . در نهایت به مرور زمان مطالعات علمی برای کشف خواص سیمانی برخی مصالح صورت گرفت و منجر به ساخت آن چیزی که امروزه «سیمان پرتلند» می نامیم شد. [۲۰]

در ابتدا از کوره هایی با ظرفیت ۵ تن در هفته که کاملاً شبیه کوره های آهک پزی بوده اند، استفاده می شده است. به مرور و هماهنگ با افزایش تقاضا برای این کالای معجزه گر، ابداعاتی در ساختمان کوره ها و نحوه تولید صورت گرفت. در اوایل قرن بیستم کوره های دوار سیمان ابداع شدند و قدم دیگری در جهت پاسخ گویی به تقاضای روز افزون مصرف سیمان برداشته شد. برای اولین بار در تاریخ تولید صنعتی سیمان، به سال ۱۸۷۷ اولین مؤسسه استاندارد سیمان توسط تولید کنندگان سیمان در کشور آلمان به وجود آمد . پس از آن در سال ۱۹۰۴ کمیته معرفی استانداردها در انگلستان تأسیس شد که بعد به نام مؤسسه استاندارد انگلیس تغییر نام داد. در همین سال بود که اولین استاندارد آمریکا برای تولید سیمان تدوین گردید . به طور کلی پیش گامان توسعه صنعت سیمان کشورهای انگلستان، آلمان و فرانسه و آمریکا بوده اند. [۲۱]

با توجه به پیشینه انجام برخی آزمایشات بر روی سیمان در آلمان، می توان این نکته را یاد آورد که سیمان اولین محصول صنعتی است که استاندارد شده است.

هم اکنون تولید جهانی سیمان بیش از یک میلیارد تن است و این مقدار رو به افزایش است . ظرفیت اسمی کارخانجات سیمان ایران در حدود ۱۸ میلیون تن است که البته این میزان تولید با توجه به نیازهای اساسی بسیار کم است. [۲۱]

۲-۵-۲- سیمان در ایران

این که از چه موقع مصرف سیمان در ایران باب شده است چندان مشخص نیست . ولی آنچه که مسلم است ورود سیمان به ایران توسط بیگانگان انجام گرفته است، که از ساختن بناهایی نظیر کلیساها، سفارتخانه ها و تأسیسات بندری استفاده می کردند. با شروع قرن چهاردهم هجری شمسی، سرعت گسترش کارهای زیر بنایی آنچنان بود که کیفیت و کمیت محصولات صنعتی جوابگوی نیازکشور نبود . این نیاز به ویژه با فکر احداث راه آهن دولتی ولزوم ساخت پل ها، تونل ها و ایستگاه های متعدد محسوس تر شد. [۲۴] قبل از سال ۱۳۱۴ ایران چهارم ین کشوروارد کننده سیمان در دنیا بود . رشد و گسترش کارهای عمرانی وزیربنایی در این سرزمین ایجاب می کرد که هرروزمقدار بیشتری سیمان وارد شود.

سیمان کالایی است ازران، سنگین و آسیاب پذیر و نیز هزینه حمل و نقل آن در مقایسه با قیمتش بسیار بالاست، در نتیجه تمام کشورهای دنیا برای رفع نیازخود به سیمان، اقدام به احداث کارخانه سیمان کردند . فکر ایجاد کارخانه سیمان در ایران وانجام بررسی های لازم روی مواد اولیه مناسب جهت تولید سیمان از سال ۱۳۰۷ آغاز شد . به دنبال آن درسال ۱۳۱۰ ایران و سوئد قرارداد خرید یک کارخانه سیمان ساخت کشور f.l.smidth دانمارک به ظرفیت ۱۰۰ تن در روز بسته شد.

هزینه اولیه کارخانه سیمان ایران از محل عواید حاصل از مالیات قند و شکر تأمین شد و بهای آن به صورت خشکبار و سایر فرآورده های کشاورزی به دانمارک پرداخت شد .
تمام شده این کارخانه پانزده میلیون تومان بود. [۲۴]

حاصل مطالعات روی معادن اولیه، انتخاب کوه سرسره در جوار شهرری، در هفت کیلومتری جنوب تهران و در امتداد کوه «بی بی شهربانو» بود. پس از خرید ماشین آلات کارهای ساختمانی، پروژه اولین خط تولید سیمان در شهرریور ماه ۱۳۱۱ به وسیله شرکت «تنس آلمان» در این محل شروع شد. ساختمان های فرعی این کارخانه به وسیله «وزارت طرق» ساخته شد و در نهایت در زمستان سال بعد در روز آفتابی جمعه ۸ دی ۱۳۱۲ اولین کارخانه سیمان ایران رسماً افتتاح شد.
مدیر این پروژه مهندس علی قلی خان (مهندس ساختمان) بود که بعدها نیز ریاست کارخانه را عهده دار شد و این آغازی بود بر راه پر نشیب صنعت سیمان در ایران. [۲۴]

۲-۵-۳- روش های ساخت سیمان

روش های مختلفی برای تولید سیمان وجود دارد. اصولاً چهار روش برای تولید سیمان وجود دارد [۲۵]

۱- روش تر

۲- روش نیمه تر

۳- روش نیمه خشک

۴- روش خشک

۲-۵-۴- انواع سیمان

۲-۵-۴-۱- سیمان پرتلند نوع ۱ سیمان پرتلند معمولی P.C-type I

در مواردی به کار می رود که هیچ گونه خواص ویژه مانند سایر انواع سیمان مورد نظر نیست.

برای استفاده عمومی و نیز استفاده ویژه در مواردی که گرمای هیدراتاسیون متوسط مورد نظر است.

۲-۵-۴-۲- سیمان پرتلند نوع ۳ P.C-type III

برای استفاده در مواقعی که مقاومت های بالا در کوتاه مدت مورد نظر است.

۲-۵-۴-۳- سیمان پرتلند نوع ۵ P.C-type V

در مواقعی که مقاومت زیاد در مقابل سولفات ها مورد نظر باشد استفاده می شود.

۲-۵-۴-۴- سیمان سفید White Cement

برای استفاده در سطوح ساختمان ها و مواقعی که استفاده از سیمان های بدون رنگ با مقاومت های بالا مورد نیاز باشد از این سیمان در تولید انواع سیمان های رنگی استفاده می شود.

۲-۵-۴-۵- سیمان سرباره ای ضد سولفات SR.slag Cement

در مواقعی که مقاومت متوسط در مقابل سولفات ها و یا حرارت هیدراتاسیون متوسط مورد نظر است استفاده می گردد

۲-۵-۴-۶- سیمان پرتلند - پوزولانی P.P. Cement -

در ساختمان های بتنی معمولی و بیشتر در مواردی که مقاومت متوسط در مقابل سولفات ها و حرارت هیدراتاسیون متوسط مورد نظر باشد استفاده می شود

۲-۵-۴-۷- سیمان پرتلند - آهکی P.K.Z. Cement -

این نوع سیمان در تهیه ملات و بتن در کلیه مواردی که سیمان پرتلند نوع ۱ بکار می رود قابل استفاده است. دوام بتن را در برابر یخ زدن، آب شدن و املاح یخ زا و عوامل شیمیایی

۲-۵-۴-۸- سیمان بنائی Masonry Cement -

برای استفاده در مواقعی که ملات بنائی با مقاومت های کمتر از سیمان پرتلند نوع ۱ مورد نیاز است.

۲-۵-۴-۹- سیمان نسوز ۴۵۰ Rf Cement -

حاوی بیش از ۴۰٪ Al_2O_3 با اتصال هیدروکسیلی و فازهای کلسیم آلومینات، برای مصرف به عنوان ماده نسوز در صنایع حرارتی استفاده می شود.

۲-۵-۴-۱۰- سیمان نسوز ۵۰۰ Rf Cement -

حاوی بیش از ۷۰٪ Al_2O_3 با اتصال هیدروکسیلی و فازهای CA ، CA_2 برای مصرف به عنوان ماده نسوز با درصد خلوص بالا در صنایع حرارتی و اتمسفرهای CO_2 به کار می

رود.

۲-۵-۴-۱۱- سیمان نسوز ۵۵۰ Rf Cement 550

حاوی بیش از ۸۰٪ Al_2O_3 با اتصال هیدروکسیلی و آلومینات کلسیم به عنوان ترکیب اصلی، دارای نسوزندگی و خواص ترمومکانیکی بالا و کاربردهای ویژه نسوز مانند اتمسفرهای احیای هیدروژن

۲-۵-۴-۱۲- سیمان های چاه نفت

این سیمان ها برای درزگیری چاه های نفت به کار می روند . عمده این نوع سیمان ها دیرگیر بوده و در برابر دماها و فشارهای بالا مقاوم می باشند . این سیمان ممکن است در حفر چاه های آب و فاضلاب نیز به مصرف برسد [۲۶]

۲-۵-۴-۱۳- سیمان های پرتلند ضد آب

این سیمان به رنگ سفید ، خاکستری تولید می شود . این نوع سیمان ، انتقال مویینه آب را تحت فشار ناچیز یا بدون فش ار، کاهش می دهد ولی جلوی انتقال بخار آب را نمی گیرد [۲۶]

۲-۵-۴-۱۴- سیمان های با گیرش تنظیم شده

سیمان با گیرش تنظیم شده به گونه ای کنترل و ساخته می شود که می تواند بتنی با زمان های گیرش از چند دقیقه ا یک ساعت تولید کند.

۲-۵-۴-۱۵- سیمان های رنگی

این سیمان ها بیشتر جنبه تزئینی و آرایشی دارند و در نماسازی سیمانی و تولید بتن نما دار به مصرف می رسند .

۲-۵-۵- ملات های سیمانی

الف- ملات ماسه و سیمان: این ملات مخلوطی است از ماسه ، سیمان و آب به مقدار معین به طوری که مخلوط خمیری حاصل به سه ولت قابل استفاده بوده و دارای خواص و ویژگی های مورد نظر باشد . ملات ماسه امروز از عمده ترین ملات های است که در کارهای ساختمانی و به خصوص ساختن بناهای سنگی و آجری مورد استفاده قرار می گیرد سیمان مورد مصرف در ملات باید دارای خصوصیات و ویژگی های مندرج در قسمت ه ای قبلی باشد آب مورد استفاده در ملات های سیمانی باید تمیز و فاقد مواد زیان آور بوده و به طور کلی قابل شر باشد. [۲۷]

ب- ملات ماسه بادی و سیمان این ملات که معمولاً به نسبت ۴ به ۱ ساخته می شود بیشتر برای بندکشی و آجر چینی آجرهای نما مورد استفاده قرار می گیرد به طور کلی در ساخت ملات های که در لبه های نازک اتصالات و بندکشی ها و سایر جاها کم قطر به کار برده می شود باید از ماسه بادی و یا ماسه ریزدانه ای که حداکثر سایز آن یک میلیمتر باشد استفاده می شود

ج - ملات باتارد یا حرامزاده این ملات مخلوطی است از ماسه - آهک - سیمان و آب به نسبت های معین ملات باتارد به دلیل قابلیت کارکرد و قابلیت نگهداری آب خوب در کارهای بنایی و به خصوص دیوارهای سنگی مورد استفاده قرار می گیرد [۲۷]

۶-۲- مروری بر کارهای انجام شده گذشته

آقایان Jang-Ho jay Kim, Chan-Gi Park, Si-won Lee, Sang-Woo Lee

Jong-Pil Won, در یک کار پژوهشی به بررسی استفاده از الیاف PET به عنوان عامل تقویت کننده که از بازیافت بطری های ضایعاتی حاصل می شود پرداختند. این آقایان نقش تقویت کنندگی الیاف را در سه حالت با سه شکل متفاوت مورد بررسی قرار دادند که عبارت بود از الیاف صاف-الیاف برجسته-الیاف موج. هر کدام از این سه دسته تاثیر ب ه سزایی در جلوگیری از ترک ناشی از آبرفتگی بتن را داشتند. که نتیجه ان شد که الیاف برجسته استحکام بیشتر را به بتن میدهد [۳]

آقای پروفیسور kolhapure و همکارانش در یک کار تحقیقاتی درصدهای ۰ و ۱۰ و ۲۰ از پلیمر sbr به سیمان اضافه کردند و در وضعیت نگه داری نمونه در آب و هوا اثر افزایش مقاومت فشاری خمشی برشی پلیمر را بررسی کردند. در درصدهای بیشتر پلیمر مشاهده شد که خشک شدن نمونه سریعتر انجام میشود و استفاده از درصد وزنی ۲۵-۳۰ پلیمر نسبت به سیمان می تواند بهترین نتیجه اقتصادی و مقاومتی را بدهد. [۴]

در مقاله ای توسط آقایان Byung-Wan jo, Ghi-Ho Tae, Chang-Hyun Kim

بررسی اثر خزش در بلند مدت و کوتاه مدت بر روی بتن پلیمری پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج کریپ کامپلیانس در آ زمایش های مختلفی که انجام گرفته شد کمتر از ۰.۴٪ بود. کرنش خزشی در بتن پلیمری بدون فیلر بسیار بالاتر از بتن پلیمری فیلردار شده با CaCO_3 است. میزان خزش همراه با یک استرس افزایش پیدا کرد که به دلیل رفتار غیر خطی بتن پلیمری پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی بود. [۵]

آقایان S.okubo, K.fukui, T.ochi از الیاف پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در بتن به عنوان عامل تقویت کننده استفاده کردند. در این روش بتن و الیاف ب ه راحتی و با حجم

بالای ۳٪ الیاف با یکدیگر مخلوط شد . در این مقاله وابستگی لیف پلی اتیلن ترفتالات

بازیافتی و مقاومت الکلی آن را در بتن مورد بررسی قرار دادند . [۶]

PARSETHYLENE KISH

فصل سوم:

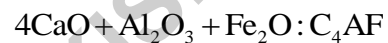
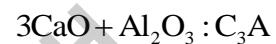
مواد و روش های آزمون

PARSETHYLENE KISH

۳۳-۱- مشخصات مواد به کار رفته

۳-۱-۱- سیمان پرتلند نوع ۲

معمولاً چهار ترکیب عمده به عنوان عوامل اصلی تشکیل دهنده سیمان در نظر گرفته می شود که عبارتند از:



سیمان پرتلند تیپ ۲: سیمان مورد استفاده در این آزمایشات از کارخانه سیمان فارس نو تهیه شده است این نوع سیمان پرتلند هنگام گرفتن، حرارت کمتری نسبت به نوع ۱ پس می دهد و در مقابل سولفات ها نیز مقاومت است. موارد کاربرد آن در سازه های بتنی نسبتاً حجیم، نظیر پایه هی پل و دیوارهای حایل و غیره است. استاندارد BS12:1978

ضریب اشباع آهک برای این نوع سیمان بین ۹۲ و ۹۴ محدود می شود. این ضریب بر اساس فرمول زیر که عبارت داخل پرانتزها درصد وزنی اکسیدهای تشکیل دهنده سیمان هستند قابل محاسبه می باشد.

$$\text{LSF} = \frac{1.0(\text{CaO}) - 0.7(\text{SO}_3)}{2.8(\text{SiO}_2) + 1.2(\text{Al}_2\text{O}_3) + 0.65(\text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

آهک آزاد اضافی سلامت سیمان را به مخاطره می اندازد، لذا باید محدود گردد. اگر چه در استاندارد ASTMc150-84 محدودیت خاصی برای آهک آزاد توصیه نشده است ولیکن مقدار آهک آزاد معمولاً کمتر از ۰/۵٪ می باشد.

سایر مشخصات به استانداردهای زیر خلاصه می شود.

مشخصات	BS12:1978	ASTMC150-84
مقدار اکسید منیزیم	>٪۴	>٪۶
پس ماند نامحلول	>٪۱/۵	>٪۰/۷۵
افت سرخ شدن	>٪۲	>٪۳
مقدار گچ (به صورت SO ₃)		
وقتی که درصد C ₃ A		
	٪۲/۵	-
>٪۵	٪۳	-
>٪۵	-	٪۳
>٪۸	-	٪۳/۵
>٪۸	-	

طی سال‌ها تولید سیمان نوع ۲ تغییراتی در مشخصات آن پدید آمده است در مقایسه با ۴۰ سال قبل سیمان‌های جدید C₃S و ریزی بالاتری را دارا می‌باشند استاندارد BS12:1978 حداقل سطح مخصوص ۲۲۵ $\frac{m^3}{kg}$ را مشخص می‌کند. در نتیجه مقاومت فشاری ۲۸ روزه سیمان‌های جدید بیشتر بوده ولی افزایش مقاومت دراز مدت آنها کمتر است نتیجه عملی این تغییرات این است که باید انتظار مقاومت بیشتر با زمان را در سیمان‌های جدید تا حدی تقلیل داد. این نکته مهمی است که باید در نظر داشت. بخصوص که امروزه مقاومت ۲۸ روزه معمولاً اساس سنجش قرار می‌گیرد.

۳-۱-۲- ماسه استاندارد

ماسه استاندارد از شرکت تلابتن تولیدکننده ماسه استاندارد خریداری شده است که وزن آن در هر کیسه ۱۳۵۰ ± ۵۰ گرم می‌باشد.

سنگدانه‌ها در بتن تقریباً $\frac{3}{4}$ حجم آنرا تشکیل می‌دهد. از این رو کیفیت آنها از اهمیت خاصی برخوردار است.

اندازه دانه‌های سنگی: بتن عموماً از سنگدانه‌هایی به اندازه‌های مختلف که حداکثر آن بین ۱۰ میلی‌متر ($\frac{3}{8}$ اینچ) و ۵۰ میلی‌متر (۲ اینچ) و بطور متوسط ۲۰ میلی‌متر ($\frac{3}{4}$ اینچ) می باشد، ساخته شده است. توزیع اندازه ذرات به نام دانه‌بندی سنگدانه موسوم است. بتن‌های متوسط ممکن است از سنگدانه‌هایی که همه اندازه‌ها را دارا بوده و یکجا در محل موجدند، ساخته می شود. لیکن آنچه معمول است و همیشه در ساخت یک بتن با کیفیت بالا باید رعایت گردد انتخاب حد فاصلی بین مواد درشت دانه و ریزدانه می باشد. این حد فاصل معمولاً الک ۵ میلی‌متر با نمره ۴ استاندارد ASTM انتخاب می شود.

۳-۱-۳ PET-۳ باز یافتی

در این آزمایشات از PET باز یافتی بطری‌های نوشیدنی استفاده گردیده است. که به سه شکل زیر به کار برده شده است:

۱. Random با سایز تقریبی $1 \times 1 \text{ mm}$

۲. Ribbon با سایز $6 \times 1 \text{ mm}$

۳. Zigzag $6 \times 1 \times 2 \text{ mm}$

۳-۱-۴ آب اختلاط

در اکثر استانداردها، آب مناسب برای بتن آبی است که برای آشامیدن مناسب باشد. مواد جامد محلول چنین آبی بندرت بیش از ۲۰۰۰ قسمت در میلیون (PPM) خواهد بود و بطور معمول کمتر از (PPM) ۱۰۰۰ می باشد. این مقدار به ازای نسبت آب به سیمان ۵٪ معادل ۰/۰۵ درصد وزن سیمان می باشد. در صورتی که مقدار لای بیش از ۲۰۰۰ PPM باشد برای کاهش آن می توان قبل از مصرف آب، برای مدتی آنرا در یک حوضچه آرامش نگاه داشت. آبی که برای شستن مخلوط کن بکار

رفته، به شرطی که از ابتدا برای بتن مناسب باشد می توان به عنوان آب مخلوط به کار برد . آب مورد استفاده در این پروژه طبق استاندارد ASTMc94-83 می باشد.

۳-۱-۵- اسید سولفوریک

اسید سولفوریک مورد استفاده در این پروژه با غلظت ۲٪

۳-۲- مشخصات دستگاه های مورد استفاده

۳-۲-۱- دستگاه مخلوط کن داخلی

دستگاه مخلوط کن داخلی مدل ZWICK/ROELL مدل MX 457 ساخت کشور آلمان

۳-۲-۲- قالب استاندارد به ابعاد

طول :	160 ± 1 میلی متر
پهنا :	40 ± 0.2 میلی متر
عمق :	40 ± 0.1 میلی متر

۳-۲-۳- حوضچه آب

حوضچه آب جهت نگهداری نمونه ها در رطوبت ۱۰۰٪ و دمای ۲۰ درجه سانتیگراد

۳-۲-۴- چمبر Chanber

دستگاه چمبر ساخت کشور ژاپن مدل ST-A قابلیت ثبات دما از ۳ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد را دارد و رطوبت آن نیز تا ۹۰٪ قابل تغییر می باشد.

۳-۲-۵- دستگاه ضربه زن

دستگاه ضربه زن ساخت ایران مدل ۶۱۳۵ با مشخصات زیر

Contents	Test Standard
Compression and bandy testing machine	Iso7500, ASTM D76 ASTM E4, EN10002-4 DINS1220, DINS1233

۳-۲-۶- دستگاه اندازه گیری مقاومت فشاری

دستگاه آزمون مقاومت فشاری ZWICK/ROELL مدل SC 350 ساخت کشور آلمان

۳-۲-۷- دستگاه مقاومت خمشی

دستگاه آزمون مقاومت خمشی ZWICK/ROELL مدل SB 2950 ساخت کشور آلمان

۳-۳- تهیه آمیزه ها و نامگذاری و روشهای انجام آزمون

ابتدا قطعات PET بازیافتی را به سه شکل، Zigzag, Ribbon, random در می آوریم به نحوی که اندازه قطعات Random ۱×۱ mm و اندازه قطعات Ribbon ۶×۱ mm و اندازه قطع ات Zigzag نیز ۲×۱×۳ mm باشد. این کار را با توجه به تحقیقاتی بودن پروژه با ابزار و نیروی انسانی به اتمام رساندیم.

پس با توجه به استاندارد ملی ایران به شماره ۳۰۴۰ مطابقت داشته باشد. مقدار سیمان ۴۵۰

گرم، ماسه استاندارد ۱۳۵۰ گرم و مقدار ۲۲۵ میلی لیتر آب و مقدار ۰/۵ درصد وزنی سیمان

از PET بازیافتی Type Random که معادل ۲/۲۵ گرم می باشد را به مخلوط اضافه می کنیم این مواد را در میکسر استاندارد Zwick/ROEII یا دور ۲۸ ۵ دور در دقیقه به مدت چرخانده می شود و سپس به اندازه نصف قالب مواد داخل میکسر را برداشته و داخل قالب می ریزیم بعد از صاف کردن سطح قالب آنرا داخل دستگاه Jol Ting مدل 613J قرار می دهیم این دستگاه در هر دقیقه ۶۰ ضربه به بتن وارد می کند . وارد شدن این ضربات به منظور به حداقل رسیدن خلل و فرج داخل بتن و خارج شدن حباب های هوای داخل بتن در جهت افزایش خواص بتن می باشد بعد از گذشت یک دقیقه قالب را از داخل دستگاه برداشته و مجدداً با مواد داخل میکسر تا تکمیل شدن ظرفیت قالب پر می کنیم و داخل دستگاه Jol Ting می گذاریم و بعد از یک دقیقه قالب را برداشته و سطح آنرا صاف می کنیم و به مدت ۲۴ ساعت داخل Chambel در دمای ۲۰ درجه و رطوبت ۹۰٪ قرار می دهیم. بعد از گذشت حدود ۲۴ ساعت قالب را برداشته و بتن داخل قالب را از سطح قالب جدا می کنیم این جداسازی قالب از بتن باید به دقت انجام پذیرد و نبای د سطح بتن دچار آسیب دیدگی گردد چون این آسیب دیدگی ها باعث می شود که نتایج قابل قبولی از انجام آزمایشات حاصل نشود.

بعد از جداسازی بتن از قالب آنرا در حوضچه آب در دمای ۲۰ درجه و رطوبت ۱۰۰٪ قرار می دهیم آنرا به مدت ۳ و ۷ و ۲۸ روز در حوضچه نگهداری می کنیم . بعد از گذشت هریک از زمان های مذکور نمونه را از حوضچه بیرون آورده و بین فک دستگاه اندازه گیری مقاومت خمشی قرار می دهیم و مقاومت مورد نظر بعد از شکسته شدن نمونه اندازه گیری می کنیم . همچنین نمونه ها را برای اندازه گیری تست مقاومت فشاری روی فک دستگاه قرار داده و با حرکت فک پایینی و متلاشی شدن بتن مقاومت فشاری نمونه به دست خواهد آمد.

تعداد نمونه‌های مورد آزمایش در هر مرحله ۵ عدد می باشد و نتایج متوسط آنها به عنوان نتیجه اصلی منظور شده است.

تمامی این مراحل برای Type های مختلف Zigzag, Ribbon, Random در درصدهای مختلف PET بازیافتی مشابه هم می باشد فقط برای اندازه گیری مقاومت فشاری و خمشی در محیط اسید سولفوریک ۲٪ بعد از گذاشتن قالب به مدت ۲۴ ساعت در Chamber آنرا در اسید سولفوریک ۲٪ و دمای ۲۰ درجه سانتیگراد قرار می دهیم و بعد از گذشت مدت زمان ۲، ۷ و ۲۸ روز آزمایشات را روی آنها انجام می دهیم . باید توجه شود که نمونه هایی که در داخل اسید سولفوریک قرار می دهیم با یک سری لیبل های مقاوم در مقابل اسید نامگذاری کردند اگر این کار انجام نشود کد نمونه ها از بین رفته و نتایج آزمایشت غیرقابل قبول خواهد بود نمونه‌ها به شرح زیر کدگذاری شده‌اند.

Type {
A : Random
B : Ribbon
C : Zigzag

PET Content {
0.5%
1%
2%

Ref : SB:819 کد نمونه

فصل چہارم

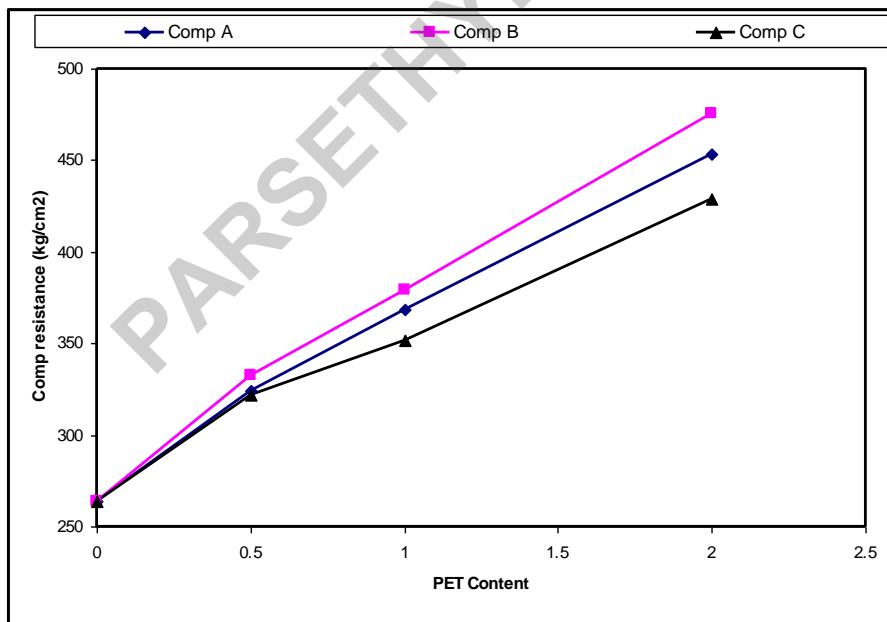
نتایج و بحث

PARSETHYLENE KISH

۱-۴- نتایج آزمایش مقاومت فشاری در محیط اسید سولفوریک (H_2SO_4) طی ۲۸ روز

جدول ۱-۴- نتایج مقاومت فشاری تمامی نمونه ها در محیط اسید سولفوریک طی ۲۸ روز

PET Cont.	Comp.(A)	Comp.(B)	Comb.(C)
0	264.04	264.04	264.04
0.5	323.9	332.19	321.66
1	368.19	379	351.71
2	453.54	475.2	429.01



شکل ۱-۴- نمودار مقاومت فشاری .

در این نمودار در جهت افقی از چپ به راست افزای ش درصد PET content را خواهیم داشت . همچنین در جهت عمودی از بالا به پایین تغییر در Type پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در درصدهای مساوی را خواهیم داشت.

این نمودار نشان می دهد که نمونه هایی که در معرض اسید سولفوریک ۲٪ (H₂SO₄) قرار گرفته اند ب افزایش ترکیب درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی یک روند افزایشی در تمامی Type های Zigzag, Ribbon, Random دیده می شود که این طبیعی است. یکی از خصوصیات بسیار مهم و فیزیولوژی قابل قبول PET در دمای اتاق مقاومت در برابر آب، اسیدهای رقیق، الکلها، اترها، روغن ها، چربی ها و هیدروکربنات های آروماتیک و آلیفانیک می باشد.

لذا با قرارگیری PET بازیافتی در بتن تحت محیط اسید سولفوریک ۲٪ (اسید رقیق) با توجه به مقاوم بودن PET در مقابل نفوذ اسید به علت خاصیت Barrier که PET در مقابل اسید ایجاد می کند سبب می گردد نفوذ اسید به ماکت بتن با ریت کمتری انجام بگیرد و یا حتی الامکان متوقف شود.

در نمونه Ref که عاری از PET بازیافتی می باشد مشاهده شده که مقاومت فشاری پایین است و مقدار آن ۲۶۴/۰۴ می باشد.

با افزایش ترکیب درصد از صفر به ۰/۵ ، ۱ و ۲٪ نتایج بدست آمده حاکی از آن است که نمونه حاوی Type B که قطعات PET در آن به صورت Ribbon می باشد نسبت به نمونه های حاوی Type A و Type C از خود مقاومت خمشی بالاتری نشان داده است و این طبیعی می باشد چون هرچه سطح PET بازیافتی بیشتر باشد خاصیت Barriell آن بیشتر خود را نشان می دهد و نفوذ اسید را به مقدار قابل توجه تری کاهش خواهد داد همانطور که در مباحث قبل گفته شد اندازه نمونه های Ribbon ۱×۶ mm بوده است و سطح آن بیشتر از نمونه های حاوی Type A و Type C می باشد.

مشاهده شده است که این روند افزایشی مقاومت قفشاری در مورد Type B در ترکیب درصد‌های ۰/۵٪ و ۱٪ و ۲٪ صعودی بوده است و هرچه که درصد PET content بیشتر می‌شود اختلاف نمونه Type B با دو نمونه دیگر بیشتر مشهود می‌گردد به طوری که در ترکیب درصد ۰/۵٪ پلی اتیلن ترفتالات اختلاف مقاومت فشاری نمونه Type B با Type A حدود ۸/۵ واحد مثبت بیشتر است. و در مقایسه نمون Type B با Type C این اختلاف مقاومت فشاری به حدود ۱۱ واحد مثبت افزایش خواهد یافت.

۴-۱-۱- نمونه حاوی ۰/۵ درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی

در ترکیب درصد ۰/۵ به ترتیب نمونه حاوی TypeB، TypeA و TypeC بیشترین مقاومت فشاری را از خود نشان داده اند و این طبیع ی است چون سایز نمونه Type B بزرگتر از Type A (۱×۱mm) می باشد. همچنین سایز نمونه TypeB بزرگتر از TypeC (۱×۲×۳mm) می‌باشد.

به هر حال اختلاف مقاومت در ترکیب درصد ۰/۵ بین نمونه های TypeB، TypeC و Type A بین ۸ تا ۱۰ واحد می‌باشد.

در ترکیب درصد ثابت ۱٪ همانطو ر که از نمودار پیداست نمونه Type B مقاومت فشاری بیشتری نسبت به دو نمونه Type A و Type C دارد.

علت آن نیز به خاطر فیزیولوژی قابل قبول PET در دمای اتاق و مقاومت در برابر آب،

اسیدهای رقیق، الکل‌ها، اترها و روغن ها و ... می باشد. لذا با توجه به اینکه اسید سولفوریک

۲٪ اسید رقیق می باشد این خاصیت در مورد PET قابل استفاده می باشد از طرفی PET

بازیافتی در اینجا به عنوان Barrier عمل می کند و یک سد در مق ابل نفوذ اسید در بالک

بتن ایجاد می‌کند و باعث می شود که اسید سولفوریک کمتری نسبت به نمونه بتن بدون

PET بازیافتی در آن نفوذ کند خاطر نشان می کنیم که مقدار سولفات ها در آبهای شور زیرزمینی زیاد است و در آب دریا با شوری متوسط ۳۳ تا ۳۵ گرم در لیتر مقدار چند ده SO_4^{2-} به ۲۵۰۰ تا ۲۷۰۰ میلی گرم در لیتر و در آبهای زیرزمینی بسیار شور این میزان به هزار میلی گرم تجاوز می کند در اینجا نیز سولفات موجود در اسید سولفوریک ۲٪ در تماس با سیمان سخت شده، حلالیت ترکیب سیمان را به طور چشمگیری افزایش می دهند که اصطلاحاً به آن شستشوی املاح سیمان سخت شده گفته می شود. و سبب جایگزینی یون Ca^{++} سیمان سخت شده با یون های Mg^{++}, K^+, Na^+ می شوند.

۴-۱-۲- نمونه حاوی ۱ درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی

در ترکیب درصد ۱٪ PET بازیافتی با بتن مقاومت فشاری نمونه حاوی Type B ۳۷۹ می باشد و نمونه حاوی Type A تقریباً ۳۶۸ واحد است همچنین در نمونه حاوی Type C ۳۵۱/۷ می باشد.

اختلاف مقاومت فشاری بین نمونه Type B با Type A تقریباً به ۱۱ واحد مثبت می رسد در حالی که این اختلاف در نمونه حاوی ۰/۵ حدود ۸/۵ واحد بود و این مطلب حاکی از آن است که با افزایش ترکیب درصد از ۰/۵ به ۱ اختلاف مقاومت فشاری بین نمونه های Type A و Type B حدود ۱/۵ واحد می باشد با افزایش ترکیب درصد این اختلاف بیشتر نیز خواهد شد.

اختلاف مقاومت فشاری بین نمونه حاوی Type B و Type C در ترکیب درصد ۱٪ حدود ۲۷/۵ واحد می باشد که در مقایسه با شرایط ثابت با ترکیب درصد ۰/۵ حدود ۱۶/۵ واحد افزایش داشته است. پس می توان نتیجه گرفت که در ترکیب

درصد ۰.۱٪ نمونه حاوی TypeB بهترین و نمونه حاوی TypeC بدترین مقاومت فشاری را از خود نشان داده‌اند.

۳-۱-۴- نمونه حاوی ۲ درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی

در این ترکیب درصد نیز مشابه ترکیب درصد‌های قبل (۰.۵ و ۱) با افزایش مقدار PET بازیافتی در بتن سیمان پرتلند نوع ۲ افزایش چشمگیری در مقاومت خمشی نمونه های مختلف واهیم داشت.

به طوری که در نمونه حاوی PET بازیافتی TypeB مقاومت فشاری تا ۴۷۵/۲ افزایش داشته است که این نتیجه بسیار، بسیار قابل ملاحظه و عالی می باشد . و در مقایسه با TypeB در ترکیب درصد ۰.۵ و ۱٪ به ترتیب ۱۴۳/۱ و ۹۶/۲ افزایش مثبت داشته است و در نوع خود بی نظیر می باشد.

همچنین در نمونه های حاوی TypeA نیز این اختلاف در مقاومت فشاری در ترکیب درصد‌های ۰.۵ و ۱٪ به ترتیب ۱۲۹/۶ و ۸۵/۳۵ افزایش مثبت داشته است . نمونه حاوی TypeC نیز رفتار مشابهی نشان داده و این اختلاف به ترتیب ۱۰۷/۳ و ۷۷/۵ افزایش مثبت بوده است . این مقایسه ها در نمونه های حاوی PET بازیافتی بود لذا اصل موضوع مقایسه با نمونه Ref می باشد که در ادامه برای تک تک نمونه‌ها به آن پرداخت خواهد شد.

در ترکیب درصد ثابت (۰.۲٪) نمونه TypeB مقاومت فشاری ۴۷۵/۲ را از خود نشان داده و نمونه TypeA مقاومت فشاری ۴۵۳ و ن مونه TypeC هم مقاومت فشاری ۴۲۹/۰۱ از خود نشان داده‌اند.

این مطلب حاکی از آن است که در ترکیب درصد ۰.۲٪ هر سه Type مقاومت فشاری خوبی بروز داده‌اند اما مثال ترکیب درصد‌های ۰.۵ و ۱٪ باز هم به ترتیب نمونه TypeB ، Type

A، TypeC بیشترین مقاومت فشاری را داشته اند . در ترکیب درصد ثابت ۰.۲٪ مقاومت فشاری بین نمونه Type B و TypeA به ۲۱/۶۶ واحدی می رسد این در حالی است که این اختلاف در ترکیب درصدهای ۰.۱٪ و ۰.۵٪ به ترتیب ۱۱ و ۸/۵ واحد مثبت بوده است همچنین در ترکیب درصد ۰.۲٪ اختلاف مقاومت فشاری بین TypeB و TypeC حدود ۴۶ واحد مثبت می باشد که در مقایسه با ترکیب درصدهای ۰.۱٪ و ۰.۵٪ در شرایط یکسان به ترتیب ۲۷/۵ و ۱۶/۵ واحد مثبت بوده است.

۴-۱-۴- مقایسه نمونه Ref با Type های مختلف پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی

حال به مقایسه و بررسی typeA و TypeB و TypeC با نمونه Ref می پردازیم همانطور که از نمودار شماره ۱ مشخص است . نمونه بتن Ref از لحاظ ابعادی درصد سیمان درصد آب و درصد ماسه با دیگر نمونه ها یکی می باشد فقط اختلاف موجود در میزان پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می باشد که در نمونه Ref درصد PET صفر است.



شکل ۴-۲- نمونه تحت بار در دستگاه مقاومت فشاری

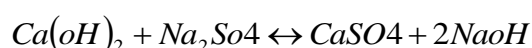
با انجام آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه Ref به این نتیجه رسیدیم که مقاومت فشاری آن بعد از گذشت ۲۸ روز و در مجاورت اسید سولفوریک $2\% / 264.04 \text{ Kg/cm}^2$ می باشد که این عدد نشان دهنده آن است که بتن سیمان پرتلند معمولی در مجاور اسید سولفوریک به شدت آسیب پذیر است، این آسیب دیدگی را می توان به حمله سولفاتها ب محصولات سیمانی به دو طریق توجیه کرد.

۴-۱-۵- حمله سولفات ها به محصولات سیمانی

۱. واکنش ترکیب سولفات و هیدروکسید کلسیم آزاد، که حاصل آن سولفات کلسیم خواهد بود. دو جزء خمیر سیمان یعنی هیدروکسید کلسیم و آلومینات کلسیم هیدراته شده با یون های سولفات محلول واکنش می دهند. محصولات جادو واکنش حج م بزرگتری در مقایسه با ترکیب اولیه دارند به طوری که شکستگی درصد سیمان روی می دهد واکنش هیدروکسید کلسیم با یونهای سولفات حل شده به ماهیت سولفات بستگی دارد که به بررسی آن می پردازیم.

الف) سولفات کلسیم

این واکنش حالت تعادلی است یعنی واکنش به طور کامل به یک سمت انجام نمی گیرد (۴-۱)



واکنش از چپ به راست تا زمانی ادامه می یابد که غلظت هیدروکسید سدیم به حدی برسد که واکنش متوقف شود. در صورت تشکیل NaOH بیشتر واکنش از راست به چپ انجام می گیرد. که به صورت شوره زدن روی بتن (یا آجرهای رسی) دیده می شود.

از واکنش NaOH با گچ ن ۱ محلول سولفات سدیم محلول تشکیل می شود . که این ماده می تواند به سطح بتن حرکت کرده خشک شود و تشکل کریستال را بدهد (واکنش برگشت از معادله (۱-۴)

بعد از بیرون آوردن نمونه ها از داخل اسید سولفوریک دقیقاً حالت شوره زدن روی نمونه ها به چشم می خورد.

ب) سولفات منیزیم :

برعکس واکنش قبلی، واکنش سولفات منیزیم که به صورت زیر نوشته می شود واکنشی کاملاً یک طرفه است.



به دلیل این که ئیدروکسید منیزیم بسیار نامحلول است بنا برای واکنش یک طرفه می باشد و واکنش از رست به چپ به کندی انجام می گیرد در نتیجه محلول سولفات منیزیم به طور کامل با ئیدروکسید کلسیم واکنش می دهد . یعنی وقتی واکنش به اتمام می رسد ممکن است همه هیدروکسید کلسیم آزاد به سولفات کلسیم تبدیل شده باشد.

از طرفی ژل هیدراته سیلیکات کلسیم (C-S-H) تنها در حضور ئیدروکسید کلسیم پایدار

است . بنابراین سولفات منیزیم برای بدست آوردن هیدروکسید کلسیم بیشتر سیلیکات

کلسیم هیدراته را تجزیه می کند . یعنی در محلول ه ای قوی سولفات منیزیم نه فقط شکستگی

در بتن اتفاق می افتد (به دلیل انبساط) بلکه شاهد تجزیه سریع ساختار سلیکاتی نیز

خواهیم بود.

ج) سولفات کلسیم

کاملاً واضح است که با هیدروکسید کلسیم به دلیل این که هر دو طرف واکنش یکسان است واکنش نمی دهد عمده ترین مبحث در حمله سولفات ها، واکنش سولفاتها با هیدروکسید کلسیم است . توضیحات ذکر شده مهاجم تر بودن سولفات منیزیم را نسبت به سولفات سدیم و سولفات کلسیم توجیه می کند.

از نظر تئوری انبساط حجم در تغییر $Ca(OH)_2$ جامد به $CaSO_4$ جامد در حدود $2/2$ برابر می باشد . کربنات تاسیون سیمان هیدراته شده برای تبدیل هیدروکسید کلسیم به کربنات کلسیم نامحلول به کار می رود که با تغییر حجم بسیار کم همراه است.

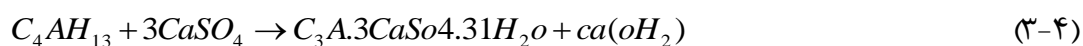
۲- واکنش سولفات کلسیم (گچ) و هیدروآلومینات کلسیم سیمان .

در اثر این واکنش دو شکل مختلف هیدروآلومینات کلسیم تشکیل می شود.

مره سولفات به مقدار کم $C_3A.CaSO_4.12H_2O$

سولفوآلومینات کلسیم به مقدار کم $C_3A.3CaSO_4.31H_2O$

در طی هیدراتاسون سیمان پرتلند : سولفات در جهت تشکیل اترینگایت به کمک C_3A مصرف می شود . پس از واکنش تمام سولفات در جهت تشکیل اترینگایت به کمک C_3A مصرف هیدراته می شود . در هر صورت در این مرحله از طریق محلول هیدروکسید کلسیم فوق اشباع و هیدرات تشکیل شده C_4AH_{13} یا C_4AH_9 هیدراته شده انجام می گیرد . بنابراین می توان گفت یونهای سولفات در محلول با بتن سخت شده واکنش می دهند و این واکنش به صورت زیر است.



انبساطهای تئوری (یا حتی انقباضات) برای انواع واکنش هایی که ممکن است در بتن انجام گیرد در جدول ۴-۲ نشان داده شده است.

جدول ۴-۲- انبساط / انقباض ثنوری برای واکنش های با سولفات کلسیم در بتن سخت شده

انبساط	محصولات واکنش با سولفات کلسیم	هیدرو الومینات در بتن سخت شده
۱/۱	منو سولفات	C_4AH_{13}
۲/۶	اترینگایت	C_4AH_{13}
۰.۸	منو سولفات	C_4AH_{19}
۱/۹	اترینجیت	C_6AH_{19}
۲/۱	منو سولفات	C_3AH_6
۴/۸	اترینگایت	C_4AH_6
۲/۲	Caso4	$Ca(OH)_2$

تمامی این موارد گفته شد تا مشخص گرد که بتن سیمان پرتلند تیپ ۲ در معرض حملت سولفاتی قرار دارند و این حملات روی مقاومت فشاری تأثیر بسیار منفی داشته است بطوری که اگر این نمونه در معرض حمله سولفات نباشد مقاومت فشاری آن حدود ۴ می باشد و در شرایط حمله مقاومت فشاری آن به ۲۶۴ می رسد با یک نگاه ساده در می یابیم که حدود ۲۰۶ واحد افت مقاومت داشته است. در صورتی که وقتی به این نمونه فقط با ۰.۵ درصد و زنی پلی اتیلن کرنتالات بازیافتی این درحالی است که با ترکیب درصد ثابت ۰.۵ نمونه Type B نسبت به نمونه Ref ۶۸۲ واحد افزایش داشته و نمونه Type A نسبت به نمونه Ref ۵۹۳۹ واحد افزایش داشته و نمونه Type C نسبت به نمونه Ref ۵۷.۶۶ واحد افزایش داشته است که این بخاطر خاصیت Barrier پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می باشد.

هر چند که اختلاف مقاومت فشاری در Type های مختلف در ترکیب درصدها ۰/۵ نسبت به نمونه Ref به چشم می خورد اما با اضافه شدن ترکیب درصد از ۰.۵ به ۱٪ در Type های مختلف این اختلاف بیشتر خواهد شد.

به طوری که در ترکیب درصد ثابت ۱٪ اختلاف در مقاومت فشاری در Type های مختلف از 351 Kg/cm^2 تا 379 Kg/cm^2 بر چشم می خورد.

در نمونه Type B مقاومت فشاری 379 Kg/cm^2 می شد در صورتی که و نمونه Ref این عدد 264 Kg/cm^2 می باشد این اختلاف نسب به نمونه Ref حدود ۱۱۵ واحد می باشد.

در نمونه Type A مقاومت فشاری 368.19 Kg/cm^2 می باشد و نسبت به نمونه Ref حدود ۱۰۴ واحد افزایش داشته است.

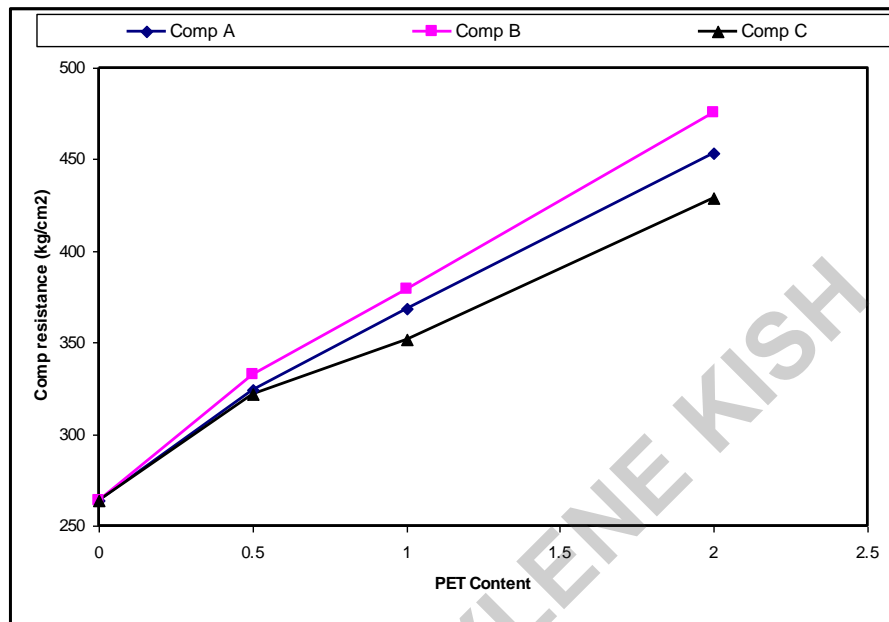
همچنین نمونه Type C نسبت به نمونه Ref حدود ۸۷ واحد افزایش داده است در واقع در ترکیب در صد ۱٪ نیز بهترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه Type B می باشد و بدترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه Type C می باشد.

که علت آن نیز سطح قطع PET بازیافتی می باشد که در نمونه حاوی Type B بازیافتی می باشد.

در ترکیب درصد ۲٪ نیز تمامی نمونه ها نسبت به نمونه Ref مقاومت فشاری بیشتری داشته اند در این مورد نیز بیشترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه حاوی Ribbon می باشد که عدد آن نسبت به نمونه Ref 211 Kg/cm^2 افزایش داشته است بعد از نمونه PET بازیافتی Ribbon نمونه حاوی PET بازیافتی Random بیشترین مقاومت داشته است و نسبت به نمونه Ref 189.5 Kg/cm^2 افزایش داشته است.

کمترین مقاومت فشاری در ترکیب درصد ۲٪ مربوط به نمونه Zigzag می باشد که با وجود کمتر بودن نسبت به دو نمونه قبلی حدود ۱۶۵ واحد نمونه Ref بالاتر است.

۴-۱-۶- نتیجه گیری کلی از نمودار ۴-۱



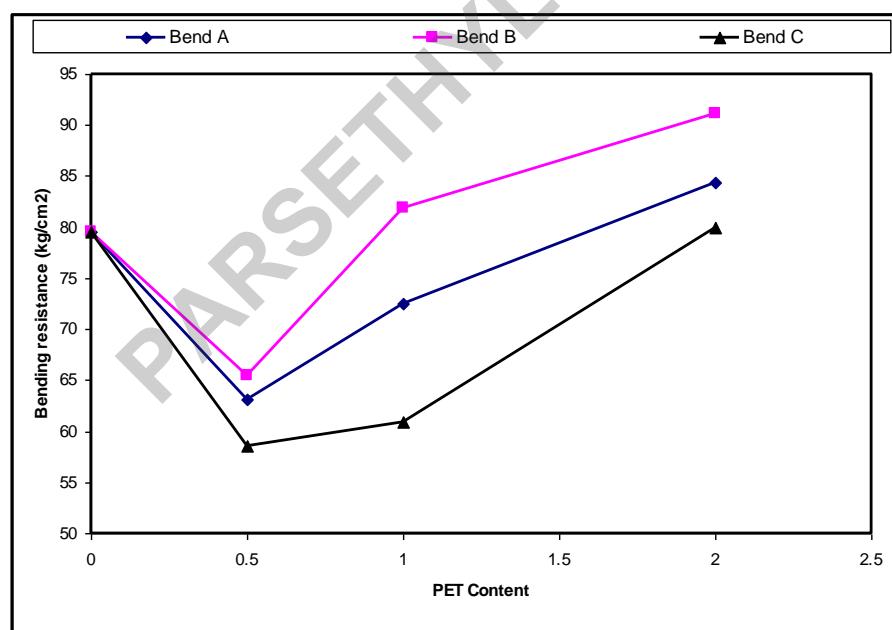
شکل ۴-۳- نمودار مقاومت فشاری تمامی نمونه ها در محیط اسید سولفوریک طی ۲۸ روز

این نمودار نشان می‌دهد که نمونه بتن پلیمری قرار گرفته در معرض اسید سولفوریک به مدت ۲۸ روز با افزایش ترکیب درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در هر سه Type Random, REibbon و Zigzag مقاومت فشاری ر افزایش می‌دهد و بیشترین افزایش مربوط به نمونه TypeB (Ribbon) می‌باشد و کمترین افزایش مربوط به نمونه Type C (Zigzag) می‌باشد. نتیجه اصلی این نمودار این است که با افزایش پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در تین در محیط های که سولفات بالا است می‌تواند از تخریب و آسیب دیدگی بتن جلوگیری کند.

۲-۴- نتایج آزمایش مقاومت خمشی در محیط اسید سولفوریک (H_2SO_4) طی ۲۸ روز

جدول ۴-۳- نتایج آزمایش مقاومت خمشی در محیط اسید سولفوریک (H_2SO_4) طی ۲۸ روز:

PET Cont.	Bend.(A)	Bend.(B)	Bend.(C)
0	79.56	79.56	79.56
0.5	63.18	65.52	58.5
1	72.54	81.9	60.84
2	84.44	91.2	80



شکل ۴-۴- نمودار مقاومت خمشی تمامی نمونه ها در محیط اسید سولفوریک طی ۲۸ روز

شکل ۴-۴- نمودار مقاومت خمشی است در مقابل ترکیب درصد در مجاورت اسید سولفوریک به مدت

۲۸ روز ترکیب درصدها به این صورت هست که صفر برای نمونه شاهد و برای نمونه های دیگر ۰.۵، ۱

و ۰.۲٪ می‌باشد. با حرکت در جهت افقی از چپ به راست افزایش ترکیب درصد پلی اتیلن ترفتالات را خواهیم داشت همچنین در جهت عمودی از بالا به پایین تغییر در Type پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در درصدهای مساوی را خواهیم داشت این نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌هایی که در معرض اسید سولفوریک ۰.۲٪ (H_2SO_4) قرار گرفته اند. در ترکیب درصد ۰.۵٪ برای هر سه TypeB و TypeA و TypeC روند، روند کاهشی بوده است این طالب بیانگر این است که نمونه های PET بازیافتی در ترکیب درصد ۰.۵ نه به عنوان تقویت کننده بلکه به عنوان یک ضعف عمل کرده است. این نمودار نشان می‌دهد که درصدهای کم PET بازیافتی نمی‌تواند مقاومت خمشی را افزایش دهد بلکه آنرا نیز کاهش خواهد داد به طوری که در نمونه Ref که درصد PET بازیافتی صفر٪ است مقاومت خمشی 79.56 Kg/cm^2 بوده و زمانی که ۰.۵٪ PET به آن اضافه می‌شود این عدد به 63 Kg/cm^2 تا 58 Kg/cm^2 کاهش خواهد یافت.

با افزایش ترکیب درصد به ۰.۱٪ پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مقاومت خمشی از ترکیب درصد ۰.۵ بالاتر خواهد رفت و در ترکیب درصد ۰.۲٪ PET بازیافتی این مقاومت همچنان سیر صعودی خود را طی می‌کند. در محدوده 80 Kg/cm^2 تا 91 Kg/cm^2 قرار می‌گیریم.

ترکیب درصد ۰.۲٪ PET نشان می‌دهد که مقاومت خمشی نسبت به نمونه Ref نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش قابل ملاحظه‌ای نیز داشته است بررسی در Type های A و B و C نشان می‌دهد که در ترکیب درصد ۰.۵ نمونه Ribbon مقاومت خمشی 65.56 Kg/cm^2 بوده که نسبت به نمونه $2.34 \text{ Random Kg/cm}^2$ افزایش داشته و همچنین نسبت به نمونه Zigzag نیز 7.02 Kg/cm^2 افزایش داشته است.

این مطالب بیانگر این است که نمونه Ribbon در ترکیب درصد ۰.۵ کمترین کاهش در مقاومت خمشی نسبت به دو نمونه Random و Zigzag داشته است نمونه حاوی ۰.۵ Zigzag بیشترین کاهش در مقاومت خمشی نسبت به نمونه‌های Random و Ribbon داشته است.

در ترکیب درصد ۱٪ تمامی Type ها نسبت به نمونه های مشابه خود در ۰.۵ افزایش مقاومت خمشی داشته‌اند به نحوی که مقاومت خمشی در نمونه Type B ۱٪ Kg/cm^2 ۸۱.۹ می‌باشد و این عدد در ترکیب درصد ۰.۵ ۶۵.۵۲ می‌باشد این افزایش ۱۶.۳۸ واحد می‌باشد.

همچنین در نمونه Type C ۱٪ مقاومت خمشی Kg/cm^2 ۶.۸۴ بوده است که نسبت به شرایط مساوی در ترکیب درصد ۰.۵ PET باز یافتی Kg/cm^2 ۵۸.۵ بوده حدود ۲ واحد افزایش داشته است.

و در نمونه Type A مقاومت خمشی در ترکیب درصد ۱٪ حدود Kg/cm^2 ۷۲.۵۴ بوده که این مقدار در ترکیب درصد ۰.۵ به Kg/cm^2 ۶۳.۱۵ رسیده است که Type A حدود ۹.۳۹ و احد افزایش یافته .

با توجه به اختلافات موجود در ترکیب درصدهای ۰.۵ و ۱٪ در می یابیم که نمونه حاوی قطعات PET باز یافتی به شکل Ribbon بیشترین رشد مقاومت خمشی را داشته‌اند. اما در ترکیب درصد ۲٪ باز هم مقاومت خمشی نمونه ها نسبت به ۱٪ افزایش قابل توجهی داشته‌اند.

به طوری که برای Type B مقاومت خمشی به عدد ۹۱.۲ و اگر نسبت به نمونه مشابه در ترکیب درصد ۱٪ مقایسه گرد د حدود ۹.۳ واحد افزایش مقاومت خمشی به چشم می خورد که این نتیجه قابل استناد می‌باشد.

در نمونه های Type A که به صورت Random می باشد افزایش مقاومت خمشی در ترکیب درصد ۲٪ حدود بوده که در شرایط مساوی نسبت به ترکیب درصد ۱٪ حدود ۱۱.۹ واحد افزایش مقاومت خمشی داشته‌ایم.

در نمونه Type C در ترکیب درصد ۲٪ مقاومت خمشی ۸۰ بوده که در شرایط مساوی نسبت به ترکیب درصد ۱٪ حدود ۲۰ واحد افزایش را خواهیم داشت . مطالعات در ترکیب

درصد ۲٪ نشان داد که هر سه نمونه Zigzag و Ribbon .Pandom افزایش قابل توجهی در مقاومت فشاری داشته اند به طوری که اختلاف این مقاومت ها در ۲٪ نسبت به ۱٪ کمتر شده و این نشان می دهد که در ترکیب درصد ۲٪ تمامی Type های A و B و C مقاومت خمشی بسیار خوبی را از خود نشان داده اند و مقاومت خمشی همه آنها از نمونه Ref بالاتر بوده است.

و نمونه Type B بیشترین مقاومت خمشی و نمونه Type C کمترین مقاومت خمشی را داشته است.



شکل ۴-۵- نمونه تحت بار در دستگاه مقاومت خمشی

۴-۲-۱- مقایسه مقاومت خمشی در ترکیب درصدهای ۲ و ۰.۵

در نمونه حاوی Type B در ۲٪ مقاومت خمشی 91.2 Kg/cm^2 بوده است که نسبت به نمونه حاوی Type B در ترکیب درصد ۰.۵ حدود ۲۵.۶۸ افزایش مقاومت خمشی داشته است همچنین در نمونه حاوی Type A در ۲٪ مقاومت خمشی 84.44 Kg/cm^2 بوده که

نسبت به نمونه حاوی TypeB در ترتیب درصد ۰.۵ حدود Kg/cm^2 ۲۱.۳۶ افزایش مقاومت خمشی داشته است.

با برر سی نمونه TypeC در ترکیب درصد ۰.۲ خواهیم دید که مقاومت خمشی Kg/cm^2 ۸۰ می باشد که باز هم نسبت به شرایط مساوی و در ترکیب درصد ۰.۵ این مقدار افزایش داشته و این افزایش هم ۱۹.۱۶ واحد بوده است.

مقایسه مقاومت خمشی در ترکیب درصد ۰.۲ PET بازیافتی نسبت به نمونه Ref که در آن PET بازیافتی به کار برده نشده است.

این مقایسه نشان می دهد که در نمونه حاوی Ribbon در ترکیب درصد ۰.۲ مقاومت خمشی ۹۱.۲ بوده که نسبت به نمونه Ref حدود ۱۱.۶۴ واحد افزایش داشته است .

همچنین در نمونه حاوی Random که همان TypeA می باشد مقاومت خمشی Kg/cm^2 ۸۴.۴۴ بوده که باز هم نسبت به نمونه Ref افزایش داشته و این افزایش حدود ۵ واحد بوده است در نمونه حاوی zigzay مقاومت خمشی در ترکیب درصد ۰.۲ ۸۰ بوده که نسبت به نمونه Ref حدود ۰.۵ واحد افزایش داشته .

در واقع ترکیب درصد ۰.۲ می باشد که تمامی نمونه های آن نسبت به نمونه Ref مقاومت خمشی بالاتری داشته اند.

از شکل ۴-۴ می توان نتیجه گرفت که ترکیب درصدهای زیر ۰.۲ افزایش قابل ملاحظه ای در مقاومت خمشی نداشته اند در صورتی که ترکیب درصد ۰.۲ افزایش بسیار خوب و قابل قبولی در هر سه نمونه TypeA و TypeB و TypeC داشته اند که علت آن نیز حمله اسیدی می باشد . هیچ سیمانی پرتلندی در مقابل حمله اسیدها مقاومت نمی باشد . در محیط های مرطوب دی اکسید گوگرد (SO_2) و در اکسید کربن (CO_2) و همچنین بعضی بخارهای دیگر موجود در هوا تشکیل اسید می دهند که به بتن حمله کرده و ضمن حل

کردن و بیرون آوردن بخشی از خمیر سیمان هیدراته شده، توده ای نرم و خیلی ضعیف را به جای می گذارند. در عمل شدت حمله با افزایش خاصیت اسیدی، افزایش می یابد. حمله در PH کمتر از ۶/۵ به وقوع می پیوندد و PH کمتر از ۴/۵ به حمله شدیدی منتهی می گردد. سرعت حمله به توانایی یونهای هیدروژن در پراکنده شدن در داخل ژل سیمان نیز بستگی دارد چون نمونه های ما نیز در معرض یک محیط اسیدی قرار گرفته بودند لذا با حمله اسیدی مواجه بوده اند با توجه به اینکه حمله اسیدی شدید بوده درصدهای کم PET نتوانسته اند از این حمله جلوگیری کنند اما درصد ۲٪ به خوبی توانسته در مقابل حمله اسید از مقاومت نماید و آسیب دیدگی آنرا کاهش دهد به نحوی که مشاهده می شود در ترکیب درصد ۲٪ تمامی نمونه های حاوی Random و Ribbon و zigzag توانسته مقاومت خمشی را بالاتر ببرند اما نمونه حاوی Ribbon بهترین مقاومت خمشی را داشته است.

۳-۴- بررسی مقاومت فشاری در محیط استاندارد آب با دمای ۲۰ درجه

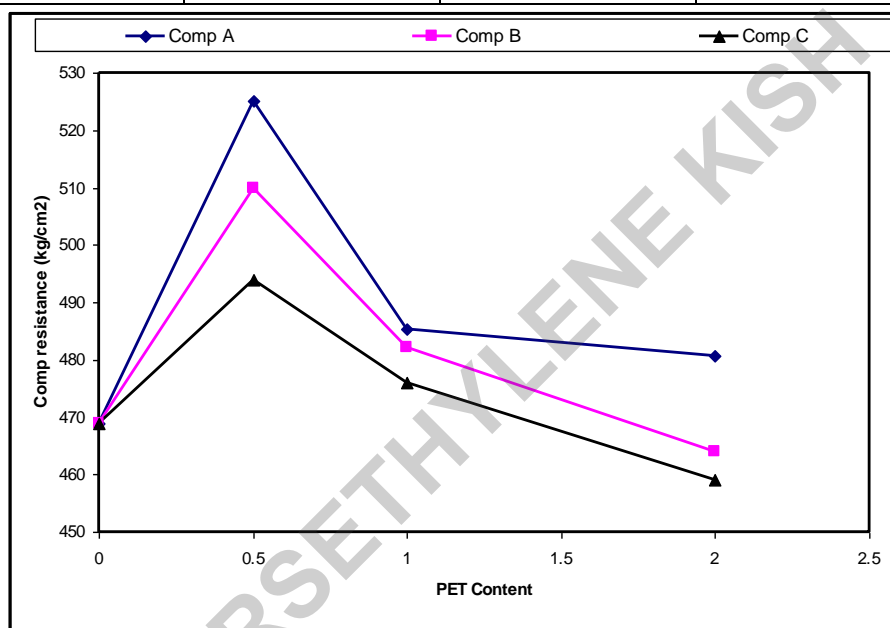
سانتی گراد رطوبت ۱۰۰٪

نمونه ها با ترکیب درصدهای ۰.۵ و ۱ و ۲٪ از قطعات zig zag باز یافتی به شکل های مختلف Zigzag, Rndom, Ribbon که به مدت ۲۸ روز در محیط آب با شرایط استاندارد قرار گرفته اند نتایج زیر را حاصل نموده اند.

جدول ۴-۴- نتایج بدست آمده از اندازه گیری مقاومت فشاری در ترکیب های ۰.۵، ۱، ۲ درصد PET بازیافتی به

مدت ۲۸ روز تحت محیط آبی

PET Cont.	Comp.(A)	Comp.(B)	Comb.(C)
0	469	469	469
	525	510	494
0.5	485.4	482.2	476
2	480.6	464.1	459.2



شکل ۴-۶- نمودار بدست آمده از اندازه گیری مقاومت فشاری در ترکیب های ۰.۵، ۱، ۲

درصد PET بازیافتی به مدت ۲۸ روز تحت محیط آبی

در نمونه‌هایی که در مجاورت آب هستند ما ترجیح می دهیم که آب به بالک نمونه نفوذ کند چون هر چه قدر آب به بالک نمونه ما نفوذ کند سیمان ما صنعتی بیشتری را دارا خواهد بود از طرفی گفته شد که قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی ما به عنوان یک barrier عمل می‌کنند و نمی‌گذارند شرایط محیطی ما که آب و یا اسید سولفوریک می باشند به نمونه ما نفوذ کند. اگر آب به بالک نمونه ما نفوذ کند که مقاومت فشاری افزایش پیدا خواهد کرد، اما

در مور اسید سولفوریک گفته شد که هر چقدر به بالک نمونه نفوذ نکند بهتر است و باعث می شود که نمونه مقاومت بهتری داشته باشد ما انتظار داریم با افزایش درصد PET بازیافتی یعنی با افزایش barrierها آب کمتری با بالک نفوذ کند و مقاومت فشاری و خمشی ما افت نکند اما نکته دیگری که باقی می ماند این است که کدام یک از این Typeها در این مورد بهتر عمل می کند. که این مور نیاز به تأمل بیشتری دارد. پس انتظار می رود که نمونه حاوی PET ۰.۵ بازیافتی مقاومت فشاری و خمشی کمتری نسبت به نمونه Ref داشته باشد.

چون PET ۰.۵ بازیافتی می تواند از نفوذ آب جلوگیری می کند.

بررسی شکل ۴-۶ نشان می دهد که در ترکیب درصد ۰.۵ از پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می بینیم که تمام Typeهای A و B و C که به ترتیب شامل نمونه های Zigzag, Ribbon, Random می باشند نسبت به نمونه Ref یک روند افزایشی بسیار خوب را داشته ایم و این به خاطر تقویت کنندگی خاصیت ماتریس دیسپرس و ایجاد کامپوزیت می باشد زیرا که هنوز درصد PET بازیافتی ما به حدی نرسیده که به عنوان یک Barriell عمل کند و در این حالت بیشتر به عنوان یک تقویت کننده عمل می کند.

اما بعد از اینکه در PET بازیافتی بیشتر می شود و بیشتر به عنوان یک barriell عمل می کند تا به عنوان یک تقویت کننده می بینیم که روند رو به کاهش است و با افزایش درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی و به طبع آن افزایش خاصیت Barrier و عدم نفوذ آب و عدم افزایش سختی ماتریس ما بعضی سیمان می بینیم که مقاومت فشاری هم افت می کند اما اگر در یک ترکیب درصد ثابت بررسی کنیم می بینیم که نمونه های حاوی TypeC، همان نمونه های Zigzag می باشند ضعیف ترین نمونه ها می باشند و برخلاف نتایج قبلی که همین نمونه ۱ حاوی TypeB بیشترین نتیجه را داشته اند این بار نمونه های

TypeA که همان نمونه های Random بوده اند بهترین مقاومت فشاری را داشته اند که این افزایش نیز منطقی به نظر می رسد و توجیه این پدیده به این صورت است که Random بوده این قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی باعث می شود که دفکتهای موجود در ماتریس، توسط این قطعات Random گرفته شود و اما نمونه های شامل قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی به صورت Ribbon می تواند یک عامل لغزش در مقابل فشار فکهای دستگاه تست مقاومت فشاری باشند و لایه های مختلف ماتریس سیمانی را تحت تأثیر قرار دهند و مقاومت فشاری را کاهش دهند.

در جدول ۴-۴ نمونه Ref بودن قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مقاومت فشاری 469 Kg/cm^2 را داشته اند اما با اضافه کردن ۰.۵ پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی دیده می شود که مقاومت فشاری بسیار بالاتر رفت به طوری که در نمونه حاوی قطعات Random مقاومت فشاری 525 Kg/cm^2 می رسد و این افزایش ناگهانی بسیار بی نظیر می باشد. همچنین در نمونه حاوی قطعات Ribbon مقاومت تا 510 Kg/cm^2 افزایش پیدا می کند از طرفی در نمونه حاوی قطعات Zigzag دیده می شود که به مقاومت به Kg/cm^2 ۴۹۴ می رسد که علت بالا بودن مقاومت در ابتدای این بحث عنوان شده است.

در ترکیب درصد ثابت ۰.۵ می توان گفت که نمونه حاوی TypeA بیشترین مقاومت فشاری را از خود بروز داده است و علت آن نیز به خاطر اندازه کوچکتر قطعات Cmrandom (۱×۱ mm) و قطعات Ribbon (۱×۶ mm) و قطعات Zigzag (۱×۲×۳ mm) می باشد به طور کلی در نمونه های طولی ۰.۵٪ پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی به علت تقویت کنندگی خاصیت ماتریس دیسپرس و ایجاد کامپوزیت مقاومت فشاری بسیار بالا رفته است.

۴-۳-۱- مقایسه نمونه های مختلف در ترکیب درصد ثابت ۰.۵

اگر در این ترکیب درصد ثابت ۰.۵ به بررسی مقدار مقاومت فشاری نمونه TypeA و TypeB بپردازیم واهیم دید که اختلاف نمونه TypeA با TypeB حدود ۱۵ واحد تست که نشاندهنده بالاتر بودن ۱۵ واحدی مقاومت فشاری TypeA نسبت به TypeB می باشد.

همچنین اگر این ترکیب درصد ثابت مقایسه ای بین TypeA و TypeC صورت گیرد مشاهده می گردد که TypeA نسبت به TypeC از لحاظ مقاومت فشاری ۳۱ واحد بالاتر است.

و همچنین نمونه TypeB حدود ۱۶ واحد بالاتر است.

۴-۳-۲- مقایسه نمونه های مختلف در ترکیب درصد ثابت ۱

بررسی مقاومت فشا ری در ترکیب ۱٪ پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی حاکی از آن است که تمامی نمونه های Ribbon, Random و Zigzag مقاومت فشاری به مراتب باتری نسبت به نمونه Ref را داشته اند و نمونه حاوی قطعات Random بیشتری مقاومت فشاری و نمونه حاوی قطعات zigzag کمترین مقاومت فشاری را داشت اند اما در هر صورت نمونه Typec هم که کمترین مقاومت فشاری را داشته است نسبت به نمونه Ref مقاومت فشاری بالاتری را از خود بروز داده اند

در ترکیب درصد ۱٪ مقاومت فشاری نمونه Ribbon و Random و Zigzag به

ترتیب 485.4 Kg/cm^2 ، 482.6 Kg/cm^2 و 476 Kg/cm^2 بوده است که اختلاف

مقاومت فشاری نمونه Random نسبت به نمونه Ribbon حدود $3/2$ و اختلاف نمونه

Random نسبت به نمونه Zigzag حدود $8/5$ می باشد این در حالی است که اختلاف

نمونه Zigzag حدود ۸/۵ می باشد این در حالی است که اختلاف ن نمونه Ribbon با Zigzag هم ۶/۲ واحد است.

مشاهده می گردد که اختلافات در نمونه های ۱٪ به مراتب پایین تر از اختلافات مقاومت فشاری در نمونه های حاوی ۰.۵ می باشد.

و دلیل آن نیز به خاطر خاصیت Barrier پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می باشد که در این ترکیب درصد خاصیت Barrier بر خاصیت تقویت کنندگی ماتریس دیسریس غلبه نموده اختلاف مقاومت فشاری را در ترکیب درصد ثابت ۱٪ نسبت به ترکیب درصد ثابت ۰.۵ بین نمونه های حاوی Type های مختلف A و B و C کاهش داده است. همچنین به خاطر بالاتر بودن خاصیت Barrier و در نمونه های حاوی ۱٪ نسبت به نمونه های حاوی ۰.۵ باعث افت مقاومت فشاری شده است.

۳-۳-۴- مقایسه نمونه های مختلف در ترکیب درصد ثابت ۲

در ترکیب درصدهای ۲٪ از پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مشاهده می شود که نمونه حاوی قطعات Random بیشترین مقاومت فشاری و نمونه حاوی قطعات Zigzag کمترین مقاومت فشاری را دارا می باشند.

علت بالاتر بودن مقاومت فشاری در ترکیب درصد ۲٪ در نمونه حاوی قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی ساز کوچکتر این قطعا نسبت به دو نمونه دیگر می باشد که در قسمتهای قبل ابعاد و اندازه ها آورده شده است. همچنین علت پایین تر بودن مقاومت فشاری در نمونه Zigzag شکل هندسی و تقسیم تنش و فشار در این نمونه ها می باشد.



شکل ۴-۷- نمونه تحت بار در دستگاه مقاومت فشاری

۴-۳-۴- مقایسه مقاومت فشاری نمونه ۰.۵ با نمونه Ref

در نمونه حاوی قطعات Random در ترکیب درصد ۰.۵ مشاهده می گردد که مقاومت فشاری به 525 Kg/cm^2 می رسد که بسیار بسیار عالی و غیر قابل پیشبینی بوده است این در حالی است که نمونه در جمع مقاومت فشاری 469 Kg/cm^2 داشته است که اختلاف از نمونه Ref تا نمونه شامل قطعات random 56 واحد مثبت می باشد. همچنین در نمونه حاوی قطعات Ribbon که مقاومت فشاری 510 Kg/cm^2 را داشته اند در مقایسه با نمونه Ref حدود ۴۱ واحد مثبت افزایش مقاومت فشاری را از خود نشان داده اند.

اگر نمونه حاوی قطعات Zigzag را در ترکیب درصد ۰.۵ بررسی کنیم خواهیم دید که مقاومت فشاری این Type از نمونه ها به عدد 476 Kg/cm^2 می رسد با وجود اینکه این مقاومت فشاری نسبت به دو نمونه Random و Ribbon کمتر می باشد اما باز هم از نمونه Ref بزرگتر است و حدود ۷ اختلاف مثبت دارد.

نتیجه‌ای که از این ترکیب درصد (۰.۵) می‌توان گرفت این است با اضافه کردن ۰.۵٪ از هر کدام از Type های A و B و C مقاومت فشاری بالاتر خواهد رفت و گاهی تا Kg/cm^2 ۵۶ و در مثبت این افزایش محسوس بوده است.

۴-۳-۵- مقایسه نمونه‌های حاوی ۱٪ با نمونه ۰.۵٪

در مقایسه کلی می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش درصد قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی از ۰.۵ به ۱٪ مقاومت فشاری افت کرده است.

در نمونه حاوی Random با تغییر ترکیب درصد از ۰.۵ تا ۱٪ مقاومت فشاری از Kg/cm^2 ۵۲۵ تا ۱۸۵، کاهش یافته است.

همچنین در نمونه حاوی Ribbon با تغییر ترکیب درصد از ۰.۵ تا ۱٪ مقاومت فشاری از Kg/cm^2 ۵۱۰ به Kg/cm^2 ۴۸۲ کاهش یافته است.

این در حالی است که در نمونه حاوی قطعات Zigzag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی با تغییر ترکیب درصد از ۰.۵ تا ۱٪ مقاومت فشاری از Kg/cm^2 ۴۹۴ تا Kg/cm^2 ۴۷۶ کاهش داشته است.

اختلاف مقاومت فشاری از نمونه حاوی قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی به شکل Random از ۰.۵ تا ۱٪ حدود ۳۹.۶ واحد بوده است.

همچنین اختلاف مقاومت فشاری از نمونه حاوی قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی به شکل Ribbon از ۰.۵ تا ۱٪ حدود ۲۸ واحد می‌باشد.

این در حالی است که این مختلف در نمونه های حاوی قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی از ۰.۵ تا ۱٪ فقط ۱۸ واحد بوده است.

همانطور که مشاهده می شود اختلاف در ترکیب درصدها از ۰.۵ به ۱٪ نسبت به اختلاف در شکل های Random و Ribbon و Zig zag مشهودتر می باشد.

یکی دیگر از نتایج قابل بررسی که در ترکیب درصد ۰.۵ و ترکیب درصد ۱٪ اختلاف مقاومت فشاری در ترکیب درصدهای ذکر شده است در ترتیب درصد ۰.۵ اختلاف مقاومت فشاری بین نمونه های Random و Ribbon و Zigzag بسیار بیشتر از اختلاف مقاومت فشاری در ۱٪ می باشد هم انطور ه در نمودار مشخص است این اختلافها در ترکیب درصد ۱٪ در دو نمونه Random و Ribbon بسیار به هم نزدیک شده است.

۴-۳-۶- مقایسه ترکیب درصد ۲٪ یا ترکیب درصدهای ۱ و ۰.۵٪

با یک نگاه کلی در میابیم که دو با افزایش ترکیب درصد از ۱ به ۲٪ کاهش نسبی در مقاومت فشاری را داشته ایم این کاهش بیانگر این است اضافه شدن قطعات بازیافتی پلی اتیلن ترفتالات در محیط آب می تواند خاصیت Barrier را افزایش دهد و مقاومت فشاری را به صورت نسبی کاهش دهد.

با افزایش ترکیب درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی از ۱ به ۲٪ بالاترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه حاوی قطعات Random می باشد و کمترین مقاومت فشاری مربوط به نمونه حاوی قطعات Zigzag می باشد. که این افزایش و کاهش با توجه به خاصیت Barrier باز هم متوجه سائز قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می باشند.

با افزایش ترکیب درصد از ۱ به ۲٪ در نمونه حاوی قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مقاومت فشاری از 485.4 Kg/cm^2 به 480.6 Kg/cm^2 کاهش پیدا کرده است.

همچنین با افزایش ترکیب درصد از ۱ به ۲٪ در نمونه های حاوی قطعات Rebbon پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مقاومت فشاری از 482.2 Kg/cm^2 به 464.1 Kg/cm^2 کاهش داشته است.

این در حالی است که مقاومت فشاری از ترکیب درصد ۱ و ۲ در نمونه های حاوی قطعات Zigzag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی از 476 Kg/cm^2 به 459.2 Kg/cm^2 کاهش داشته است.

میزان اختلاف بین مقاومت فشاری در نمونه های حاوی قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در ترکیب درصد ۱ به ۲ حدود ۴.۸ واحد می باشد.

همچنین اختلاف بین مقاومت فشاری در نمونه های حاوی قطعات Ribbon پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در ترکیب درصد ۱ به ۲٪ حدود ۱۸.۱ واحد می باشد.

این در حالی است که اختلاف مقاومت فشاری در نمونه های حاوی قطعات Zig zag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی از ۱٪ به ۲٪ حدود ۱۶.۸ واحد است این مطلب نشاندهنده آن است که

بیشترین افت مقاومت از ترکیب درصد ۱ به ۲٪ متوجه نمونه شامل قطعات Ribbon شده و کمترین افت مقاومت فشاری متوجه نمونه شامل قطعات Random شده است.

۴-۳-۷- مقایسه مقاومت فشاری ترکیب درصد ۰.۵ و ۲ پلی اتیلن ترفتالات

بازیافتی

مقاومت فشاری در نموده حاوی ۰.۵٪ قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات

بازیافتی 525 Kg/cm^2 بوده و در ۲٪ قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات

بازیافتی 480 Kg/cm^2 بوده است اختلاف این مقاومت از ۰.۵٪ تا ۲٪ حدود ۴۵ منفی بوده است.

همچنین مقاومت فشاری در نمونه حاوی ۰.۵٪ قطعات Ribbon پلی اتیلن ترفتالات

بازیافتی 510 Kg/cm^2 می باشد و در ۲٪ قطعات Ribban پلی اتیلن ترفتالات

بازیافتی 468 Kg/cm^2 می باشد که اختلاف این مقاومت فشاری از ۰.۵٪ تا ۲٪ حدود ۴۲

منفی محاسبه شده است.

همچنین مقاومت فشاری در نمونه حاوی ۰.۵٪ قطعات Zigzag پلی اتیلن ترفتالات

بازیافتی 494 Kg/cm^2 بوده و در ۲٪ قطعات پلی اتیلن ترفتالت بازیافتی 459 Kg/cm^2

می باشد و اختلاف این مقاومت فشاری از ۰.۵٪ تا ۲٪ حدود ۳۵ منفی بوده است.

نتیجه اینکه از ۰.۵ تا ۲٪ مقاومت فشاری در تمامی TypeC ، TypeB ، TypeA کاهش

داشته است.

نتیجه ای که از این بحث می توان گرفت این است که بیشترین افت مقاومت فشاری از ۰.۵ تا

۲٪ مربوط به نمونه شامل قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی بوده است.

همچنین کمترین افت مربوط به نمونه شامل قطعات Zigzag پلی اتیلن ترفتالات می باشد.

۴-۳-۸- مقایسه نمونه Ref با نمونه های شامل قطعات پلی اتی لن ترفتالات

بازیافتی در ۱٪

با افزایش ترکیب درصد قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات از ترکیب درصد صفر

(نمونه Ref) تا ترتیب درصد ۱٪ خواهیم دید که مقاومت فشاری از 469 Kg/cm^2

به 485.4 Kg/cm^2 دیده است یعنی اینکه با اضافه شدن ۱٪ قطعات Random پلی اتیلن

ترفتالات بازیافتی مقاومت فشاری حدود ۴ افزایش داشته است.

همچنین با افزایش ترکیب درصد قطعات Ribbon پلی اتیلن گرفت است بازیافتی از صفر

(نمونه Ref) تا ترکیب درصد ۱٪ خواهیم دید که مقاومت فشاری از 469 Kg/cm^2 به

۴۸۲.۲ Kg/cm^2 رسیده است، معنی آن این است که با اضافه شدن ۱٪ قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مقاومت فشاری حدود ۱۳.۲ افزایش داشته است.

این در حالی است که با اضافه کردن ترکیب درصد قطعات Zigzag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی از صفر (نمونه Ref) تا ترکیب ۱٪ خواهیم دید که مقاومت فشاری از $469 Kg/cm^2$ به $479 Kg/cm^2$ رسیده است این مطلب نشان می دهد که در ترکیب درصد ۲٪ نمونه Zigzag مقاومت فشاری حتی از مقاومت فشاری نمونه Ref حدود $7 Kg/cm^2$ بالاتر آمده است.

بهترین نمونه ثبت به نمونه Ref در ترکیب درصد ۱٪ نمونه شامل قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی بوده است برترین نمونه نسبت به نمونه Ref در ترکیب درصد ۱٪ نمونه حاوی قطعات Zigzag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی بوده است که بیشتری داشته اند این مطلب نشانگر آن است که در ترکیب درصد ۱٪ تمامی نمونه ها از نمونه Ref مقاومت فشاری مقایسه نمونه Ref با نمونه حاوی ۲٪ قطعات پلی اتیلن ترفتالاتهای مختلف از مقایسه نمونه Ref با نمونه حاوی ۲٪ قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات مشاهده می گردد که مقاومت فشاری از $469 Kg/cm^2$ (نمونه Ref) به $480.6 Kg/cm^2$ رسیده است که اختلاف مقاومت فشاری در نمونه Ref نسبت به نمونه ۲٪ قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی حدود $11.6 Kg/cm^2$ مثبت بوده است.

همچنین مشخص است که در ترکیب درصد ۲٪ نمونه حاوی قطعات Ribbon مقاومت فشاری از $469 Kg/cm^2$ (نمونه Ref) به $464.1 Kg/cm^2$ رسیده است.

که در این مورد اختلاف در مقاومت فشاری نسبت به نمونه Ref حدود ۴.۹ منفی بوده است.

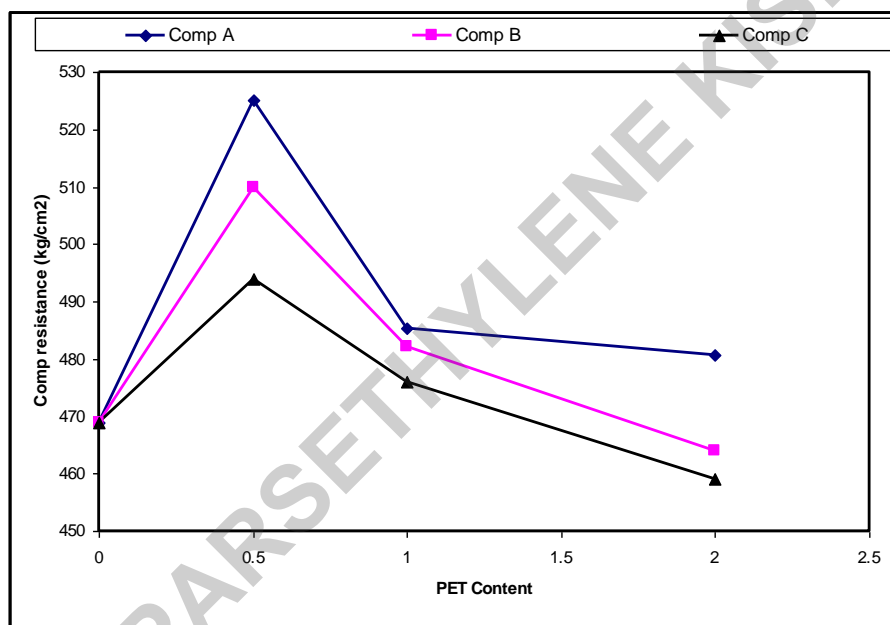
همچنین در ترکیب درصد ۰.۲٪ نسبت به نمونه Ref در قالبهایی از بتن که حاوی

قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی به شکل Zigzag می باشد.

مقاومت فشاری از 469 Kg/cm^2 (نمونه Ref) به 459.2 Kg/cm^2 کاهش یافته است که

در این مورد اختلاف حدود 9.8 Kg/cm^2 منفی می باشد.

۹-۳-۴- نتیجه گیری کلی از نمودار ۸-۴



شکل ۸-۴- نمودار بدست آمده از اندازه گیری مقاومت فشاری در ترکیب های ۰.۵، ۱، ۲.

درصد PET بازیافتی به مدت ۲۸ روز تحت محیط آبی

نتیجه کلی که از شکل ۸-۴ این است که در ترکیب درصد ۰.۵ مقاومت فشاری در هر سه مدل Zigzag و Random, Ribbon بین ۲۵ تا ۵۵ واحد افزایش پیدا می کند که این فوق العاده است و در ترکیب درصدهای پایین تر این مقدار مقاومت ها کاهش پیدا می کند و در ترکیب درصد ۰.۲ نمونه حاوی قطعات Zigzag و Ribbon مقاومت فشاری حتی کمتر از نمونه Ref می شود.

پس می توان گفت در ترکیب درصدهای ۰.۲٪ و بالاتر احتمال کاهش مقاومت فشاری در نمونه های حاوی قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی وجود دارد.

۴-۴- بررسی مقاومت خمشی تحت محیط استاندارد آب با دمای ۲۰ درجه

سانتی گراد و رطوب ۱۰۰٪ به مدت ۲۸ روز

باز هم نمونه ها با ترکیب درصدهای ۰.۵، ۰.۲ و ۲٪ از قطعات PET بازیافتی به شکل های مختلف Random ، Ribbon و Zigzag که به مدت ۲۸ روز در محیط آب با شرایط استاندارد قرار گرفته اند نتایج زیر حاصل شده است.

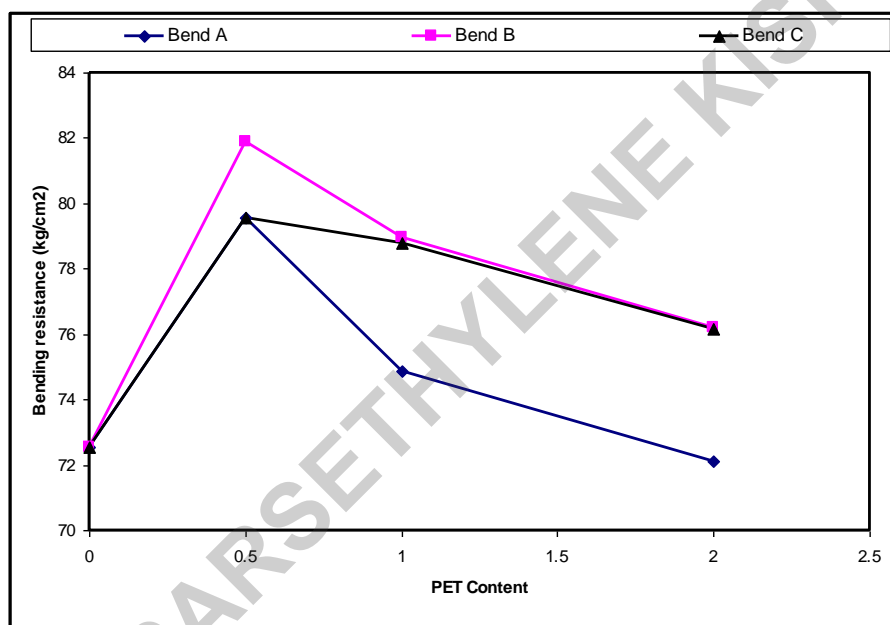
جدول ۴-۵- نتایج بدست آمده از اندازه گیری مقاومت خمشی در ترکیب های ۰.۵، ۱، ۲ درصد PET بازیافتی به

مدت ۲۸ روز تحت محیط آبی

PET Cont.	Bend.(A)	Bend.(B)	Bend.(C)
0	72.54	72.54	72.54
0.5	79.56	81.9	79.56
1	74.88	78.96	78.8
2	72.12	76.22	76.14

در نمونه هایی که در مجاورت آب هستند باز هم ما ترجیح می دهیم که آب به بالک نمونه نفوذ کند چون هر چقدر آب به بالک نمونه ما نفوذ کند سیمان ما صنعتی بیشتری را دارا خواهد بود. از طرفی گفته شد که قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی ما به عنوان یک barrier عمل می کنند و نمی گذارند شرایط محیطی ما که آب و یا اسید سولفوریک می باشند به نمونه ما نفوذ کند. اگر آب به

بالک نمونه ما نفوذ کند که مقاومت خمشی افزایش پیدا خواهد کرد، اما در مور اسید سولفوریک گفته شد که هر چقدر به بالک نمونه نفوذ نکند بهتر است و باعث می شود که نمونه مقاومت بهتری داشته باشد ما انتظار داریم با افزایش درصد PET بازیافتی یعنی با افزایش barrierها آب کمتری با بالک نفوذ کند و مقاومت خمشی ما افت نکند اما نکته دیگری که باقی می ماند این است که کدام یک از این Typeها در این مورد بهتر عمل می کند. که این مور نیاز به تأمل بیشتری دارد. پس انتظار می رود که نمونه حاوی ۰.۵ PET بازیافتی مقاومت خمشی کمتری نسبت به نمونه Ref داشته باشد

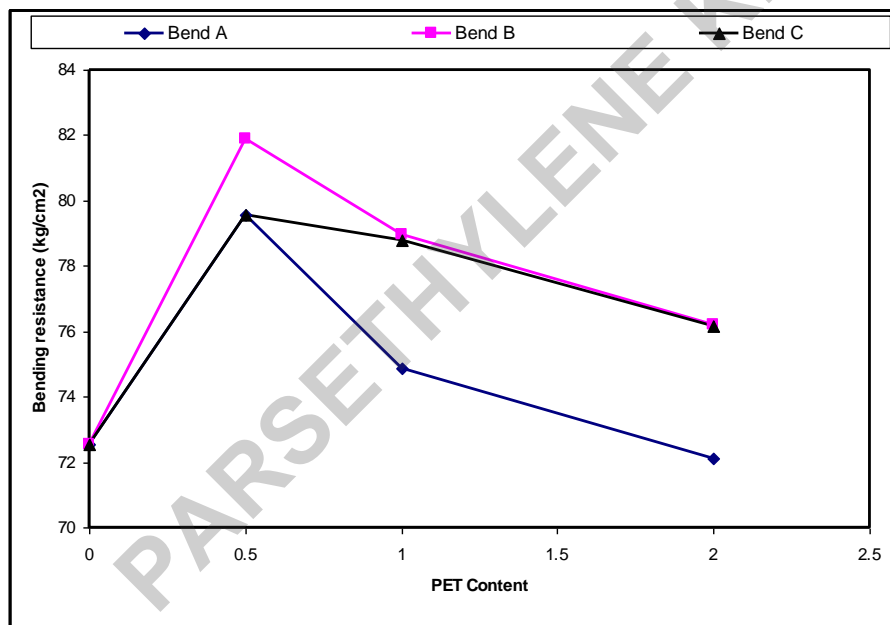


شکل ۴-۹- نمودار بدست آمده از اندازه گیری مقاومت خمشی در ترکیب در صد های ۰.۵، ۱، ۲.

درصد PET بازیافتی به مدت ۲۸ روز تحت محیط آبی

شکل ۴-۹ اندازه گیری مقاومت خمشی در مورد نمونه هایی که با ترکیب درصد و شکل های مختلف پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در معرض آب طی ۲۸ روز قرار گرفته اند را نشان می دهد. با افزایش درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مقاومت بازیافتی می باشد و اما بیشتر از ۰.۵ درصد و در در صد های ۱ و ۲٪ درست است که به عنوان تقویت کننده تأثیر گذار است و به عنوان یک فاز دیسپرس

می‌کند اما این فاز تقویت کننده خودش دارد کامپوزیت ر ضعیف می‌کند این ذرات PET بازیافتی تقویت کننده خودشان به عنوان یک عامل در عدم رسیدن آب به تین می‌باشد و این عدم رسیدن آب به ماتریس به خاطر خاصیت Barrier پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می‌باشد در ترکیب درصدهای ۱٪ و ۲٪ دیده می‌شود خونه‌ها TypeA و TypeB که به ترتیب شامل پلی اتیلن ترفتالات تهای Random و Ribbon بوده‌اند نتایج متفاوتی داده‌اند به طوری که نمونه TypeB بیشترین مقاومت خمشی را داشته و نمون TypeA هم کمترین مقاومت خمشی را داشته است نمونه‌های TypeB و TypeC بسیار به هم نزدیک می‌باشد و از طرف و تفاوت اینها چندان محسوس نمی‌باشد.



شکل ۴-۱۰ نمودار بدست آمده از اندازه گیری مقاومت خمشی در ترکیب درصدهای ۰.۵، ۱، ۲.

درصد PET بازیافتی به مدت ۲۸ روز تحت محیط آبی

۴-۱-۴- بررسی مقاومت خمشی در ترکیب ۰.۵ درصد

در بررسی شکل ۴-۱۰ ترکیب درصد ۰.۵ پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی شامل TypeA و TypeB و TypeC، در این ترکیب درصد دیده می‌شود که نمونه حاوی قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی به

شکل Ribbon بیشترین مقاومت خمشی را از خود نشان داده و مقاومت خمشی برای با ۸۲ می باشد اما نمونه حاوی قطعات Random و Zigzag از پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی داشته اند. می توان گفت جهت افزایش مقاومت خمشی نمونه های Ribbon تأثیری بیشتری را داشته اند همچنین باید عنوان کرد که در این ترکیب درصد اندازه ذرات نسبت به توقیت شدی و خاصیت Barriell تأثیر بیشتری را داشته اند .

۴-۴-۲- بررسی مقاومت خمشی در ترکیب ۱ درصد

در ترکیب درصد ۱٪ همانگونه که از نمودار پیداست بالاترین مقاومت خمشی مربوط به نمونه Type B می باشد که همان قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی است . در این موارد مقاومت خمشی برابر با 82 Kg/cm^2 می باشد.

می توان عنوان کرد که در ترکیب درصد ۱٪ قوی ترین نمونه TypeB و ضعیف ترین نمونه TypeA می باشد . TypeA تشکیل شده از قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی که مقاومت خمشی آن برابر با 74.88 Kg/cm^2 می باشد.

در ترکیب درصد ۱٪ به ترتیب نمونه های TypeB و TypeC و TypeA با مقاومت های خمشی 78.96 Kg/cm^2 و 78.8 Kg/cm^2 و 74.88 Kg/cm^2 بیشترین مقاومت فشاری را داشته اند . این افزایش مقاومت خمشی به سائز نمونه ها و همچنین خاصیت ذاتی مقاومت بالات در برابر کش و پاره شدن و همچنین صنعتی و استحکام بالای پلی اتیلن ترفتالات مربوط می شود.

۴-۴-۳- بررسی مقاومت خمشی در ترکیب ۲ درصد

ترکیب درصد ۲٪ از قطعات Random و Ribbon و Zigzag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی نشان می‌دهد که بیشترین مقاومت خمشی مربوط به نمونه Zigzag و Ribbon بوده است و این مقاومت در نمونه حاوی Ribbon 76.22 Kg/cm^2 و در نمونه حاوی Zigzag 76.14 Kg/cm^2 بوده است. اما کمترین مقاومت خمشی در ترکیب درصد ۲٪ مربوط به نمونه TypeA که شامل قطعات پلی اتیلن ترفتالات Random می‌باشد که مقاومت بدست آمده از این نمونه برابر با 72.12 Kg/cm^2 خواهد بود که در محدوده مقاومت خمشی نمونه Ref می‌باشد.

اختلاف مقاومت خمشی در نمونه‌های TypeB، و TypeC، با TypeA حدود ۴.۱ می‌باشد. و بیانگر این می‌باشد که در ترکیب درصد ۲٪ نمونه‌های Random نمی‌توانند کاربرد مناسبی را داشته باشند.

۴-۴-۴- مقایسه مقاومت خمشی در ترکیب درصد ۰.۵٪ و ۱٪

اولین موردی که با افزایش درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی از ۰.۵ به ۱٪ به چشم می‌خورد کاهش نسبی مقاومت خمشی در تمامی نمونه‌های حاوی ترکیب درصد ۲٪ می‌باشد. در مورد نمونه TypeA با قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می‌توان گفت که افزایش ترکیب درصد از ۰.۵ به ۱٪ حدود 4.68 واحد مقاومت خمشی افت داشته است. در مورد TypeB با قطعات Ribbon پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می‌توان گفت که با افزایش ترکیب درصد از ۰.۵ به ۱٪ حدود 2.94 واحد مقاومت خمشی افت داشته است. همچنین نمونه TypeC با قطعات Zigzag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی نشان می‌دهد که با افزایش ترکیب درصد از ۰.۵ به ۱٪ حدود 0.76 واحد مقاومت خمشی کاهش می‌یابد. می‌توان نتیجه گرفت که افزایش ترکیب درصد از ۰.۵ به ۱٪ بیشترین تأثیر منفی را روی نمونه TypeA گذاشته و روی نمونه TypeC کمترین تأثیری را داشته است.

۴-۴-۵- بررسی تأثیر افزایش ترکیب درصد از ۱٪ به ۲٪ پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی

به طور کلی و با توجه به شیب منفی شکل ۴-۱۰ تغییر ترکیب درصد ۱٪ به ۲٪ در هر سه نمونه کاهش در مقاومت خمشی دیده می‌شود.

در این مورد نیز بیشترین کاهش مربوط به نمودار TypeA می‌باشد که شامل قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی است.

مقاومت خمشی نمونه TypeA در ترکیب درصد ۲٪ برابر با 72.12 Kg/cm^2 است افزایش ترکیب درصد از ۱ به ۲٪ مقاومت خمشی نیز در مورد TypeA به ترتیب از 74.88 Kg/cm^2 به 72.12 می‌رسد که اختلاف این مقاومت‌های فشاری حدود 2.76 واحد منفی بوده است این در حالی است که نمونه TypeB با افزایش ترکیب درصد مقاومت خمشی آن حدود 2.74 کاهش داشته است. و نمونه TypeC با تغییر ترتیب درصد از ۱ به ۲٪ حدود 2.66 واحد مقاومت خمشی آن افت داشته است.

با مقایسه این سه Type در می‌یابیم که تقریباً TypeA و TypeB و TypeC به یک اندازه افت مقاومت داشته‌اند اما نمونه شامل TypeC به یک اندازه افت مقاومت داشته اند اما نمونه شامل TypeA ثبتي و نمونه شامل TypeC کمتر افت مقاومت را به خود اختصاص داده‌اند.

پس می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش ترکیب درصد از ۱ به ۲٪ افت مقاومت را خواهیم داشت مقایسه مقاومت خمشی در نمونه های Typea مو Type و Typec در تغییر ترکیب از 0.5 به ۲٪ روند کلی نشان می‌دهد با افزایش ترکیب درصد از 0.5 به ۲٪ مقاومت خمشی در همه نمونه های کاهش پیدا می‌کند.

در نمونه Typeb که شامل قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات با ریاضتی می‌باشد با افزایش ترکیب درصد از 0.5 به ۲٪ به ترتیب مقاومت خمشی از 76.22 Kg/cm^2 به 82 Kg/cm^2 رسیده که این اختلاف معادل 5.78 واحد می‌باشد.

و در نمونه Typec با افزایش ترکیب درصد از 0.5 به 1٪ به ترتیب مقاومت خمشی از Kg/cm^2 7956 به Kg/cm^2 7941 رسیده که این اختلاف معادل 3.42 می باشد.

این در حالی است که در نمونه Typea با افزایش ترکیب بعد از 0.5 به 1٪ به ترتیب مقاومت خمشی از Kg/cm^2 79.56 به Kg/cm^2 72.12 رسیده که این اختلاف معادل Kg/cm^2 7.42 می باشد با بدست آمدن مقدار کاهش مقاومت خمشی دو ترکیب درصدهای 0.5 و 2٪ می توان نتیجه گرفت که نمونه حاوی قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی بدترین نمونه و نمونه حاوی قطعات Sigsay مهمترین نمونه ها در مقابل افزایش ترکیب و درصد از 0.5 به 2٪ به ترتیب مقاومت خمشی از Kg/cm^2 79.56 به Kg/cm^2 72.12 رسیده که این اختلاف معادل Kg/cm^2 7.42 می باشد. با بدست آمدن مقدار کاهش مقاومت های خمشی دو ترکیب درصدهای 0.5 و 2٪ می توان نتیجه گرفت که نمونه حاوی قطعات Sigzag مهمترین نمونه ها در مقابل افزایش ترکیب درصد از 0.5 به 2٪ به طور نسبی بوده اند.

۴-۴-۶- مقایسه تمامی نمونه ها و تمامی ترکیب درصدها با نمونه Ref

در ترکیب درصد 0.5٪ تمامی نمونه های TypeA و TypeB و TypeC نسبت به نمونه Ref فاقد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی روند رو به رشدی داشته اند.

مقاومت خمشی نمونه Ref Kg/cm^2 72.54 بوده است.

این در حالی است که نمونه حاوی قطعات Ribbon حدود Kg/cm^2 82 می باشد. در این حالت می توان نتیجه گرفت که نمونه Ribbon در ترکیب درصد 0.5 حدود Kg/cm^2 9.64 افزایش مقاومت خمشی داشته است که بسیار جالب توجه می باشد که دلیل آن در مباحث قبلی ذکر شده است.

در نمونه شامل قطعات Sigzag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در ترکیب درصد 0.5 را مقاومت خمشی 79.56 Kg/cm^2 می باشد که نسبت به نمونه Ref 7.02 واحد افزایش مقاومت داشته که این هم به جای خود نتیجه قابل توجهی است.

همچنین در نمونه شامل قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در ترکیب درصد 0.5 مقاومت خمشی 79.56 Kg/cm^2 بوده که با نمونه شامل قطعات zigzag برابر است.

پس می توان نتیجه گرفت که بهترین نمونه جهت افزایش مقاومت خمشی نیست به نمونه Ref نمونه شامل قطعات Ribban می باشد.

اگر بخواهیم Type مختلف در ترکیب درصد 1٪ نمونه با Ref مقایسه کنیم خواه یم دید که نمونه شامل قطعات Ribbon و Zigzag با مقاومت فشاری تقریبی 78.85 Kg/cm^2 بیشترین مقاومت خمشی را نسبت به نمونه Ref داشته اند و این اختلاف به 6.31 واحد می رسد اما نمونه شامل قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی با مقاومت خمشی 74.88 کمترین مقاومت خمشی نسبت به نمونه Ref داشته است که این اختلاف به 2.34 واحد می رسد. پس می توان نتیجه گرفت که در ترکیب درصد 1٪، نمونه شامل ribbon و zigzag بیشترین افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه Ref داشته اند و در این ترکیب درصد بیشترین کاربرد را داشته اند.

۴-۴-۷- مقایسه نمونه های PET 2% بازیافتی با نمونه Ref

در ترکیب درصد 2٪ نمونه های شامل قطعات Ribbon و zigzag باز هم نتایج برابری داشته اند و مقاومت خمشی تقریبی آنها 76.2 Kg/cm^2 بوده است که نسبت به نمونه Ref 3.66 Kg/cm^2 واحد بالاتری می باشد.

اما نمونه شامل قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مقاومت فشاری 72.12 Kg/cm^2 از خود نشان داده اند که نسبت به نمونه Ref فقط 0.42 کمتر می باشد می توان نتیجه گرفت که در

ترکیب درصد ۰.۲٪ مقاومت خمشی افت چشمگیری داشته اما تقریباً به اندازه یا بالاتر از نمونه Ref می‌باشد.

۸-۴-۴- نتیجه‌گیری کلی از نمودار ۴-۱۰

شکل ۴-۱۰ نشان می‌دهد که مقاومت خمشی در ترکیب درصد ۰.۵ برای تمامی Type های A و B و C افزایش داشته و در این حالت بیشترین مقاومت نسبی را نمونه شامل قطعات Ribbon پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی داشته‌اند که اختلاف آن با نمونه Ref ۹.۴۶ واحد بوده است که این افزایش برای مقاومت خمشی بتن بی نظیر می‌باشد.

همچنین با افزایش ترکیب درصد به ۱٪ و ۲٪ مقاومت خمشی‌ها افت می‌کند اما باز هم نسبت به نمونه Ref بالاتر بوده‌اند که این نتیجه نیز در جای خود بسیار با اهمیت است.

فقط در یک مورد افت مقاومت خمشی کمتر از نمونه Ref بوده است که آن هم در ترکیب درصد ۰.۲٪ و در نمونه شامل قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می‌باشد که فقط حدود 0.42 Kg/cm^2 پایین تر بوده است.

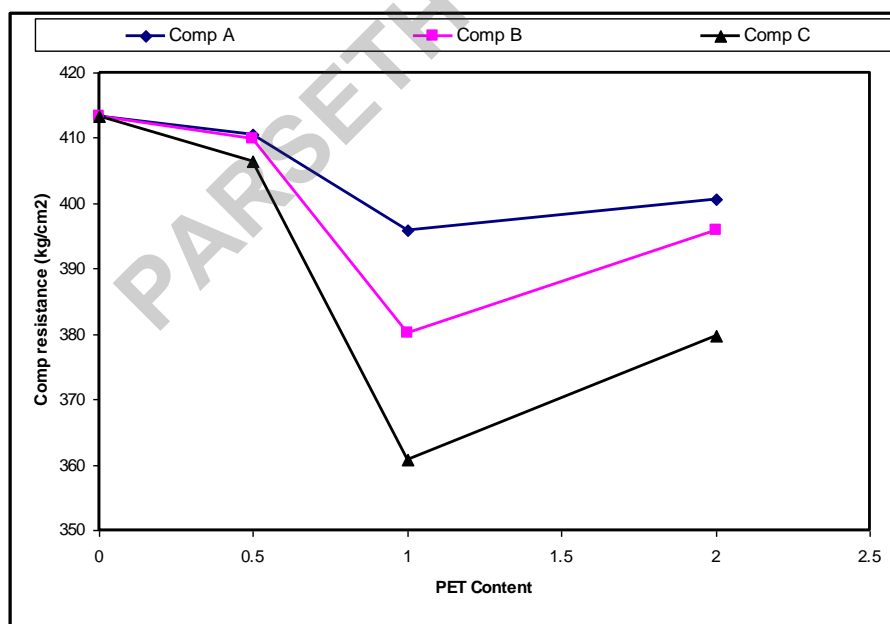
۴-۵- بررسی مقاومت فشاری در محیط استاندارد تحت آب بادهای ۲۰ درجه

سانتی گراد و رطوبت ۱۰۰٪ در مدت ۷ روز

جدول ۴-۶- آزمون مقاومت فشاری در مورد نمونه‌های که با ترکیب درصدی ۰.۵، ۱ و ۲٪ پلی اتیلن ترفتالات

بازیافتی در معرض آب طی ۷ روز قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد.

PET Cont.	Comp.(A)	Comp.(B)	Comb.(C)
0	413.4	413.4	413.4
0.5	410.6	409.9	406.4
1	395.9	380.1	360.8
2	400.7	395.9	379.7



شکل ۴-۱۱- نمودار آزمون مقاومت فشاری در مورد نمونه‌های که با ترکیب درصدی ۰.۵، ۱ و ۲٪ پلی اتیلن

ترفتالات بازیافتی در معرض آب طی ۷ روز قرار گرفته‌اند را نشان می‌دهد

تمامی نتایج مقاومت فشاری در نمونه‌های حاوی ۰.۵ ، و ۲٪ برای پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی کمتر از نمونه Ref می‌باشند.

در ترکیب درصد ۰.۵ بهترین نمونه، نمونه TypeA می‌باشد که مربوط به قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی شده است.

بدترین نمونه در ترکیب درصد ۰.۵ نیز نمونه Typec می‌باشد که مربوط به نمونه ZigZag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می‌باشد.

مقاومت خمشی نمونه Rando و Ribbon و Zig Zag به ترتیب ، 410 Kg/cm^2 و 409.9 Kg/cm^2 و 406.4 Kg/cm^2 می‌باشد در این ترکیب درصد نمونه TypeA و TypeB فقط ۰.۵ واحد اختلاف داریم و این دو نمونه با نمونه Typec حدود ۴ واحد اختلاف دارند.

در ترکیب درصد ۱٪ باز هم بهترین نمونه های TypeA و TypeB و Type C به ترتیب 395.9 Kg/cm^2 ، 380.1 Kg/cm^2 و 360.8 Kg/cm^2 می‌باشد.

در این ترکیب درصد اختلاف بین نمونه TypeA و TypeB حدود ۱۵.۸ واحد است.

همچنین اختلاف بین نمونه Type B و Type C حدود ۱۹.۳ واحد است.

این اختلاف زیاد نشان می‌دهد که در ترکیب درصد ۱٪ شکل نمونه‌ها در مقاومت فشاری تاثیر بسزایی داشته است.

اما در ترکیب درصد ۰.۵ شکل نمونه‌ها تاثیر زیادی نداشته است.

در ترکیب درصد ۲٪ پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مقاومت فشاری نسبت به ۱٪ بالاتر رفته است اما از ۰.۵٪ و نمونه Ref پایین تر است.

مقاومت فشاری در ترکیب درصد ۲٪ در نمونه های TypeA و Type B و Type C به ترتیب 400.7 Kg/cm^2 و 395.9 Kg/cm^2 و 379.7 Kg/cm^2 بوده است.

در ترکیب درصد ۰.۲٪ بهترین نمونه، نمونه‌های حاوی پلی اتیلن ترفتالات، بازیافتی از نوع Random بوده است و بدترین نمونه هم مربوط می‌شود به قطعات Zigag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی. اختلاف مقاومت فشاری دو نمونه Type B و Type C در ترکیب درصد ۰.۲٪ حدود ۱۶.۲ می‌باشد. مطلب دیگری که در این نمودار مشخص است در ترکیب درصدهای ۰.۵ و ۰.۲٪ نمونه‌های حاوی قطعات Random و Ribbon نتایج نزدیک تری را از لحاظ مقاومت فشاری داشته اند خصوصاً در نمونه‌های حاوی ۰.۵٪ که اختلاف نتایج فقط ۰.۵ واحد است. اما این اختلاف در ترکیب درصد ۰.۲٪ به ۵ واحد می‌رسد.

۴-۵-۱- مقایسه ترکیب درصد ۰.۱٪ و ۰.۵٪ در تست ۷ روزه

نتایج نشان می‌دهد که در ترکیب درصد ۰.۱٪ مقاومت خمشی همه نمونه‌هاست به ترکیب درصد ۰.۵ افت داشته است.

با تغییر ترکیب درصد از ۰.۵ به ۱ نمونه‌های حاوی قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی ۱۴.۷ واحد کاهش در مقاومت فشار داشته است.

و همچنین با تعمیر ترکیب درصد از ۰.۵ به ۰.۱٪ نمونه حاوی قطعات zigzag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی ۴۵.۶ کاهش در مقاومت فشاری داشته‌اند نتایج اختلاف در ترکیب در ۰.۵ به ۰.۱٪ نشانگر این است که نمونه Type C بدترین نمونه برای مقاومت فشاری در این حالت می‌باشد.

تغییر ترکیب درصد از ۱ به ۰.۲٪ در آزمایشات ۷ روزه تحت محیط استاندارد آبی با تعمیر ترکیب درصد از ۱ به ۰.۲٪ نمونه‌های قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی ۴.۸ واحد افزایش در مقاومت فشاری داشته‌اند.

همچنین تعمیر در ترکیب درصد از ۱ به ۰.۲٪ نمونه‌های قطعاتی Ribbon پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی ۱۵.۸ واحد افزایش در مقاومت فشاری داشته‌اند.

این در حالی که با تغییر ترکیب درصد از ۱ به ۲٪ در نمونه‌های حاوی قطعات Zigzag پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی ۱۸.۹ واحد افزایش در مقاومت فشاری داشته ایم.

مقایسه ترکیب درصدهای ۰.۵ و ۱ و ۲٪ با نمونه Ref

مقایسه نمودار ترکیب درصد ۰.۵ نشان می‌دهد که نمونه‌های Type A و Type B و Type C به ترتیب نسبت نمونه Ref 2.8 Kg/cm^2 و 3.5 Kg/cm^2 و 7 Kg/cm^2 کاهش در مقاومت فشاری داشته‌اند که باز هم نمونه Type C بدترین نمونه می‌باشد.

اگر بخواهیم این مقایسه را در ترکیب درصد ۱٪ انجام دهیم خواهیم دید که نمونه‌های Type A و Type B و Type C نسبت به نمونه Ref به ترتیب 17.5 Kg/cm^2 و 33.3 Kg/cm^2 و 52.6 Kg/cm^2 کاهش در مقاومت فشاری داشته‌اند.

با بدست آوردن میزان اختلافات مقاومت فشاری در ترکیب درصد ۱٪ با نمونه Ref خواهیم فهمید که بازهم نمونه Type C بدترین نمونه است.

یک نتیجه گیری این موضوع این است که در ترکیب درصدهای ۱٪ هر سه نمونه ما نتایج نداشته اند.

مقایسه ترکیب درصد ۲٪ با نمونه Ref

در ترکیب درصد ۲۵ نمونه‌های حاوی Type A و Type B و Type C به ترتیب 12.7 Kg/cm^2 و 17.5 Kg/cm^2 و 33.7 Kg/cm^2 نسبت به نمونه Ref کاهش در مقاومت فشاری داشته اند.

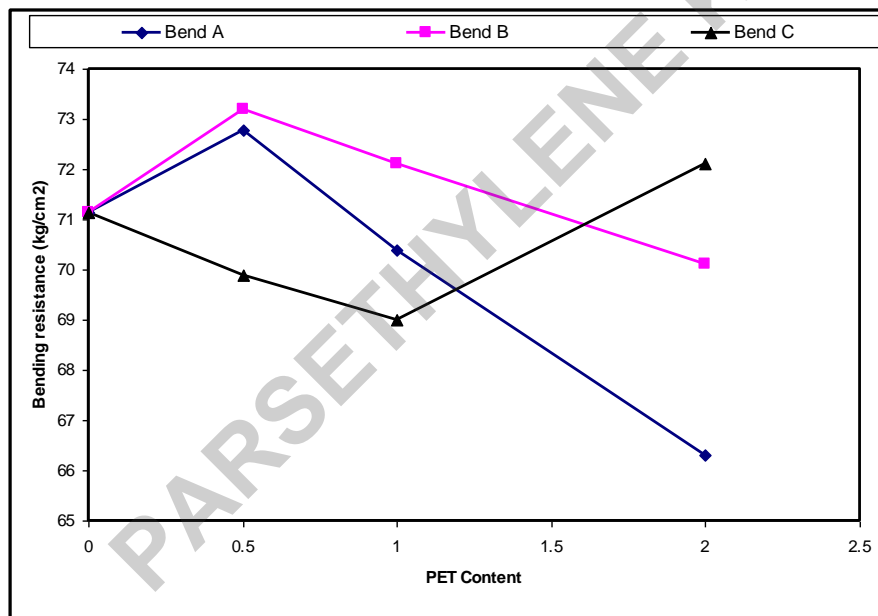
در این ترکیب درصد نیز بهترین نمونه مربوط به قطعات Random پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می‌باشد و بدترین نمونه نیز مربوط به قطعات Zigzag می‌باشد.

دلایل و تحلیل این منحنی و منفی مقاومت خمشی ۷ روز تا در محیط آبی در انتخابی مبحث مقاومت خمشی ۷ روزه آورده شده است.

جدول ۴-۷- نتایج بدست آمده از اندازه گیری مقاومت خمشی در ترکیب در صدهای ۰.۵، ۱، ۲.

درصد PET بازیافتی به مدت ۷ روز تحت محیط آبی

PET Cont.	Bend.(A)	Bend.(B)	Bend.(C)
0	71.15	71.15	71.15
0.5	72.79	73.2	69.9
1	70.4	72.1	69
2	66.3	70.1	72.1



شکل ۴-۱۲- نمودار بدست آمده از اندازه گیری مقاومت خمشی در ترکیب در صدهای ۰.۵، ۱، ۲ درصد PET بازیافتی

به مدت ۷ روز تحت محیط آبی

شکل ۴-۱۲ نمودار مقاومت خمشی ۷ روزه تحت تسلط آبی برای نمونه‌های شامل قطعات Random و Zigzag و Ribbon در ترکیب درصدهای ۰.۵ و ۱ و ۲٪ می‌باشد در این حالت باید گفته شود که نمونه Type C رفتار واضح و قابل قبولی از خود نشان نداده است اما Type A و Type B نسبتاً

روند مشابهی را داشته‌اند در ابتدا با اضافه کردن ۰.۵٪ از قطعات Random و Ribbon خواهیم دید که مقاومت خمشی افزایش چشمگیری داشته به طوری که دو نمونه شامل قطعات Ribbon پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی، به مقاومت خمشی 73.2 Kg/cm^2 دست یافتیم که در این ترکیب درصد نسبت به نمونه های دیگر بیشترین مقاومت خمشی را داشته است. همچنین نمونه حاوی قطعات Random در ترکیب درصد ۰.۵ مقاومت خمشی 72.79 Kg/cm^2 را از خود نشان داده اند. در ترکیب درصد ۱٪ هر دو نمونه Ribbon و Random نسبت به ترکیب درصد ۰.۵ افت محسوسی را در مقاومت خمشی داشته اند به طوری که مقاومت های خمشی اندازه گیری شده برای نمونه Ribbon 72.1 Kg/cm^2 و برای نمونه Random 70.4 Kg/cm^2 می باشد. در ترکیب درصد ۱٪ با توجه به نتیجه آزمایش نمونه Ribbon نسبت به نمونه Random مقاومت خمشی بالاتری داشته است. با افزایش ترکیب درصد از ۱٪ به ۲٪ خواهیم دید که مقاومت خمشی نمونه Ribbon برابر با 70.1 Kg/cm^2 و نمونه Random برابر با 66.3 Kg/cm^2 می باشد. این اعداد نشانگر این است که با تغییر ترکیب درصد از ۱٪ به ۲٪ مقاومت خمشی کاهش محسوسی داشته است.

۴-۵-۲- مقایسه مقاومت خمشی نمونه‌ها در ترکیب درصدهای مختلف با نمونه Ref

در ترکیب درصد ۰.۵٪ اختلاف مقاومت خمشی نمونه های Ribbon و Random با نمونه Ref به ترتیب ۲.۰۵ و ۱.۶۴ واحد مثبت بوده است. در ترکیب درصد ۱٪ اختلاف مقاومت خمشی نمونه Ribbon و نمونه Ref ۰.۹۵ واحد مثبت بوده است. همچنین این اختلاف در ارتباط با نمونه Random به 0.75 واحد منفی می رسد در ترکیب درصد ۲٪ اختلاف مقاومت خمشی بین نمونه Random و نمونه Ref ۱.۰۵ منفی کاهش داشته است. همچنین اختلاف بین نمونه Random در ترکیب درصد ۵٪ به نمونه Ref ۴.۸۵٪ واحد منفی است.

همانگونه که از دو نمودار شماره ۵ و ۶ مشخص است مقاومت فشاری و مقاومت خمشی ۷ روزه از روند مقاومت خمشی و مقاومت فشاری ۲۸ روزه تبعیت نمی‌کردند و در این مورد دلایل مختلف وجود دارد.

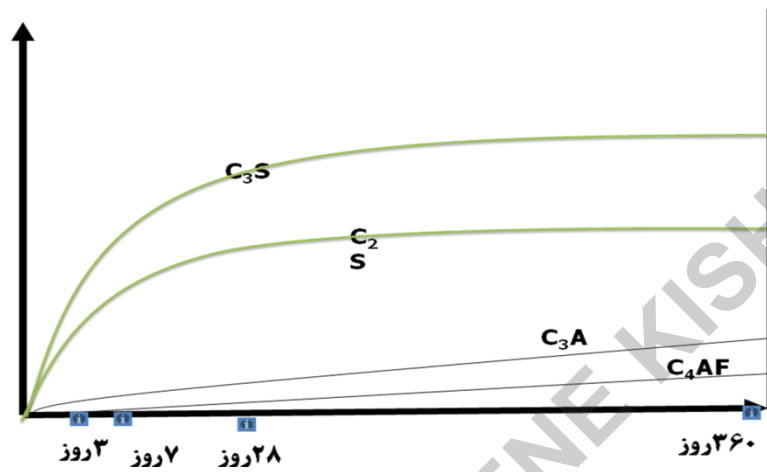
مقاومت‌های ۲۸ روزه عمدتاً مربوط به فاز C3S یمن می‌باشد و عمدتاً در نسیب ۲۸ روزه C3A تاثیر بسیار کمی را خواهد داشت.

مقدار C3S از ابتدای بتن ریزی تا ۲۸ روز روند صعودی قابل توجه و مهمی را از خود نشان می‌دهد و بعد از گذشت ۲۸ روز این روند تقریباً ثابت می‌شود و تا ۰/۵ یا ۱۰۰ سال این روند به نحو بسیار کندی افزایش می‌یابد. از مقایسه C3S در ۲۸ روز و C3S در ۰/۵ سال آینده خواهیم دریافت که این رشد بسیار بسیار کند است.

به همین ظاهر C3S را مبنای مقاومت‌های نهایی قرار می‌دهند اما C3A بیشترین مقاومت را در ۳ روزه و ۷ روزه نشان می‌دهد و بعد از آن دیگر مقاومت زیادی از خود نشان نمی‌دهد.

عوامل موثر مقاومت‌های کوتاه مدت و میان مددت به و اکنش‌های C3A و C3S بر می‌گردد اما مقاومت بلند مدت به C3S مربوط می‌شود. علت اینکه منحنی‌های ۷ روزه با ۲۸ روزه مغایرت دارد این است که هم C3S و هم C3A در این سنین بر روی مقاومت تاثیر گذار می‌باشند.

در مقاومت‌های کوتاه مدت و میان مدت عوامل دیگر از جمله عناصر فیزیکی نیز تاثیر گذار می‌باشند مثلاً سدیم و پتاسیم روی مقاومت کوتاه مدت و میان مدت تاثیر گذار خواهد بود و باعث افزایش مقاومت ۳ روزه می‌شود و در ۲۸ روزه باعث افت مقاومت می‌گردند. همچنین مقدار سولفات روی مقاومت‌های ۳ و ۷ روزه تاثیر بسیار زیادی دارند به نحوی که وقتی سولفات کم می‌شود مقاومت ۳ روزه و ۷ روزه زیاد می‌شود به احتمال زیاد این انحرافات که در منحنی‌های ۷ روزه مقاومت فشاری و مقاومت خمشی دیده می‌شود عمدتاً به مساله سولفات بر می‌گردد.



PARSETHYLENE KISHI

فصل پنجم:

نتیجہ گیری

۵-۱- خلاصه نتایج

- به طور کلی الیاف پلی اتیلن ترفتالات مقاومت فشاری و خمشی بتن های سیمانی را افزایش می دهند، این تاثیر در محیط های سولفاته که خطر حملات سولفات به بتن وجود دارد بیشتر است.
- نمونه های type B که حاوی قطعات Ribbon از پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می باشند تاثیر بیشتری در افزایش مقاومت فشاری و خمشی بتن های سیمانی خصوصاً در محیط های سولفاته داشتند.
- با افزایش ترکیب درصد از صفر (نمونه Ref) تا ۲ درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی مقاومت فشاری بتن حدود 210 Kg/cm^2 افزایش داشته است که این نتیجه بسیار عالی و کاربردی می باشد.
- از نظر اقتصادی ساخت بتن پلیمری با استفاده از پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی نسبت به سایر بتن های پلیمری بسیار با صرفه تر بوده و راهگشای بسیاری مشکلات در آسیب پذیری و تخریب بتن می باشد.
- نمونه های حاوی ۰/۵ درصد از پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی که طی ۲۸ روز در معرض آب قرار گرفته اند بهترین نتایج را از نظر مقاومت فشاری و خمشی به دنبال داشتند

- با افزایش ترکیب درصد پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی در محیط اسید سولفوریک تاثیر پذیری مقاومت فشاری از شکل هندسی نمونه ها بیشتر نمایان می گردد.
- با افزایش سایز قطعات پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی خاصیت Barrier و در نتیجه مقاومت خمشی و فشاری خصوصاً در محیط اسید سولفوریک بیشتر خواهد شد.

PARSETHYLENE KISH

۵-۲- پیشنهاد برای تحقیقات آتی

- با توجه به اینکه مقاومت فشاری تابعی از خاصیت Barrier و به تبع آن تابعی از سائز الیاف پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی می باشد پیشنهاد می شود که در تحقیقات آینده از سائزهای بزرگتری استفاده گردد.
- اندازه گیری نتایج آزمایش در سنین بالاتر (۹۰ روز) انجام گیرد.
- استفاده از محیط های اسیدی با غلظت های متفاوت به جای غلظت ۲ درصد.
- استفاده از درصد های بیشتر پلی اتیلن ترفتالات بازیافتی
- استفاده از محیط کلرید با درصد های مختلف برای نگهداری نمونه ها و انجام آزمایشات لازم
- استفاده از محیط ترکیبی کلر و سولفات برای نگهداری نمونه ها و انجام آزمایشات لازم

مراجع فارسی:

- 1- رمضانیان پور. ا.مصلحی. ز. هادی خانلو. ب. "دوام بتن با سیمانهای پوزولانی در شرایط آزمایشگاهی مشابه خلیج فارس" چاپ دوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن؛ بهار ۱۳۸۴
- 2- رمضانیان پور. ا. شاه نظری. م. "تکنولوژی بتن" چاپ دوم، انتشارات علم و صنعت؛ پاییز ۱۳۸۷
- 3- سید عسگری. ن. "آسیب دیدگی های بتن و علل و عوامل آن" چاپ دوم، انتشارات مرکز؛ بهمن ۱۳۸۶
- 4- معاونت امور فنی و تدوین معیارها "آیین نامه بتن ایران (ابا)" چاپ پنجم، انتشارات مدیریت و برنامه ریزی کشور؛ تیر ۱۳۸۷

- 1- Erik P. Nielsen, Duncan Herfort and Mette R. Geiker, "Phase equilibria of hydrated Portland cement ", *Cement and Concrete Research*, Volume 35, Issue 1, January 2005, Pages 109-115
- 2- Antonio J.M. Cuberos, Ángeles G. De la Torre, M. Carmen Martín-Sedeño, Laureano Moreno-Real, Marco Merlini, Luis M. Ordóñez, Miguel. A.G. Aranda, "Phase development in conventional and active belite cement pastes by Rietveld analysis and chemical constraints", *Cement and Concrete Research*, Volume 39, Issue 10, October 2009, Pages 833-842
- 3- Jang-Ho Jay Kim, Chan-Gi Park, Si-Won Lee, Sang-Woo Lee, Jong-Pil Won, "Effects of the geometry of recycled PET fiber reinforcement on shrinkage cracking of cement-based composites", *Composites Part B: Engineering*, Volume 39, Issue 3, April 2008, Pages 442-45
- 4- Ru Wang, Xin-Gui Li, Pei-Ming Wang, "Influence of polymer on cement hydration in SBR-modified cement pastes", *Cement and Concrete Research*, Volume 36, Issue 9, September 2006, Pages 1744-175
- 5- D.A. Silva, A.M. Betioli, P.J.P. Gleize, H.R. Roman, L.A. Gómez, J.L.D. Ribeiro, "Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials", *Cement and Concrete Research*, Volume 35, Issue 9, September 2005, Pages 1741-1746
- 6- O. Satake, K. Masuyama, N. Takekoshi, S. Matsui, H. Tsugawa, S. Kanemitsu, S. Okubo, T. Asaji, M. Kitayama, T. Yamagata, S. Miura, S. Fujino, S. Katsuda, Y. Ishikawa, "Effect of nicorandil on syndrome X evaluated by 18FDG-PET", *Journal of Nuclear Cardiology*, Volume 6, Issue 1, Part 2, January-February 1999, Page S15
- 7- Guang-bin Zhou, Johannes Smid, "Phase separation phenomena in aqueous solutions of amphiphilic poly(ethylene oxide) star polymers", *Polymer*, Volume 34, Issue 24, December 1993, Pages 5128-5133
- 8- G. Müller, B. Rieger, "Propene based thermoplastic elastomers by early and late transition metal catalysis", *Progress in Polymer Science*, Volume 27, Issue 5, June 2002, Pages 815-851
- 9- S.B. Darling, "Directing the self-assembly of block copolymers" *Progress in Polymer Science*, Volume 32, Issue 10, October 2007, Pages 1152-1204
- 10- Firas Awaja, Dumitru Pavel, " Recycling of PET", *European Polymer Journal*, Volume 41, Issue 7, July 2005, Pages 1453-1477
- 11- Gaël Colomines, Jean-Jacques Robin, Petru Notingher, Bernard Boutevin, "Synthesis of thermoplastic elastomers based on PET glycolysates: Study of their dielectric properties", *European Polymer Journal*, Volume 45, Issue 8, August 2009, Pages 2413-2427
- 12- N. Stolterfoht, R. Hellhammer, D. Fink, B. Sulik, Z. Juhász, E. Bodewits, H.M. Dang, R. Hoekstra, "Time evolution of ion guiding through nanocapillaries in a PET polymer", *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam*

Interactions with Materials and Atoms, Volume 267, Issue 4, February 2009, Pages 669-673

13- M.A. Silva Spinacé, M.U. Lucato, M.F. Ferrão, C.U. Davanzo, M.-A. De Paoli, "Determination of intrinsic viscosity of poly(ethylene terephthalate) using infrared spectroscopy and multivariate calibration method", *Talanta*, Volume 69, Issue 3, 15 May 2006, Pages 643-649

14- George Liberopoulos, George Kozanidis, Olympia Hatzikonstantinou, "Production scheduling of a multi-grade PET resin plant", *Computers & Chemical Engineering*, In Press, Corrected Proof, Available online 9 June 2009

15- Byung-Wan Jo, Seung-Kook Park, Jong-Chil Park, "Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates", *Construction and Building Materials*, Volume 22, Issue 12, December 2008, Pages 2281-2291

16- J. R. T. Branco, S. V. Campos, "Wear behavior of thermally sprayed PET", *Surface and Coatings Technology*, Volumes 120-121, November 1999, Pages 476-481

17- S.C. Kou, G. Lee, C.S. Poon, W.L. Lai, "Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes", *Waste Management*, Volume 29, Issue 2, February 2009, Pages 621-628

18- G. Achatz, A. Karnowsky, M. C. Lamers, G. Achatz-Straussberger, "Studies on the regulation of IgE expression by the use of "knock in" mice", *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, Volume 113, Issue 2, Supplement 1, February 2004, Page S85

19- J. Toretzky, A. Levenson, I. N. Weinberg, J. F. Tait, A. Üren, R. C. Mease, "Preparation of F-18 labeled annexin V: a potential PET radiopharmaceutical for imaging cell death", *Nuclear Medicine and Biology*, Volume 31, Issue 6, August 2004, Pages 747-752

20- R.M. Ahmed, N.E. Takach, U.M. Khan, S. Taoutaou, S. James, A. Saasen, R. Godøy, "Rheology of foamed cement", *Cement and Concrete Research*, Volume 39, Issue 4, April 2009, Pages 353-361

21- Christopher M. Neubauer, Ming Yang, Hamlin M, "Interparticle Potential and Sedimentation Behavior of Cement Suspensions: Effects of Admixtures", *Advanced Cement Based Materials*, Volume 8, Issue 1, July 1998, Pages 17-27.

22- Post-transcriptional processes

Current Opinion in Cell Biology, Volume 5, Issue 6, December 1993, Pages 1065-1105

23- E. Heydari, J. Hassanzadeh, W. J. Wade, A. M. Ghazi, "Permian–Triassic boundary interval in the Abadeh section of Iran with implications for mass extinction: Part 1 – Sedimentology",

Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Volume 193, Issues 3-4, 1 May 2003, Pages 405-423

24- A. Cheilas, M. Katsioti, A. Georgiades, O. Malliou, C. Teas, E. Haniotakis, "Impact of hardening conditions on to stabilized/solidified products of cement–sewage sludge–jarosite/alunite",

Cement and Concrete Composites, Volume 29, Issue 4, April 2007, Pages 263-269

25- B. Elsener, "Macrocell corrosion of steel in concrete – implications for corrosion monitoring",

Cement and Concrete Composites, Volume 24, Issue 1, February 2002, Pages 65-72

26- Alex MacNeil, Brian Jones, "Dolomitization of the Pedro Castle Formation (Pliocene), Cayman Brac, British West Indies", *Sedimentary Geology*, Volume 162,

PARSETHYLENE KISH

Abstract

Use of polymers In different Industries Including construction Industry Is on a sharp rise. A new application Is use of polymers In polymer concrete.

One of the downsides of polymer concrete is It's high eventual cost. Here we have tried to find a way of simultaneously obtain the desired effect on physical and chemical properties of concrete through use of polymers and keep the cost low.

There are many different climate zones In Iran, some of which are adverse to Integrity of concrete. Concrete deterioration may necessitate huge spendings on repairs. The cost usually far surpasses that of mor secure and provident planning. At time concrete detenoration may warrant demolition as a less costly option versus repairs. It is know that the Persian gulf region has one of the worst environments concerning the longevity of concrete. Moist and weather and high content of salts and minerals, sulphide solutions and high tides all are extremely hostile to concrete structures and all are rife In southern shores of Iran. Sulphates are found In soil kand water in most places and reglons but the high content found in water and soil of southern regions are seriously damaging to concrete. Huge concrete structures have been built in these areas, Many of which are oil and gas drilling righs. There should be a way to provide necessary protection for the concrete.

Disposable bowls and bottles made of Tereftalate polyethylene are manufactured in high volumes In Iran and other Gulf states. The material takes some 400 years to decompose and constitutes and environmental risk in itself. It may be possible to use the P.E.T recycled fromm this material to produce a concrete with highr tensile and ductile strength as well as better resistance to sulphide solutions.

We have arrived at very satisfactory results concerning both strength and chemical resistance and were able to produce concrete which met Internationally accepted standards in both regards.

Our results show that Increasing the content of recyded P.E.T considerably increases ductile strength of concrete in a 100% sulfuric acid environment during a 28 days experiment period (This being after and initial decrease) and increases the hydrostatic strength by 200 units.

Increasing the content of recycled P.E.T at 20 ambient and 10% moisture Initially Increased and then decreased ductile and hydrostatic strength of concrete during and experiment peiod of 28 days.

Studies show that recycled P.E.T when added in ribbon form brigns about better results compared to other forms and audits. Achieving and even surpassing levels of physical and chemical quality for concrete demanded by technical text books in only possible if appropriate amounts fo ingredients are used and this is precisely we sought in the current project.

It is hoped that our project will usher a new phase in both industry scale production of polymer concrete as well as It's usage in civil and industrial building construction.



***ISLAMIC AZAD UNIVERSITY
TEHRAN SOUTH BRANCH
FACULTY OF GRADUATE STUDIES***

***DEPARTMENT OF POLYMER ENGINEERING
“M.Sc” SEMINAR***

***SUBJECT:
Polymer Cement***