

## کاربرد اجرای آنالیز واریانس همراه با SPC در بهبود فرآیندها

### مهندس نیکا دستورنیکو

کارشناس ابزارهای کیفیت در شرکت طراحی مهندسی و تامین قطعات ایران خودرو (سپکو)

همکاران:

مهندس نوشاز انتظام سلطانی

مهندس روشنگر عبدالهی

### چکیده:

به دلیل مشکل در زمینه "کم بودن ضخامت PVC زیر رنگ بدنه" در خودروها که باعث نارضایتی مشتری داخلی شده بود، تیم بهبود سالن رنگ در یک کارخانه خودروسازی تصمیم گرفت مشکل این ایستگاه را با استفاده از SPC بررسی نماید. اطلاعات جمع آوری شده نشان داد که بیش از ۴۶٪ از خودروها دارای ضخامت PVC خارج از حدود استاندارد هستند که از این مقدار، ۲۹٪ خودروها ضخامت PVC کمتر از استاندارد دارند. که همین مطلب باعث نارضایتی مشتری شده بود.

در این مورد، بالا بردن میانگین تولید و افزایش پاشش PVC راه حل مناسبی محسوب نمی شد. زیرا فرآیند مزبور با پراکندگی زیاد، تولیداتی با ضخامت PVC بیشتر از حد بالای استاندارد نیز تولید می کرد. بنابراین، افزایش میانگین به تنهایی باعث بالا رفتن بی رویه مصرف PVC، منجر به بروز عیب "شره" می شد که به عنوان یک عیب ظاهری، مهمتر از کمی ضخامت است.

نمودار کنترلی فرایند، حتی پس از آن که تحت کنترل درآورده شد، هنوز بسیار ناتوان بود. بنابراین، تیم بهبود تصمیم گرفت تا ضمن جاری کردن نمودار کلیه عوامل تأثیرگذار بر فرآیند را نیز جمع آوری کرده و با انجام آنالیز واریانس بر روی این داده‌ها احتمال بهبود را بررسی کند. این کار منجر به نتایج جالب توجهی شد که بر اثر آن و با

تجزیه و تحلیل اطلاعات و انجام اقدامات اصلاحی تاکنون تیم SPC سالن رنگ موفق شده است مشکل کمی ضخامت PVC را در زیر بدنه از ۲۹٪ به صفر و در رکابها از ۹۹٪ به ۲٪ کاهش دهد.

مفاهیم کلیدی:

“آنالیز واریانس (ANOVA) - کنترل آماری فرایند (SPC) - اقدام اصلاحی اثربخش”

مراحل اجرای کار در این پروژه را می توان به ترتیب به شرح زیر ارائه کرد:

۱- انتخاب ایستگاه پایلوت

۲- تهیه نمودار مبنا

۳- تجزیه و تحلیل اطلاعات

۴- انجام آنالیز واریانس

۵- نتیجه گیری و اقدام اصلاحی

## مقدمه :

کنترل آماری فرآیند یا SPC ، یکی از ابزارهای شناخته شده بهبود فرآیند است که در سالهای اخیر رواج فراوانی یافته است. این ابزار، اگرچه در شناسایی حالت‌های خارج از کنترل بسیار توانا است، ولی برای شناسایی علل تاثیر گذار بر فرآیند به تنهایی کافی نیست.

با استفاده از آنالیز واریانس، در کنار SPC می توان کارایی و نقش این ابزار را در شناسایی عوامل تاثیر گذار فرایند به نحو چشمگیری افزایش داد و در بسیاری موارد نیاز به اجرای طراحی آزمایشات DOE را خصوصا در مواردی که احتمال وجود اثر متقابل ناچیز است ، کاهش داد.

محتوای مقاله:

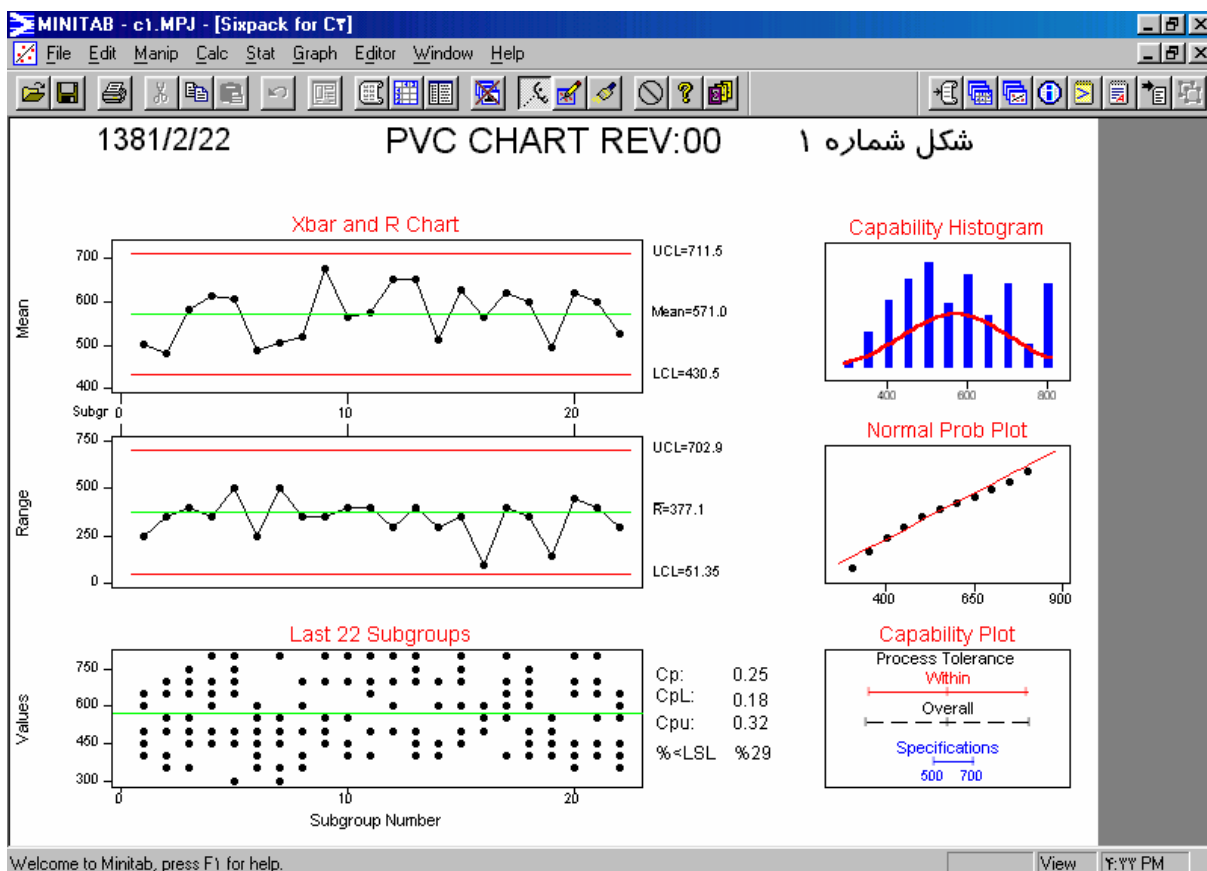
پاشش PVC، مرحله ای است که قبل از رنگ کاری خودرو صورت می گیرد . هدف از این کار ایجاد چسبندگی کافی بین رنگ و بدنه خودرو می باشد. در صورتی که ضخامت PVC پاشیده شده کم باشد، دوام رنگ بدنه نیز کم خواهد بود و رنگ با گذشت زمان پوسته پوسته شده و از بدنه جدا می شود.

## ۱- انتخاب ایستگاه پایلوت

با توجه به گزارش نارضایتی مشتری داخلی (مراحل بعدی فرآیند و پاشش رنگ) در مورد کم بودن ضخامت PVC بدنه‌های خودرو، اجرای SPC برای بهبود در ایستگاه موردنظر در دستور کار قرار گرفت.

## ۲- تهیه نمودار مینا

از آنجا که اندازه‌گیری برای ضخامت PVC در هشت نقطه در زیر بدنه و رکابهای خودرو انجام می‌شود، نمودار اولیه با نمونه‌های ۸ تایی ترسیم شد. (شکل ۱) اولین نمودار رسم شده برای فرآیند پاشش PVC را نشان می‌دهد که در آن  $C_{pL} = 0.18$  است. به این معنا که ۲۹٪ از بدنه‌ها ضخامت PVC پایین‌تر از حد استاندارد دارند.



### ۳- تجزیه و تحلیل اطلاعات

به دلیل پایین بودن توانایی فرآیند باید بر روی فرآیند تجزیه و تحلیل انجام می‌شد. طبق نظر تیم اجرایی، عواملی که می‌توانستند بر ضخامت PVC تاثیر داشته باشند عبارت بودند از: "محل اندازه‌گیری - تفاوت کار اپراتورهای PVC پاش، تفاوت اپراتورهای اندازه‌گیر - مدل خودرو - تفاوت بین انواع PVC"

طی چند هفته بعد، ضمن جاری کردن نمودار کلیه عوامل تأثیرگذار بر فرآیند نیز جمع‌آوری شد.

و با انجام آنالیز واریانس بر روی این داده‌ها، نتایج جالب توجه زیر بدست آمد:  
مقایسه ضخامت PVC در خودروهای مختلف

Analysis of Variance for RESP					
Source	DF	SS	MS	F	
P					
نوع خودرو	3	83361	27787	1.56	0.197
Error	476	8455305	17763		
Total	479	8538667			

CIs For Mean					
Individual 95% Based on					
Pooled StDev					
Level	N	Mean	StDev	---+-----+-	
خودرو ۱	262	597.3	145.1	(--*-)	
خودرو ۲	152	624.3	114.9	(--*---)	
خودرو ۳	58	593.1	125.5	(------*-----)	
خودرو ۴	8	625.0	100.0	(------)	
				*-----)	
-----+-----+-----					
Pooled StDev =		133.3	540	600	
660	720				

نتیجه: ضخامت PVC با نوع خودورو ارتباطی ندارد

مقایسه تفاوت کار اپراتورهای PVC پاش (اپراتورهای تولید)

Analysis of Variance for RESP

Source	DF	SS	MS	F
OP.PVC	7	133706	19101	1.02
Error	408	7674942	18811	
Total	415	7808648		

Level	N	Mean	StDev
AS	32	629.7	119.0
BE	40	597.5	130.6
E	56	592.0	146.7
GH	88	626.1	161.9
KHAL	16	640.6	97.0
MO	8	618.8	155.7
TAR	16	553.1	138.4

Pooled StDev =	137.2	490	560
630	700		

نتیجه: تفاوت کار اپراتورهای PVC پاش، اثر قابل توجهی بر ضخامت PVC ندارد

مقایسه اثر انواع مختلف PVC بر ضخامت

Analysis of Variance for RESP

Source	DF	SS	MS	F
P				
PVC	2	58761	29381	1.65
Error	477	8479905	17778	
Total	479	8538667		

Level	N	Mean	StDev	
G	144	616.3	133.1	(-----)
T	248	595.2	135.7	(-----*-----)
Pooled StDev =		133.3	580	600
	620	640		

نتیجه: یکی از انواع PVC همواره ضخامت پایین تری را نتیجه می دهد

مقایسه اثر اپراتورهای اندازه گیر بر ضخامت PVC

Analysis of Variance for RESP

Source	DF	SS	MS	F
P				
اثر اپراتور	7	481648	68807	4.03
Error	472	8057019	17070	
Total	479	8538667		

Level	N	Mean	StDev	
۱	40	586.3	158.1	
(-----*-----)				
۲	16	481.3	104.7	(-----*-----)
-----)				
۳	72	629.9	92.6	
(----*----)				
۴	40	563.8	159.7	
(-----*-----)				
۵	128	633.2	111.8	
(--*---)				
۶	120	598.8	127.9	
(----*--)				
۷	40	601.3	127.8	
(-----*-----)				
۸	24	616.7	223.0	
(-----*-----)				
				-----+-----+---
				-----+-----+-----
Pooled StDev =		130.7		
560	630		420	490

نتیجه: یکی از اپراتورهای اندازه گیر (شماره ۲) با سایرین تفاوت معنی داری دارد

مقایسه بین مکانهای مختلف نمونه گیری

Analysis of Variance for RESP				
Source	DF	SS	MS	F
P				
MN	7	5648583	806940	131.79
0.000				
Error	472	2890083	6123	
Total	479	8538667		

CIs For Mean				Individual 95%	
Pooled StDev				Based on	
Level	N	Mean	StDev	---	+
گلگیر جلو راست	60	668.33	63.76	(- * -)	
گلگیر جلو چپ	60	674.17	70.41	(- * -)	
زیر بدنه راست	60	676.67	79.97	(- * -)	
زیر بدنه چپ	60	664.17	78.16	(- * -)	
رکاب راست	60	428.33	83.55	(- * -)	
رکاب چپ	60	408.33	80.34	(- * -)	
گلگیر عقب راست	60	660.00	89.63	(- * -)	
گلگیر عقب چپ	60	666.67	77.39	(- * -)	
Pooled StDev = 78.25				400	500
600	700				

نتیجه: ضخامت PVC در قسمت رکابها با سایر نقاط به اندازه ای متفاوت است که نمی توان آنها را از  
جامعه دانست

#### ۴- نتیجه گیری و اقدام اصلاحی

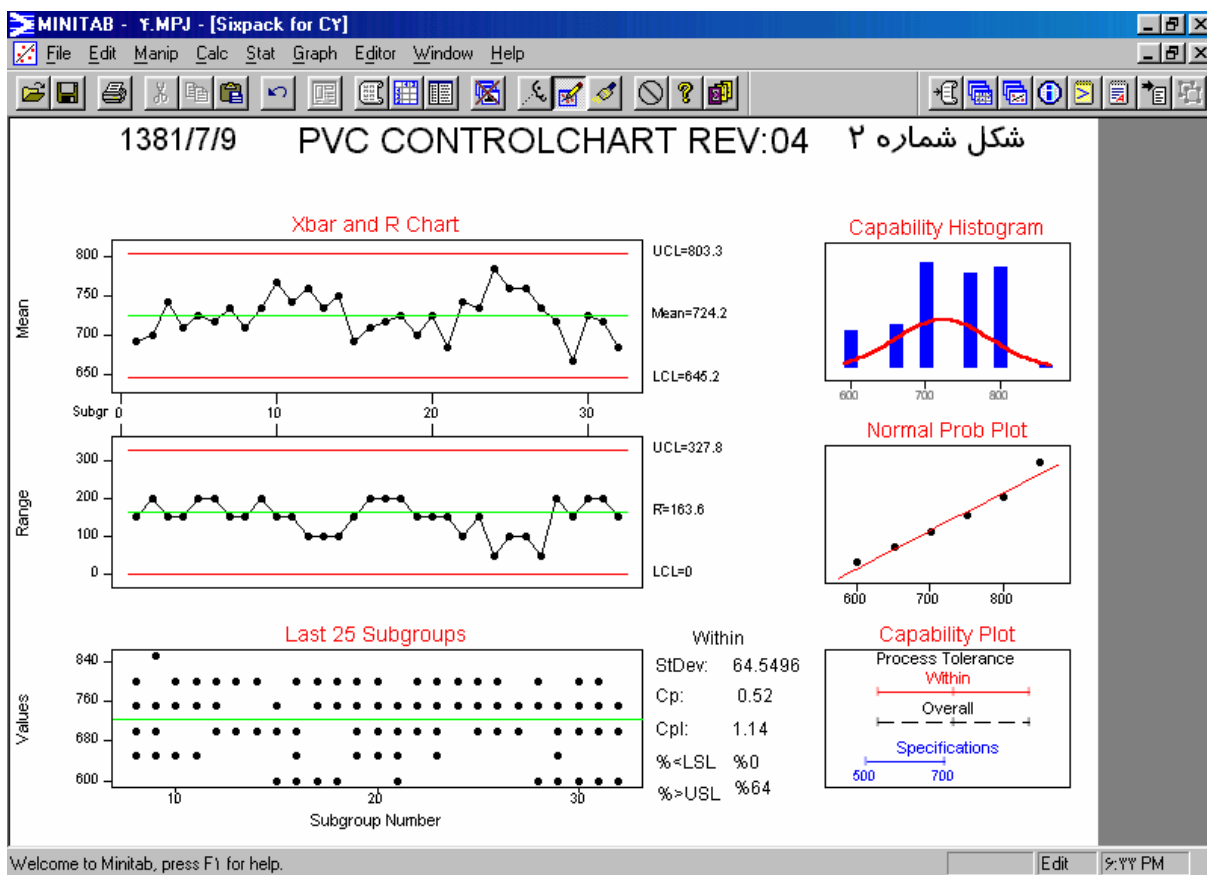
با توجه به نتایج بدست آمده از آنالیز واریانس اقدامات زیر انجام شد:

۱- آموزش روش صحیح اندازه گیری به اپراتور اندازه گیر (فرد شماره ۲)

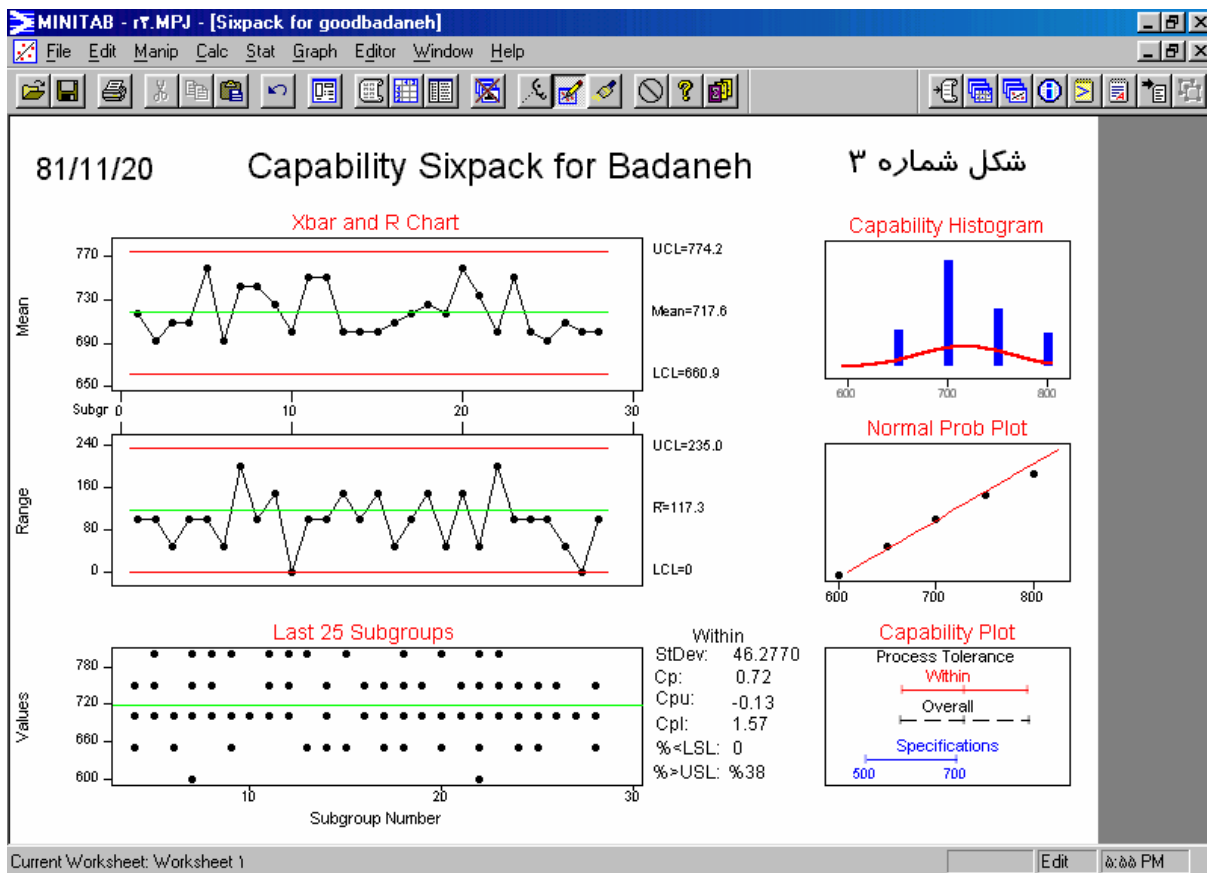


۲- جدا کردن رکابها از سایر نقاط زیر بدنه، چرا که به دلیل تفاوت اساسی ضخامت رکاب نسبت به سایر موارد زیر بدنه، نیاز به اقدام اصلاحی متفاوتی داشت.

پس از انجام اقدامهای اصلاحی فوق نمودار در حال حاضر به صورت زیر می‌باشند: نمودار نقاط زیر بدنه (شکل 2) با  $C_{PL} = 1.14$  نشان می‌دهد که درصد بدنه‌هایی که ضخامت پایین‌تر از حد استاندارد دارند بدون بروز عیب شره به صفر رسیده است.



اقدام بعدی در این زمینه کاهش واریانس برای محدوده خارج از استاندارد حد بالایی است که برای اصلاح آن فعالیت: "علامتگذاری نقاط و استاندارد کردن روش اندازه‌گیری" پیشنهاد شده است. برای این کار از زیر بدنه عکسبرداری شده و روی عکسها برای اپراتورها، محل دقیق اندازه‌گیری‌ها علامت‌گذاری شد. در نتیجه پراکندگی ناشی از اندازه‌گیری در نقاط مختلف زیر بدنه بطور چشمگیری کاهش پیدا کرده و توانایی فرآیند از حد بالا نیز بیشتر شده است. (شکل ۳)

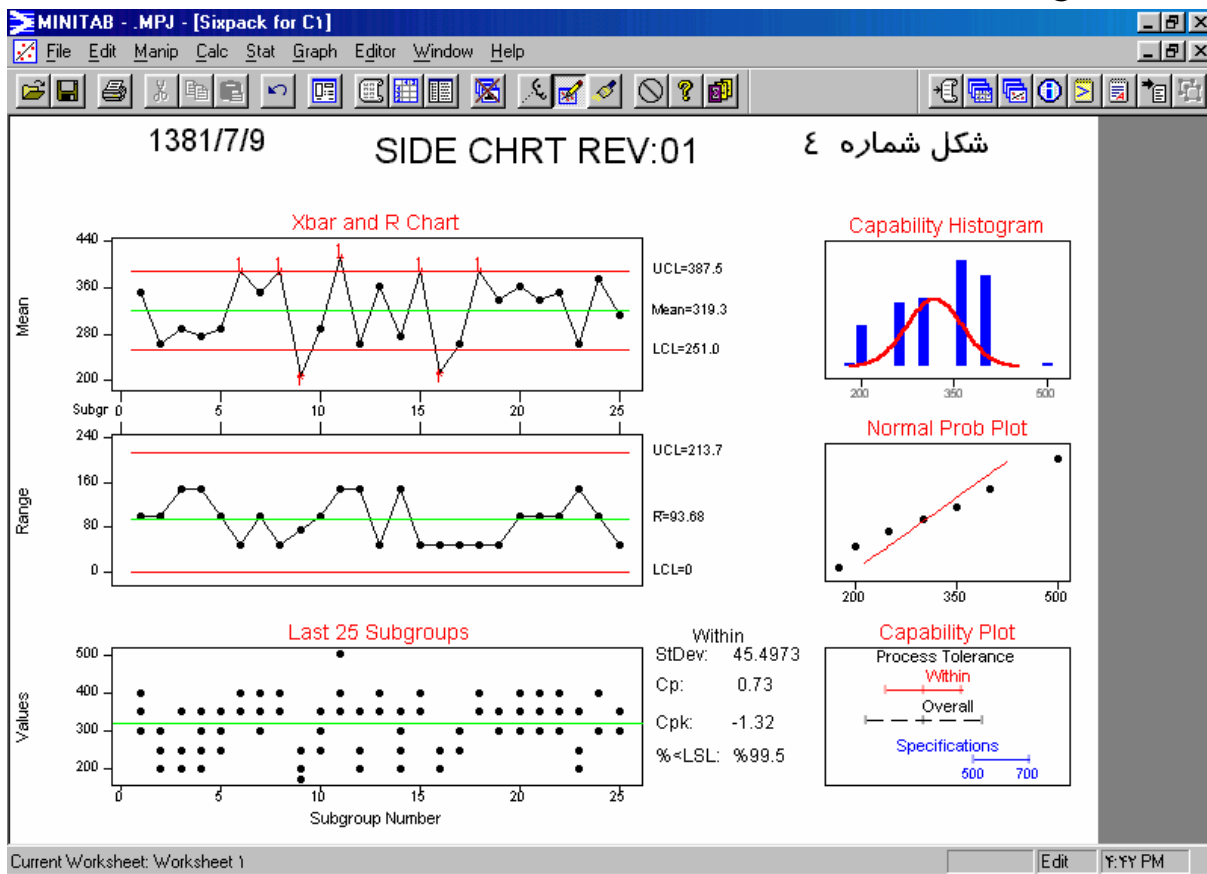


## ۵- نمودار رکابها

(شکل ۴) نشان می‌دهد میانگین ضخامت PVC برای رکابها بسیار کم است به گونه ای که تقریباً در ۹۹٪ خودروها، ضخامت PVC رکاب پایین تر از استاندارد می‌باشد. بنابراین قبل از اجرای SPC، جمع‌آوری اطلاعات و انجام آنالیز واریانس ضروری تشخیص داده شد. مطابق نظرات تیم اجرایی عوامل تأثیرگذار عبارت بودند از:

- ۱- اثر روانی: اپراتورها عادت دارند که همواره به دلیل نگرانی از بروز شره، ضخامت PVC در قسمت رکابها را در قسمت پایینی حدود مجاز نگه دارند.
- ۲- تفاوت قد اپراتورها: پاشش PVC بر روی رکابها، برخلاف زیر بدنه که از پایین به بالا پاشیده می‌شود، باید از بالا به پایین پاشیده شود و قد اپراتورها بر میزان تسلط اپراتورها تأثیر می‌گذارد.
- ۳- تفاوت اپراتورهای اندازه‌گیر: اگرچه در این زمینه در مرحله قبل اقدام اصلاحی انجام شده بود ولی بررسی اپراتورهای اندازه‌گیر مجدداً در برنامه کار قرار گرفت.

## ۴- تفاوت انواع PVC



فرض اول با قرار دادن یک نمودار با حدود بالاتر در فرآیند تأیید شد. (شکل ۵) نشان می‌دهد فقط با قرار دادن یک نمودار با میامگین ۶۰۰، میانگین ضخامت PVC، بدون بروز شره و بدون انجام هیچ اقدام اصلاحی به میزان قابل توجهی از ۳۲۰ به ۵۰۰ افزایش یافته است در حالی که هنوز هم عادت کار کردن در نیمه پایینی نمودار وجود دارد.

سایر اثرات با انجام آنالیز واریانس بررسی شد:

بررسی اثر دونوع مختلف PVC بر ضخامت PVC رکابها

Analysis of Variance for C1

Source	DF	SS	MS	F
P				
C7	1	62356	62356	10.54
				0.001
Error	378	2236821	5918	
Total	379	2299178		

Individual 95%

CIs For Mean

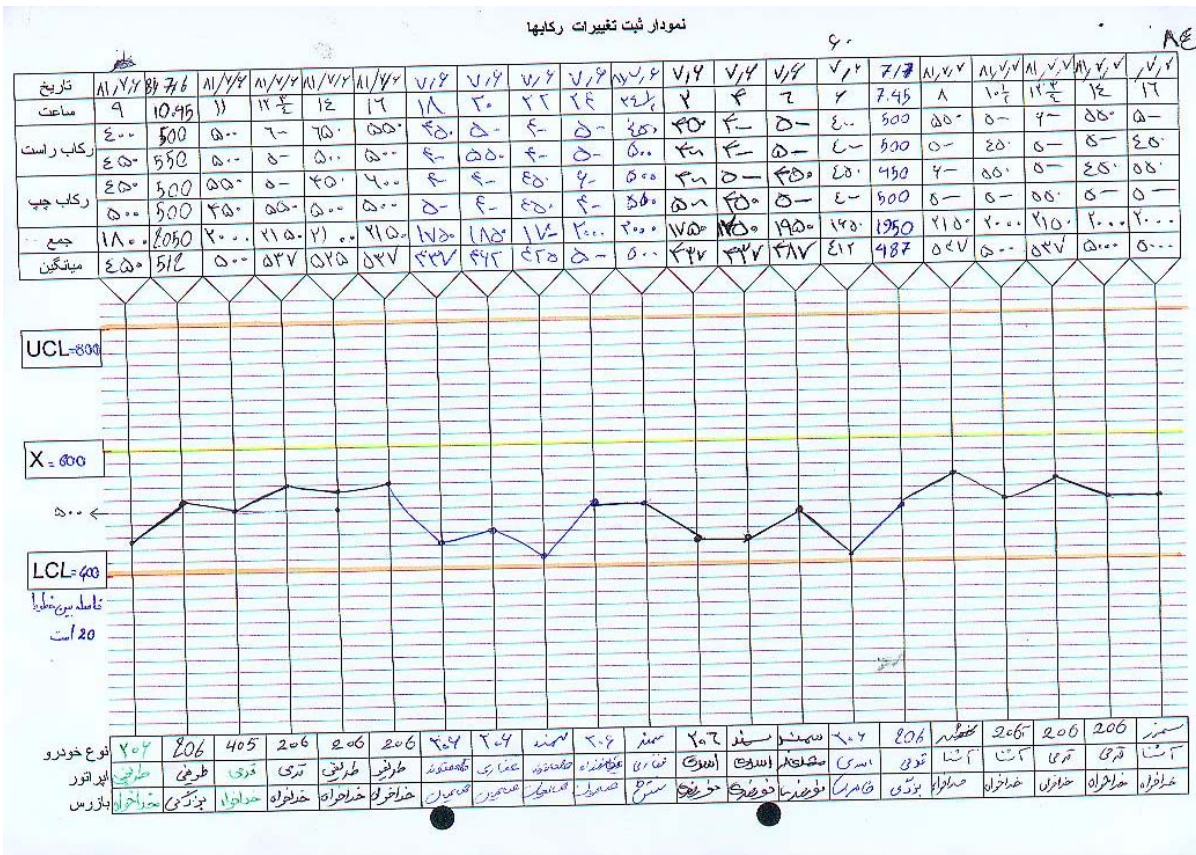
Based on

Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+-----
G	148	496.96	80.65	
T	232	470.69	74.46	(-----*-----)

Pooled StDev =	76.93	465	480
495	510		

نتیجه: یکی از انواع PVC همواره ضخامت پایین تری را نتیجه می دهد



رکابها PVC پاش بر ضخامت PVC مقایسه اثر اپراتورهای

Source	DF	SS	MS	F
P				
C4	9	954048	106005	29.16
0.000				
Error	370	1345130	3635	
Total	379	2299178		

Individual 95%  
Based on

Level	N	Mean	StDev	
as	56	429.46	64.51	(--*--)
ash	12	512.50	43.30	(-----*-----)
ghd	20	512.50	42.53	(-----*-----)
ghf	40	438.75	68.40	(---*---)
ghl	44	442.05	51.65	(--*---)
ho	28	417.86	76.03	(-----*-----)
ka	64	543.75	58.76	(--*--)
mo	24	460.42	48.85	(-----)
ta	64	543.75	58.08	(--*--)
ys	28	462.50	67.53	(-----)

Pooled StDev = 60.29  
500 550

نتیجه: ضخامت PVC پاشیده شده توسط افراد مختلف با یکدیگر بسیار متفاوت است

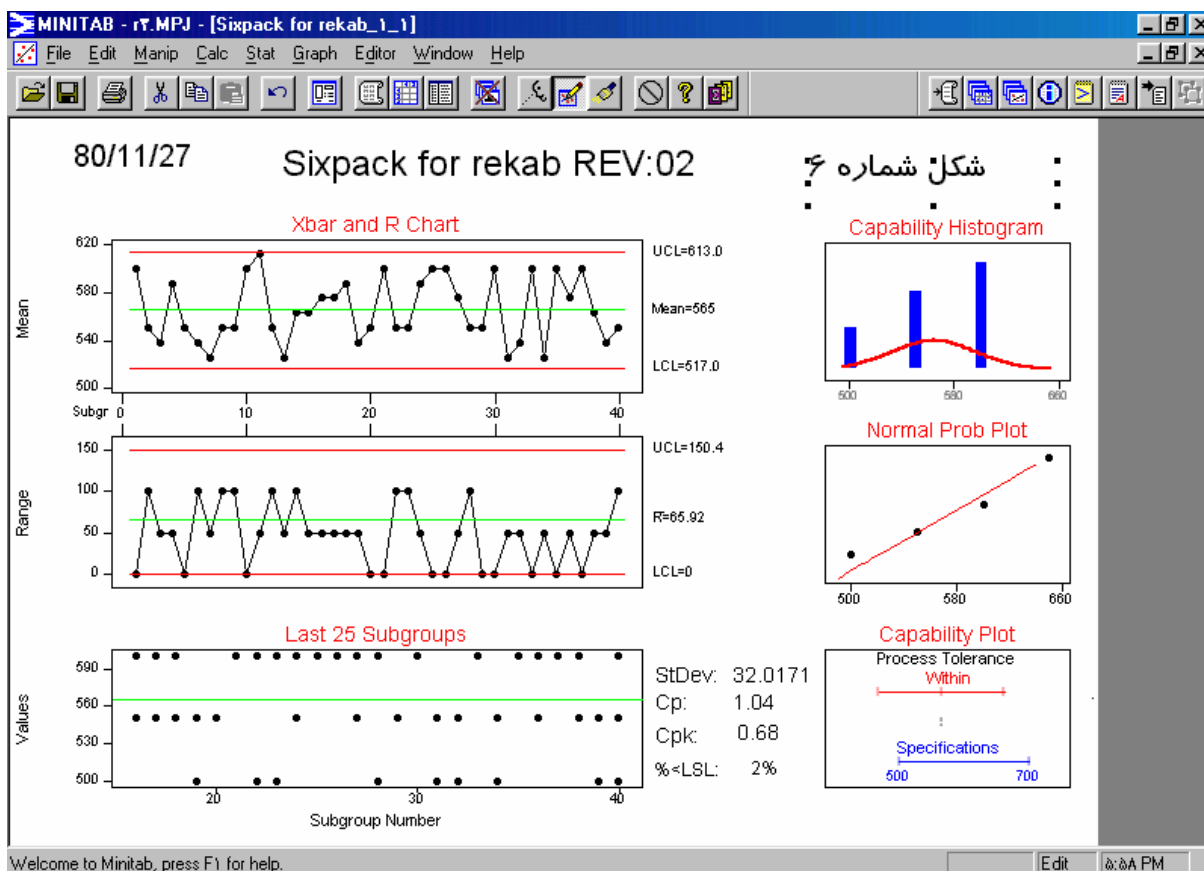
نتایج بدست آمده از آنالیز واریانس داده‌های جمع‌آوری شده از ضخامت PVC رکابها نشان دهنده تأثیر فراوان نوع PVC و نیز اپراتورهای PVC پاش است. اپراتورهای اندازه‌گیر تفاوتی نداشتند و این مطلب نشان می‌دهد اقدام اصلاحی مرحله قبل مؤثر بوده.

برای اقدام اصلاحی در این زمینه پیشنهادات زیر توسط تیم اجرایی ارائه شد.

۱- درخواست تست رپرت و خواص مواد دو نوع PVC برای بررسی علت تفاوت این دو منبع و انجام اقدام اصلاحی لازم.

۲- قرار دادن یک پایه بلندتر در اتاقک پاشش PVC برای بلند شدن قد و افزایش تسلط اپراتور PVC پاش و قراردادن شرط بلندی قد برای استخدام در مدول پاشش PVC.

۳- آموزش اپراتورها برای برطرف کردن اثر روانی ایجاد شده از قبل و کار در قسمت پایین نمودار.



با انجام فعالیتهای فوق، بهبود قابل توجهی در میانگین اندازه گیری های رکاب بوجود آمد (شکل ۶) نشان می دهد میزان خودروهایی که ضخامت PVC آنها در قسمت رکابها کمتر از حد استاندارد قرار دارد به حدود ۲٪ کاهش یافته است.

موانع موجود و راهکارهای اتخاذ شده:

از موانع موجود در اجرای SPC در فرایند پاشش PVC، می توان به ناآشنایی مسئولین مرتبط، ذهنیت بدون اعتماد به SPC به دلیل عدم کسب نتایج مطلوب از اجراهای قبلی در فرایندهای مشابه، عدم انجام آموزشهای زیر بنایی و بسترسازی قبلی برای اجرا اشاره کرد. برای غلبه بر این مشکلات، به طور کلی از راهکارهای زیر استفاده شد:

۱- تهیه یک برنامه زمان بندی و اجرایی همه جانبه، ارائه آن به مدیریت برای جلب حمایت ایشان

۲- بستر سازی و آموزش کلیه سطوح اجرایی (مدیریت، کنترل کیفی و تولید) بطور جداگانه و متناسب با عملکرد هر سطح.

۳- برگزاری جلسات منظم با مسئولین و تهیه گزارشات پیشرفت در هر مرحله. به عبارت دیگر، با نشان دادن نتایج ارزشمندی که تاثیر شرایط و پارامترهای مختلف را بر عملکرد فرایند پاشش PVC نشان می داد، اعتماد مدیریت برای اجرای SPC و ادامه آن جلب شد.

## منابع :

۱- کارگاه آموزشی کنترل آماری فرآیند. مسعود منصوری. مترجم: نیکادستورنیکو،

۱۳۷۸، نشر آموزه

۲- راهنمای نرم افزار Minitab 13