

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده‌ی نساجی
گروه شیمی نساجی و علوم الیاف
پروژه کارشناسی ارشد

بررسی شیمی فیزیکی جذب رنگزاهای دیسپرس روی نانو الیاف و الیاف پلی استر تثبیت شده به روشهای مختلف

استاد راهنما :

دکتر محمود فیض

پژوهشگر :

سید محمد مصطفوی یزدی

دی ۱۳۹۲



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده‌ی نساجی

گروه شیمی نساجی و علوم الیاف

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی نساجی و علوم الیاف سید محمد مصطفوی یزدی

تحت عنوان :

بررسی شیمی فیزیکی جذب رنگهای دیسپرس روی نانو الیاف و الیاف پلی استر تثبیت شده به روشهای مختلف

در تاریخ

توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر محمود فیض

۲- استاد داور پایان نامه

دکتر هاله خلیلی

۳- استاد داور پایان نامه

دکتر حسین ایزدان

سرپرست تحصیلات تکمیلی

دکتر یوسفی

به نام خالق علم و قلم

محیط دایره آن کس به سر تو اندبرد که پای جهد و پیکار استوار کند
خداوند متعال را شاکرم که به من فرصت آموختن عطا فرمود تا با بهره گیری از کنجینه علم و دانش در مسیر تکامل و تعالی
قدم بردارم. اینک که به حول و قوه الهی در پرتو الطاف بیکران پروردگار موفق به انجام این تحقیق شده ام بر خود
لازم می دانم تا از تمامی عزیزانی که در این مسیر مرا همراهی کرده اند قدردانی نمایم.
در ابتدا از همکارانی و راهبانی های ارزشمند استاد راهبانی خود جناب آقای دکتر محمود فیض که مجدانه و با کمال دقت
زحمت راهبانی کلیه مراحل این پایان نامه را به عهده داشته اند صمیمانه تشکر و قدردانی می کنم.
از پدر و مادر مهربانم به خاطر همه محبت ها، فرزانه گی ها و فداکاری هایشان نهایت تشکر و سپاس را دارم.
از کلیه دوستان و همکلاسی های دوران تحصیلم به خاطر تمام خوبیهایشان ممنون و سپاسگزارم.
در پایان از کلیه عزیزانی که به هر نحوی در اجرای مراحل مختلف این پایان نامه ایجاب رایاری نموده اند، تشکر و
قدردانی می گردد.

کلیه حقوق مادی مترتب بر
نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری‌های ناشی از تحقیق
موضوع این پایان نامه متعلق به
دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر مشکلات
و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام برسم.

فصل ۱: کلیات

۱-۱	مقدمه	۱
۲-۱	تولید جهانی پلی استر	۲
۳-۱	مروری بر خواص پلی استر	۳
۴-۱	ساختار ظریف پلی استر	۴
۵-۱	ساختار بلوری پلی استر	۵
۱-۵-۱	چگالی ذاتی	۶
۲-۵-۱	ضرایب شکست	۷
۶-۱	تولید پلی استر	۷
۷-۱	خواص رنگرزی پلی استر	۷
۸-۱	رنگهای دیسپرس	۸
۱-۸-۱	رنگهای کلاس A	۸
۲-۸-۱	رنگهای کلاس B	۸
۳-۸-۱	رنگهای کلاس C	۸
۴-۸-۱	رنگهای کلاس D	۸
۹-۱	روشهای رنگرزی الیاف پلی استر	۸
۱-۹-۱	رنگرزی پلی استر با رنگهای دیسپرس در دمای بالا (HT)	۹
۲-۹-۱	رنگرزی پلی استر به روش ترموزول	۹
۳-۹-۱	رنگرزی پلی استر به روش کریر	۱۰
۱۰-۱	پلی استرهای اصلاح شده و دسته بندی روشهای اصلاح	۱۱
۱-۱۰-۱	اصلاح به هنگام پلیمریزاسیون	۱۲
۲-۱۰-۱	اصلاح به هنگام آماده سازی	۱۴

- ۱۵-۱-۱ اصلاح به هنگام کاربرد ۱۵
- ۱۱-۱ تثبیت با حرارت ۱۵
- ۱۲-۱ تثبیت با بخار اشباع ۱۸
- ۱۳-۱ تولید نانو الیاف ۱۸
- ۱-۱۳-۱ شرح فرایند الکتروریس ۱۹
- ۱۴-۱ پارامترهای شیمی فیزیکی ۱۹
- ۱-۱۴-۱ افنیت‌های استاندارد ۲۰
- ۲-۱۴-۱ تغییرات آنتالپی و آنتروپی ۲۳
- ۳-۱۴-۱ سرعت رنگرزی و ضریب نفوذ ۲۵

فصل ۲: آزمایشات و تجربیات

- ۱-۲ مقدمه ۲۷
- ۲-۲ مواد مصرفی ۲۸
- ۳-۲ رنگهای مورد استفاده ۲۸
- ۴-۲ مواد شیمیایی مورد استفاده ۲۹
- ۵-۲ تجهیزات مورد استفاده ۲۹
- ۶-۲ روش آزمایش ۳۰
- ۱-۶-۲ روش تهیه پارچه‌ی پلی‌استر تثبیت شده با هوای خشک ۳۰
- ۲-۶-۲ روش تهیه پارچه‌ی پلی‌استر تثبیت شده با بخار اشباع ۳۰
- ۳-۶-۲ روش تهیه پارچه‌ی پلی‌استر تثبیت شده با آب داغ ۳۱
- ۷-۲ روش تهیه نانو الیاف پلی‌استر ۳۱
- ۸-۲ رنگرزی ۳۱
- ۱-۸-۲ نمودار کالیبراسیون ۳۲
- ۲-۸-۲ ایزوترم جذب ۳۳
- ۹-۲ روش محاسبه‌ی افنیت استاندارد ۳۳

۱۰-۲ روش محاسبه‌ی آنتالپی و آنتروپی ۳۳

۱۱-۲ روش محاسبه‌ی ضریب نفوذ ۳۴

فصل ۳: نتایج و بحث

۱-۳ مقدمه ۳۵

۲-۳ محاسبه‌ی جذب رنگ ۳۶

۳-۳ نتایج ایزوترم جذب ۳۷

۴-۳ پارامترهای شیمی فیزیکی ۳۸

۱-۴-۳ نتایج افیته ۳۹

۲-۴-۳ نتایج آنتالپی و آنتروپی ۴۴

۳-۴-۳ نتایج ضریب نفوذ ۴۸

۵-۳ نتایج نانو الیاف ۵۸

فصل ۴: نتیجه گیری کلی

نتیجه گیری کلی ۶۲

پیشنهادات ۶۵

مراجع ۶۶

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱ ساختار بلوری پلی اتیلن ترفتالات ۶
- شکل ۲-۱ نمودار تغییرات اندازه‌ی واحدهای بلوری الیاف پلی استر در مقابل دمای تثبیت با حرارت ۱۶
- شکل ۳-۱ نمودار تغییرات جمع شدگی (کشش) در مقابل دمای تثبیت با حرارت در الیاف پلی استر ۱۶
- شکل ۴-۱ نمودار تغییرات جذب رنگ در مقابل دمای تثبیت با حرارت در الیاف پلی استر ۱۷
- شکل ۵-۱ نمودار تغییرات جذب رنگ در مقابل دمای تثبیت با هوای خشک (بردنت) ۱۷
- شکل ۶-۱ نمودار تغییرات جذب رنگ در مقابل دمای تثبیت با بخار اشباع در الیاف پلی استر ۱۸
- شکل ۷-۱ فرایند الکترورسی به صورت شماتیک ۱۹
- شکل ۸-۱ ایزوترم جذب رنگ C.I. Disperse Violet 1 روی الیاف پلی استر ۲۱
- شکل ۹-۱ ایزوترم جذب رنگ C.I. Disperse Blue 56 روی انواع پلی پروپیلن ۲۲
- شکل ۱۰-۱ نمودار $\Delta\mu/T$ بر حسب $1/T$ ۲۴
- شکل ۱۱-۱ نمودار C_t/C_{eq} بر حسب $t^{1/2}$ ۲۶
- شکل ۱-۲ استنتر آزمایشگاهی ۲۹
- شکل ۲-۲ سوزنهای نگه دارنده ۲۹
- شکل ۳-۲ اتوکلاو ۳۰
- شکل ۴-۲ دستگاه HT ۳۰
- شکل ۵-۲ اسپکتروفتومتر ۳۰
- شکل ۶-۲ منحنی کالیبراسیون ۳۲
- شکل ۱-۳ نمودار تغییرات جذب رنگ بر حسب تغییر دمای تثبیت با هوای داغ ۳۵
- شکل ۲-۳ ایزوترم جذب C.I. Disperse Blue 183 روی الیاف پلی استر تثبیت نشده ۳۷
- شکل ۳-۳ ایزوترم جذب رنگ C.I. Disperse Yellow 23 روی الیاف پلی استر تثبیت نشده ۳۸
- شکل ۴-۳ نمودار C_t/C_{eq} بر حسب $t^{1/2}$ برای محاسبه‌ی ضریب نفوذ رنگ زرد روی الیاف پلی استر تثبیت نشده (روش کریبر در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد) ۴۸
- شکل ۵-۳ نمودار C_t/C_{eq} بر حسب $t^{1/2}$ برای محاسبه‌ی ضریب نفوذ رنگ زرد روی الیاف پلی استر تثبیت نشده (روش کریبر در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد) ۴۹

- شکل ۳-۶ نمودار C_t/C_{eq} بر حسب $t^{1/2}$ برای محاسبه‌ی ضریب نفوذ رنگ آبی روی الیاف پلی‌استر تثبیت نشده (روش کریر در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد)..... ۴۹
- شکل ۳-۷ نمودار C_t/C_{eq} بر حسب $t^{1/2}$ برای محاسبه‌ی ضریب نفوذ رنگ آبی روی الیاف پلی‌استر تثبیت نشده (روش کریر در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد)..... ۵۰
- شکل ۳-۸ نمودار C_t/C_{eq} بر حسب $t^{1/2}$ برای محاسبه‌ی ضریب نفوذ رنگ زرد روی الیاف پلی‌استر تثبیت نشده (روش HT در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد)..... ۵۱
- شکل ۳-۹ نمودار C_t/C_{eq} بر حسب $t^{1/2}$ برای محاسبه‌ی ضریب نفوذ رنگ زرد روی الیاف پلی‌استر تثبیت نشده (روش HT در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد)..... ۵۱
- شکل ۳-۱۰ نمودار C_t/C_{eq} بر حسب $t^{1/2}$ برای محاسبه‌ی ضریب نفوذ رنگ آبی روی الیاف پلی‌استر تثبیت نشده (روش HT در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد)..... ۵۲
- شکل ۳-۱۱ نمودار C_t/C_{eq} بر حسب $t^{1/2}$ برای محاسبه‌ی ضریب نفوذ رنگ آبی روی الیاف پلی‌استر تثبیت نشده (روش HT در دمای ۱۳۰ درجه سانتی گراد)..... ۵۲
- شکل ۳-۱۲ عکس SEM گرفته شده از نانو الیاف پلی‌استر..... ۵۸
- شکل ۳-۱۳ ایزوترم جذب رنگ زرد روی نانو الیاف پلی‌استر (روش کریر در دمای ۱۰۰ درجه)..... ۵۹
- شکل ۳-۱۴ ایزوترم جذب رنگ آبی روی نانو الیاف پلی‌استر (روش کریر در دمای ۱۰۰ درجه)..... ۵۹
- شکل ۳-۱۵ ایزوترم جذب رنگ زرد روی نانو الیاف پلی‌استر (روش کریر در دمای ۹۰ درجه)..... ۶۰
- شکل ۳-۱۶ ایزوترم جذب رنگ آبی روی نانو الیاف پلی‌استر (روش کریر در دمای ۹۰ درجه)..... ۶۰

فهرست جداول

جدول ۱-۱ تولید جهانی پلی استر	۲
جدول ۲-۱ خواص فیزیکی انواع پلی استر	۵
جدول ۳-۱ ضرایب شکست لیف پلی استر	۷
جدول ۴-۱ تغییرات افنیه و ضریب تفکیک بر اثر دما در تحقیقات کیم	۲۲
جدول ۵-۱ تغییرات افنیه و ضریب تفکیک بر اثر دما روی PP و PP/Clay	۲۳
جدول ۶-۱ تغییرات آنتالپی و آنتروپی در تحقیقات کیم	۲۴
جدول ۷-۱ تغییرات آنتالپی و آنتروپی الیاف PP و PP/Clay رنگری شده با رنگ دیسپرس	۲۴
جدول ۸-۱ تغییرات ضریب نفوذ در تحقیقات کیم	۲۶
جدول ۱-۲ خصوصیات نمونه‌ی مورد استفاده	۲۸
جدول ۲-۲ مشخصات رنگ	۲۸
جدول ۳-۲ مواد شیمیایی مورد استفاده	۲۹
جدول ۴-۲ تجهیزات مورد استفاده	۲۹
جدول ۵-۲ شرایط بهینه‌ی الکترورسی	۳۱
جدول ۶-۲ کالیبراسیون	۳۲
جدول ۷-۲ نسخه‌ی رنگری	۳۳
جدول ۱-۳ افنیه‌ی رنگ زرد روی انواع پلی استر (رنگری به روش HT در دمای ۱۳۰ درجه)	۳۹
جدول ۲-۳ افنیه‌ی رنگ زرد روی انواع پلی استر (رنگری به روش HT در دمای ۱۲۰ درجه)	۴۰
جدول ۳-۳ افنیه‌ی رنگ زرد روی انواع پلی استر (رنگری به روش کریر در دمای ۱۰۰ درجه)	۴۰
جدول ۴-۳ افنیه‌ی رنگ زرد روی انواع پلی استر (رنگری به روش کریر در دمای ۹۰ درجه)	۴۱
جدول ۵-۳ افنیه‌ی رنگ آبی روی انواع پلی استر (رنگری به روش HT در دمای ۱۳۰ درجه)	۴۲
جدول ۶-۳ افنیه‌ی رنگ آبی روی انواع پلی استر (رنگری به روش HT در دمای ۱۲۰ درجه)	۴۲
جدول ۷-۳ افنیه‌ی رنگ آبی روی انواع پلی استر (رنگری به روش کریر در دمای ۱۰۰ درجه)	۴۳
جدول ۸-۳ افنیه‌ی رنگ آبی روی انواع پلی استر (رنگری به روش کریر در دمای ۹۰ درجه)	۴۳

- جدول ۳-۹ آنتالپی و آنتروپی رنگ زرد روی انواع پلی استر (رنگرزی به روش HT) ۴۵
- جدول ۳-۱۰ آنتالپی و آنتروپی رنگ آبی روی انواع پلی استر (رنگرزی به روش HT) ۴۶
- جدول ۳-۱۱ آنتالپی و آنتروپی رنگ آبی روی انواع پلی استر (رنگرزی به روش کریر) ۴۷
- جدول ۳-۱۲ آنتالپی و آنتروپی رنگ زرد روی انواع پلی استر (رنگرزی به روش کریر) ۴۷
- جدول ۳-۱۳ ضریب نفوذ رنگ آبی روی انواع پلی استر (رنگرزی با کریر در دمای ۱۰۰ درجه) ۵۳
- جدول ۳-۱۴ ضریب نفوذ رنگ زرد روی انواع پلی استر (رنگرزی با کریر در دمای ۱۰۰ درجه) ۵۴
- جدول ۳-۱۵ ضریب نفوذ رنگ آبی روی انواع پلی استر (رنگرزی با کریر در دمای ۹۰ درجه) ۵۴
- جدول ۳-۱۶ ضریب نفوذ رنگ زرد روی انواع پلی استر (رنگرزی با کریر در دمای ۹۰ درجه) ۵۵
- جدول ۳-۱۷ ضریب نفوذ رنگ آبی روی انواع پلی استر (رنگرزی با HT در دمای ۱۳۰ درجه) ۵۶
- جدول ۳-۱۸ ضریب نفوذ رنگ زرد روی انواع پلی استر (رنگرزی با HT در دمای ۱۳۰ درجه) ۵۶
- جدول ۳-۱۹ ضریب نفوذ رنگ زرد روی انواع پلی استر (رنگرزی با HT در دمای ۱۲۰ درجه) ۵۷
- جدول ۳-۲۰ ضریب نفوذ رنگ آبی روی انواع پلی استر (رنگرزی با HT در دمای ۱۲۰ درجه) ۵۷
- جدول ۳-۲۱ افنیت‌ی رنگ دیسپرس روی نانو الیاف پلی استر (رنگرزی با کریر در دمای ۱۰۰ درجه) ۶۱
- جدول ۳-۲۲ افنیت‌ی رنگ دیسپرس روی نانو الیاف پلی استر (رنگرزی با کریر در دمای ۹۰ درجه) ۶۱
- جدول ۳-۲۳ آنتالپی و آنتروپی رنگ دیسپرس روی نانو الیاف پلی استر ۶۱

چکیده

در این تحقیق به یکی از مهمترین فرایندهایی که در کارخانجات نساجی انجام می شود؛ رنگریزی الیاف پلی استر با رنگ دیسپرس پرداخته شده است. با توجه به افزایش روز افزون نیاز به الیاف مصنوعی و با توجه به اصلاحات بی شماری که به منظور بهبود شرایط رنگریزی، جذب و همچنین بهبود کیفیت کالا و صرفه جویی در مواد اولیه، می توان انجام داد لازم است مطالعات بیشتری در این زمینه صورت بگیرد.

نحوه رفتار الیاف پلی استر در تثبیت های مختلف متفاوت است. بررسی این تفاوتها می تواند در بهبود روشهای رنگریزی این الیاف استفاده شود.

برای بررسی بیشتر تحقیقی با عنوان مطالعه شیمی فیزیک جذب رنگ دیسپرس روی پلی استر، نانو الیاف پلی استر و از همه مهمتر پلی استر های تثبیت شده به روشهای مختلف مطرح گردید. برای این منظور ابتدا الیاف پلی استر با هوای خشک در دماهای ۱۶۰، ۱۸۰، ۲۰۰ و ۲۲۰ درجه سانتی گراد و بخار اشباع در دمای ۱۰۰ و ۱۲۰ درجه سانتی گراد و با آب داغ در دماهای ۱۰۰ و ۱۳۰ درجه سانتی گراد تثبیت می شوند سپس الیاف پلی استر تثبیت شده و تثبیت نشده با استفاده از رنگهای دیسپرس رنگریزی می شوند و پس از رنگریزی با محاسبه پارامترهای شیمی فیزیکی (افینیت، آنتالپی، آنتروپی و ضریب نفوذ) به بررسی خواص رنگریزی آنها پرداخته می شود.

با توجه به حرکت فناوری به سمت تکنولوژی نانو، شیمی فیزیک جذب رنگ دیسپرس بر روی نانو الیاف پلی استر نیز مورد بررسی قرار گرفت.

برای رنگریزی الیاف پلی استر تثبیت شده، بدون تثبیت و نانو الیاف پلی استر از دو رنگ C.I. Disperse و C.I. Disperse Yellow 23 Blue 183 با ساختار و وزن مولکولی متفاوت استفاده شده است. رنگریزی به دو روش کریر و HT انجام می شود. رنگریزی به روش کریر در دماهای ۹۰ و ۱۰۰ درجه سانتی گراد و روش HT در دماهای ۱۲۰ و ۱۳۰ درجه سانتی گراد انجام می گیرد سپس با استفاده از ترسیم ایزوترم جذب و محاسبه شیب ایزوترم مقدار افینیت، آنتالپی، آنتروپی محاسبه می شود. با بدست آوردن مقدار جذب رنگ در زمانهای مختلف می توان میزان ضریب نفوذ را محاسبه کرد. نتایج حاصله نشان دهنده کاهش جذب رنگ، کاهش افینیت، کاهش ضریب نفوذ و افزایش مقدار منفی آنتالپی و آنتروپی الیاف تثبیت شده با هوای داغ در دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد نسبت به الیاف پلی استر تثبیت نشده و افزایش جذب رنگ، افزایش افینیت، افزایش ضریب نفوذ و کاهش مقدار منفی آنتالپی و آنتروپی با افزایش دمای تثبیت با هوای داغ تا ۲۲۰ درجه سانتی گراد می باشد. در الیاف پلی استر تثبیت شده با بخار اشباع و آب داغ با افزایش دمای تثبیت میزان جذب رنگ، افینیت استاندارد رنگ به لیف و ضریب نفوذ رنگهای دیسپرس به لیف کاهش و مقدار منفی آنتالپی و آنتروپی افزایش می یابد.

به دلیل آمورفیسیتی در نانو الیاف پلی استر مقدار جذب رنگ به میزان قابل توجهی افزایش داشته و متعاقب آن مقدار افینیت هم افزایش داشته است.

واژگان کلیدی: پلی استر، رنگ دیسپرس، تثبیت، ایزوترم جذب، پارامترهای شیمی فیزیکی

فصل ۱

کلیات

۱-۱ مقدمه

الیاف پلی استر ابتدا بوسیله کمپانی^۱ CPA در انگلستان تهیه شدند برای ساختن این الیاف از تحقیقات اولیه که بوسیله کاروترز انجام گرفته بود استفاده شد بعدها CPA امتیاز ساختن این الیاف را به کمپانی شیمیایی ICI^۲ در انگلستان^۳ و دوپونت در امریکا فروخت و الیاف پلی استر به نامهای تجاری تریلن^۴ و داکرون^۵ به ترتیب بوسیله شرکتهای فوق به بازار عرضه شدند.

صرفنظر از الیاف ذکر شده، امروزه الیاف پلی استر بوسیلهی شرکتهای شیمیایی در نقاط دیگر دنیا به بازار عرضه می شود که مهمترین آنها عبارتند از: ترویرا^۶ (هوخست^۷) در آلمان، ترگال^۸ (رودیاستا^۹) در فرانسه، تریال^{۱۰} (رودیانس^{۱۱}) در ایتالیا، ترون^{۱۱} (تیتین^۲) در ژاپن و غیره [۱].

^۱ Clico Printers Association

^۲ International Color Inc

^۳ England

^۴ Terylen

^۵ Dacron

^۶ Terivira

^۷ Hoechst

^۸ Tergal

^۹ Rodiaceta

^{۱۰} Tetyal

^{۱۱} Rodiatsce

۲-۱ تولید جهانی پلی استر

پلی اتیلن ترفتالات از نظر میزان تولید در جهان مهمترین لیف تجاری مصنوعی در طبقه الیاف پلی استر است که به اختصار به آن PET^۱ می گویند. در کتابهای مختلف [۲-۵] در مورد مواد اولیه، روش تولید در ریسندگی مذاب و مشخصات و خواص آن بحث شده است. تولید جهانی پلی استر در سال ۱۹۹۴ در جهان ۱۰۸۸۵۰۰ تن بوده که ۵۶۴۹۰۰ تن مخصوص تولید فیلامنت پلی استر و ۵۲۳۶۰۰ تن مخصوص الیاف استیل پلی استر است.

جدول ۱-۱ تولید جهانی الیاف مصنوعی [۳]

سال تولید	پلی استر %	پلی آمید %	پلی اکریل %	دیگر الیاف %	جمع
۱۹۷۰	۳۴	۴۰	۲۱	۵	۴۸۰۹
۱۹۷۵	۴۵	۳۳	۱۹	۳	۷۴۶۱
۱۹۸۰	۴۱	۲۶	۱۹	۴	۱۰۷۷۹
۱۹۸۵	۵۰	۲۶	۱۹	۶	۱۳۰۲۵
۱۹۸۶	۵۰	۲۵	۱۸	۶	۱۳۶۴۶
۱۹۸۷	۵۲	۲۵	۱۷	۶	۱۴۵۸۷
۱۹۸۸	۲۳	۲۴	۱۶	۶	۱۵۱۷۲
۱۹۸۹	۳۴	۲۴	۱۵	۷	۱۵۶۰۲
۱۹۹۰	۵۳	۲۰	۱۴	۹	۱۶۱۹۱
۱۹۹۱	۵۴	۲۱	۱۴	۱۰	۱۶۸۱۴
۱۹۹۲	۵۶	۲۰	۱۳	۱۰	۱۷۶۹۳
۱۹۹۳	۵۵	۱۸	۱۳	۱۰	۱۸۰۲۲
۱۹۹۴	۵۶	۱۹	۱۳	۱۱	۱۹۷۷۶
۱۹۹۵	۵۸	۱۸	۱۲	۹	۲۰۶۲۱
۱۹۹۶	۶۱	۱۶	۱۲	۹	۲۱۸۱۰
۱۹۹۷	۶۳	۱۵	۱۲	۱۰	۲۴۶۴۴
۱۹۹۸	۶۵	۱۵	۱۰	۱۰	۲۵۵۲۱
۱۹۹۹	۶۶	۱۵	۹	۱۰	۲۶۸۲۱
۲۰۰۰	۶۶	۱۴	۹	۱۱	۲۸۶۳۰

¹ Tetron

² Tejin

³ Polyethylene terephthalate

۱-۳ مروری بر خواص پلی استر

پلی استر بطور کلی از واکنش استریفیکاسیون دی کربوکسیلیک اسیدها و دی الکل ها بدست می آید. پلی اتیلن ترفتالات PET (عموما معروف به پلی استر) از پلی کندانسیون ترفتالیک اسید و اتیلن گلیکول^۱ بدست می آید.

الیاف PET می توانند دارای ساختار متفاوتی باشند که این خواص به شرایط و عوامل تولید و عملیات حرارتی و مکانیکی بعدی که ساختار لیف را مشخص می کند، بستگی دارد. چون الیاف از واحدهای ساختاری از ذرات بزرگ تا سطح افقی ساخته شده است، چگونگی قرار گرفتن آنها خواص لیف را مشخص می کند. به طور کلی ساختار لیف به فرایند های مکانیکی و حرارتی موثر بر خصوصیات لیف وابسته است به عبارت دیگر روش تهیه و تاریخچه یک لیف، ساختار و در نتیجه خواص فیزیکی لیف را تعیین می کند.

الیاف پلی اتیلن ترفتالات از ثبات حرارتی بالایی برخوردار هستند به طوری که می توان پلیمر آنها را ذوب نمود. درجه سفیدی این الیاف اغلب بالاست و برای سفیدی بیشتر به الیاف تیتانیوم دی اکسید به عنوان مات کننده اضافه می شود [۱]

الیاف پلی استر دارای قدرت جذب آب ناچیز (۰/۲ تا ۰/۴ درصد در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد) هستند بنابراین استحکام و ازدیاد طول این الیاف زیاد تحت تاثیر رطوبت قرار نمی گیرد [۶]. این الیاف از قدرت ایزولاسیون (عایق بودن) خوب برخوردار می باشند اما در آنها بار الکتریکی ساکن به سهولت ایجاد می شود [۳]. در دمای ۴۰ - درجه سانتی گراد تناسبی^۲ الیاف پلی استر تقریبا تا ۶ درصد افزایش یافته و قدرت ارتجاعیت^۳ آن تا ۲۰ درصد کاهش می یابد، (نسبت به استحکام و ارتجاعیت در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد) در ۱۰۰ درجه سانتی گراد تناسبی تا ۵۰ درصد افزایش و قدرت ارتجاعیت تا ۳۵ درصد کاهش می یابد. در ۱۸۰ درجه سانتی گراد پلی استر تقریبا نصف استحکام خود را حفظ کرده و هنگامی که این الیاف را در دمای داغ ۱۵۰ درجه سانتی گراد قرار دهیم خیلی آرام تغییر رنگ پیدا می کنند و بعد از یک ماه، ۸۵ درصد و بعد از ۶ ماه ۵۵ درصد استحکام اولیه خود را حفظ می کند [۶].

الیاف پلی استر نسبتا ساده آتش گرفته و می سوزند نقطه آتش گرفتن^۴ این الیاف ۳۷۲ درجه سانتی گراد می باشد. وزن مولکولی الیاف پلی استر تجاری ۱۸۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ می باشد این الیاف عموما حاوی مقادیری از لیگومرها هستند (۱/۵ تا ۲/۵ درصد) [۱].

گرمای مخصوص^۵ الیاف پلی استر معمولا ۰/۲۷ cal/g.deg.c و گرمای نهان ذوب^۶ آن ۱۶-۱۱ cal/g است.

¹ Glycol

² Tenacity

³ Extensibility

⁴ Ignition Point

⁵ Specific Heat

⁶ Latent Heat of Evaporation

خواص شیمیایی الیاف پلی استر بوسیله گروه استر و ساختمان فشرده آن تعیین می شود، ثبات پلی استر در برابر اسید ها، قلیا ها، مواد اکسید کننده و احیا کننده برای عملیات تهیه و آماده نمودن الیاف کافی است. تجزیه و هیدرولیز الیاف بوسیله قلیاها و کربنات ها بصورت توپوشیمی^۱ است بدین معنی که هیدرولیز از سطح الیاف آغاز می شود.

پلی استر در برابر حلال های معمولی مقاوم است این لیف در تری فلئور استیک اسید، متاکروزول و ارتو کلروفنل حل می شود. تجزیه شیمیایی پلی استر با نوری که طول موج آن کمتر از ۳۰۰nm است صورت می گیرد و چون این تشعشعات بوسیله ی شیشه فیلتر می شود الیاف پلی استر برای تهیه پرده و پارچه های دکوراسیون مناسب هستند [۳].

۱-۴ ساختار ظریف پلی استر

خواص الیاف پلی استر پس از رشته ساز و پیش از هرگونه عملیات کششی به عوامل قابل تغییر در حین تولید بستگی دارد. در سرعت های کم در محدوده ۱۰۰۰ متر بر دقیقه الیاف تولیدی قابلیت چشمگیری برای ازدیاد طول دارند ولی استحکام آنها کم است. وقتی سرعت تولید افزایش می یابد الیافی با خواص متفاوت مثلا نیمه جهت یافته^۲ یا نخ برای تکسچرایزینگ با کشش^۳ و یا نخ کاملا کشیده شده^۴ و یا کاملا جهت یافته تولید می شود. در روش های قدیمی تولید الیاف پلی استر، رشته های تولید شده پس از ریسندگی بوسیله فرایند کشش ۲ تا ۷ برابر طول اولیه خود کشیده می شوند، نسبت کشش که به ویژگی های پلیمر مصرفی مانند وزن مولکولی و موارد استفاده بستگی دارد، می تواند به تولید نخ با مقاومت معمولی برای مصرف در صنعت نساجی یا نخهای صنعتی با مقاومت بیشتر منجر می شود [۷].

برخی از خواص انواع الیاف پلی استر برای مقایسه در جدول ۱-۲ ارائه شده است. در این جدول فرایند یک مرحله ای^۵ و فرایند دو مرحله ای^۶ را نشان می دهد. به طوریکه از این جدول پیداست این الیاف استحکامی در محدوده ۰/۵۶-۰/۱۰۶ نیوتن بر تکس و ازدیاد طول تا حد پارگی ۷ تا ۴۰۰ درصد و ضریب کشسانی صوتی بین ۲ تا ۱۳/۲ نیوتن بر تکس و چگالی بین ۱/۳۸ تا ۱/۳۳۸ گرم بر سانتی متر مکعب و ضریب شکست مضاعفی بین ۰/۰۰۵ تا ۰/۱۸ را دارند. به تجربه مشخص شده است که این تفاوتها در اثر تغییر در عوامل تولید و در نتیجه ساختار فیزیکی است.

¹ topochemistry

² POY

³ Draw Textured

⁴ FOY

⁵ One Step Process

⁶ Two Step Process

جدول ۱-۲ خواص فیزیکی انواع پلی استر [۷]

انواع PET	نوع تولید	استحکام N/Tex	ازدیاد طول تا پارگی %	ازدیاد طول %	ضریب کشسانی صوتی N/Tex	چگالی g/cm ³	ضریب شکست مضاعف
استحکام متوسط	تجاری	۰/۴۷	۱۵	---	۱۰/۱۶	---	---
استحکام زیاد	تجاری	۰/۵۶	۷	---	۱۳/۲	---	---
الیاف کوتاه رسیده شده	تجاری	۰/۴۷	۳۷	---	۸/۸	---	---
در 'OSP	تحقیقاتی	۰/۳۳۵	---	۴۴	۶/۶۱۵	۱/۳۸	۰/۱۰۵
رسیده شده در شرایط معمول	تحقیقاتی	۰/۴۴۱	---	۰/۳۵	۱۰/۵۸۴	۱/۳۷	۰/۱۰۵
نیمه جهت یافته	تجاری	۰/۱۹۴	---	۱۳۰	۲/۶۴۶	۱/۳۴	۰/۰۳۸
کشیده نشده	تجاری	۰/۱۰۶	---	۴۰۰	۱/۹۴	۱/۳۳	۰/۰۰۵
کشیده شده	تجاری	۰/۳۷۹	---	۳۰	۹/۷۰۲	۱/۳۸	۰/۰۱۸
تولید پلی اکریل POY	تجاری	۰/۲۴۸	۱۴/۳۵	---	---	۱/۳۴	۰/۰۳۳
تولید پلی اکریل FOY	تجاری	۰/۴۴۱	۳۲/۲۳	---	---	۱/۳۷	۰/۱۷۸

۱-۵ ساختار بلوری پلی استر

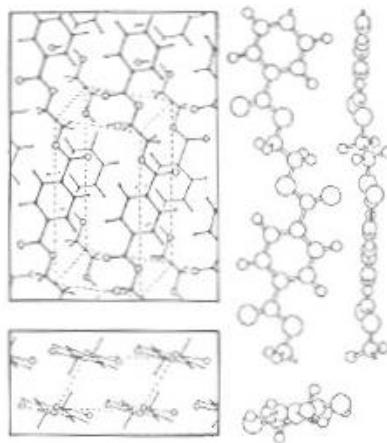
وجود نواحی بلوری در الیاف پلی استر با آزمایشات متفاوت مشخص شده است. مولکولهای زنجیری در پلی اتیلن تر فتالات خطی است و می توانند به حالت متراکم در کنار یکدیگر قرار بگیرند و بلوری شوند. ساختار بلوری این الیاف

¹ ovalbumin solution with polystyrene particles

که در سالهای اولیه توسط دابنی و بان¹ شناسایی شد بیشتر مورد بررسی پژوهشگران قرار گرفته است. واحد بلوری تشکیل دهنده ساختار بلوری پلی اتیلن ترفتالات شامل یک واحد تکرار شونده $-O-COC_6H_4COO(CH_2)_2-O-$ تری کلینیک است. دمای ذوب الیاف پلی استر برابر $264^{\circ}C$ است که تقریباً مشابه نایلون ۶-۶ ($265^{\circ}C$) می باشد، دمای ذوب زیاد در پلی آمیدها به پیوندهای هیدروژنی بین گروههای آمید نسبت داده شده است اما در پلی استر چنین پیوندهایی وجود ندارد.

دابنی و بان نیروهای بین مولکولی مجاور را نیروهای معمولی و واندروالس می دانند و دلایلی بر وجود نیروهای قوی غیر معمول بین مولکولها بدست نیاورده اند. دمای ذوب زیاد در PET در مقایسه با پلی استرهای آلیفاتیک (زنجیری) نتیجه ی نیروهای قوی بین مولکولی نیست بلکه به سختی حلقه های آروماتیک با گروههای اتصال دهنده $-COO-$ نسبت داده شده است.

اطلاعات مهمی درباره ساختار بلوری (شکل ۱-۱) از تجزیه و تحلیل طیفهای زیر قرمز و رامان بدست آمده است، طیف جذبی پرتو زیر قرمز PET بلوری و بی نظم تفاوتی با هم دارند که این اختلاف اطلاعاتی را در مورد ساختار و میزان تبلور بدست می دهد.



شکل ۱-۱ ساختار بلوری پلی اتیلن ترفتالات [۷]

۱-۵-۱ چگالی ذاتی

برای PET کاملاً بلوری، بی نظم والیاف تجاری چگالی های متفاوتی گزارش شده است. برای الیاف پلی استر تجاری عموماً $1/38$ را گزارش کرده اند.

ضرایب شکست عمودی و موازی لیف پلی استر POY و FOY برابر است با:

¹ Dabni and Ban