

## کاربرد طراحی آزمایش‌ها و کنترل فرایند آماری در بهبود کیفیت فرایند تولید دستگاه اسکناس‌شمار

زینب جزایری، یاسر صمیمی

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، دانشکده فنی مهندسی، گروه مهندسی صنایع  
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی صنایع

[z.jazayeri@gmail.com](mailto:z.jazayeri@gmail.com)  
[y.samimi@dena.kntu.ac.ir](mailto:y.samimi@dena.kntu.ac.ir)

### چکیده

در این تحقیق طراحی روش‌های مناسب برای کنترل کیفیت دستگاه اسکناس‌شمار مدنظر قرار گرفته است و به همین منظور از دو ابزار مهم کنترل کیفیت یعنی طراحی آزمایشات و کنترل فرایند آماری استفاده شده است. در بخش طراحی آزمایش‌ها، شمارش صحیح پول بعنوان مهم‌ترین کارکرد محصول شناخته شده و مؤثرترین عوامل شمارش غلط در دستگاه شناسایی شده‌اند. آزمایش‌هایی به روش Box-Behnken طراحی شده و پس از گردآوری نتایج، به کمک تحلیل رگرسیونی، حالت بهینه برای هر یک از عوامل مؤثر بر کارکرد صحیح دستگاه تعیین شده است. در بخش کنترل فرایند آماری، فرایند تولید بدنه اسپیندل به عنوان مهمترین بخش از فرایند تولید دستگاه اسکناس‌شمار مورد بررسی قرار گرفته است. با توسعه فرض آماری شوهارت در ترسیم نمودارهای کنترل مرسوم، مدلی بدست آمده است که فرایند مورد نظر را به خوبی توصیف می‌کند. با ترسیم نمودارهای کنترل، حدود کنترل جهت پایش فرایند فرزکاری تعیین شده است.

واژه های کلیدی: طراحی آزمایش‌ها، نمودار کنترل، دستگاه اسکناس‌شمار، بدنه اسپیندل

### 1- مقدمه

هدف اصلی این تحقیق شامل استفاده از روش‌ها و ابزارهای کنترل کیفیت آماری بمنظور بهبود فرایند تولید دستگاه اسکناس‌شمار بعنوان یک محصول مهم در یکی از کارخانجات معتبر تولیدی کشور است. دستگاه اسکناس‌شمار مدل NCS900 یکی از محصولات شرکت تولیدی پاراصنعت است. تولید دستگاه اسکناس‌شمار در شرکت مذکور از سال 1376 آغاز شده و هم اکنون بیش از 60000 دستگاه از انواع مدل‌های این محصول در شبکه بانکی کشور بصورت فعال در اختیار مشتریان قرار گرفته است. این دستگاه شامل قطعات و مکانیزم‌های الکترونیکی و مکانیکی متعدد بوده و از چند مجموعه اصلی شامل دسته جلوبر، سولنوئید، پمپ، اسپیندل، شاتر، برد اصلی و برد تغذیه تشکیل شده است. هر کدام از این مجموعه‌ها خود شامل چندین قطعه هستند که پس از طی مراحل ساخت، در خط مونتاژ به ترتیب روی دستگاه مونتاژ شده و بدین ترتیب دستگاه کامل شکل می‌گیرد. در این مقاله نحوه بکارگیری روش‌های کنترل کیفیت بویژه طراحی آزمایش‌ها و کنترل فرایند آماری برای بهبود عملکرد این محصول بررسی شده است.

نحوه سازماندهی مطالب در این مقاله بدین شکل خواهد بود که در قسمت دوم پس از شناسایی کارکردهای اصلی دستگاه، نحوه استفاده از متدولوژی سطح پاسخ<sup>1</sup> بر اساس رویکرد Box-Behnken برای تعیین سطوح بهینه عوامل مؤثر بر عملکرد محصول مورد توجه قرار می‌گیرد. قسمت سوم به استفاده از نمودارهای کنترل برای پایش فرایند ساخت دستگاه اسکناس‌شمار می‌پردازد. در نهایت قسمت چهارم به تحلیل نتایج و جمع بندی مباحث اختصاص یافته است.

<sup>1</sup> Response Surface

## 2- تحلیل فرایند به کمک طراحی آزمایش‌ها [1 و 2 و 3]

طراحی آزمایش‌ها شامل یک آزمایش یا یک سری از آزمایش‌هایی است که به طور آگاهانه در متغیرهای ورودی فرایند تغییراتی ایجاد می‌کند تا از این طریق میزان تغییرات حاصل در پاسخ خروجی فرایند مشاهده و شناسایی شود. متدولوژی سطح پاسخ معمولاً از یک سری آزمایش‌های پی در پی تشکیل گردیده است. برای این منظور در مراحل اولیه تجزیه و تحلیل، معمولاً سعی می‌شود تا 1- متغیرهای مهم فرایند شناسایی گردند، 2- تعیین شود که آیا فرایند در اطراف نقطه بهینه قرار دارد و 3- اگر چنین نیست آن را به سمت نقطه بهینه هدایت کرد. برای آزمایش‌هایی که بصورت پیوسته انجام نمی‌گیرند می‌توان از روش Box-Behnken استفاده نمود چراکه به کمک این روش آزمایش فقط یک بار انجام می‌شود.

### 2-1- شناسایی کارکردهای محصول

دستگاه اسکانس شمار ایستاده دارای عملکردهای اصلی و یا جنبی مختلفی است که مهمترین آنها عبارتند از: شمارش صحیح پول، شمارش سریع، شمارش بی صدا، دسته بندی پول‌ها، جمع زدن چند شمارش، شمارش روان، شمارش به تعداد تعیین شده، جلوگیری از پراکنده شدن ذرات آلوده ناشی از شمارش اسکانس، نمایش الکترونیکی عملیات انجام شده جهت مشاهده همزمان مشتری، ... مهم‌ترین کارکرد دستگاه اسکانس شمار شامل شمارش صحیح پول می باشد. اهمیت این ویژگی محصول با استفاده از روش تحلیل حالات شکست و آثار آن (FMEA) نیز مورد تأیید قرار گرفت. شمارش صحیح پول به عملکرد صحیح قسمت های مختلف دستگاه وابسته است. از بین عوامل ریشه ای شمارش غلط دستگاه، 5 عامل بیش از بقیه رخ می دهد و یا اینکه در صورت بروز بیش از سایر موارد در شمارش صحیح دستگاه تأثیر می‌گذارند. این عوامل عبارتند از 1- فاصله برگ‌کن از لبه سولنویید؛ 2- محل قرارگرفتن دیواره سولنویید؛ 3- فشار EEP در زمان شمارش؛ 4- سرعت شمارش؛ 5- فشار مکش انگشتی‌ها. بدین ترتیب لازم است برای دستیابی به عملکرد مطلوب با توجه به ویژگی مورد بحث، مقدار مناسب برای هر یک از عوامل نام برده شده مشخص شود.

برای طراحی آزمایش عملکرد محصول، تعیین سطوح مناسب برای هر یک از عوامل مد نظر قرار می‌گیرد. برای این منظور چند حالت مختلف عملکردی برای هر عامل تعیین می‌شود. برای پیدا کردن وضعیت بهینه، بایستی به ازای ترکیب حالت‌های مختلف عوامل، آزمایش عملکرد محصول انجام شود تا از این طریق مشخص شود به ازای کدام ترکیب خطای شمارش بیشتر و در کدام حالت خطا کمتر است. برای تحلیل اثرات اصلی عوامل و همچنین اثرات متقابل عوامل از تکنیک طراحی آزمایش‌ها استفاده شده است.

### 2-2- طراحی آزمایش‌ها جهت غربال کردن مشخصه‌های کیفی و تعیین سطح بهینه هر مشخصه

در این قسمت ابتدا به تعیین سطوح عوامل پنج گانه مورد بحث می‌پردازیم. عامل اول، فاصله برگ‌کن از لبه سولنویید است که دارای سه سطح مختلف است: فاصله تنظیم باشد، کمتر از حد مجاز باشد و یا بیشتر از حد مجاز باشد. دیواره سولنویید بعنوان عامل دوم به طور مشابه به صورت یک عامل سه سطحی تعریف می‌شود که می‌تواند در جای خود قرار گیرد، جلوتر و یا عقب تر از محل مورد نظر باشد. فشار EEP در زمان شمارش عامل سوم محسوب می‌شود که یا در مقدار معین خود تنظیم شده است، یا کمتر از مقدار اسمی می‌باشد و یا دارای مقداری بیش از مقدار اسمی است. فشار مکش انگشتی‌های دستگاه، عامل سه سطحی دیگری است که می‌تواند به مقدار تعیین شده، کمتر و یا بیشتر از آن باشد. همچنین از آنجا که سرعت شمارش بعنوان یک عامل جانبی می‌تواند موجب اختلال در نتایج حاصله باشد در این آزمایش به عنوان عامل بلوک بندی در نظر گرفته می‌شود و برای آن سه سطح مختلف در قالب سه سرعت مختلف در نظر گرفته می‌شود.

برای طراحی آزمایش مورد نظر از روش Box-Behnken استفاده می‌شود. در روش Box-Behnken آزمایش‌هایی که احتمال وقوع آن‌ها کمتر است حذف گردیده و بدین ترتیب تعداد 30 آزمایش از بین کل ترکیب‌های عوامل مختلف انتخاب شد. در هر آزمایش با تنظیم

هر 5 عامل به صورت تعیین شده، نتیجه شمارش ثبت گردید تا در نهایت با تحلیل نتایج، حالت بهینه تمامی عوامل و در واقع حالت بهینه دستگاه برای شمارش مشخص گردد.

## 2-3- تحلیل نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها

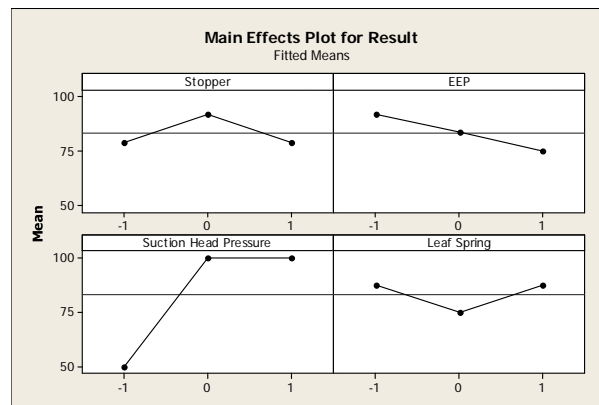
برای تحلیل نتایج بدست آمده از 30 آزمایش انجام شده از تحلیل رگرسیون به روش سطح پاسخ استفاده می‌شود. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون در جدول زیر آورده شده است.

جدول 1. تحلیل رگرسیون بر روی نتایج حاصل از آزمایش‌های طرح شده به روش Box-Behnken، به روش سطح پاسخ.

Response Surface Regression: Result versus Block, Leaf Spring, Stopper,...					
Term	Coef	SE Coef	T	P	
Constant	100.500	9.515	10.562	0.000	
Block 1	-0.300	6.018	-0.050	0.961	
Block 2	10.500	6.018	1.745	0.105	
Leaf Spring	-0.000	6.728	-0.000	1.000	
Stopper	0.000	6.728	0.000	1.000	
EEP	-8.417	6.728	-1.251	0.233	
Suction Head Pressure	24.917	6.728	3.703	0.003	
Leaf Spring*Leaf Spring	12.250	8.901	1.376	0.192	
Stopper*Stopper	-13.000	8.901	-1.461	0.168	
EEP*EEP	-0.125	8.901	-0.014	0.989	
Suction Head Pressure*	-25.125	8.901	-2.823	0.014	
Suction Head Pressure					
Leaf Spring*Stopper	-0.500	11.654	-0.043	0.966	
Leaf Spring*EEP	0.000	11.654	0.000	1.000	
Leaf Spring*Suction Head Pressure	0.500	11.654	0.043	0.966	
Stopper*EEP	0.250	11.654	0.021	0.983	
Stopper*Suction Head Pressure	0.250	11.654	0.021	0.983	
EEP*Suction Head Pressure	25.000	11.654	2.145	0.051	
S = 23.3078	PRESS = 55265.2				
R-Sq = 73.91% R-Sq(pred) = 0.00% R-Sq(adj) = 41.80%					

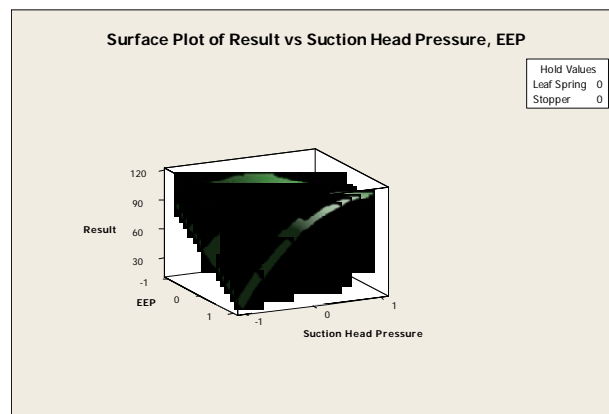
همان طور که در تحلیل رگرسیونی مشاهده می‌شود با توجه به مقادیر p-value بدست آمده، تنظیم فشار مکش انگشتی‌ها و فشار EEP از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین مقدار  $R-Sq = 73.91\%$  نشان می‌دهد مدلی که به کمک آن فرایند تحلیل شده است، به میزان زیادی قابلیت توصیف تغییر پذیری در متغیر پاسخ فرایند را دارا می‌باشد. در ادامه نتایج حاصله با رسم نمودار اثرات اصلی<sup>۲</sup> مورد تحلیل واقع شدند. در این نمودار هر عامل به تنهایی مورد بررسی قرار گرفته است. برای مثال همان طور که در شکل 1 مشاهده می‌شود عقب یا جلو بودن دیواره سولنوئید باعث کم شماری می‌شود. یا در مورد فشار مکش انگشتی‌ها (Suction Head Pressure) اگر فشار کمتر از حد مجاز باشد، سبب کم شماری می‌شود.

<sup>2</sup> Main Effect Plot



شکل 1. نمودار اثرات اصلی برای نتایج حاصل از آزمایش‌های طرح شده به روش Box-Behnken

برای یافتن حالت بهینه فشار EEP و فشار مکش انگشتی‌ها می‌توان نمودار سطح پاسخ ترسیم نمود. (شکل 2)



شکل 2. نمودار سطح پاسخ برای نتایج حاصل از آزمایش‌های طرح شده به روش Box-Behnken

همان طور که در شکل 2 مشاهده می‌شود هر کدام از فشارها که کم یا زیاد شوند تفاوت تعداد شمارش شده با تعداد واقعی، بیشتر می‌شود.

### 3- کنترل فرایند تولید دستگاه اسکناس شمار به کمک نمودارهای کنترل

طبق آمار ضایعات، قطعه بدنه اسپیندل<sup>3</sup> بالاترین میزان ضایعات را در بین انواع زیر مجموعه های محصول به خود اختصاص داده است. بنابراین فرایند تولید بدنه اسپیندل را به عنوان مهمترین و حساس ترین فرایند در تولید این دستگاه مورد بررسی قرار می دهیم. بدنه اسپیندل قطعه اصلی مجموعه اسپیندل است. اسپیندل با چرخش خود و مکش هوا اسکناس ها را شمارش می کند. هر انگشتی با عبور از مقابل یک برگ اسکناس، آن را شمارش می کند و در واقع با 20 بار چرخش اسپیندل 100 برگ اسکناس شمارش می شود. برای ساخت بدنه اسپیندل ابتدا یک شفت آلومینیومی برش می خورد و پس از آن یک سوراخ در وسط و 5 سوراخ دور تا دور سوراخ وسط (جای انگشتی ها) ایجاد می شود. انگشتی ها با مکش هوا اسکناس را به سمت خود کشیده و حسگر مغناطیسی زیر بدنه، اسکناس را شمارش می کند. به علت اهمیت و دقت میزان فشار مکش انگشتی ها، ابعاد 5 سوراخ روی بدنه اسپیندل از حساسیت خاصی برخوردار است. به طوری که اگر بعد از جا زدن انگشتی ها و بلبرینگ های مربوطه فشار از سوراخ ها نشتی داشته باشد مکش به خوبی انجام نشده و در نتیجه روی شمارش اسکناس تأثیر می گذارد (اضافه شماری یا کم شماری را سبب می شود). سوراخ های جای انگشتی روی بدنه اسپیندل با دستگاه فرز CNC و دقت میکرون ایجاد می شوند. مرحله سوراخکاری جای انگشتی ها حساس ترین مرحله تولید بدنه است و بیشترین میزان ضایعات را دارد. قطر سوراخ ها بایستی  $14_{-0.00}^{+0.03} mm$  باشد.

تمامی بدنه ها با یک دستگاه CNC سوراخکاری می شوند. در هر مرحله 6 عدد بدنه اسپیندل روی فیکسچری که برای این منظور طراحی و ساخته شده، بر روی میز کار دستگاه CNC قرار می گیرند و الماس به ترتیب سوراخ ها را می تراشد. در هر روز کاری 6 بار و در هر بار 6 عدد بدنه اسپیندل سوراخکاری می شود. اپراتور دستگاه CNC در روزهای مختلف ثابت است.

### 3-1- فرضیات شوهارت برای نمودارهای کنترل $\bar{X} - R$ مرسوم

در زمان استفاده از نمودارهای کنترل هنگامی که فرایند تحت کنترل است معمولاً فرض می شود که داده ها به طور مستقل از توزیع نرمال با میانگین  $\mu$  و انحراف معیار  $\sigma$  پیروی می کنند. وقتی حالت خارج از کنترل مشاهده می شود این بدان معناست که تغییری در مقدار  $\mu$  یا  $\sigma$  و یا هر دو ایجاد شده است. بنابراین می توان گفت که مشخصه کیفی در زمان  $t$  یا  $X_t$  از مدل زیر پیروی می کند:

$$X_t = \mu + \varepsilon_t \quad t = 1, 2, \dots \quad \text{رابطه (1)}$$

در رابطه فوق  $\varepsilon_t$  از توزیع نرمال و مستقل با میانگین صفر و انحراف معیار  $\sigma$  پیروی می کند. این مدل را معمولاً مدل شوهارت فرایند می نامند [5].

### 3-2- توسعه فرض آماری نمودارهای کنترل و تحلیل آن به کمک نمودارهای $I - MR - R/S$

حال در نظر بگیرید که مدل آماری اندازه های حاصل از فرایند، از مدل شوهارت پیروی نکند. برای مثال در فرایندهایی که هم تغییرپذیری بین قطعات مختلف وجود داشته و هم نقاط مختلف درون یک قطعه دارای تفاوت هستند، مدلی که برای نمودارهای کنترل شوهارت در بالا معرفی شد پاسخ گو نیست. به بیان روشن تر، در این گونه مسائل دو نوع خطای تصادفی وجود دارد. خطای مربوط به تفاوت بین قطعات مختلف، و خطای حاصل از تفاوت نقاط مختلف درون یک قطعه. به همین جهت مدل آماری نمودارهای شوهارت برای پایش چنین فرایندی در ادبیات موضوع به صورت زیر گسترش یافته است. در این مدل مشاهده  $X_{ij}$  مجموع میانگین کلی ( $\mu$ )، خطای بین نمونه ها ( $B_i$ ) و خطای درون هر نمونه ( $W_j$ ) است [4 و 6 و 7].

$$X_{ij} = \mu + B_i + W_j \quad \text{رابطه (2)}$$

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

$$j = 1, 2, \dots, J$$

فرض می شود که خطای بین نمونه های مختلف ( $B_i$ ) بطور مستقل از توزیع نرمال با میانگین 0 و واریانس  $\sigma_B^2$  تبعیت می کند. همچنین خطای درون یک نمونه ( $W_j$ ) مستقل از  $B_i$  فرض می شود و از توزیع نرمال با میانگین 0 و واریانس  $\sigma_W^2$  تبعیت می کند. کل تغییرات موجود در مشاهدات  $X_{ij}$ ،  $\sigma_T^2$ ، مجموع  $\sigma_B^2$  و  $\sigma_W^2$  است.

<sup>3</sup> Spindel

در مسائلی که از این مدل پیروی می کنند از نمودارهای کنترل  $I - MR - R/S$  استفاده می شود. این نمودارها تغییرات فرایند را در سه مرحله جداگانه به شرح زیر ارزیابی می کنند:

- نمودار داده های انفرادی (Individual Chart): میانگین هر نمونه به صورت یک نقطه روی این نمودار رسم می شود (برای نشان دادن خطای ناشی از تغییرات درون یک نمونه).
  - نمودار دامنه متحرک (Moving Range): با استفاده از میانگین زیرگروهها مقدار دامنه متحرک را روی نمودار ترسیم می کند. از این نمودار به همراه نمودار قبل، برای بررسی همزمان میانگین و تغییرپذیری فرایند استفاده می شود.
  - نمودار دامنه ( $R$ ) یا نمودار انحراف معیار ( $S$ ): تغییرات فرایند ناشی از تغییرات درون هر نمونه را نشان می دهد.
- بدین ترتیب، ترکیب سه نمودار روشی برای ارزیابی پایداری موقعیت فرایند، عامل تغییرپذیری بین نمونه ها و عامل تغییرپذیری درون نمونه ها بدست می دهد [5].

### 3-3- توسعه مدل آماری برای فرایند تولید بدنه های اسپیندل دستگاه اسکناس شمار

با توجه به فرایند سوراخکاری بدنه اسپیندل، پارامترهای تأثیرگذار در تغییرپذیری این فرایند عبارتند از موقعیت قرار گرفتن 5 سوراخ در هر بدنه، موقعیت هر قطعه بین 6 قطعه موجود روی یک فیکسچر، و تفاوت بین فیکسچرهای مختلف و متوالی. به علاوه برای کلیه اندازه ها یک مقدار میانگین کل نیز در نظر گرفته می شود. با توجه به آنچه که درباره مدل آماری نمودارهای کنترل گفته شد، و با در نظر گرفتن فرایند تولید بدنه اسپیندل، مدل آماری زیر جهت کنترل فرایند ارائه می گردد:

$$X_{ijk} = \mu + \beta_i + P_{j(i)} + S_k \quad \text{رابطه (3)}$$

که در آن:

$X_{ijk}$ : قطر سوراخ

$\mu$ : میانگین قطر سوراخها

$\beta_i$ : اثر تصادفی ناشی از فیکسچر  $i$ ام

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

$$\beta \sim N(0, \sigma_\beta^2)$$

$\sigma_\beta^2$ : تغییرات ابعاد سوراخ ناشی از تفاوت بین فیکسچرهای مختلف

$P_{j(i)}$ : اثر تصادفی ناشی از موقعیت  $j$ ام در فیکسچر  $i$ ام

تغییرات ناشی از موقعیت های مختلف روی فیکسچر باید بصورت مجزا برای هر فیکسچر در نظر گرفته شود، چرا که قطعات چیده شده روی فیکسچرهای مختلف یکسان نیستند. به همین دلیل اندیس  $i$  درون پرانتز قرار گرفته است.

$$j = 1, 2, \dots, 6$$

$$P \sim N(0, \sigma_P^2)$$

$\sigma_P^2$ : تغییرات ابعاد سوراخ ناشی از تغییر موقعیت قطعه روی فیکسچر

$S_k$ : اثر ناشی از محل سوراخ  $k$ ام روی قطعه

$$k = 1, 2, \dots, 5$$

$$S \sim N(0, \sigma_S^2)$$

$\sigma_S^2$ : تغییرات ابعاد سوراخ ناشی از تغییر محل سوراخ روی یک قطعه



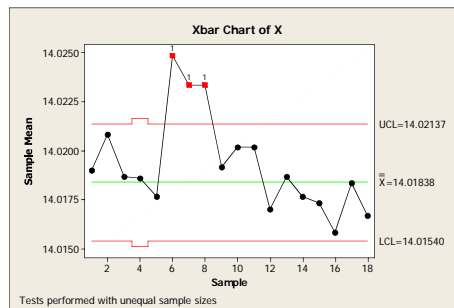
3. نمودار  $S$  جهت کنترل موقعیت قطعه در فیکسچر ( $\sigma_p^2$ )  
این نمودار تفاوت بین موقعیت‌های مختلف 1 تا 6 را روی یک میز نشان می‌دهد. هر نقطه ترسیم شده روی نمودار عبارت است از انحراف معیار میانگین‌های 6 قطعه مربوط به یک میز.

4. نمودار  $S$  جهت مشاهده اختلاف موجود بین سوراخ‌های مختلف در قطعات مختلف یک میز ( $\sigma_S^2$ ).  
انحراف معیار هر 30 مشاهده مربوط به یک میز به صورت یک نقطه روی نمودار مشاهده می‌شود.

### 3-6- تحلیل و اصلاح نمودارهای کنترل

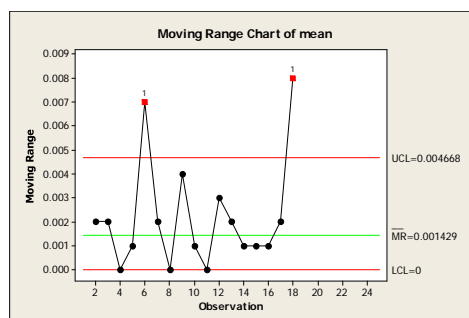
نقاط خارج از حدود کنترل از نمودارها حذف شده و حدود کنترل جدید محاسبه گردیده اند. این عمل تا تحت کنترل درآمدن نمودار ادامه می‌یابد. حدود کنترل نمودارهای نهایی می‌توانند برای بررسی عملکرد فرایند تولید قطعه بدنه اسپیندل استفاده گردند. نمودارهای اصلاح شده نهایی در ادامه آورده شده‌است.

همان‌طور که در نمودار  $\bar{X}$  نهایی (شکل 3) مشاهده می‌شود حدود کنترل نهایی برای قطر سوراخ  $14_{-0.01540}^{+0.02137} mm$  ، و میانگین قطر سوراخها  $\bar{X} = 14.01837$  است.



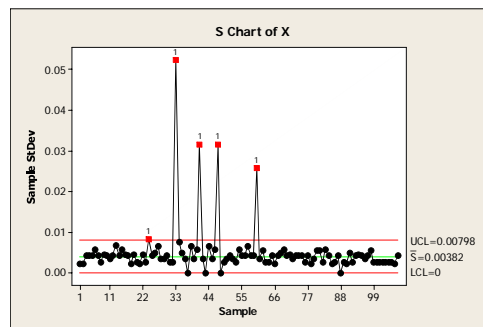
شکل 3. نمودار  $\bar{X}$  نهایی

در نمودار  $MR$  (شکل 4) میانگین اختلاف بین میانگین‌های حاصل از فیکسچرهای متوالی  $0.001429mm$  است. همچنین این اختلاف بایستی کمتر از  $0.004668mm$  باشد.



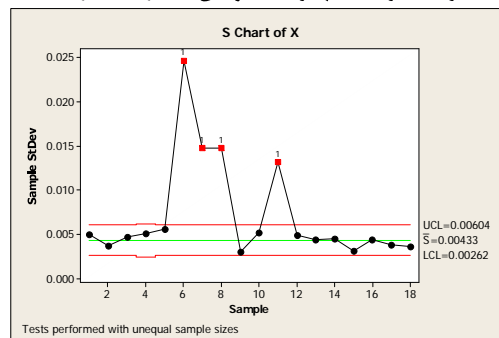
شکل 4. نمودار  $MR$  نهایی

در نمودار  $S$  جهت کنترل واریانس ناشی از موقعیت قطعه در فیکسچر ( $\sigma_p^2$ )، انحراف معیار میانگین‌های 6 قطعه مربوط به یک میز هر چه به  $\bar{S} = 0.00382$  نزدیک‌تر باشد بهتر است، و این مقدار باید کمتر از  $0.00798$  باشد.



شکل 5. نمودار  $S_P$  نهایی

و در نمودار  $S$  جهت مشاهده اختلاف موجود بین سوراخ‌های مختلف در قطعات مختلف یک میز ( $\sigma_s^2$ )، انحراف معیار 30 مشاهده مربوط به یک میز هر چه به مقدار  $\bar{S} = 0.00382$  نزدیک‌تر باشد بهتر است و این مقدار نباید از 0.00604 بیشتر باشد.



شکل 6. نمودار  $S_S$  نهایی

بدین ترتیب تلرانس‌های مجاز برای فرایند سوراخکاری بدنه‌های اسپیندل محاسبه شدند. البته این نتایج با بررسی نمونه‌های تولیدی در سه روز متوالی حاصل شده‌است. مطمئناً با بررسی تعداد نمونه‌های بیشتر اخذ شده در شرایط متفاوت تولید، و کمک گرفتن از سایر تکنیک‌های آماری جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، به نتایج دقیق‌تر و کامل‌تری دست خواهیم یافت.

#### 4- نتیجه گیری

در این تحقیق دستگاه اسکناس‌شمار NCS900 به عنوان فعال‌ترین محصول شرکت پارصنعت مورد بررسی قرار گرفت. از آنجا که مهم‌ترین کارکرد این محصول شمارش صحیح پول می باشد، شمارش غلط ریشه یابی شد و از بین علت‌های مختلف چهار عامل فشار مکش انگشتی‌ها، محل قرارگرفتن دیواره سولنوئید، فاصله برگ‌کن از لبه سولنوئید و فشار EEP در زمان شمارش اهمیت و فراوانی بیشتری دارند.

با استفاده از تکنیک طراحی آزمایش‌ها به روش Box-Behnken و تحلیل رگرسیونی نتایج حاصل از آن به روش سطح پاسخ، فشار مکش انگشتی‌ها و بعد از آن فشار EEP به عنوان مؤثرترین عوامل بر شمارش صحیح پول شناخته شدند. دستگاه اسکناس شمار NCS900 از قطعات مختلفی تشکیل شده است. مهم‌ترین این قطعات، قطعه بدنه اسپیندل است. در فرایند تولید بدنه اسپیندل حساس‌ترین مرحله فرزکاری با دستگاه CNC است. برای کنترل این فرایند عوامل مختلف مؤثر بر این فرایند بررسی شدند. با بررسی فرض آماری شوهارت برای رسم نمودارهای کنترل، و توسعه آن برای فرایند تولید بدنه اسپیندل، چهار نمودار کنترل برای کنترل چهار پارامتر مؤثر بر این فرایند طراحی و رسم گردید. با حذف نقاط خارج از کنترل از نمودارها و بهبود حدود کنترل طی چند مرحله، حدود کنترل مجاز برای هر یک از پارامترها بدست آمده است. با کنترل این مؤلفه‌ها در حقیقت می‌توان فرایند فرزکاری سوراخ‌های جای انگشتی را کنترل نمود تا بدنه اسپیندل با سوراخ‌هایی با قطر مناسب تولید گردد. آنالیز واریانس به روش GLM نشان داد که قرار گرفتن قطعه در هر یک از شش محل موجود در یک فیکسچر با محل‌های دیگر تفاوت داشته و باعث تغییر اندازه قطعات (تغییرپذیری فرایند) می‌شود. در نهایت پیشنهاداتی برای توسعه زمینه کار تحقیقاتی انجام شده در این مقاله مطرح می‌شود. در این تحقیق تنها فرایند تولید مورد بررسی قرار گرفت. نحوه استفاده مشتری از محصول نیز تأثیر زیادی بر عملکرد دستگاه و عمر مفید آن خواهد داشت. برای مثال نحوه قرار دادن اسکناس‌ها درون دستگاه، جنس اسکناس‌های مورد استفاده، و تواتر استفاده از دستگاه همه از عوامل تأثیرگذار بر کیفیت عملکرد این محصول هستند. از سوی دیگر این مقاله مهم‌ترین عملکرد دستگاه، یعنی شمارش صحیح پول را مورد بررسی قرار داده است. ابعاد دیگر کیفیت محصول مانند عمر مفید دستگاه که قطعاً برای مشتری از اهمیت برخوردار است، نیز نیازمند تحقیق و بررسی است. با بررسی سایر مشخصه‌های کیفی دستگاه، قطعاً می‌توان عملکرد دستگاه را ارتقاء بخشید و میزان رضایت مشتریان را که هدف اصلی تولید می‌باشد، افزایش داد. به منظور ارتقاء کیفیت محصول موضوع تشکیل تیم‌های چند تخصصی<sup>5</sup> برای بررسی و تحلیل جنبه‌های مختلف طراحی، تولید و مصرف محصول و همچنین بهره برداری از نتایج پروژه‌های تحقیقی در زمینه بهبود کیفیت در شرکت پارا صنعت مد نظر قرار گرفته است.

**تقدیر و تشکر:** نویسندگان لازم می‌دانند از حمایت‌های مدیریت محترم و همکاری کارکنان شرکت تولیدی پاراصنعت در روند انجام این پروژه تحقیقاتی صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

## 5- منابع و ماخذ

- [1]. مونتگومری، داگلاس، سی، کنترل کیفیت آماری، نورالسنا، ر، ویرایش سوم، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، 1376،
- [2]. نورالسنا، ر، "طراحی آزمایش‌ها، روشی برای بهبود کیفیت"، انتشارات سازمان مدیریت صنعتی، 1379.
- [3]. D.C. Montgomery (2001). *Introduction to Statistical Quality Control*, 4<sup>th</sup> edition, John Wiley & Sons.
- [4]. D. J. Wheeler (1995). *Advanced Topics in Statistical Process Control: The Power of Shewhart Charts*, SPC Press, Inc.
- [5]. Minitab Help, Minitab® 15.1.0.0., 2006 Minitab Inc.
- [6]. Woodall, W.H., Thomas, E.V., "Statistical Process Control with Several Components of Common Cause Variability", IIE Transactions, (1995), 27, 757-764.
- [7]. Porter, L.J., Caulcutt, R., "Control Chart Design: a Review of Standard Practice", Quality and Reliability Engineering International, (1992), 8, 113-122.

<sup>5</sup> Cross Functional Team