

## تشخیص زمان انجام فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات و تحلیل عوامل مؤثر بر وقوع خرابی

معین سماک جلالی، سید محمد تقی فاطمی قمی\*

دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

### چکیده

در میان کاربردهای انبوهی که برای مفهوم سری‌های زمانی می‌توان متصور شود، استفاده از این مفهوم در صنایع تولیدی در جهت تشخیص مواقع خرابی دستگاه‌ها پیش از موعد و انجام اقدامات نگهداری و تعمیرات، همچنین تعیین درصد قطعات معیوب با استفاده از بررسی و تحلیل تناوب اتفاقات صورت گرفته در یک خط تولید می‌تواند بسیار ارزشمند تلقی گردد. در این راستا، پژوهش حاضر به بررسی نقش استفاده از سری‌های زمانی به منظور بررسی موارد عنوان شده در یک شرکت قطعه‌سازی خودرو می‌پردازد. بدین منظور، ابتدا به تحلیل و بررسی داده‌های مستخرج از بخش نگهداری و تعمیرات کارخانه پرداخته و سپس با استفاده از روش‌های تضمین کیفیت نظیر آنالیز حالات بالقوه خرابی، اقدام به تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر خرابی قطعات و در نتیجه تشخیص حدودی خرابی تجهیزات می‌پردازیم.

**واژه‌های کلیدی:** پیش‌بینی، سری‌های زمانی، نگهداری و تعمیرات، تضمین کیفیت، قطعه‌سازی خودرو.

پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۱۶

دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۴

### ۱- مقدمه

آینده از آن کسانی است که به نحو مناسبی برای آن برنامه‌ریزی کنند. هر تاجر، مؤسسه یا سازمان موفق باید با توجه به پیش‌بینی وضع آینده، برنامه‌ریزی‌های لازم را به انجام رساند. برای این منظور روش‌های متعددی وجود دارد. این روش‌ها می‌تواند تجارب گذشته را به پیش‌بینی حوادث آینده بدل سازد. به‌عنوان مثال، مدیر خرید یک فروشگاه بزرگ می‌تواند تجارب گذشته را مورد استفاده قرار دهد تا تصمیم‌گیری کند که چه موقع و به چه میزان کالا خریداری نماید و یا شرکت برق می‌تواند بر این باور باشد که تقاضا برای نیروی برق با نرخ مشابهی همچون ۱۰ سال گذشته افزایش خواهد یافت و در نتیجه ظرفیت تولیدی مورد نیاز خود را برای ۵، ۱۰ و یا ۲۰ سال آینده پیش‌بینی کند. در هر مورد، آمار مربوط به تغییری که پیش‌بینی می‌شود در دوره‌های زمانی گذشته موجود است. این آمار را اصطلاحاً سری زمانی می‌گویند. منظور از یک سری زمانی مجموعه‌ای از داده‌های آماری است که در فواصل زمانی مساوی و منظمی جمع‌آوری شده باشند. روش‌های آماری که این‌گونه داده‌های آماری را مورد استفاده قرار می‌دهد تحلیل سری‌های زمانی نامیده می‌شود.

\* Corresponding author (E-mail: fatemi@aut.ac.ir)



سری زمانی مجموعه‌ای (دنباله‌ای) از مشاهدات است که برحسب زمان یا هر کمیت دیگر مرتب شده باشد و معمولاً آن را به صورت  $x_{t_1}, x_{t_2}, \dots, x_{t_n}$  نشان می‌دهند که این قبیل از مشاهدات معمولاً در کسب کار، اقتصاد و غیره به دست می‌آید. برای رسم نمودارهای سری زمانی، مقادیر مشاهدات را برحسب زمان رسم می‌کنیم. بدین منظور، روی محور افقی، زمان و روی محور عمودی، مقادیر مشاهدات را می‌نویسیم. سری زمانی را معمولاً به صورت گسسته و پیوسته بررسی می‌کنیم. اگر مشاهدات به صورت پیوسته برحسب زمان در نظر گرفته شود، سری زمانی حاصل را پیوسته می‌نامیم؛ اما اگر مشاهدات را به طور منظم در فاصله‌های مساوی ثبت کنیم، یک سری زمانی گسسته به دست خواهد آمد. تحلیل زمانی به طور زمانی و عملی از سال‌های ۱۹۷۰ به بعد به منظور پیش‌بینی و کنترل به سرعت توسعه یافته است. این تحلیل معمولاً به داده‌هایی مربوط می‌شود که مستقل نیستند و به طور متوالی به هم وابسته‌اند (گمز و همکاران، ۲۰۰۲). بیشترین کاربرد این حوزه مرتبط با وابستگی بین مشاهدات متوالی در پیش‌بینی می‌باشد. برای برنامه‌ریزی درازمدت در مورد آینده باید از پیش‌بینی استفاده شود چون یک برنامه منطقی، بر پیش‌بینی متکی خواهد بود (امینت و همکاران، ۲۰۱۳). یکی از مهم‌ترین روش‌های استنباط نتایج برای آینده بر اساس آنچه در گذشته اتفاق افتاده است، تحلیل‌های مبتنی بر سری زمانی می‌باشند پس می‌توان نتیجه گرفت که تحلیل سری‌های زمانی، عاملی مؤثر در پیش‌بینی صحیح و هدفمندتر است (هولت، ۲۰۰۴). در تحلیل یک سری زمانی چندین هدف وجود دارد از جمله توصیف، تشریح، پیش‌بینی، کنترل. توصیف یک سری زمانی معمولاً اولین مرحله در تحلیل سری زمانی است که با استفاده از رسم نمودار داده‌هاست که به وسیله آن اندازه توصیفی ساده به دست می‌آید. بعد از آن از تشریح استفاده می‌شود مثلاً وقتی مشاهدات روی دو متغیر یا بیشتر صورت می‌گیرد ممکن است بتوانیم از تغییرات یک سری زمانی برای بیان تغییرات سری دیگر استفاده کنیم که در عمل، تشریح و توصیف به یک معنی می‌باشند که در مرحله‌ی بعد در مورد مقادیر آینده سری پیش‌بینی انجام می‌دهیم که در بسیاری از مسائل پیش‌بینی، رابطه‌ی نزدیکی با کنترل دارد (هیندمن و خانداکار، ۲۰۰۷).

## ۱-۲ تضمین و کنترل کیفیت و اهمیت آن

کنترل کیفیت یعنی توسعه، طراحی و تولید محصولات باکیفیت، اقتصادی و قابل استفاده‌ای که باعث رضایت مصرف‌کننده شود (فاطمی قمی، ۱۳۹۱). لذا اولین گام در کنترل کیفیت، آگاهی از نیازهای مصرف‌کنندگان است. سازندگان، درگیر کنترل کیفیت می‌شوند تا محصولاتشان را با کیفیتی مطابق با الزامات مصرف‌کنندگان بسازند. البته باید توجه داشت که بحث عمده کنترل کیفیت، مربوط به انجام نمونه‌گیری از محصولات، بازرسی آن نمونه‌ها و تعمیم نتایج به کل انباشت محصول است که بر اساس روش‌های آماری انجام می‌گیرد. از دیگر روش‌های مورد استفاده در کنترل کیفیت، کنترل فرآیند تولید محصول به جای کنترل محصول تهیه شده است که با استفاده از روش‌های آماری انجام می‌گیرد. ارتقای مستمر کیفیت، یک مسئله مهم در بازارهای داخلی و جهانی می‌باشد. شرکت‌ها و کارخانجات سازنده قطعات خودروهای سبک و سنگین، به خاطر ارتباط با شرکت‌های خودروسازی به ناچار ملزم به رعایت استانداردهای بالای کنترل کیفیت می‌باشند. تضمین کیفیت در هر شرکتی تعریف مشخصی دارد. عموماً تضمین کیفیت در هر مجموعه-ای نقش قانون‌گذار آن مجموعه را دارد که بدین وسیله، انطباق فرآیندهای کاری را با قوانین ملی و بین‌المللی تضمین می‌کند (نقندریان، ۱۳۸۴). تضمین کیفیت شامل تنظیم کیفیت مواد خام، هم‌گذاری‌ها، محصولات و اجراء خدمات مرتبط با تولید، مدیریت تولید و بازرسی فرآیندها است. تضمین کیفیت شامل دو اصل می‌باشد: ۱. مناسب برای هدف: یعنی محصول باید برای هدف تعیین شده مناسب باشد؛ ۲. درست بار اول اشتباهات باید منتفی شوند.

کیفیت توسط کاربران محصول، ارباب رجوع یا مشتریان و نه جامعه به طور کلی به دست می‌آید. محصولات با قیمت پایین را در صورتی می‌توان به عنوان کیفیت بالا در نظر گرفت که کاربران محصول آن‌ها را این طور یافته باشند؛ بنابراین،



با توجه به نظارتی که مسئولین تضمین کیفیت بر اجرای خط‌مشی و راهبردهای کیفیت محصول ایفا می‌کنند می‌توان تضمین کیفیت را یکی از ابزارهای مناسب در ارتقای کیفیت به شمار آورد (سماک جلالی و قادری، ۱۳۹۱). به‌طور کلی می‌توان چنین اظهار داشت که ساختار پژوهش حاضر از سه بخش عمده تشکیل شده است. در بخش اول، مفاهیم و مباحث مربوط به سری زمانی و ماهیت آن مورد بررسی قرار داده شده است. در بخش دوم، به بیان مسئله پرداخته و سپس داده‌های مستخرج از شرکت را به کمک ابزارهای در دسترس، تحلیل خواهیم نمود. در بخش سوم نیز، به بررسی نحوه ترکیب نتایج سری زمانی با رویکردهای تضمین کیفیت می‌پردازیم.

## ۲- بیان مسئله

شرکت پایا کلاچ واقع در شهر صنعتی رشت یکی از تولیدکنندگان و صادرکنندگان عمده دیسک و صفحه و بلبرینگ کلاچ خودروهای سبک و سنگین می‌باشد. با توجه به اینکه تولید در شرکت پایاکلاچ بر اساس استاندارد ISO/TS 16949 جهت تأمین نیاز کارخانجات خودروساز ایران (OEM) و بازار مصرف (AM) طرح‌ریزی شده و اکنون به‌عنوان برترین کلاچ ساز ایران در عرصه تولید دیسک و صفحه و بلبرینگ کلاچ سبک و سنگین ایفای نقش می‌کند، تصمیم بر آن شد تا روش‌های پیش‌بینی سری زمانی و ارتقای کیفیت بر روی یکی از قطعات تولیدی شرکت پایا کلاچ به‌عنوان مطالعه موردی مورد بررسی قرار گیرد و سپس این روش‌ها در قالب سیستم تضمین کیفیت نهادینه شده و بعد از آن، این سیستم بر روی قطعات تولیدی این شرکت تعمیم یابد. همان‌طور که عنوان شد، داده‌های این پروژه مربوط به متوسط خرابی‌های دستگاه‌ها و قطعات مرتبط، برای شرکت پایاکلاچ که یک شرکت قطعه‌سازی خودرو بوده و به‌طور تخصصی صفحه کلاچ تمامی خودروهای داخلی و برخی از خودروهای کره‌ای را تولید می‌کند، می‌باشد. این شرکت در شهر صنعتی رشت واقع شده و با توجه به هماهنگی‌های صورت گرفته با مدیر تولید و قائم‌مقام مدیرعامل شرکت، داده‌ها از واحد نگهداری و تعمیرات شرکت اخذ شده‌اند. ذکر این نکته ضروری است که به دلیل محرمانه بودن داده‌ها، اطلاعات ارائه شده با اندکی انحراف، به‌نحوی که به محتوای پژوهش آسیبی نزنند، ارائه شده است. این داده‌ها، مربوط به اطلاعات یک بازه‌ی ۱۹ ساله می‌باشد و جزئیات آن را در جدول ۱ ملاحظه می‌کنید.

جدول ۱- داده‌های مربوط به سری زمانی، برای بررسی خرابی‌های دستگاه‌ها و قطعات و تخمین آن در آینده.

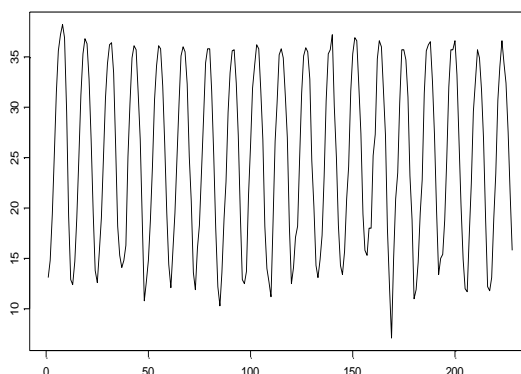
ماه/سال	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
1394	13.1	14.8	19.4	25.2	31.5	35.6	37.2	38.2	36.9	29.5	19.2	12.9	26.1
1393	12.4	14.7	19.0	25.0	31.2	35.3	36.8	36.3	32.8	26.8	19.5	13.8	25.3
1392	12.6	15.6	19.0	24.8	30.9	34.3	36.2	36.4	33.4	26.3	18.2	15.3	25.2
1391	14.1	14.8	16.3	25.1	30.3	34.9	36.1	35.7	31.6	26.8	19.0	10.8	24.6
1390	12.6	14.8	18.7	24.1	30.7	34.1	36.1	35.8	32.1	26.4	19.5	1.4	24.9
1389	12.1	15.7	19.5	24.8	30.4	35.1	36.0	35.5	32.3	25.1	20.7	13.6	25.1
1388	11.9	16.0	18.3	23.7	28.8	34.4	35.8	35.8	31.6	25.2	18.0	12.2	24.3
1387	10.3	13.6	18.9	22.6	29.5	33.4	35.6	35.7	32.4	27.2	19.3	12.9	24.3
1386	12.5	13.7	21.2	26.3	31.9	34.2	36.2	35.8	31.7	26.8	18.2	14.0	25.2
1385	12.7	11.2	18.3	26.6	30.4	35.2	35.8	34.9	31.1	27.0	18.1	12.5	24.5
1384	14.1	17.1	18.2	24.8	31.4	35.1	35.9	35.5	32.8	24.7	20.1	14.3	25.3
1383	13.1	14.9	17.3	23.2	30.6	35.3	35.7	37.2	30.1	25.0	18.3	14.3	24.6
1382	13.4	15.7	20.9	24.1	31.6	35.3	36.9	36.6	31.9	27.4	19.4	15.8	25.7
1381	15.3	18.0	18.0	25.2	27.3	34.8	36.6	36.0	31.8	27.2	17.9	12.0	25.0
1380	7.1	15.0	20.9	23.5	30.4	35.7	35.7	34.7	31.0	23.2	18.8	11.0	23.9
1379	11.9	14.6	19.5	22.8	31.4	35.6	36.2	36.5	32.5	27.3	19.8	13.4	25.1
1378	15.0	15.4	18.8	24.9	32.0	35.7	35.7	36.6	33.2	26.6	20.3	14.9	25.8
1377	12.0	11.7	17.1	22.4	29.6	32.5	35.7	34.9	31.7	26.9	18.8	12.2	23.8
1376	11.8	13.1	19.0	23.4	30.7	34.0	36.6	34.4	32.4	27.5	21.5	15.8	25.0



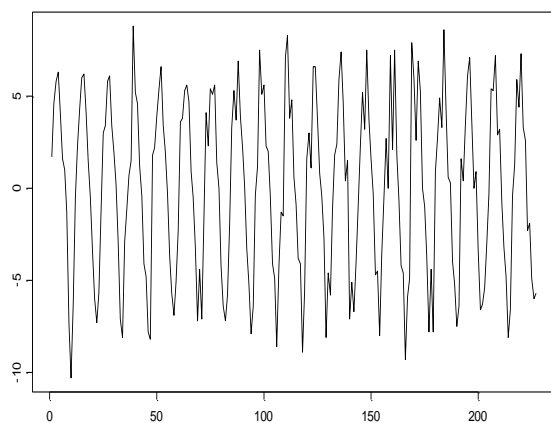
در اولین مرحله از تحلیل داده‌ها باید به شکل کلی داده‌ها در طول زمان آشنا شویم. برای این منظور، نمودار داده‌ها در مقابل زمان را در زیر آورده‌ایم. قابل توجه است که تمامی نمودارها، محاسبات و تحلیل‌های مربوط به سری زمانی به کمک نرم‌افزار JMP که متعلق به شرکت SAS بوده و یکی از پیشرفته‌ترین نرم‌افزارهای روز دنیا در زمینه‌ی تحلیل‌های آماری، کیفی و سری زمانی می‌باشد، صورت گرفته است. بدین ترتیب، نمودار سری زمانی مربوطه در شکل ۱ نشان داده شده است. از نمودار سری زمانی یک بار تفاضل‌گیری به عمل آمده است که نمودار آن به صورت شکل ۲ می‌باشد و از این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که داده‌ها فاقد روند می‌باشند (کیم و چوی، ۲۰۰۹)؛ سپس به رسم نمودار خودهمبستگی می‌پردازیم که در شکل ۳ نشان داده شده است. از روی نمودار، خودهمبستگی مرتبه  $q$  به دست می‌آید که مقادیر  $q$  برابر است با مقادیر خطوطی که از باند اطمینان خارج شده‌اند که به صورت روبرو می‌باشند:  $q = 0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23$ ؛ سپس به رسم نمودار خودهمبستگی جزئی می‌پردازیم که در شکل ۴ نشان داده شده است. از روی نمودار، خودهمبستگی جزئی مرتبه  $P$  به دست می‌آید که مقادیر آن برابر است با مقادیر خطوطی که از باند اطمینان خارج شده‌اند و به صورت روبرو می‌باشند:  $p = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 14$ . در ادامه بایستی نمودارهای مربوط به بررسی فرض ایستایی باقیمانده‌ها مورد بررسی قرار گیرند که در شکل ۵ نمایش داده شده است.

## ۲-۲ اجرای عملیاتی تضمین کیفیت

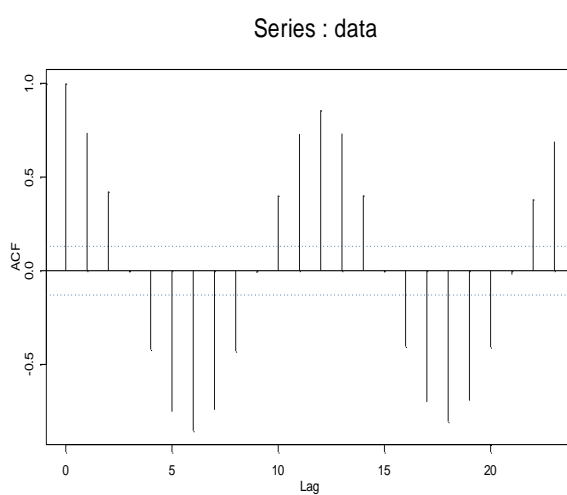
با توجه به ارتباط گسترده شرکت پایاکلاچ با شرکت‌های هولزهویزر آلمان و Valeo فرانسه و همچنین صادرات گسترده دیسک و صفحه کلاچ خودروی لوگان (L90) به اسپانیا، اولین قطعه ساز ایرانی مطرح در لیست جهانی تأمین‌کنندگان شرکت Renault و همچنین به‌عنوان بزرگ‌ترین تأمین‌کننده کلاچ مورد نیاز خودروسازان داخلی مانند ایران خودرو، سایپا (مگا موتور) ایران خودرو دیزل و رنو پارس و دارنده گواهینامه ثبت اختراع برای طراحی صفحه با تکنولوژی جدید Pre-Damper به‌ناچار ملزم به رعایت استانداردهای بالا می‌باشد؛ بنابراین تضمین کیفیت می‌تواند کمک زیادی در جهت جلوگیری از بروز مشکلات داخلی و خارجی در این شرکت و نهایتاً به ارتقای کیفیت آن بیانجامد. شرکت پایاکلاچ واقع در شهر صنعتی رشت، تولیدکننده دیسک و صفحه کلاچ پراید، لندرور، تراکتور MF285، کامیون بنز ۱۹۲۱ و ۱۹۲۴ و دیسک و صفحه کلاچ لوگان، وانت نیسان، پژو ۲۰۶، موتور ملی EF7، تراکتور MF399 و پژو ۴۰۵ (Pre-Damper) می‌باشد. قطعه مورد بررسی، صفحه کلاچ خودروی لوگان به سفارش شرکت‌های ایرانی، اسپانیایی و شرکت Renault است.



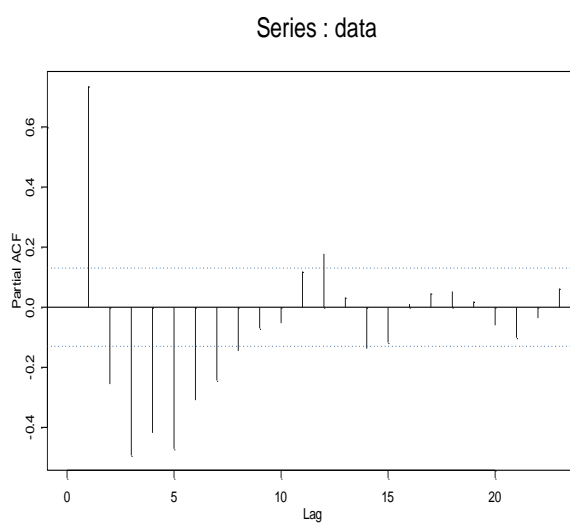
شکل ۱- نمودار سری زمانی داده‌های ماهانه و سالانه متوسط خرابی تجهیزات و قطعات شرکت پایاکلاچ.



شکل ۲- نمودار سری زمانی پس از انجام عملیات تفاضل گیری.

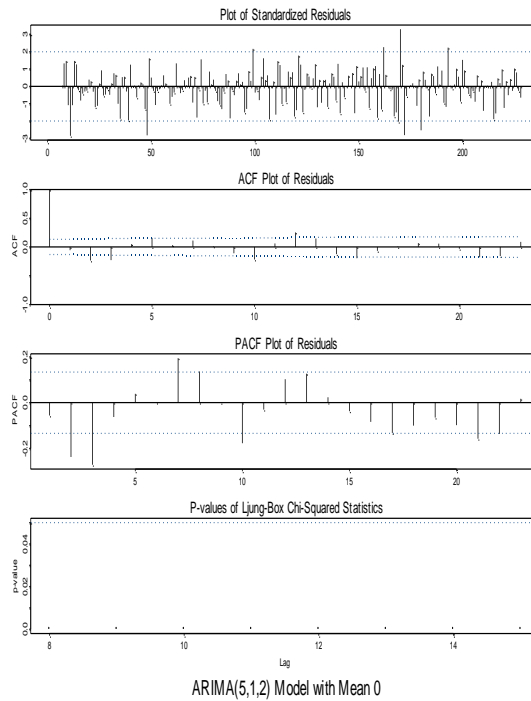


شکل ۳- نمودار خودهمبستگی (ACF).



شکل ۴- نمودار خودهمبستگی جزئی (PACF).

## ARIMA Model Diagnostics: V1



شکل ۵- مجموعه نمودارهای مورداستفاده برای بررسی مانایی (ایستایی) بودن باقیمانده‌ها.

مراحل تولید قطعه صفحه کلاچ در ادامه توضیح داده خواهد شد:

### تولید در خط پرس و خان‌کشی

- ✓ قطعه تولیدی هاب و درایو واشر جداگانه از انبار به مرکز پرس و خان‌کشی ارسال می‌گردد.
- ✓ قطعات فوق ابتدا در ایستگاه پرس بر روی دستگاه، پرس می‌گردد و به نیمه ساخته هاب درایو واشر تبدیل می‌گردد.
- ✓ قطعه پرس شده هاب درایو واشر در ایستگاه بعدی خان‌کشی شده و به انبار نیمه ساخته ارسال می‌گردد تا در مرحله بعدی برای خط مونتاژ صفحه ارسال شود.

### تولید در خط مونتاژ صفحه

- ✓ قطعات گاید واشر (۱)، متالیک پلیت، ریوت در ایستگاه اول با هم دستی چیده شده و بر روی پرس مونتاژ می‌شود که این قطعه به شکل نیمه ساخته به ایستگاه دوم ارسال می‌گردد.
- ✓ در ایستگاه دوم قطعات گاید واشر (۲)، استاپ پین، فلکسیبل واشر، توست واشر، فریکشن واشر، کوپل اسپرینگ DO، کوپل اسپرینگ VO، نیمه ساخته دریافتی از ایستگاه اول و همچنین هاب درایو واشر از انبار نیمه ساخته بر روی دستگاه پرس H-TYPE تولید می‌گردد.
- ✓ در ایستگاه سوم قطعه لنت (FACING) و پرچ لنت به علاوه نیمه ساخته دریافتی از ایستگاه قبلی با دستگاه پرچ (RIVETTING) پرچ گذاری می‌گردد.
- ✓ در ایستگاه چهارم که آخرین ایستگاه در مرکز مونتاژ صفحه می‌باشد، نیمه ساخته مراحل قبل تست می‌گردد (RUN OUT) و در صورت آنبالانسی، دستی اصلاح می‌گردد.

### تولید در خط بسته‌بندی

- ✓ نیمه ساخته دریافتی از خط مونتاژ صفحه در ایستگاه مارک زنی، مارک زده می‌شود و به ایستگاه دوم منتقل می‌گردد.



✓ نیمه ساخته مارک زده شده دریافتی از مرحله قبل، به شکل دستی بسته بندی می گردد و به انبار محصول جهت ارسال به مشتری، فرستاده می گردد.

### ۳- حل مسئله

ابتدا لازم است که ذکر شود چرا قطعه صفحه کلاچ به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. علت انتخاب این قطعه برای ارتقای کیفیت، اهمیت این قطعه برای شرکت از نظر بازار داخلی و خارجی می باشد (کمیسیون بین المللی تجارت آمریکا، ۲۰۱۲). آمار مربوط به ضایعات قطعه صفحه کلاچ در سال ۸۹ به شرح زیر می باشد:

- تعداد کل صفحه های تولیدی در سال کاری: ۴۱۱۷۱۱ دستگاه.
  - تعداد کل صفحه های سالم: ۴۰۳۵۳ دستگاه.
  - تعداد کل ضایعات: ۱۱۳۵۸ دستگاه.
- ضرر ناشی از ضایعات (شامل خرید قطعه خام و هزینه های دستمزد و سربار و سود ازدست رفته) برای یک قطعه به ترتیب به شرح زیر می باشد:

- مواد: ۷۹,۴۳۰ ریال.
  - دستمزد: ۲,۴۳۵ ریال.
  - سربار: ۹,۰۳۰ ریال.
  - سود ازدست رفته: ۱۹,۱۰۵ ریال.
  - کل سود خالص شرکت از قطعه تولید شده: ۳,۵۰۴,۳۷۲,۱۱۸ ریال.
  - میزان کاهش سود ناشی از این قطعه به خاطر ضایعات آن: ۳۶ درصد.
- با توجه به اینکه میزان سود ازدست رفته ناشی از ضایعات برابر با ۱۲۴۹۳۸۰۰۰۰ ریال می باشد، اهمیت پیاده سازی سیستم تضمین کیفیت بر روی این قطعه و در نهایت بر روی کل قطعات صادراتی مشخص و روشن می گردد (کیم، رایجور و اسکرلوس، ۲۰۰۸).

### ۳-۱ تحلیل پارتو

در تعریف مسئله عنوان شد که تعداد کل ضایعات این قطعه در سال کاری ۸۹، ۱۱۳۵۸ عدد بوده است. ابتدا دلایل به وجود آمدن ضایعات در مورد صفحه کلاچ خودروی لوگان در فرآیند تولید ذکر می شود:

- فاصله دار بودن Stop Pin و Guide Washer.
  - خارج از اندازه بودن قطر گل پرچ Stop Pin.
  - کامل نبودن قطعات.
  - دفرمگی و ترک خوردگی پرچ بعد از مونتاژ Stop Pin.
- در شکل ۶، نمودار پارتو ضایعات آن با استفاده از نرم افزار MINITAB تهیه شده است. مشاهده می شود که:

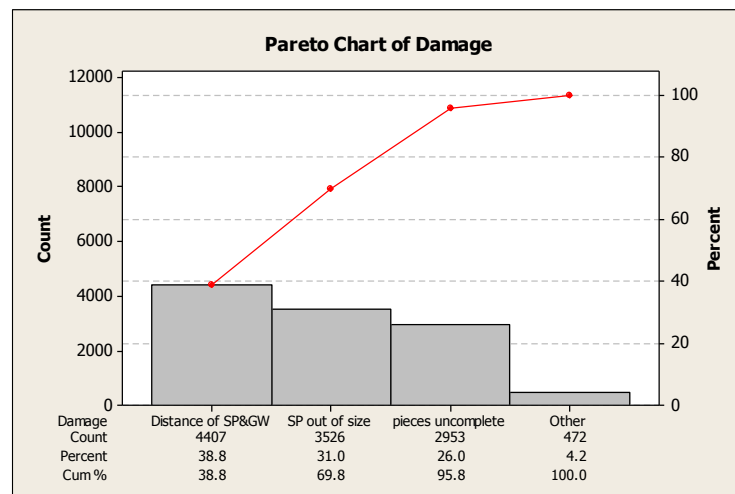
- فاصله دار بودن Stop Pin و Guide Washer: ۴۴۰۷ مورد معادل ۳۸,۸٪.
  - خارج از اندازه بودن قطر گل پرچ Stop Pin: ۳۵۲۶ مورد معادل ۳۱٪.
- در مجموع ۶۹,۸ درصد (تقریباً ۷۰ درصد) از کل ضایعات مربوط به دو علت فوق است.





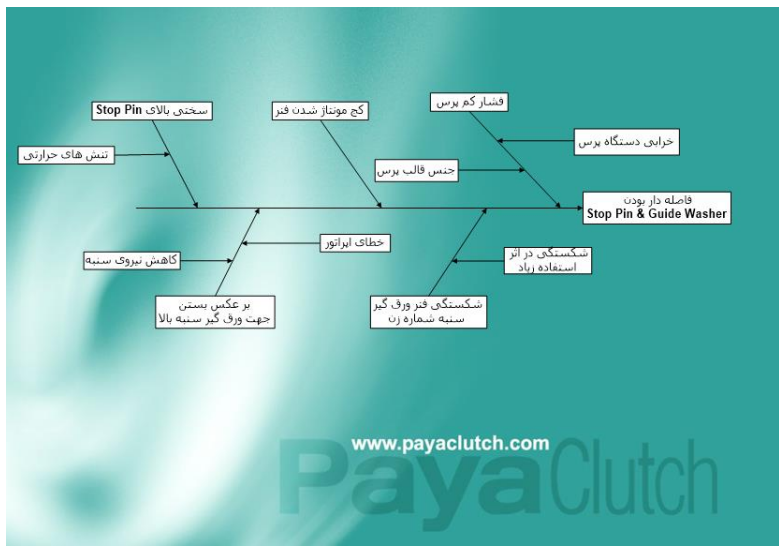
برای تهیه نمودارهای علت و معلول مربوط به دو علت اصلی ضایعات قطعه صفحه کلاچ، از مدیر صنعتی شرکت پایا کلاچ کمک گرفته شده است. نمودارهای علت و معلول مربوط به هر علت نقص در قطعه صفحه کلاچ، گویای علل به وجود آمدن هر یک از نقص‌ها می‌باشد. در نمودار علت و معلول فاصله‌دار بودن Stop Pin و Guide Washer، مشاهده می‌شود که این معلول بنا به ۵ علت اصلی کج مونتاژ شدن فنر، شکستگی فنر ورق گیر سنبه شماره‌زن، برعکس بستن جهت ورق گیر سنبه بالا، سختی بالای استاپ پین و فشار کم پرس به وجود می‌آید که هر کدام به چند علل فرعی تقسیم می‌شود. به‌عنوان مثال وقتی گفته می‌شود فاصله‌دار بودن قطعه به دلیل برعکس بستن جهت ورق گیر سنبه بالا می‌باشد، می‌تواند این فاصله‌دار بودن مربوط به یکی از علل فرعی خطای اپراتور و کاهش نیروی سنبه باشد (مسیحی، روتق و مشایخ، ۱۳۹۲)؛ وقتی عنوان می‌شود که فاصله‌دار بودن قطعه به علت فشار کم پرس می‌باشد، مشخص است که این فاصله‌دار شدن در اثر خرابی دستگاه پرس و جنس قالب پرس است (چن و همکاران، ۲۰۱۴). در ذیل نمودار علت و معلول فاصله‌دار بودن Stop Pin و Guide Washer آورده شده است.

شکل ۸، نمودار علت و معلول مربوط به خارج‌اندازه (پایین و بالا) بودن گل پرچ Stop Pin است که این معلول به خاطر یکی از دو علت اصلی تنظیم نبودن فشار پرس و عدم تنظیم مناسب قالب است. هر کدام از این علل اصلی، خود شامل علل فرعی دیگری می‌باشد. به‌عنوان مثال هنگامی که گفته می‌شود خارج‌اندازه بودن قطر گل پرچ Stop Pin در قطعه به خاطر تنظیم نبودن فشار پرس به وجود آمده، این خارج‌اندازه بودن می‌تواند در اثر زیاد بودن فشار پرس و یا عدم آموزش صحیح اپراتور جدید ایجاد شده باشد (میر، روی و سالیگر، ۲۰۱۰). علل فرعی مربوط به عدم تنظیم مناسب قالب نیز به دلیل خراب شدن قالب در اثر استفاده زیاد قابل توجه می‌باشد.



شکل ۶- نمودار پارتو ضایعات قطعه صفحه کلاچ خودروی لوگان.





شکل ۷- نمودار علت و معلول فاصله دار بودن Stop Pin و Guide Washer.



شکل ۸- نمودار علت و معلول خارج از اندازه بودن گل برج Stop Pin.

### ۲-۳ تحلیل FMEA

با توجه به نمودارهای علت و معلول فوق، مشخص می شود که علل فرعی زیادی وجود دارد که می تواند باعث به وجود آمدن هر یک از دو معلول فوق (فاصله دار بودن Stop Pin و Guide Washer و خارج از اندازه بودن قطر گل برج Stop Pin) را به وجود آورد. با توجه به محدود بودن زمان و هزینه، امکان این وجود نداشت که کلیه علل فرعی این معلولها رفع شوند. علاوه بر این طبق اصل پارتو تنها ۲۰ درصد از این علل فرعی باعث به وجود آمدن تقریباً ۸۰ درصد معلولها می گردند ولی کدامیک از علل فرعی، به عنوان مؤثرترین علت فرعی در هر یک از نمودارهای علت و معلول باید رفع می شد که آمار دقیقی از فراوانی هر یک از این علل فرعی در دسترس نبود؛ بنابراین، بهترین و علمی ترین روش برای حل این مشکل، استفاده از روش های تجزیه و تحلیل عوامل شکست و آثار آن و یا FMEA بود. برای تعیین مهم ترین علت های نقص ها در FMEA، باید RPN محاسبه شود که داریم:

$$\text{شدت} * \text{وقوع} * \text{تشخیص} = \text{RPN}$$

تشخیص عبارت است از احتمال اینکه کنترل های جاری یک سیستم بتوانند یک خرابی یا علت خرابی را قبل از اینکه طراحی اجزای سیستم آغاز شود تشخیص دهند. برای تعیین رتبه تشخیص، باید توانایی کنترل های جاری و یا روش های

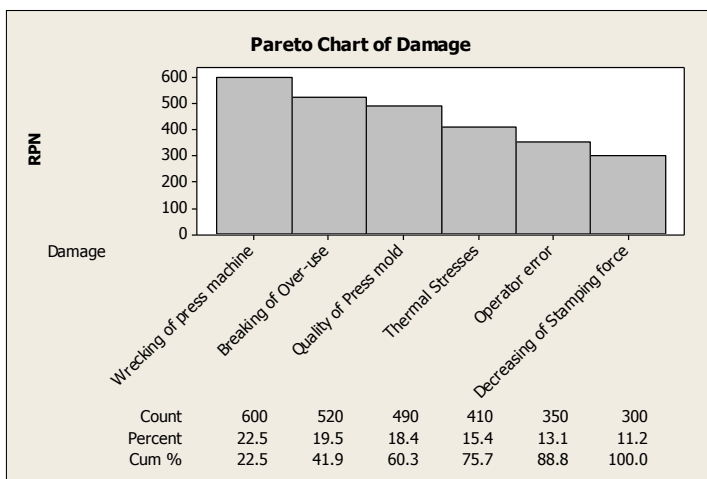


تشخیص در تشخیص خرابی تعریف شده باشد. لذا اگر توانایی کنترل‌ها در تشخیص خرابی شناخته نشده و یا احتمال تشخیص قابل تخمین نباشد رتبه تشخیص ۱۰ فرض می‌شود (دبیری، ۱۳۸۲). با توجه به اینکه محاسبه RPN نیازمند نظرسنجی از کارگران شرکت موردبررسی می‌باشد و با توجه به وقت‌گیر بودن عمل گفته‌شده و عدم همکاری مسئولین مربوطه، مقدار RPN را با توجه به شناختی که از فرآیند تولید در طی چندین مرحله بازدید از کارخانه به‌دست آمده در نظر می‌گیریم.

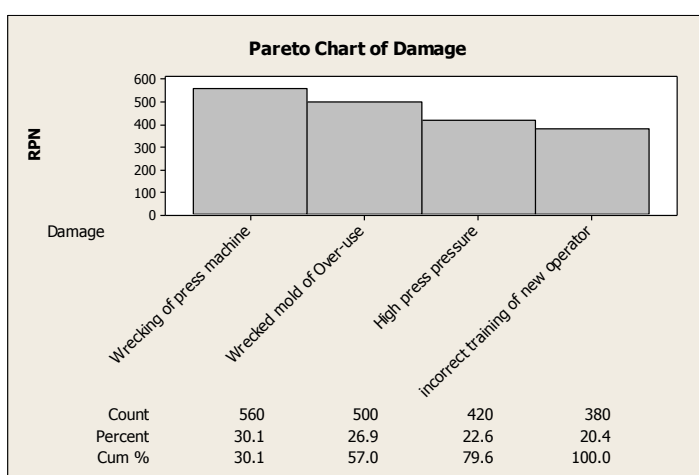
در ذیل نمودارهای پارتو علل هر یک از معلول‌ها برحسب RPN با استفاده از نرم‌افزار MINITAB تهیه شده است. با توجه به نمودار علت و معلول فاصله‌دار بودن Stop Pin & Guide Washer مشاهده می‌شود که در مجموع، شش علت فرعی (۱- خرابی دستگاه پرس ۲- شکستگی فنر ورق گیر سنبه زن در اثر استفاده زیاد ۳- جنس قالب پرس ۴- تنش حرارتی ۵- خطای اپراتور ۶- کاهش نیروی سنبه) باعث فاصله‌دار شدن Stop Pin & Guide Washer می‌گردد که RPN این پنج علت فرعی محاسبه شده و در نمودار پارتو فوق آورده شده است. با توجه به نمودار پارتو مربوط به فاصله‌دار بودن Stop Pin & Guide Washer قطعه صفحه کلاچ، مشخص می‌شود که خراب بودن دستگاه پرس و در نتیجه اعمال فشار کم توسط دستگاه، با RPN=600، عمده‌ترین علت فاصله‌دار بودن Stop Pin و Guide Washer قطعه صفحه کلاچ می‌باشد و در درجه دوم، شکستگی فنر ورق گیر سنبه زن با RPN=520 قرار دارد.

با توجه به نمودار علت و معلول خارج‌ازاندازه بودن قطر گل پرچ Stop Pin، مشاهده می‌شود که در مجموع، چهار علت فرعی باعث خارج‌ازاندازه بودن قطر گل پرچ می‌گردند که RPN این چهار علت فرعی محاسبه شده و در نمودار پارتو فوق آورده شده است. با توجه به نمودار پارتوی فوق، واضح است که خرابی ماشین پرس با RPN=560 به‌عنوان اولین علت خارج‌ازاندازه بودن قطر گل پرچ Stop Pin و خراب شدن قالب در اثر استفاده زیاد با RPN=500 به‌عنوان دومین عامل در خارج‌ازاندازه بودن قطر گل پرچ Stop Pin در قطعه موردبررسی می‌باشد. حال به‌منظور مشخص شدن پراهمیت‌ترین نمودار پارتو برحسب RPN، عدد RPN تمامی علت‌های فرعی در هر یک از نمودارهای علت و معلول با یکدیگر جمع و نمودار پارتو علل ضایعات قطعه صفحه کلاچ را (که همان معلول‌ها در نمودار علت و معلول می‌باشند) برحسب RPN تهیه شده که در ادامه آورده می‌شود:

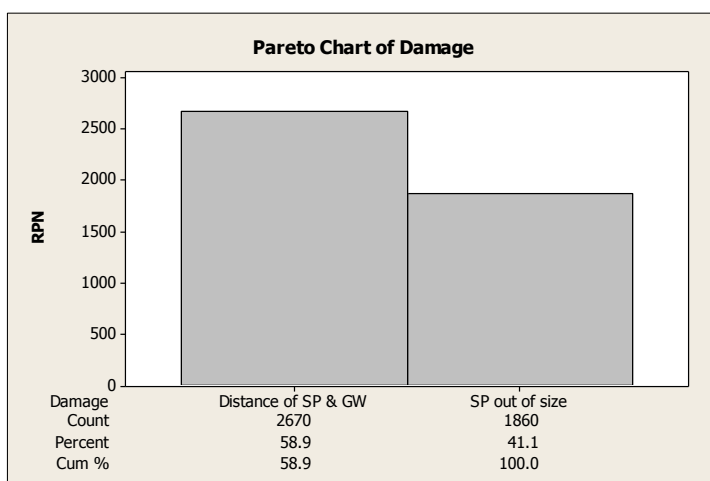
با مراجعه به نمودارهای پارتوی شکل‌های رسم شده نتیجه می‌شود خرابی دستگاه پرس که مشترک بین فاصله‌دار بودن SP&GW و خارج‌ازاندازه بودن SP می‌باشد، علت اصلی ایجاد ضایعات قطعه صفحه کلاچ و شکستگی فنر ورق گیر سنبه شماره‌زن در اثر استفاده زیاد در فاصله‌دار بودن SP&GW و خراب شدن قالب در اثر استفاده زیاد در خارج‌ازاندازه بودن SP به ترتیب در درجه دوم و سوم اهمیت قرار دارند. از نمودار فوق مشخص می‌شود که معلول فاصله‌دار بودن Stop Pin & Guide Washer، مهم‌ترین عامل ضایع شدن قطعه صفحه کلاچ می‌باشد. با مراجعه به نمودار پارتو این معلول برحسب RPN، مشخص می‌شود که در این نمودار علت فرعی خرابی دستگاه پرس به‌عنوان علت عمده و اصلی در به وجود آمدن معلول فاصله‌دار بودن Stop Pin&Guide Washer می‌باشد؛ بنابراین، اگر این علت فرعی (به‌عنوان مؤثرترین عامل ضایع شدن قطعه موردبررسی) رفع شود، با توجه به عمده و اصلی بودن این علت (مسئله)، درصد زیادی از ضایعات این قطعه کاهش می‌یابد و نیز قسمت عمده‌ای از مشکل رفع خواهد شد (یزدانی و مجبی، ۱۳۹۰).



شکل ۹- نمودار پارتو علل فاصله دار بودن Stop Pin & Guide Washer برحسب RPN.



شکل ۱۰- نمودار پارتو علل خارج از اندازه بودن قطر گل پرچ Stop Pin.



شکل ۱۱- نمودار پارتو علل ضایعات قطعه صفحه کلاچ (معلول‌ها) برحسب RPN.

#### ۴- نتیجه گیری

کاهش هزینه‌ها، همواره یکی از چالش‌های بزرگ صنعت ایران و جهان بوده است. شرکت‌ها و کارخانجات به دنبال راه‌هایی برای تشخیص مشکلات، پیش‌بینی و رفع آن‌ها هستند. لذا استفاده از رویکردی ترکیبی که بتواند ابتدا پیش‌بینی-های لازم را به عمل آورده و سپس عملیات اصلاحی را به انجام رساند بسیار ارزشمند تلقی می‌گردد. آنچه در پژوهش



حاضر به آن پرداخته شد، استفاده از رویکردهای پیش‌بینی و تحلیل سری‌های زمانی برای یک شرکت قطعه‌سازی خودرو بود. بدین منظور، ابتدا با استفاده از داده‌های گرفته‌شده از بخش نگهداری و تعمیرات شرکت، اقدام به تهیه یک مدل سری زمانی به‌منظور پیش‌بینی در مورد زمان‌ها و درصد‌های خرابی تجهیزات و قطعات نمودیم تا بتوانیم به‌صورت محتمل‌تری برنامه‌ریزی نگهداری و تعمیرات آن‌ها را تدوین نماییم. سپس به کمک خروجی‌های تحلیل سری زمانی، از روش‌های تضمین کیفیت به‌منظور تهیه لیستی از اولویت‌های رفع موانع و خرابی‌ها استفاده نمودیم تا فرآیند نگهداری و تعمیرات را تسریع بخشیم. نتایج به‌دست‌آمده از ابزارهای مورد‌استفاده، مدیران شرکت را در جهت دستیابی به برنامه‌ای مدون در جهت تشخیص، عیب‌یابی و رفع قطعات معیوب تولیدی، همچنین تخمین زمان خرابی دستگاه‌ها برای جلوگیری از وقوع توقف‌های طولانی‌مدت در خط تولید، یاری نموده است. همانند بسیاری از تحقیقات علمی، پژوهش حاضر نیز قابلیت توسعه‌ی مفاهیم و بهبود را دارد. مطالعات آتی می‌تواند در زمینه‌ی استفاده از سایر روش‌های پیشرفته‌ی سری زمانی، برای تخمین دقیق‌تر و استفاده از شکل‌های توسعه‌یافته‌ی FMEA برای حصول نتایجی با قابلیت اطمینان بیشتر مورد‌استفاده قرار گیرد. این کار در مطالعات آتی نویسندگان پژوهش حاضر، در دست انجام است.

## منابع

- دبیری، غلامرضا. (۱۳۸۲). آنالیز حالات بالقوه خرابی و آثار آن (FMEA): مفاهیم، روش و پیاده‌سازی. تهران: انتشارات شرکت تهیه و توزیع لوازم‌پدکی ایران خودرو، صوفیان.
- سماک جلالی، معین و قادری، سید فرید. (۱۳۹۱). کاربرد ابزارهای کنترل کیفیت و FMEA به‌منظور ارتقاء کیفیت در یک مطالعه موردی. نهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی.
- فاطمی قمی، سیدمحمد تقی. (۱۳۹۱). کنترل کیفیت آماری. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).
- مسیحی، البیسی، رونق، مریم و مشایخ، محمدرضا. (۱۳۹۲). فناوری‌ها و فرآیندهای تولید. تهران: انتشارات فرمنش.
- نقندریان، کاظم. (۱۳۸۴). کنترل کیفیت آماری. تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- یزدانی، امیرعلی و محبی، امیرحسن. (۱۳۹۰). شش سیگما همراه با نرم‌افزار Minitab 14. تهران: انتشارات ناقوس.
- Chen, C., Wang, Y., Ou, H., He, Y., & Tang, X. (2014). A review on remanufacture of dies and moulds. *Journal of cleaner production*, 64, 13-23.
- Eminente, A., Gallo, M., Murino, T., & Naviglio, G. (2013). A proposal for forecasting highly seasonal products: the Unifrigio Gadus SPA case study. *International journal of statistics & economics*, 3, 77-88.
- Ghobbar, A. A., & Friend, C. H. (2003). Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: a predictive model. *Computers & operations research*, 30(14), 2097-2114.
- Holt, C. C. (2004). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. *International journal of forecasting*, 20(1), 5-10.
- Hyndman, R. J., & Khandakar, Y. (2007). Automatic time series for forecasting: the forecast package for R (No. 6/07). Monash University, Department of Econometrics and Business Statistics.
- Kim, H. Y., Raichur, V., Skerlos, S. J. (2008). Economic and environmental assessment of automotive remanufacturing: alternator case study. *Proceedings ASME 2008 international manufacturing science and engineering conference*. Evanston, Illinois, USA.
- Kim, Y. J., & Choi, C. H. (2009). A study on life estimation of hot forging die. *International journal of precision engineering and manufacturing*, 10(3), 105.
- Marx-Gomez, J., Rautenstrauch, C., Nürnberger, A., & Kruse, R. (2002). Neuro-fuzzy approach to forecast returns of scrapped products to recycling and remanufacturing. *Knowledge-Based systems*, 15(1-2), 119-128.
- Meier, H., Roy, R., & Seliger, G. (2010). Industrial product-service systems—IPS2. *CIRP annals-manufacturing technology*, 59(2), 607-627.
- United States International Trade Commission (2012). *Remanufactured Goods: An Overview of the U.S. and Global Industries, Markets, and Trade*. Retrieved from <http://www.usitc.gov/publications/332/pub4356.pdf>.