



## کنترل فرآیند شکل دهی حرارتی قطعات تزئینی خوردرو با

### استفاده از رویکرد پروفایل

کریم آتشگر (نویسنده مسؤول)

استادیار مجتمع مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی مالک اشتر

Email: atashgar@iust.ac.ir

امید اصغری زرگرآبادی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی مالک اشتر تهران

#### چکیده

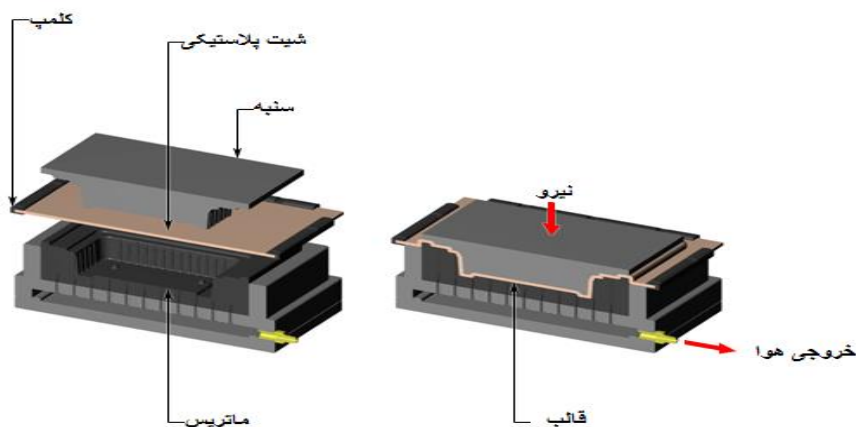
در بسیاری از فرآیندهای تولیدی و خدماتی می توان بجای پایش یک مشخصه کیفی یا یک بردار مشخصات کیفی، با استفاده از رویکرد رگرسیونی، پارامترهای رابط بین متغیرهای مستقل و متغیر پاسخ را پایش کرد. در ادبیات کنترل فرآیند آماری به رابطه رگرسیونی بین متغیرهای مستقل و متغیر پاسخ، پروفایل گفته می شود. گزارش های علمی منتشر شده توسط محققین نشان می دهد که پایش پروفایل ها در فرآیندهایی که بتوان رابطه بین متغیرهای مستقل و پاسخ را بدرستی بدست آورد، موجب اثربخشی بیشتر کنترل آماری آن فرآیند می شود. رویکرد پروفایلی به مهندسين کیفیت کمک می کند که بتوانند رفتار عملکردی مشخصه های کیفی یک فرآیند را، به صورت یک تابع بررسی نمایند. در این مقاله با استفاده از رویکرد پروفایلی، فرآیند ترموفرمینگ (Thermoforming یا شکل دهی حرارتی) قطعه روگلیگیری خوردرو سمند، برای فاز ۱ کنترل آماری، مورد توجه قرار گرفته است. این تحقیق نشان می دهد که با استفاده از پارامترهای رابطه رگرسیونی بدست آمده در فاز یک کنترل آماری، بصورت اثربخشی می توان فرآیند مورد نظر را در فاز دو کنترل آماری، پایش نمود.

**کلمات کلیدی:** پروفایل، ترموفرمینگ، فاز یک کنترل آماری.

## ۱- مقدمه

در صنایع خودروسازی، برای تولید بسیاری از قطعات تزئینی، از فرآیندهای ترمو فرمینگ (یا شکل دهی حرارتی) استفاده می شود. ترمو فرمینگ یک فرآیند شکل دهی ثانویه است که به کمک آن می توان ورق های پلیمری را بخوبی شکل دهی کرد. در فرآیند ترمو فرمینگ ابتدا ورق ترموپلاستیک، بعنوان ماده اولیه، بر اساس دستورالعمل های فنی، تا دمایی که موجب نرم و شکل پذیر شدن آن می شود، حرارت داده می شود. لازم بذکر است که در این فرآیند حرارت دهی، دما نباید آنقدر افزایش یابد که موجب ذوب و جریان یابی پلیمر گردد.

قطعه روگلیگیری خودرو سمند شرکت ایران خودرو، که یک قطعه تزئینی محسوب می شود، یکی از قطعاتی است که در تولید آن از فرآیند ترمو فرمینگ استفاده می شود. روگلیگیری این خودرو از سه لایه که شامل دو لایه موکت، و یک لایه پلیمر است، تشکیل می شود. لازم به ذکر است که جنس پلیمر بین لایه های موکت، ترکیبی از *PP* و *PE* است. پلی اتیلن (*PE*) یکی از ساده ترین و ارزان ترین پلیمرها و از پر مصرف ترین مواد پلاستیکی در صنایع محسوب می شود. این ماده از پلیمریزاسیون اتیلن به دست می آید و به اختصار با حروف *PE* نشان داده می شود. پلی پروپیلن (*PP*) نیز مشابه پلی اتیلن است، با این تفاوت که در *PP* یک گروه جانبی متیل بجای هیدروژن نشسته است. همانطور که در شکل ۱ (برای یک قطعه مفروض) نشان داده شده است، قطعه پلیمری ابتدا تا نقطه نرمی خود حرارت داده می شود و بعد از آن، زیر پرس قرار می گیرد، و در اثر فشاری که از طریق سمبه و ماتریس قالب بر آن اعمال می شود، شکل مورد نظر بدست می آید. لازم بذکر است که اگر قطعه مورد نظر به اندازه کافی حرارت نبیند، با توجه به فشاری که قطعه در هنگام فرمینگ باید تحمل کند، و میزان کششی که به قطعه برای شکل دهی اعمال می شود، امکان پدید آمدن گسستگی یا پارگی در سطح قطعه بسیار بالا می باشد. مراحل فرآیند تولید قطعه مورد مطالعه در این مقاله نیز بطور شماتیک در فلوجارت شکل ۲ نشان داده شده است.

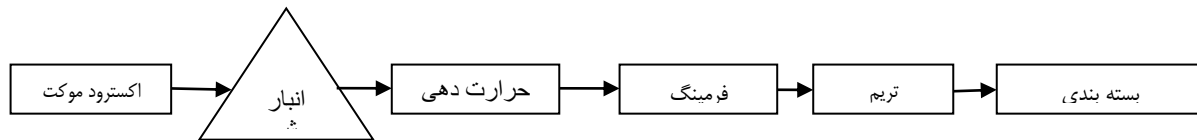


شکل ۱: فرآیند شکل دهی یک قطعه را استفاده از فرآیند ترمو فرمینگ (www.custompartnet.com)

با توجه به توضیحات فوق، کنترل حرارت دهی، در این فرآیند، بسیار حائز اهمیت است. در حال حاضر، در فرآیند کارخانه مورد مطالعه، کنترل حرارت برای اجاق های موجود، توسط *PLC* انجام می شود. بطوری که در فرآیند حرارت دهی شیت موکت، آلارم زنگ به اپراتور بعنوان عامل کنترل کننده زمان حرارت دهی تلقی می شود. در واقع اپراتور از طریق آلارم زنگ مطلع می شود که لازم است مرحله حرارت دهی متوقف، و شیت موکت از درون اجاق حرارتی خارج، و به مرحله پرسکاری منتقل شود. عمده ترین نقاط ضعف روش موجود در مدیریت کنترل فرآیند حرارت دهی که در بالا تشریح گردید، عبارت است از:

۱- در این فرآیند فرض شده است که ضخامت تمام شیت ها یکسان است، و لذا *PLC* موجود در فرآیند تابعی از زمان حرارت دهی در نظر گرفته شده است، و آلارم دستگاه نیز بر همین اساس تنظیم گردیده است. واقعیت آن است که بطور طبیعی و ذاتی، وجود تغییرات در ضخامت شیت ها انکار ناپذیر است، و با توجه به آنکه میزان ضخامت رابطه مستقیمی با میزان جذب انرژی موثر در شیت دارد، لذا خود به خود با تغییر ضخامت، میزان حرارت جذب شده در شیت های مختلف با هم تفاوت می کند. تاثیر این مهم، در کنترل فرآیند موجود عملاً مورد توجه قرار نگرفته است.

۲- در این فرآیند، حرارت از نوع تابشی است، بطوری که حرارت از طریق المنت های میله ای موجود به شیت های موکت منتقل می شود. از آنجاییکه مقدار عددی نشان داده شده توسط نمایشگر *PLC* بیانگر درصد انرژی است که هریک از المنت ها در اجاق تولید می کنند، لذا افزایش یا کاهش مقدار در صد انرژی المنت ها بطور طبیعی می تواند در جذب انرژی قطعه موثر باشد. فرآیند کنترلی موجود در کارخانه مورد مطالعه، تحت کنترل بودن میزان افزایش یا کاهش انرژی، و اثر دمایی متقابل آن بر روی شیت ها را مورد توجه قرار نمی دهد.



شکل شماره (۲): نمای کلی فرآیند تولید قطعه روگلیگیری خوردرو سمند

در این مقاله با استفاده از رویکرد پروفایلی، یک رابطه رگرسیونی خطی ساده برای فاز یک کنترل آماری فرآیند قطعه روگلیگیری خوردرو سمند، که با استفاده از روش ترموفرمینگ تولید می شود، پیشنهاد می شود. این رویکرد می تواند، تحت کنترل بودن یا خارج از کنترل بودن بخشی از فرآیند تولید قطعه روگلیگیری سمند را (فرآیند حرارت دهی) نشان دهد.

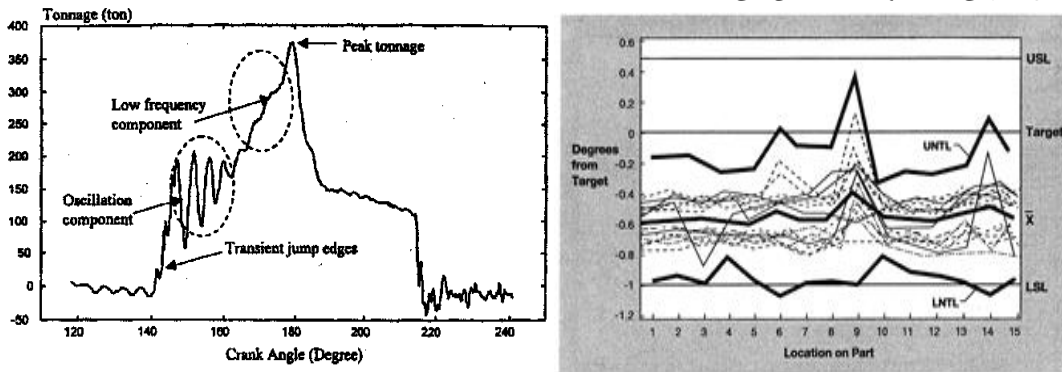
بخش بعدی این مقاله ابتدا به معرفی رویکرد پروفایلی و اهمیت آن در کنترل آماری فرآیندها می پردازد. در این بخش مطالعات کاربردی گزارش شده در مقالات علمی بصورت نسبتا جامعی مورد توجه قرار می گیرد. در بخش سوم این مقاله به متدولوژی استفاده شده در این تحقیق می پردازد. نحوه جمع آوری و بررسی داده ها در بخش چهارم مورد بررسی قرار گرفته است. ارزیابی پروفایل های بدست آمده و قابل استفاده بودن آنها در این تحقیق، بصورت تفصیلی در بخش پنجم بحث شده است. در بخش ششم این مقاله به بررسی پارامترهای پروفایل فاز یک فرآیند مطالعه شده، پرداخته شده است. بخش آخر مقاله نیز به نتیجه گیری از تحقیق گزارش شده، اختصاص دارد.

## ۲- مواد و روشها

در کنترل فرآیند آماری، بطور معمول کیفیت یک فرآیند یا محصول به وسیله توزیع یک متغیر تصادفی و یا یک بردار، که نشان دهنده چند مشخصه کیفی وابسته بهم است، پایش می شود. در یک چنین شرایطی، این نوع مشخصه کیفی بوسیله یک نمودار کنترلی برای فرآیندهای تک متغیره یا نمودارهای کنترلی برای فرآیندهای چند متغیره کنترل می شود. اما واقعیت آن است که در بعضی از شرایط واقعی، کیفیت یک فرآیند یا محصول می تواند بوسیله رابطه بین یک یا چند متغیر پاسخ و یک یا چندین متغیر مستقل توصیف شود. در ادبیات کنترل کیفیت آماری به این رابطه، پروفایل گفته می شود. از آنجاییکه پروفایل ها نسبت به روش های سنتی بشکل واقعی تری مشخصه کیفی محصول را به تصویر می کشد، لذا در سالهای اخیر نویسندگان و محققان متعددی با ارائه گزارشات علمی، پروفایل ها را بعنوان موضوعی با کاربرد مهم و اثربخش مطرح کرده اند (Kang&Albin, 2000). در گزارش خود نشان دادند که در مواردی می توان فرآیند کالیبراسیون را به خوبی به وسیله یک پروفایل خطی پایش کرد. (Kang&Albin, 2000). در مقاله خود دو مثال از کاربرد پروفایل ها نشان دادند. اولین مثال آنها در مورد اسانس یا نوعی شیرین کننده مصنوعی بود. در این مثال کاربردی ویژگی مهم مقدار اسانسی که می تواند در هر لیتر آب در دماهای مختلف حل شود، مورد بررسی و پایش قرار گرفته است (Kang&Albin, 2000). در دومین مثال، یک پروفایل خطی را برای کالیبراسیون، در صنایع ساخت نیمه هادی پایش کردند. در این مثال کاربردی آنها نشان دادند. که عملکرد یک کنترل کننده جریان گاز، می تواند به وسیله یک معادله رگرسیونی خطی توصیف شود.

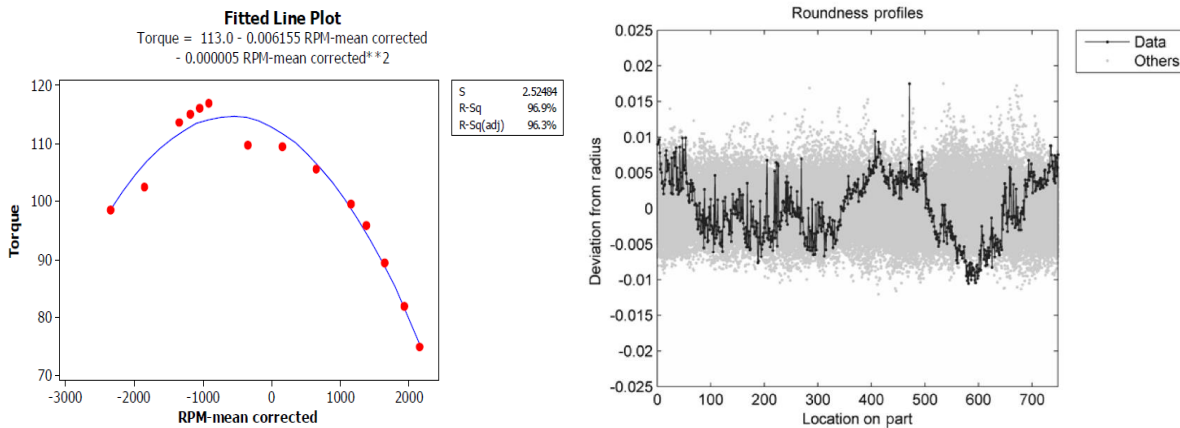
در ادبیات پروفایل ها نویسندگان دیگری نیز با ارائه مثال های کاربردی تاثیر مثبت استفاده از رویکرد پروفایلی را در کنترل فرآیند آماری نشان داده اند. نتر و همکاران (Neter et al, 1990) سه مثال ارائه دادند. که در آن فرآیند بوسیله یک پروفایل خطی توصیف می شود. مستک و همکاران (Mestek et al, 1994)، پایداری منحنی های کالیبراسیون خطی در تعیین فتو متریک  $Fe^{3+}$  با اسید سولفوسالیسیلیک<sup>۱</sup> را بررسی کردند. شرکت هواپیمایی بوئینگ یک نمودار کنترل مکان با استفاده از پروفایل

پیشنهاد کرده است. در روش پیشنهادی بوئینگ حدود کنترل استفاده شده برای هر مکان فقط بستگی به پاسخ ها در آن مکان دارد. بنابراین ، روش مذکور به طور کامل از داده ها استفاده نمی کند، چون ساختار چند متغیره آنها را در نظر نمی گیرد. شکل 3 نمودار مکان پیشنهاد شده توسط بوئینگ را نشان می دهد. متغیر پاسخ در این مثال، زاویه بالای بال هواپیما می باشد که در ۱۵ مکان برای ۱۳ بال اندازه گیری شده است. یانگ و همکاران (Young et al., 1999) رابطه بین چگالی عمودی تخته های نئوپان و عمق های مختلف را به صورت یک پروفایل غیرخطی مطرح می کنند. در این فرآیند روش نمونه برداری استاندارد از چگالی عمودی، استفاده از یک پروفایل متر می باشد. که از فن آوری لیزر بهره می برد. با استفاده از این پروفایل متر عمق های مختلف اسکن شده و چگالی هر یک اندازه گیری می شود. واکر و رایت (Walker & Wright, 2002) از این مثال استفاده کرده و روشی ناپارامتری مبتنی بر مدل های جمع پذیر را برای مقایسه منحنی هایی از این نوع پیشنهاد کردند. جین و شین (Jin J& Shi, 1999, 2001) نیز از پروفایل های موجی شکل برای کنترل سیگنال های تناژ در فرآیند پرسکاری استفاده کردند. آنها مثالی از کاربرد روش خود را در فرآیندهای شکل دهی، جوشکاری و... ارائه داده اند. شکل شماره ۴ پروفایل موجی شکل معرفی شده توسط را نشان می دهد.



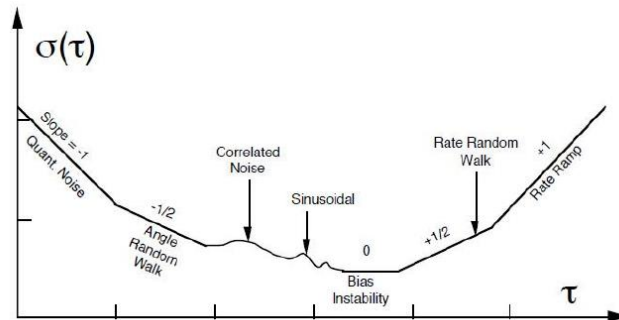
شکل شماره (۳): نمودار مکان ارائه شده توسط (Boeing, 1998) شکل شماره (۴): پروفایل موجی سیگنال های تناژ در فرآیند پرسکاری (Jin J& Shi, 1999)

کولوزیمو و همکاران (Colosimo et al, 2008) از پروفایل های غیر خطی برای کنترل تلرانس هندسی گردی و استوانه ای که به ترتیب تلرانس های هندسی ۲ و ۳ بعدی می باشند. استفاده نمودند. مثال مورد بررسی آنها یک سیلندر استوانه ای شکل بود. که آنها روشی آماری برای کنترل تلرانس های هندسی مذکور، در این مثال عملی ارائه کردند. شکل ۵ پروفایل گردی مورد بررسی توسط آنها را نشان می دهد. امیری و همکاران (Amiri et al, 2010) از پروفایل های چند جمله ای برای کنترل رابطه بین دور موتور و گشتاور موتور خودرو های سواری استفاده نمودند. شکل ۶ پروفایل مورد بررسی توسط آنها را نشان می دهد.



شکل شماره (۵): پروفایل گردی (Colosimo et al, 2008) شکل شماره (۶): برازش مدل رگرسیون چند جمله ای درجه ۲ (Amiri et al, 2010)

آتاشگر و همکاران (Atashgar et al, 2015) از پروفایل غیرخطی آلن واریانس برای پایش نوسان سازها و تقویت کنندهها استفاده نمودند. شکل ۷ پروفایل مورد بررسی توسط آنها را نشان میدهد.



شکل شماره (۷): پروفایل غیرخطی آلن واریانس (Atashgar et al, 2015)

بررسی های مقالات مختلف حاکی از آن است که با توجه به نوع رگرسیون مورد استفاده برای مدل نمودن ارتباطات بین متغیرها، پروفایل ها به دسته های مختلف تقسیم بندی شده است. بعنوان نمونه می توان به تحقیقاتی مانند: (Vaghefi et al., 2009)، (Noorossana et al., 2010)، (Amiri et al., 2014) و (Zuo et al., 2012) در حوزه پروفایل های چند متغیره، (Yeh et al., 2009) در حوزه پروفایل های لاجستیک، (Kazemzadeh et al., 2008) و (Amiri et al., 2010) در حوزه پروفایل های ناپارامتریک، (Colosimo et al., 2008)، (Moguerza et al., 2007)، (Ding et al., 2006) و (Atashgar et al, 2015) در حوزه پروفایل های غیر خطی، (Jin J& Shi, 1999, 2001) در حوزه پروفایل های موجی شکل، اشاره نمود. در جدول شماره ۱، خلاصه ای از تحقیقات کاربردی انجام شده بر روی پروفایل ها، با توجه به کاربرد، نوع پروفایل، و فاز کنترل آماری، قابل مشاهده است.

جدول شماره (۱): خلاصه ایی از گزارشات منتشر شده در رابطه با کاربرد پروفایل ها

ردیف	مرجع	موضوع کاربردی	نوع پروفایل و فاز کنترل کیفی مورد استفاده
۱	چین و شی (۱۹۹۹)	کنترل سیگنالهای تناژ در فرآیند پرسکاری	پرو فایل های موجکی شکل
۲	کنگ و آلباین (۲۰۰۰)	کنترل شیرین کننده های مصنوعی	پروفایل خطی ساده فاز ۱
۳	محمود و همکاران (۲۰۰۷)	کالیبراسیون در ناسا	پرو فایل خطی چندگانه فاز
۴	نورالسنا و همکاران (2008)	کالیبراسیون پرس ۱۶۰۰ تن	پروفایل های چندمتغیره خطی چندگانه فاز ۱ و ۲
۵	سقای و همکاران (2010)	کنترل عملکرد ریه یک بیمار ریوی	پروفایل چند جمله ای فاز ۱ و ۲
۶	کولوسیمو و همکاران (۲۰۱۰)	کنترل تلرانس های هندسی میل لنگ	پروفایل های غیر خطی فاز ۱ و ۲
۷	امیری و همکاران (۲۰۱۰)	رابطه گشتاور موتور خودرو و سرعت خودرو	پروفایل چند جمله ای فاز ۱ و ۲
۸	عبادی و همکاران (۲۰۱۰)	شاخص قابلیت فرآیند برای پروفایل های خطی ساده	پروفایل های خطی ساده،
۹	امیری و همکاران (۲۰۱۱)	بررسی اثر رنگ کفش بر روی جوراب با توجه به دمایی که در عملیات رنگ کاری کفش انجام می شود	پروفایل خطی ساده، فاز ۱
۱۰	امیری و همکاران (۲۰۱۲)	پایش قابلیت فرآیند در پروفایل خطی چند متغیره ساده	پروفایل خطی چند متغیره

۱۱	لی زینگ و همکاران (۲۰۱۴)	استفاده از پروفایل های غیر نرمال در فرایند پوشش دهی شیشه	پروفایل های غیر نرمال ، فاز ۱
۱۲	فوکوانگ وان (۲۰۱۴)	تجزیه و تحلیل عملکرد فرآیند برای همبستگی بین پروفایل های خطی	پروفایل های خطی ساده ،
۱۳	آتشگر و همکاران (۲۰۱۵)	پایش پروفایل غیرخطی آلن وارینس بر روی نوسان ساز ها و تقویت کنندها	پروفایل های غیر خطی فاز ۲

آتشگر (Atashgar 2012) برای طراحی یک پروفایل مراحل زیر را پیشنهاد داده است:

۱. بررسی کنید که بر روی یک مشخصه فنی، که می خواهید آن را بعنوان متغیر پاسخ معرفی کنید، چه متغیرهایی تأثیر می گذارند. بعبارت دیگر بررسی کنید که مشخصه فنی مورد نظر تابعی از چه متغیرهایی است. برای پروفایل های خطی ساده می توانید از نمودار پراکندگی استفاده کنید. در ضمن، در این مرحله باید مراقب انتخاب متغیرها بود. در بسیاری از مواقع تجربه قبلی افراد تأثیر بسزایی در این مرحله دارد. توجه داشته باشید که لازم نیست در طراحی یک مدل رگرسیونی مناسب، از تمامی متغیرهای ممکن استفاده کنید، بلکه لازم است متغیرهای مدل در حد کفایت باشد.
۲. اطمینان از وجود رابطه واقعی بین متغیرهای مستقل و متغیر پاسخ.
۳. فرضیات مدل را مشخص کنید (مثلا خطاها i.i.d هستند، نوع توزیع خطاها، وجود و یا عدم وجود همبستگی و ...)
۴. فرآیند را بررسی کنید و کلیه عواملی که می تواند بر عملکرد طبیعی فرآیند تأثیر منفی داشته باشد، از فرآیند حذف، و یا آنها را اصلاح کنید. بعبارت دیگر در این مرحله باید سعی شود، بر اساس شواهد ظاهری، و داده های معمول در دسترس، هیچ عامل انحراف شناخته شده ایی که بر فرآیند می تواند تأثیر غیر طبیعی داشته باشد، در فرآیند مشاهده نشود.
۵. بر اساس یک طرح نمونه گیری، از فرآیند،  $K$  نمونه  $n$  تایی انتخاب کرده، و مشخصات مورد نظر را اندازه گیری و ثبت نمایید.
۶. تست نرمال بودن داده های بند ۵ انجام دهید. اگر در بند ۳ فرض شده است که داده ها از توزیعی غیر از توزیع نرمال پیروی می کنند، تست را برای توزیع مورد نظر انجام دهید. در صورت مناسب نبودن داده ها به بند ۴ بازگردید.
۷. پارامترهای پروفایل مورد نظر را با استفاده از داده های حاصل از بند ۵ تخمین بزنید. در این مرحله شما  $K$  تا پروفایل دارید، که هر یک با استفاده از  $n$  نمونه تخمین زده شده اند.
۸. در رگرسیون های چند متغیره، گاهی به زیرمجموعه ایی از مشاهدات برخورد می کنیم که دارای نفوذ و تأثیر غیر عادی هستند. لذا در این حالت، داده های با نفوذ را حذف کنید .
۹. در پروفایل های چند متغیره، این انتظار وجود دارد که بین متغیر پاسخ، و متغیرهای مستقل، و حتی بین خود متغیرهای مستقل، همبستگی وجود داشته باشد. در مواردی که این همبستگی متقابل خیلی شدید است، از آن بعنوان پدیده چند هم خطی یاد می کنند. این پدیده می تواند اثرات قابل توجهی بر روی تخمین ضرایب رگرسیون و کاربرد مدل برآورد شده، داشته باشد. در صورت وجود چند همخطی، در تخمین پارامترها، متناسب با وجود این پدیده اقدام کنید.
۱۰. ضریب تعیین را محاسبه کنید . با ضریب تعیین، مشخص می شود که مدل تخمین زده شده، تا چه حد قدرت توضیح دهندگی بالایی از فرآیند دارد.
۱۱. انتخاب نمودار کنترل مناسب، و محاسبه حدود کنترل، برای پایش پارامترهای تخمین زده شده پروفایل، جهت بررسی پایداری فرآیند.
۱۲. بررسی تحت کنترل بودن پارامترهای مدل پروفایل، و سپس شناسایی پروفایل های خارج از کنترل.
۱۳. حذف داده های پروفایل های خارج از کنترل، از داده های بند ۴، و ریشه یابی دلایل خارج از کنترل آنها، حذف عوامل انحرافات با دلیل از فرآیند، و برگشت به بند ۶

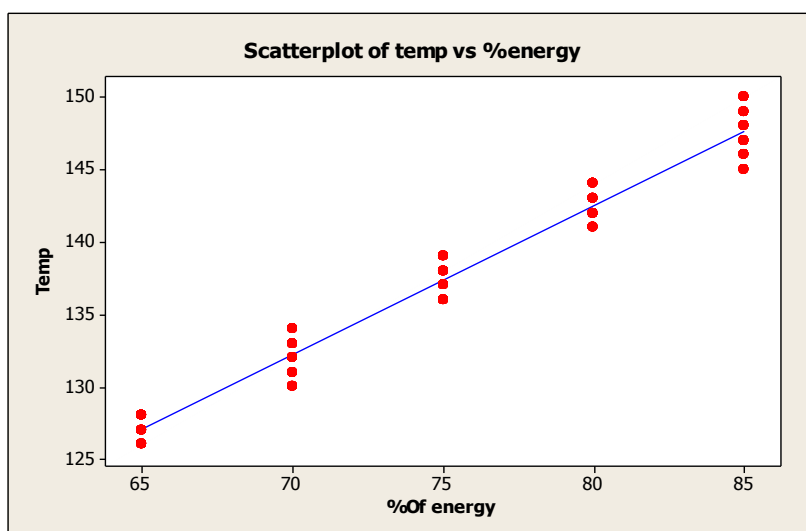
۱۴

برای جمع آوری اطلاعات فرآیند شکل دهی حرارتی قطعه روگلیگیری خوردرو سمنده، از ترمومتر لیزری استفاده شده است. ترمومتر لیزری یا IR ترمومتر، به وسایلی گفته می شود که می توانند از فاصله مشخصی دمای سطح اجسام را اندازه گیری کرده و به صورت دیجیتالی آن را نمایش دهند. در این تحقیق برای جمع آوری داده های مورد نیاز، دمای هر شیت، پس از خروج از اجاق حرارت دهی، در سه ناحیه اندازه گیری شده است. این سه ناحیه بگونه ای انتخاب شدند که تقریباً تمام سطح شیت را پوشش دهند. این روش می تواند برآورد مناسبی از دمای تقریبی سطح شیت را اندازه گیری نماید. لازم به توضیح است که این سه ناحیه برای تمام شیت های نمونه بصورت یکسانی رعایت شده است. در این تجزیه و تحلیل، درصد انرژی خروجی از المنت های اجاق که در نمایشگر PLC، قابل رویت است. به عنوان متغیر مستقل، و دمای هر شیت به عنوان متغیر وابسته منظور شده است. در این تحقیق، جهت تحلیل بهتر پروفایل ها، درصد انرژی المنتهای اجاق از ۶۵٪ تا ۸۵٪ با فاصله های ۵٪ برای هر شیت، تغییر داده شده است. در این تحقیق، روش ثبت داده ها فوق برای ۳۰ نمونه سه تایی انجام گردید و در نتیجه ۳۰ پروفایل بدست آمد. نتایج بدست آمده در جدول ۲ قابل مشاهده است. نمودار شکل شماره ۸ نیز پراکندگی داده های نمونه ها را برای میزان انرژی های مختلف نشان می دهد.

جدول شماره (۲): دمای بدست آمده برحسب درجه سانتی گراد، برای هر یک از پروفایل ها، در درصد های انرژی مختلف

% Of energy	Profiles				
	65	70	75	80	85
1	130	132	135	139	144
2	128	131	133	136	140
3	129	131	134	137	142
4	130	130	134	137	143
5	129	132	135	138	145
6	127	131	136	139	144
7	129	135	138	139	143
8	130	133	135	139	143
9	130	132	136	139	145
10	127	131	135	138	146
11	125	130	132	136	142
12	127	131	132	135	140
13	126	132	132	137	144
14	128	130	135	139	142
15	129	132	136	138	145
16	130	132	135	139	144
17	127	131	133	136	140
18	130	131	134	138	145
19	130	130	133	137	143
20	129	132	135	138	145
21	127	131	135	138	144
22	129	135	137	139	143
23	130	133	136	139	142
24	130	132	136	139	145
25	127	131	135	139	145

26	125	130	134	136	141
27	127	131	132	135	141
28	125	132	132	137	143
29	125	130	136	138	142
30	128	132	136	139	143



شکل شماره (۸): پراکندگی هریک از نمونه های پروفایلها

مومنی و قیومی (Moemeni & Ghayoumi 2011) شرایط استفاده از پروفایل خطی (رگرسیون خطی) را برای موارد زیر می داند:

۱- میانگین (امید ریاضی) خطاها صفر باشد.

۲- واریانس خطاها ثابت باشد.

مفروضات ۱ و ۲ به این معناست که توزیع خطاها نرمال باشد.

۳- بین خطاهای مدل همبستگی وجود نداشته باشد. به عبارتی  $COV(e_i, e_j) = 0$

۴- متغیر وابسته دارای توزیع نرمال باشد.

حال به برقراری هریک از این شروط برای فرآیند مورد مطالعه خواهیم پرداخت.

یکی از مواردی که در استفاده از مدل رگرسیونی مد نظر قرار می گیرد، استقلال خطاها (یعنی تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش بینی شده توسط مدل رگرسیون) از یکدیگر است. در صورتی که فرضیه استقلال خطاها رد شود و خطاها با هم همبستگی داشته باشند نمی توانیم از مدل رگرسیونی استفاده کنیم. برای بررسی همبستگی بین خطاها، در این تحقیق از آزمون دوربین-واتسون استفاده شده است.

اگر همبستگی بین خطاها را با  $p$  نشان دهیم آماره دوربین-واتسون به صورت زیر خواهد شد:

(۱)

$$DW=2(1-p)$$

که مقدار این آماره می تواند بین ۰ تا ۴ تغییر نماید. چنانچه آماره در بازه های زیر قرار داشته باشد نتایج زیر را نیز می توان استنباط نمود:

- اگر  $p=0$  باشد مقدار  $DW=2$  خواهد شد که نشان می دهد خطاها از هم مستقلند (عدم خود همبستگی)

- اگر  $p=1$  باشد مقدار  $DW=0$  خواهد شد که نشان می دهد خطاها دارای خود همبستگی مثبت هستند.



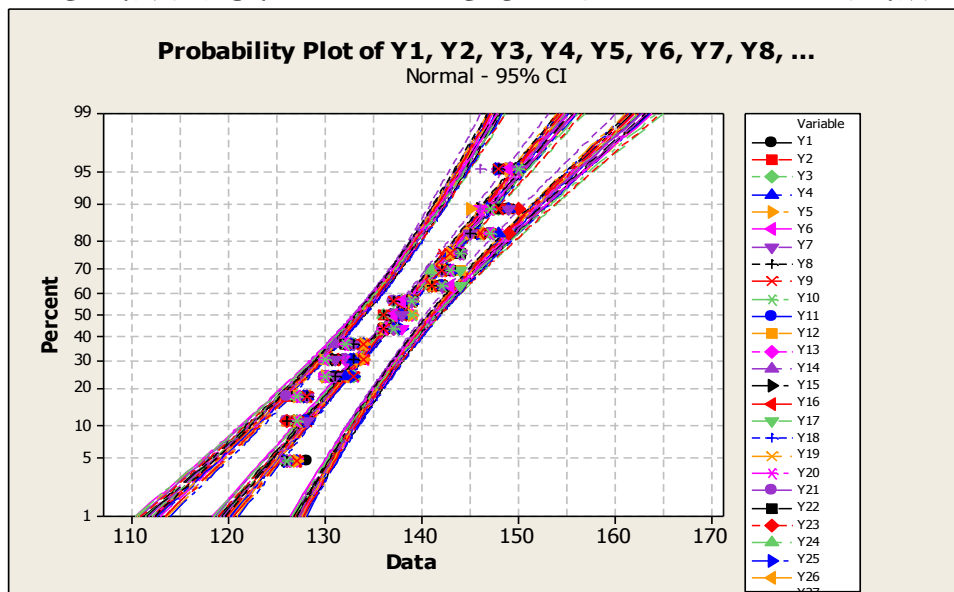
- اگر  $p=1$  باشد مقدار  $DW=4$  خواهد شد که نشان می دهد خطاها دارای خود همبستگی منفی هستند.  
- چنانچه این آماره در بازه  $1/5$  تا  $2/5$  قرار گیرد عدم همبستگی بین خطاها پذیرفته می شود وگرنه همبستگی بین خطاها وجود دارد.

لذا با توجه به حالات فوق مقدار آماره دورین-واتسون برای هریک از پروفایل ها محاسبه گردید که نتایج آن در قالب جدول زیر قابل مشاهده می باشد

جدول شماره (۳) : مقدار آماره دورین-واتسون را برای هر پروفایل

بازه قابل قبول	مقدار آماره	شماره پروفایل	بازه قابل قبول	مقدار آماره	شماره پروفایل
1.5-2.5	2.5	1	1.5-2.5	2.12	1
1.5-2.5	1.77	2	1.5-2.5	2.09	2
1.5-2.5	1.7	3	1.5-2.5	2.16	3
1.5-2.5	1.96	4	1.5-2.5	2.5	4
1.5-2.5	2.04	5	1.5-2.5	1.43	5
1.5-2.5	2.47	6	1.5-2.5	1.71	6
1.5-2.5	2.36	7	1.5-2.5	1.75	7
1.5-2.5	1.47	8	1.5-2.5	2.45	8
1.5-2.5	1.56	9	1.5-2.5	1.46	9
1.5-2.5	1.99	10	1.5-2.5	2.5	10
1.5-2.5	2.19	11	1.5-2.5	1.37	11
1.5-2.5	1.88	12	1.5-2.5	1.49	12
1.5-2.5	2.5	13	1.5-2.5	1.43	13
1.5-2.5	2.13	14	1.5-2.5	1.96	14
1.5-2.5	1.87	15	1.5-2.5	2.49	15

با توجه به نتایج جدول ۳ می توان نتیجه گرفت که فرض استقلال خطاها، برای داده های جمع آوری شده، برقرار است. زیرا همانطور که مشاهده می شود، مقدار آماره دورین-واتسون تمام پروفایل ها عددی بین  $1/5$  تا  $2/5$  است.  $(1/5 \leq DW \leq 2/5)$  یکی از مفروضاتی که برای هر پروفایل باید بررسی شود، پیروی خطاها از توزیع نرمال است. برای بررسی این مهم از نمودار نرمالیته برای تمام پروفایل ها استفاده شده است. شکل ۹ نشان می دهد که خطاها از توزیع نرمال پیروی می کنند.



شکل شماره (۹): تمام ۳۰ پروفایل در ۳۰ نمودار

با توجه به مطالعات شبیه‌سازی انجام شده توسط محمود و وودال (Mahmoud & Woodall 2004) مشخص گردید که روش آماره  $F$  بهترین عملکرد کلی را در کشف شیفتهای پارامترهای فرآیند دارد. با توجه به گزارش محمود و وودال (Mahmoud & Woodall 2004) در این تحقیق برای مقایسه ۳۰ پروفایل بدست آمده با یکدیگر، از روش آماره  $F$  استفاده شده است. محمود و وودال (Mahmoud & Woodall 2004) عنوان می‌کنند تست خطی بودن  $k$  خط رگرسیون قبل از بکار بردن روش فاز ۱ از اهمیت بالایی برخوردار است. برای این منظور نیاز به تکرارهایی بیش از یکی در یک یا چند سطح از متغیر مستقل است. گزارش این تست برای اولین پروفایل نمونه، در شکل ۱۰ نشان داده شده است که نتایج حاکی از برازش خطی مناسب می‌باشد. همچنین برای تمامی پروفایل‌ها این تست تکرار شده و نتایج حاکی از برازش خطی مناسب آنها بوده است.

Regression Analysis: Temp 1 versus energy					
The regression equation is:					
Temp 1 = 59/9 + 1/04 energy					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	59/933	2/613	22/93	0/000	
Energy	1/04000	0/03469	29/98	0/000	1/000
S = 0/950034 R-Sq = 98/6% R-Sq (adj) = 98/5%					
PRESS = 16/0901 R-Sq (pred) = 98/04%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	811/20	811/20	898/77	0/000
Residual Error	13	11.73	0.90		
Lack of Fit	3	1/73	0/58	0/58	0/643
Pure Error	10	10/00	1/00		
Total	14	822/93			

شکل شماره (۱۰): تحلیل واریانس و خطی بودن برای اولین پروفایل

با توجه به پیشنهاد (Mahmoud & Woodall 2004) برای اطمینان از پایداری پراکندگی در حول خط رگرسیونی تطبیق داده شده از یک نمودار کنترل استفاده می‌کنیم. (Mahmoud & Woodall 2004) برای کنترل پراکندگی رسم مقادیر

$F = \frac{MSE_j}{MSE_{-j}}$  را به جای رسم مقادیر  $MSE_j$  توصیه می‌کنند. که علت آن نیز ثابت بودن حدود کنترل است.  $\frac{MSE_j}{MSE_{-j}}$

دارای توزیع  $F$  با  $n-2$  و  $(k-1)(n-2)$  درجه آزادی می‌باشد بطوری که  $n$  برابر تعداد نمونه در هر پروفایل، و  $k$  نشان دهنده

تعداد پروفایل‌ها است. همینطور  $MSE_{-j} = \sum_{i \neq j}^k \frac{MSE_i}{k-1}$  است. بنابراین یک نمودار کنترل شوهارت برای پایش واریانس

فرآیند  $\sigma^2$  با استفاده از مقادیر  $MSE_j$  دارای حدود کنترل بالا و پایین زیر است.

$$LCL = F_{(n-2), (k-1)(n-2), \frac{\alpha}{2}}$$

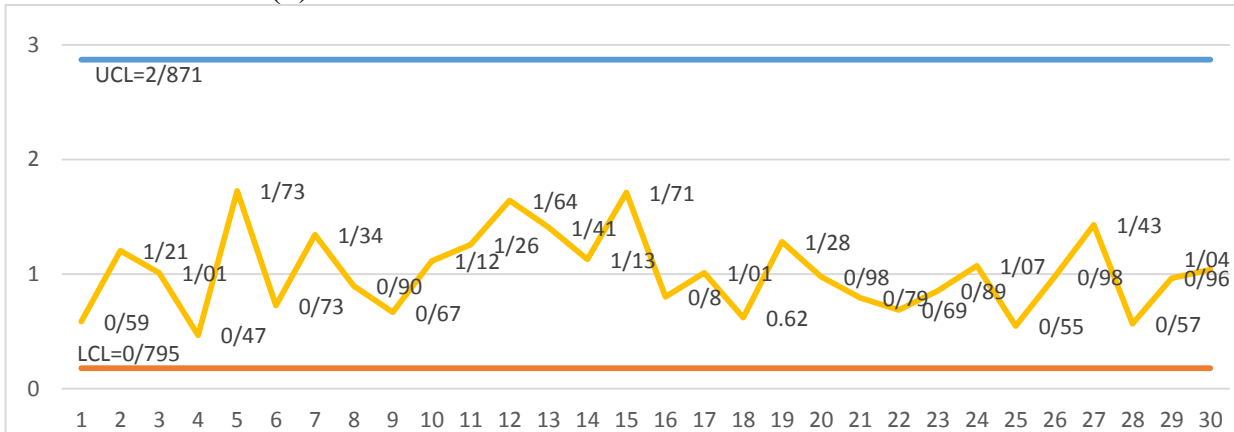
$$UCL = F_{(n-2), (k-1)(n-2), (1-\frac{\alpha}{2})}$$

(2)

برای محاسبه مقدار  $\alpha$  در نمودار کنترل پراکندگی‌ها از فرمولهای ۳ و ۴ که توسط (Mahmoud & Woodall 2004) پیشنهاد شده استفاده می‌کنیم، در این رابطه مقدار  $K$  برابر تعداد پروفایل‌ها می‌باشد. که با فرض مقدار خطای کلی  $\alpha = 0.05$  مقدار  $\alpha_2$  برابر با  $0.000567$  خواهد شد.

$$\alpha_1 = 1 - (1 - \alpha)^{1/3} \quad (3)$$

$$\alpha_2 = 1 - (1 - \alpha_1)^{1/K} \quad (4)$$



شکل شماره (۱۱): نمودار پراکندگی حاصل از فرآیند ترموفورمینگ

همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، پراکندگی نمونه های حاصل از فرآیند ترموفورمینگ در فاز ۱ کنترل آماری، تحت کنترل است.

در این مقاله برای پایش فرآیند اکسترودر در فاز ۱ از روش محمود و وودال (Mahmoud & Woodall, 2004) استفاده می شود. محمود و وودال (Mahmoud & Woodall, 2004)، مسئله پایش پروفایل های خطی در فاز ۱ را به صورت مساله مقایسه خطوط رگرسیون مطرح کردند. در ادبیات تجزیه و تحلیل رگرسیون یک رویکرد آماری بر اساس استفاده از متغیرهای نشانگر (متغیرهای مجازی) برای مقایسه دو یا چند خط رگرسیون در یک مدل رگرسیون چندگانه وجود دارد. (Neter et al. 1990) در کتاب خود چگونگی استفاده از متغیرهای نشانگر را در مقایسه خطوط رگرسیون نشان دادند. فرض کنید که  $k$  نمونه مشاهدات دو متغیره وجود دارد و بایستی تست شباهت خطوط رگرسیون همه نمونه ها صورت گیرد. اولین گام در تکنیک متغیرهای نشانگر (Mahmoud & Woodall, 2004)، ادغام  $k$  نمونه به یک نمونه به اندازه  $kn$  و سپس تعریف  $k-1$  متغیر نشانگر به صورت زیر می باشد.

اگر مشاهده  $i$  از نمونه  $j$  است  $z_{ji} = 1$

در غیر این صورت  $z_{ji} = 0$

$i = 1, 2, \dots, kn$  و  $j = 1, 2, \dots, k-1$  می باشد.

$K$  امین نمونه، نمونه مرجع نامیده می شود. در گام بعد، به داده های ادغام شده مدل رگرسیون چندگانه زیر برآزش می شود.

$$Y_i = A_0 + A_1 X_i + \beta_{01} z_{1i} + \beta_{02} z_{2i} + \dots + \beta_{0k'} z_{k'i} + \beta_{11} z_{1i} X_i + \beta_{12} z_{2i} X_i + \dots + \beta_{1k'} z_{k'i} X_i + \varepsilon_i \quad (5)$$

$i = 1, 2, \dots, kn$

در رابطه فوق،  $k' = k - 1$  و  $\varepsilon_i$  ها متغیرهای تصادفی نرمال iid با میانگین صفر و واریانس  $\sigma^2$  است. برای تست برابری  $k$  خط رگرسیون، آزمون فرض زیر انجام می شود.

$$H_0 : \beta_{01} = \beta_{02} = \dots = \beta_{0k'} = \beta_{11} = \beta_{12} = \dots = \beta_{1k'} = 0$$

$H_1$  درست نیست  $H_0$

تحت فرض  $H_0$ ، مدل کاهش یافته زیر بدست می آید.

$$Y_i = A_0 + A_1 X_i + \varepsilon_i \quad (6)$$

آماره برای تست  $H_0$  به صورت زیر است.

$$F_{test} = \frac{\{SSE(reduced) - SSE(full)\} / 2(k-1)}{MSE(full)} \quad (7)$$

$SSE(full)$  و  $SSE(Reduced)$  به ترتیب جمع مربعات باقیمانده در مدل کامل، و کاهش یافته هستند. همچنین  $MSE(full)$  میانگین مربعات خطای مدل کامل می‌باشد. این آماره دارای توزیع  $F$  با  $2(k-1)$  و  $(n-2)$  درجه آزادی تحت درستی فرض  $H_0$  می‌باشد. و چنانچه  $F_{\alpha, 2(K-1), K(n-2)} > F_{test}$  فرض صفر در سطح خطای در نظر گرفته شده، رد نخواهد شد. و فرآیند در فاز ۱ تحت کنترل تشخیص داده خواهد شد. با توجه به توضیحات بالا خواهیم داشت:

$$2(k-1) = 58, k(n-1) = 420$$

$$SSE(Reduced) = 676$$

$$SSE(full) = 589.68$$

مقدار آزمون  $F$  برابر خواهد بود با:

$$F_{test} = \frac{(676 - 589.68) / 58}{589.68 / (420 - 60)} = 0.9843$$

مقدار  $\alpha_2$  برای محاسبه مقدار آماره  $F$  وقتی  $\alpha = 0/05$ ، طبق پیشنهاد (Mahmoud & Woodall 2004) از فرمول ۸ بدست می‌آید:

$$\alpha_2 = 1 - (1 - 0.05)^{2/3} = 0.33618 \quad (8)$$

حال با توجه مقدار آماره  $F_{0.033617, 58, 420}$  که برابر است با  $1/4.02$  ( $F_{0.033617, 58, 420} > F_{test}$ ) شواهد کافی برای رد صفر وجود ندارد، و می‌توان نتیجه گرفت پروفایل‌های بدست آمده در فاز ۱ کنترل آماری، یکسان هستند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در فاز ۱ کنترل آماری، رابطه پروفایلی فرآیند مورد مطالعه تحت کنترل است. در این تحقیق، برای مدیریت اثربخش و پایش حرارت دهی فرآیند ترمو فرمینگ قطعه روگ‌گیری خودرو سمند، با استفاده از رویکرد پروفایلی، برای فاز یک کنترل آماری مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری ترمولیزر، برای ۳۰ نمونه، و با انجام تغییرات افزایشی ۵٪ در انرژی المنت‌های اجاق، بین ۶۵ تا ۸۵ درصد انرژی بدست آمد. تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌های بدست آمده نشان داد، که برای فاز یک، رابطه پروفایلی طراحی شده برای فرآیند مورد مطالعه، تحت کنترل می‌باشد، و رابطه میزان گرمای ساطع شده با میزان گرمای جذب شده برای شیت‌های تولیدی این فرآیند، در طول زمان و در فاز یک، از لحاظ آماری، تحت کنترل است. با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق، می‌توان از داده‌های فاز ۱، برای تخمین پارامترها و مدیریت بر این فرآیند در فاز ۲، استفاده نمود.

#### ۴- منابع

1. Saghaei A, Maserrat N, 2008. Monitoring of the disease: new user profiles Case Study: Lung Disease international journal of industrial engineering and production management 22, 54-63
2. Atashgar k, 2012. Advanced statistical quality control, chapter 6, Research & Educational Institute of defense industry, Tehran, Iran.
3. Moemeni M, Ghayoumi A.F, 2011. Statistical analysis with SPSS fourteen edition, chapter six, Momeni Press
4. Mahmoud MA, Woodall WH, F, 2004. Phase I analysis of linear profiles with calibration applications. Technometrics 46,380-391.
5. Rauwendaal C, 2013. Polymer Extrusion, 5th Edition, Hansen Publishers, Munich.
6. Rauwendaal C, 2000 Statistical Process Control in Injection Molding and Extrusion Hanser Publishers, Munich.
7. Kang L. & Albin SL, 2000. On-Line Monitoring When the Process Yields a Linear Profile, Journal of Quality Technology 32, 418-426

8. Neter J, Wasserman W, and Kutner MH, 1990. *Applied Linear Statistical Models*, Third Edition, Richard D. Irwin, Inc, Boston, MA.
9. Mestek O, Pavlik J, and Suchanek, M. 1994, *Multivariate Control Charts: Control Charts for Calibration Curves*, *Fresenius Journal of Analytical Chemistry* 350, 344-351
10. Young TM, Winistorfer PM., and Wang S, 1999. *Multivariate Control Charts of MDF and OSB Vertical Density Profile Attributes*. *Forest Products Journal* 49, 79-86.
11. Walker E and Wright S. 2002, *Comparing Curves Using Additive Models*, *Journal of Quality Technology* 34, 118-129
12. Jin J. and Shi, J. 1999, *Feature-Preserving Data Compression of Stamping Tonnage Information Using Wavelets*. *Technometrics* 41, 327-339.
13. Jin J. and Shi J. 2001, *Automatic Feature Extraction of Waveform Signals for In-Process Diagnostic Performance Improvement*. *Journal of Intelligent Manufacturing* 12, 257-268.
14. Colosimo BM, Pacella M, and Semeraro Q, 2008. *Statistical process control for geometric specifications: On the monitoring of roundness profiles*. *Journal of Quality Technology* 40, 1-18
15. Atashgar K, Amir A, Keramateh Nejad M, 2015. *Monitoring Allan variance nonlinear profile using artificial neural network approach* *Quality Engineering and Technology* 5, 162-177
16. Vaghefi A, Tajbakhsh SD, Noorossana R, 2009. *Phase II monitoring of nonlinear profiles*. *Communications in Statistics-Theory and Methods* 38, 1834-1851.
17. Noorossana R, Eyvazian M, Amiri A, Mahmoud MA, 2010. *Statistical monitoring of multivariate multiple linear regression profiles in Phase I with calibration application*. *Quality and Reliability Engineering International* 26(3), 291-303.
18. Amiri A, Changliang Z and Mohammad H, 2014. *Monitoring Correlated Profile and Multivariate Quality Characteristics* *Quality and Reliability Engineering International* 30, 133-142.
19. Zou C, Ning X, Tsung F, 2012. *LASSO-based multivariate linear profile monitoring*. *Annals of Operations Research* 192.3-19.
20. Yeh AB, Huwang L, Li YM, 2009. *Profile monitoring for a binary response*. *IIE Transactions* 41.931-941.
21. Kazemzadeh RB, Noorossana R, Amiri A, 2008. *Phase-I monitoring of polynomial profiles*. *Communications in Statistics-Theory and Methods* 37, 1671-1686.
22. Amiri A, Jensen WA, & Kazemzadeh RB, 2010. *A case study on monitoring polynomial profiles in the automotive industry*. *Quality and Reliability Engineering International* 26, 509-520
23. Qiu P, Zou C, Wang Z, 2010. *Nonparametric Profile Monitoring by Mixed Effects Modeling*. *Technometrics* 52, 265-277.
24. Moguerza JM, Muoz A, Psarakis S, 2007. *Monitoring nonlinear profiles using support vectormachines*. *Lecture Notes in Computer Science* 4789, 574-583.
25. Ding Y, Zeng L, Zhou S, 2006. *Phase I analysis for monitoring nonlinear profiles in manufacturing processes*. *Journal of Quality Technology*, 38, 199-216.

