

## بررسی تجربی میزان خمش حرارتی قطعات تولید شده از ترکیب ترموپلاستیک های پلی کربنات و آکریلونیتریل بوتادین استایرن

یوسف گرامی<sup>۱</sup>، سید عبدالمحمد رضاوند<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد ساخت و تولید، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه ساخت و تولید، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

پذیرش: زمستان ۹۷ پذیرش: تابستان ۹۸

### چکیده

در این پژوهش به بررسی تجربی خواص خمش حرارتی<sup>۱</sup> قطعات تولید شده از جنس ترموپلاست های اکریلونیتریل بوتادین استایرن<sup>۲</sup> و پلی کربنات<sup>۳</sup> در پنج سطح ترکیبی با فشار تزریق، دمای تزریق، سرعت تزریق مشخص و دمای نگهداری ثابت پرداخت شده است که پس از آزمایش قطعات تولیدی، داده هایی بدست آمده به وسیله نرم افزار مینی ۱۶ و به روش تاگوچی تحلیل و بررسی شده است که نتایج بدین گونه بوده که پلی کربنات خالص بیشترین تاثیر دمای نرم شدگی را دارا می باشد که در ادامه با افزودن آکریلونیتریل بوتادین استایرن به آن میزان دمای نرم شدگی کاهش می یابد.

\*عده دار مکاتبات: [m\\_rezavand@yahoo.com](mailto:m_rezavand@yahoo.com)

واژگان کلیدی: اختلاط پلیمرها، پلی کربنات، اکریلونیتریل بوتادین استایرن، خمش حرارتی

### Abstract

In this study, the experimental properties of Heat Deflection Temperature of acrylonitrile butadiene styrene and polycarbonate thermoplastics were investigated in five levels of the compound with injection pressure, injection temperature, specified injection speed and constant maintenance. After testing the components, the data obtained for The software for minifraction 16 has been analyzed by Taguchi method and the result is that pure polycarbonate has the greatest effect on the softening temperature, which is then reduced by the addition of acrylonitrile butadiene styrene to the amount of softening temperature.

**Key words:** Polymer mixing, Polycarbonate, Acrylonitrile butadiene styrene, Heat Deflection Temperature

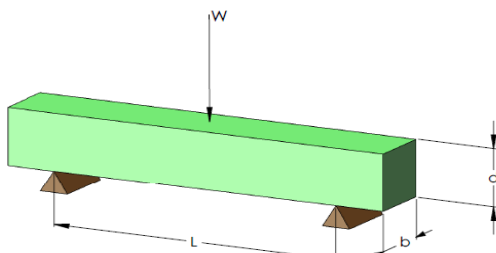
<sup>1</sup>- Heat Deflection Temperature  
<sup>2</sup>- Acrylonitrile Butadiene Styrene  
<sup>3</sup>- Poly Carbonate

## ۱-مقدمه

پیش‌بینی کرد که به دمای انتقالی شیشه بسیار نزدیک می‌باشد. برای PC معمولاً Tg در دامنه ۱۴۲ تا ۱۵۹ درجه سانتیگراد (که توسط DSC در مقیاس دمایی  $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ) می‌باشد. خمش حرارتی به وزن مولکولی بستگی دارد. به هر حال، همان طور که در بخش‌های الگوبرداری یا قالب گیری شده وجود دارد هیچ HDT ای به اندازه ی Tg بالا بدست نمی‌آید. HDT برای ۱۳۰ درجه سانتیگراد در  $82/1\text{MPa}$  برای پلی کربنات گزارش شده بود اما مقادیر ۱۴۳-۱۴۴ درجه سانتیگراد با تغییر فیزیکی بدست آمده بودند [۴]. افزودن پرکننده (Filler) به مواد پلیمری Tg را افزایش می‌دهد زیرا افزودن پرکننده به منظور کاهش انرژی سطحی خود با زنجیره های پلیمری وارد برهم کنش شده و در نتیجه حرکت زنجیره ها کند تر می‌شود که در میان پرکننده ها  $\text{CaCO}_3$  کربنات کلسیم است [۱].

## ۳- نحوه آزمایش HDT

در این آزمایش در خصوص کاربرد این آزمون و ارزش آن باید گفت نتایج حاصل از این آزمون مواردی همچون یکنواختی و کیفیت فرمولاسیون به کار رفته در شیوه های تولیدی هم روزان رانی را مشخص می‌کند. برای مثال استفاده از ترکیبات مقاوم کننده در برابر حرارت میزان اسمی این دما را افزایش می‌دهند و از طرفی بدون تغییر فرمولاسیون در برخی تولیدات و تنها با کاهش زمان و حتی دمای اختلاط نتیجه نهایی با کاهش عددی روبرو خواهد شد. حتی عدم پخت مناسب مواد اولیه به شکل بسیار موثری بر روی این نتیجه اثر گذار خواهد بود. این عدد توسط تولید کنندگان به صورت یک مقدار اسمی اعلام می‌شود که میزان کیفیت و مقاومت تولید را در برابر گرما و فشار بطور همزمان نشان می‌دهد [۳]. این عدد باید در هر صورت با آزمون کردن محصولات تولید کننده به دست آید. افزایش این عدد تا زمانی که خواص مکانیکی دیگر پلیمرها را تحت تاثیر قرار ندهد مفید خواهد بود. برابر استاندارد ASTM D6448، بار W برای یک میله آزمایش که در دو نقطه حمایت شده است بکار برده می‌شود. شکل (۱) را ببینید که برای این نقطه سه تایی با یک شعاع مناسب، انحراف به این صورت داده می‌شود:



شکل شماره (۱): روش آزمون HDT برابر استاندارد ASTM-D 6448 بر روی قطعه ای به ابعاد (۱۰۰ mm طول، ۱۲.۷۷ mm عرض و 3mm ضخامت) [۴].

دمای انحراف گرما (HDT)، نیز از قبیل شاخصه هایی است که جهت طراحی محصول می‌باشد و همچنین محدودیت ثابت بالاتر ماده در

ترکیب نمودن پلیمرها یک روش موثر و کارآمد جهت دستیابی به خواص مکانیکی بهینه جهت کاربرد آنها در صنایع مختلف می‌باشد. این رو بعلت خواص ویژه دو ماده پلیمری پلی کربنات و اکریلونیتریل بوتادین استایرن مخلوط این دو ماده پلیمری در یک دهه اخیر با استقبال و کاربرد فراوانی برخوردار بوده است. در این مقاله به تحقیقات، آزمایشات و نتایجی که سایر محققین پیرامون خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی قطعات تولید شده حاصل از ترکیب PC/ABS یافته اند را مطالعه و بررسی نموده و در ادامه از این اطلاعات کمک و استفاده شده است. طی نتایجی که از آزمایش بر روی قطعات تولید شده از ترکیب ABS/PC استخراج شده است چنین نشان می‌دهد که خواص خمشی قطعاتی که در آنها از ۶۰ درصد، ۷۰ درصد، ۸۰ درصد و ۹۰ درصد PC در ABS استفاده شده بیشتر از اجزای خالص مخلوط ها است. بنابراین می‌توان چنین فرض کرد که جهت دستیابی به یک پلیمر با خواص خمشی مطلوب بهتر است به جای استفاده از مواد خالص این دو پلیمر از ترکیب این دو با نسبت های مشخص استفاده شود. رویه سینرجیستیک نیز در آزمایشی که بر روی قطعات تولید شده از این ترکیب بدست آورده همچنین نتیجه ای گرفته است و در انتها چنین مشاهده شده که بهترین خواص خمشی را از بین قطعات با نسبت های ترکیبی مختلف نسبت ترکیبی ۹۰ درصد PC با ۱۰ درصد ABS را دارا می‌باشد [۳]. آزمایش خمش حرارتی به منظور دستیابی به دمای تغییر شکل مواد مورد آزمایش تحت بار خمشی (انحنای) انجام می‌شود و عوامل اثر گذار بر نتایج استخراج شده از این آزمایش بلورینگی و افزایش یا کاهش فیلر ناآثیر گذار است [۲]. یکی از مهمترین ویژگی هایی که شرکت های تولید کننده در تعیین و تشخیص ماده استفاده می‌کنند. انحرافات دما یا همان انحراف درجه حرارت گرمایی (HDT) پلیمر های شیشه ای می‌باشد. HDT همین طور برای تعیین مقاومت کوتاه مدت گرمایی که به وسیله ی ASTM D 648 یا ISO ۷۵ توصیف می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش ها، HDT در یک آزمایش خمیدگی در سه نقطه، به عنوان دمایی تعریف می‌شود که در آن یک میله استاندارد داده شده تحت یک مقیاس تعریف شده و خاص گرمایی و فشار سطوح خارجی تا ۰.۲۵mm منحراف می‌شود. در استاندارد شماره ASTM D-648 دوسطح تنش خارجی به میزان  $0.455\text{MPa}$  و  $1/82\text{MPa}$  اعدادی هستند که برای ارائه شرایط بارگذاری بالای پایین بکار برده می‌شوند [۴].

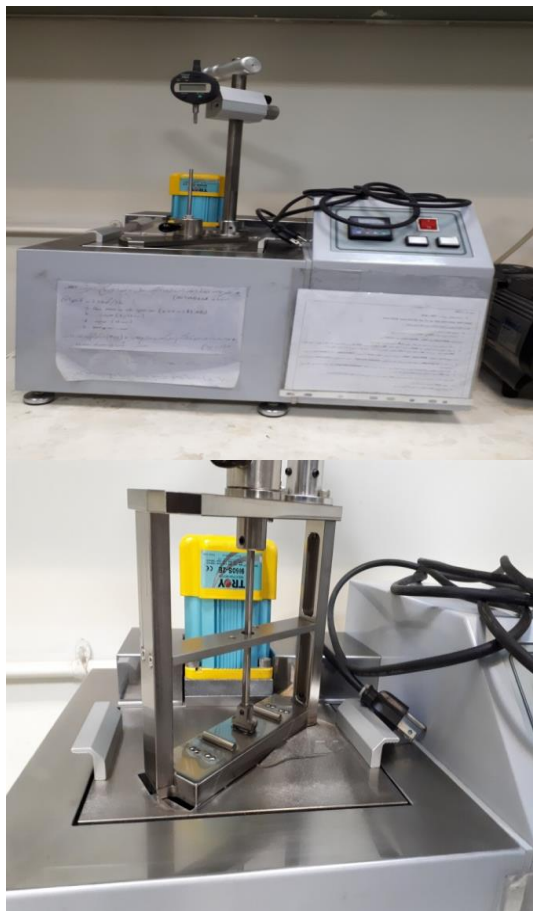
## ۲- خواص خمش حرارتی (HDT) بر روی قطعات تولید شده از ترکیب ABS/PC

پلی کربنات (PC) یکی از مهمترین مواد پلیمری مهندسی می‌باشد که علاوه بر ویژگی نوری و دوام بالای آن، مقاومت بالای حرارتی اش هم کاربرد های بسیاری دارد مثلاً در ساخت لنزهای مورد استفاده در چراغهای جلوی اتوموبیل ها و یا لامپ های انتشار نور می‌باشند. HDT بطور فرضی از ضریب برش در مقابل منحنی حرارتی که در آزمایش (DMA) یا تجزیه و تحلیل مکانیکی دینامیک بدست آمده است را می‌توان

۲۰ درجه سانتی گراد تنظیم گردید. سپس حمام مرتبا در حال هم خوردن شد تا دما در تمامی نقاط یکسان گردید. سپس نمونه را در محل تعبیه شده قرار دادیم بطوری که نیدل در مرکز نمونه و البته بدون تماس با آن قرار گرفت. وزنه های ۱۰N یا ۵۰N را بر روی نیدل قرار می دادیم. سپس بعد از گذشت ۵ دقیقه میزان جابجایی نیدل را صفر کردیم. دما با سرعت ۵۰ تا ۱۲۰C/h شروع به بالا رفتن کرد تا زمانی که نفوذ نیدل به اندازه های مورد نظر در جدول استاندارد ASTM-D۶۴۸ و تعداد قطعات مورد آزمایش (۳ mm, ۲mm, ۱mm, ۰.۵mm) رسید دمای حمام روغن را ثبت نمودیم. هنگامی که نمونه ۵/۰ mm دچار اعوجاج (انحناء) شد، دما از روی نمایشگر دستگاه خوانده شده و ثبت گردیده است. این عملیات برای ۴ مرحله تغییر ضخامت تکرار و ثبت گردید. لازم به ذکر است که در ABS خالص، به دلیل حالت رابری کامل نمونه، تغییر ضخامت برای قطعه در بازه ۳mm مشاهده نشده است.

#### ۴- دستگاه خمش حرارتی

این آزمون نمونه ها توسط دستگاه تست خمش حرارتی مدل HV2000 ساخت شرکت GOTECH تایوان مطابق با استاندارد ASTM-D648 انجام گردیده است. در شکل (۲) نمایی از دستگاه تست خمش حرارتی نشان داده شده است.



شکل شماره (۲): دستگاه آزمون خمش حرارتی HDT

کاربردهای مختلف بدون تخریب فیزیکی مهمی تحت باردهی و تاثیر حرارتی ارائه شده است. از بررسی و آزمایش بسیاری از کارکردهای پلیمرهای ترموپلاست در زمینه (HDT) تنها تلاش نظام یافته برای مشخص کردن عملکرد فیزیکی ماده پلاستیکی در دمای بالا می باشد. (HDT) یک ویژگی اصلی ماده نمی باشد بلکه تنها مقیاسی از ثبات اندازه ی ماده پلاستیکی در شرایط باردهی نرمال و تاثیر حرارتی است [۶].

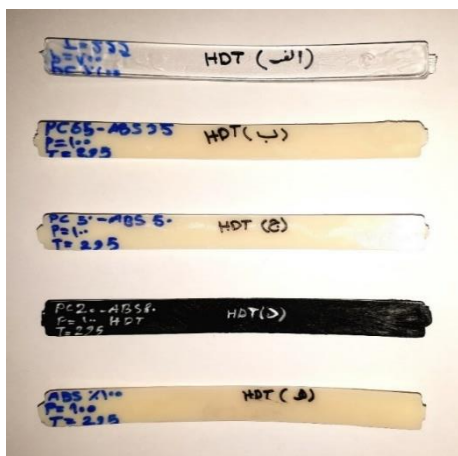
نسبت های ترکیبی مختلف پلی کربنات ها با اکریلونیتریل بوتادین استایرن جهت دستیابی به نتایج متعدد از قبیل خواص فیزیکی و مکانیکی آنها را مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته و در با بررسی میزان مقاومت کششی، خواص خمش حرارتی، مقاومت ضربه ای، خیزش حرارتی و توان جریان ذوب نتایج اینگونه نشان می دهد که تاثیرات ترکیبات اختلاط این دو نوع پلیمر بر میزان ویسکوزیته ی ذوب (میزان مقاومت مواد در برابر جریان) اکریلونیتریل بوتادین استایرن و سازگاری و یا عدم سازگاری این ماده با دیگر ماده پلیمری بنام (PMMA) جهت دستیابی به خواص مکانیکی بهینه تر پیشنهاد می شود [۵].

در این آزمون میزان دمای مناسب برای تغییر شکل نمونه های مستطیل شکل به به ابعاد (عرض ۱۲.۸۸ میلی متر و ضخامت ۳ میلی متر و طول ۱۲۷ میلی متر) که مطابق استاندارد ASTM-D648 آماده سازی شده اند را در برابر اعمال نیروی یک میله و وزنه مناسب در روغنی که دمای آن در حال افزایش می باشد را اندازه گیری نمودیم (نوع روغن مورد استفاده در این دستگاه معمولا سلیکون گلیسیرین اتلین گلیکون و ... می باشد). در آزمون های فوق باید در نظر گرفت که متدهای اجرایی متفاوتی وجود دارد. انتخاب نوع متد گاه در استاندارد های زیر شاخه ای و یا ارجاع دار مشخص می شود و با توجه به نوع ماده مورد آزمون انتخاب می شوند. این شیوه های مورد نظر بر اساس دو مطلب در آزمون Vicat تقسیم بندی می شوند. یکی وزن و دیگری سرعت گرم شدند. دما با سرعت ۵۰ یا ۱۲۰ درجه در ساعت گرم می شود و وزنه های ۱ تا ۱۲۸ گرمی می باشند. اصولا به دلیل سرعت انجام بالا و کمتر بودن خطا شیوه دارای سرعت گرمایشی ۱۲۰ درجه بر ساعت و وزنه ۱ گرمی انتخاب می شود [۷]. شکل (۲) نمایی از دستگاه تست خمش حرارتی نشان داده شده است.

جدول (۲): قطعات مورد آزمایش HDT

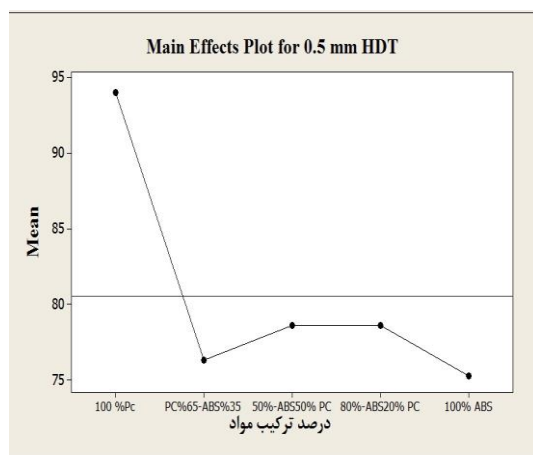
ردیف	درصد ترکیب مواد	فشار تزریق	دمای تزریق	سرعت تزریق
۱	Pc/۱۰۰	۱۰۰	۲۹۵°C	۱۹
۲	ABS/۳۵-۶۵/PC	۱۰۰	۲۹۵°C	۱۹
۳	ABS/۵۰-۵۰/PC	۱۰۰	۲۹۵°C	۱۹
۴	ABS/۸۰-۲۰/PC	۱۰۰	۲۹۵°C	۱۹
۵	ABS/۱۰۰	۱۰۰	۲۹۵°C	۱۹

بعد از تولید نمونه های پیشنهادی برابر روش تاگوچی، آزمون HDT بروی تعداد یک عدد از هر نمونه و جمعا تعداد پنج نمونه که مطابق با استاندارد ASTM-D۶۴۸ آماده شده بودند، انجام شد، سپس حمام روغن در دمای بین



شکل (۴): تغییر شکل قطعات پلاستیکی پس از آزمایش HDT

در نموداری که در شکل شماره (۵) نشان داده شده است هنگامی که نمونه ۰.۵ دچار انحنای گردید بیشترین تاثیر دمای نرم شدگی را ۱۰۰٪ PC دارا می باشد و بعد از آن بیشترین تاثیر را ۸۰٪-ABS۲۰٪ و بعد از آن نیز ۵۰٪-ABS۵۰٪-PC و سپس ۳۵٪-ABS۶۵٪-PC و در نهایت کمترین تاثیر نرم شدگی را ۱۰۰٪ ABS دارا می باشد.



شکل شماره (۵): نمودار تاثیر درصد ترکیب مواد پلیمری بر نتایج آزمایشات HDT در نمونه ۰.۵mm

در نموداری که در شکل شماره (۶) نشان داده شده است هنگامی که نمونه ۱ mm دچار انحنای گردید بیشترین تاثیر دمای نرم شدگی را ۱۰۰٪ PC دارا می باشد و بعد از آن بیشترین تاثیر را ۳۵٪-ABS۶۵٪-PC و بعد از آن نیز ۵۰٪-ABS۵۰٪-PC و سپس ۸۰٪-ABS۲۰٪-PC و در نهایت کمترین تاثیر نرم شدگی را ۱۰۰٪ ABS دارا می باشد.

تعداد ۷ نمونه وزنه جهت این آزمون وجود دارد که بسته به نوع ماده مورد آزمایش و نوع استاندارد تعریف شده مورد استفاده قرار می گیرند و جهت آزمایش قطعات مورد آزمایش تعداد دو وزنه برای انجام این آزمون استفاده می شود ۱۰N و ۵۰N که مجموع وزن نیدل و وزنه روی هم این مقادیر را تشکیل می دهند.



شکل شماره (۳): وزنه های استفاده شده در آزمون خمش حرارتی HDT

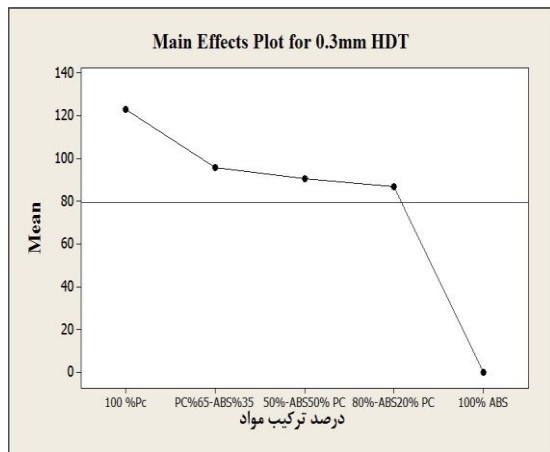
#### ۵- نتایج آزمون خمش حرارتی

بعد از نفوذ سوزن در نمونه سوزن در نمونه به اندازه ۱mm دمای به دست آمده به عنوان دمای نرم شدگی ماده پلاستیکی می باشد. بنابراین میزان دمای مورد نیاز برای نفوذ یک سوزن در نمونه پلاستیکی تحت دما و نیروی مشخص توسط این آزمون تعیین می گردد.

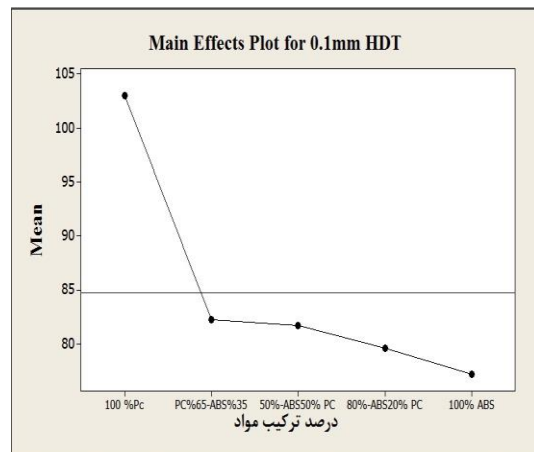
جدول شماره (۳): نتایج بدست آمده از آزمایشات میزان خمش حرارتی

نمونه	۰.۵ mm	۱mm	۲ mm	۳ mm
PC/۱۰۰	۹۴°C	۱۰۳°C	۱۱۵.۹°C	۱۲۳°C
۳۵٪-ABS۶۵٪-PC	۷۶.۳°C	۸۲.۳°C	۸۹.۵°C	۹۵.۸°C
۵۰٪-ABS۵۰٪-PC	۷۸.۶°C	۸۱.۷°C	۸۶.۶°C	۹۰.۷°C
۸۰٪-ABS۲۰٪-PC	۷۸.۶°C	۷۹.۶°C	۸۴.۲°C	۸۷.۱°C
ABS/۱۰۰	۷۵.۳°C	۷۷.۲°C	۸۰.۷°C	—

برای هر نمونه در ۴ تغییر طول دما ثبت شده است. که تغییر شکل قطعات مورد آزمایش در شکل شماره (۴) نشان داده شده است که این نتایج نیز بیان می دارد که در اثر افزودن ABS به پلیمر PC، دمای نرم شدگی کاهش می یابد زیرا ABS حالت رابری داشته و افزودن آن به سامانه موجب نرمی قطعات تولید شده حاصل از ترکیب ABS و PC مورد می شود.



شکل شماره (۸): تاثیر درصد ترکیب مواد پلیمری بر نتایج آزمایشات HDT در نمونه ۳ mm



شکل شماره (۶): تاثیر درصد ترکیب مواد پلیمری بر نتایج آزمایشات HDT در نمونه ۱ mm

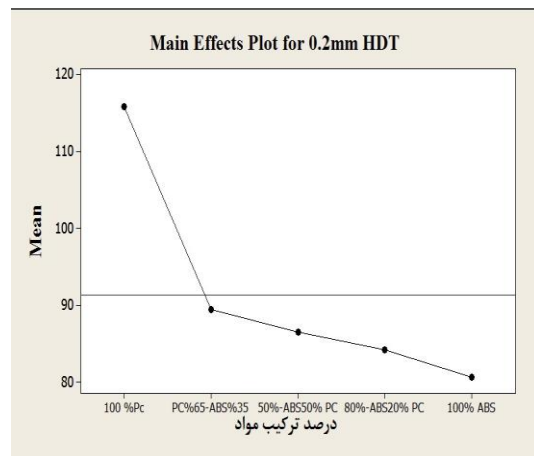
### ۶- بحث و نتیجه‌گیری

برابر داده های بدست آمده حاصل از آزمایش بر روی قطعات تولیدی نتایج بدین شرح بوده که ترموپلاست پلی کربنات خالص بیشترین تاثیر دمای نرم شدگی (خمش حرارتی) را دارا می باشد که در ادامه با افزودن آکریلونیتریل بوتادین استایرن به آن میزان دمای نرم شدگی کاهش می یابد و این رخداد به این دلیل است که چون ABS خالص حالت رابری داشته لذا افزودن آن به مواد پایه (PC) موجب نرمی آلیاژی گردد همچنین لازم به ذکر است در قطعات مورد آزمایش با جنس ABS خالص به دلیل حالت رابری کامل نمونه تغییر ضخامت برای 3mm مشاهده نشد.

### ۷- منابع

- [1]- Balart R ، López J ، Garcia Sanoguera David ، Salvador M. D ، (2005) ، Recycling of ABS and PC from electrical and electronic waste. Effect of miscibility and previous degradation on final performance of industrial blends ، European Polymer Journal ، 2150–2160.
- [2]- Câmara Costa Vinicius ، Wendel Batista Aquino Francisco ، Marcio Paranhos Caio ، Edenir Rodrigues Pereira Filho ، (2017) ، Use of laser-induced breakdown spectroscopy for the determination of polycarbonate (PC) and acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) concentrations in PC/ABS plastics from e-waste ، Waste Management، 1-9.
- [3]- Krache Rachida ، Debbah Ismahane، (2011) ،Some Mechanical and Thermal Properties of PC/ABS Blends، Materials Sciences and Applications ، 404-410.
- [4]- Li Xiangyang \*، Mason James (2009).New Perspective on Heat De°ection Temperature of Glassy Polycarbonate . Product Technology, Polycarbonate Business Unit, Bayer MaterialScience 100 Bayer Road, Pittsburgh, PA 15205.ANTEC .
- [5] - Rafizadeh Mehdi ، Morshedian Jalil, Ghasemi Ismail and Bolouri Alireza، (2005) ، Experimental Relationship for Impact Strength of PC/ABS Blend Based on the Taguchi Method ، Iranian Polymer Journal ، 881-889.

در نموداری که در شکل شماره (۷) نشان داده شده است هنگامی که نمونه ۲mm دچار انحنای گردید بیشترین تاثیر دمای نرم شدگی را ۱۰۰٪ PC دارا می باشد و بعد از آن بیشترین تاثیر را ۶۵٪-ABS۳۵٪ PC و بعد از آن نیز ۵۰٪-ABS۵۰٪ PC و سپس ۸۰٪-ABS۲۰٪ PC و در نهایت کمترین تاثیر نرم شدگی را ۱۰۰٪ ABS دارا می باشد .



شکل شماره (۷): تاثیر درصد ترکیب مواد پلیمری بر نتایج آزمایشات HDT در نمونه ۲ mm

در نموداری که در شکل شماره (۸) نشان داده شده است هنگامی که نمونه ۳mm دچار انحنای گردید بیشترین تاثیر دمای نرم شدگی را ۱۰۰٪ PC دارا می باشد و بعد از آن بیشترین تاثیر را ۶۵٪-ABS۳۵٪ PC و بعد از آن نیز ۵۰٪-ABS۵۰٪ PC و سپس ۸۰٪-ABS۲۰٪ PC و در نهایت کمترین تاثیر نرم شدگی را ۱۰۰٪ ABS دارا می باشد .

[6]- Sahoo Saswata, Misra Manjusri , K. Mohanty Amar (2011). Enhanced properties of lignin-based biodegradable polymer composites using injection moulding process , Bioproducts Discovery and Development Center (BDDC), Department of Plant Agriculture, University of Guelph, Ontario, Canada N1G 2W1b School of Engineering, University of Guelph, Ontario, 1710–1718.

[7]- Wawrzyn Eliza , Schartel Bernhard , Ciesielski Michael , Kretschmar Bernd , Braun Ulrike , Döring Manfred , (2012) , Are novel aryl phosphates competitors for bisphenol A bis(diphenyl phosphate) in halogen free flame retarded polycarbonate/acrylonitrile butadiene styrene blends , European Polymer Journal , 1561–1574 .