



Improvement of Thermal Battery Manufacturing Process Using DFSS Approach (IDOV Model)

Mohamad Hosein.Karimi*, Ehsan.Raeisi-rad & Karim Atashgar

Mohamad Hosein .Karimi Department of Industrial Engineering, Malek Ashtar University

Ehsan.Raeisi-rad Malek Ashtar University

Karim.Atashgar ,Department of Industrial Engineering, Malek Ashtar University

Keywords

DFSS,
IDOV,
QFD,
DOE,
Thermal Battery

ABSTRACT

This Paper aims to use DFSS (Design for Six Sigma) Approach with IDOV model (Identify-Design-Optimize-Validate) to improve the important properties of thermal batteries (Batterie's Voltage). DFSS enable a systematic approach to meeting the needs of the customer in all aspects of the product development process that can be measured, and improved authentication. with peer review models of DFSS, it was found that all of these models can be IDOV model and almost all the way (model) will follow. In this study, a process for improving the thermal battery using IDOV model was proposed. At first stage, customer requirements and voice of customer was identified. Process of production was checked and sigma level of existing process was determined. At second stage, critical to quality of designing parameters for thermal battery was determined by QFD tools (Design phase). At third stage, Design of Experiments was used to improve the manufacturing process of thermal batteries. DOE was done for three control factors and three levels. The results show improvement of the process and significantly increasing of the sigma level of the process.

© 2016 IUST Publication, IJIEPM Vol. 27, No. 4, All Rights Reserved



بهبود فرآیند ساخت باتری حرارتی با استفاده از رویکرد طراحی برای شش سیگما مدل (IDOV)

محمد حسین کریمی*، احسان رئیسی راد و کریم آتشگر

چکیده:

هدف از این مقاله بهبود مهمترین مشخصه باتریهای حرارتی (ولتاژ خروجی باتریها) با استفاده از روش DFSS طراحی برای شش سیگما (با مدل IDOV می باشد. طراحی برای شش سیگما یک روش سیستماتیک و فعال برای برطرف کردن نیازهای مهم مشتری در همه ابعاد فرآیند توسعه محصول است که می تواند اندازه گیری، تصدیق و بهبود یابد. با بررسی دقیق مدلهای روش طراحی برای شش سیگما مشخص گردید که همه این مدلها می توانند در قالب مدل IDOV قرار گیرند و تقریباً همگی از یک شیوه (مدل) تبعیت می کنند. در این تحقیق فرآیندی برای بهبود ساخت باتری حرارتی با استفاده از مدل IDOV پیشنهاد گردید. ابتدا نیازهای مشتری شناسایی و پس از بررسی خط تولید، سطح سیگمای فرآیند موجود مشخص شد. سپس با استفاده از روش QFD پارامترهای بحرانی طراحی، تعیین و از روش DOE جهت بهبود فرآیند استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان دهنده بهبود فرآیند ساخت باتری حرارتی و افزایش سطح سیگمای فرآیند بطور قابل توجهی می باشد

کلمات کلیدی

طراحی برای شش سیگما،
مدل IDOV،
سطح سیگما،
روش توسعه عملکرد کیفیت،
طراحی آزمایشات

۱. مقدمه

کیفیت، رضایتمندی کامل مشتری است و امروزه قیمت و کیفیت از مهمترین مزایای رقابتی در صنایع به شمار می آیند. [۱]. مشتریان پایه و اساس بازار رقابتی محسوب می شوند و همواره درخواست آنها تولید محصولاتی با کیفیت بالا، قیمت پایین و حداکثر کارایی است. [۲].

فرآیند موجود در سطح مناسبی از سیگما قرار ندارد و نیاز به رویکردی منسجم و نظام مند جهت اصلاح فرآیند راهبردی و توسعه خدمات جهت کاهش چشمگیر میزان عیوب، کاهش هزینه ها، بهبود و اثربخشی در مدت زمان کمتر احساس می شود. با توجه به این

تاریخ وصول: ۹۳/۰۸/۰۳

تاریخ تصویب: ۹۴/۰۸/۰۹

احسان رئیسی راد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، raeisi_rad@yahoo.com

نویسنده مسئول مقاله: دکتر محمد حسین کریمی، استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، mh_karimi@aut.ac.ir

کریم آتشگر، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، Atashgar@iust.ac.ir

موضوع در این تحقیق از رویکرد طراحی برای شش سیگما جهت بهبود تولید باتری حرارتی استفاده گردید. طراحی برای شش سیگما یک روش سیستماتیک و فعال برای برطرف کردن نیازهای مهم مشتری در همه ابعاد فرآیند توسعه محصول است که می تواند اندازه گیری، تصدیق و بهبود یابد. اولین هدف از اجرای روش طراحی برای شش سیگما جهت جلوگیری از عیوب، کاهش ضایعات، بهبود تحویل دهی و بهبود رضایت مشتری است. هدف بعدی یک رویه طراحی است که کمک می کند تا محصولات تولیدی با کمتری هزینه و بالاترین کیفیت و اطمینان توسعه یابند. [۳].

DFSS منجر به انجام طراحی هایی می شود که بطور چشمگیری نیاز به بازرسهای بعدی، آزمون و دوباره کاری را کاهش می دهد. این رویکرد مکمل متدولوژی بهبود شش سیگماست. هنگامیکه شش سیگما بر بهبود طراحیهای موجود تمرکز می کند، طراحی برای شش سیگما، تلاشهای خود را در ایجاد طراحیهای جدید و بهتر معطوف می کند. [۴].

طراحی برای شش سیگما روشی است کاملاً کنشی و نظام مند که هدف آن طراحی محصولات و فرآیندهایی است که شرایط مورد

جدول ۱. مدل‌های کاربردی رویکرد طراحی برای شش سیگما

Model	Phases.
۱ IDOV	Identify, Design, Optimize, Validate
۲ DMADV	Define, Measure, Analyze, Design, Verify
۳ DCOV	Define, Characterize, Optimize, Verify
۴ DMADOV	Define, Measure, Analyze, Design, Optimize, Verify
۵ DIDOVM	Define, Identify, Design, Optimize, Verify, Monitor

- مدل IDOV شامل مراحل ذیل است:

مرحله شناخت (Identify) شنیدن صدای مشتریان برای انتخاب بهترین طرح مفهومی محصول و شناخت خواسته های مشتری.

-مرحله طراحی (Design) ترجمه خواسته های مشتری به پارامترهای بحرانی کیفیت و انتخاب بهترین آنها.

-مرحله بهبود (Optimize) استفاده از ابزارها و مدل‌های پیشرفته آماری برای بهبود و طراحی اجرا می باشد. این فاز بر تکنیکهای بهبود طراحی متمرکز است و بهترین تنظیمات برای پارامترهای طراحی انجام می شود.

-مرحله تایید (Validate) آزمایش، ارزیابی عملکرد، صحت گذاری و اطمینان از رسیدن طرح ایجاد شده به خواسته های مشتری و مشخصه های بحرانی برای کیفیت [۹] و [۱۰] و [۱۳].

با بررسی دقیق مدل‌های روش طراحی برای شش سیگما مشخص گردید که همه این مدل‌ها می توانند در قالب مدل IDOV قرار گیرند و تقریباً همگی از یک شیوه (مدل) تبعیت می کنند که همان مدل IDOV است و با بررسی فازهای موجود در این مدل‌ها می توان دریافت که با وجود مدل کامل و جامع IDOV نیازی به تقسیم بندی بیشتر از این چهار فاز وجود ندارد، زیرا تمامی نیازهای بهبود فرآیند در این چهار فاز وجود دارد که در نهایت می توان گفت که مدل IDOV در عین سادگی و کم مرحله بودن می تواند نیازهای یک طراحی مناسب را برآورده سازد.

شرکتهای جنرال الکتریک، موتورولا، کاترپیلار، دلفی خودرو سیستم، داو کمیکال، و دیگران خیلی زود وارد مسابقه طراحی شش سیگما شده اند. شرکت جنرال الکتریک در سیستمهای پزشکی جهت تولید محصولات جدید تصویربرداری دیجیتالی، سیستمهای اشعه ایکس، تشخیص سرطان سینه و تصویر برداری از قلب و ... از مدل IDOV استفاده کرده است که توانسته بیش از ۲ میلیارد دلار فروش داشته باشد که بیش از ۵۰٪ فروش آنها مربوط به تولیدات با روش DFSS و مدل IDOV بوده است. [۴]. شرکت سیگیت به عنوان بزرگترین تولید کننده هارد دیسک در جهان و تامین کننده اصلی ایکس باکس شرکت مایکروسافت، با استفاده از رویکرد DFSS و مدل IDOV توانسته بیش از ۵۰ میلیون هارد دیسک در یک سال

نیاز مشتری را همراه با هزینه مناسب در کوتاهترین مدت و بدون مشکلات بعدی تولید، فراهم می کند و از دیگر اهداف آن قرار دادن کیفیت در بطن طرح از ابتدا، رشد درآمد با توجه به افزایش درجه رضایتمندی مشتری، افزایش سهم بازار و افزایش تولید به همراه کاهش هزینه های گارانتی است. فرآیندی است که بیمه کننده درجه رضایت مشتری است و همچنین با اجرای این متدولوژی از ایجاد هزینه های بسیار زیاد در هنگام تولید انبوه به دلیل نقص طراحی جلوگیری بعمل می آید. روش طراحی برای شش سیگما یک فرآیند سیستماتیک و رویکرد منظم جلوگیری از مشکل برای دستیابی به یک تجارت عالی است. [۱] و [۵] و [۶]

DFSS برای طراحی فرآیندها/محصولات جدید بکارگرفته می شود و اغلب زمانی استفاده می شود که فرآیندهای موجود رضایت مشتری را برآورده نسازند یا اینکه قادر به دستیابی به اهداف استراتژیک کسب و کار نباشند. [۷]. طراحی برای شش سیگما یک رویکرد قدرتمند در طراحی محصولات، فرآیندها و خدمات مقرون به صرفه با شیوه ای ساده برای پاسخگویی به نیازها و انتظارات مشتریان و پایین آورده هزینه های کیفیت است. برای رسیدن به موفقیت، DFSS باید با فرآیندهای طراحی موجود، انتظارات مشتری طی بررسی طراحی و معیارهای خروجی فاز طراحی ادغام شود. [۸].

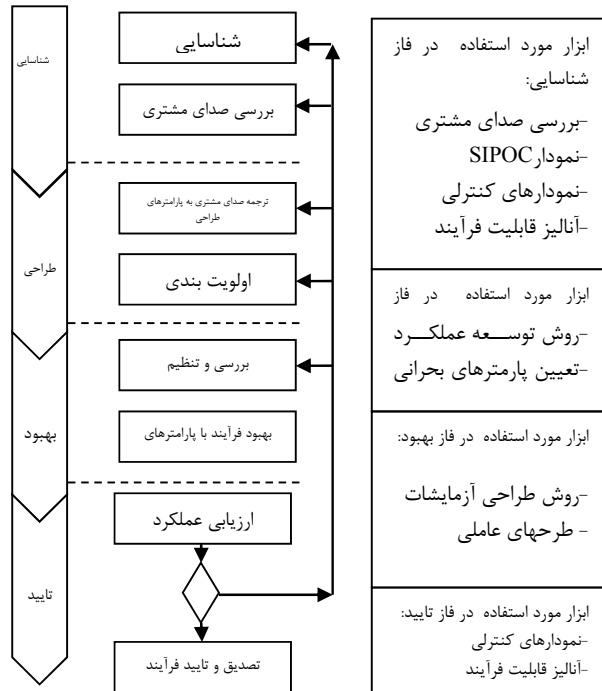
۲. سابقه تحقیقات

آنتونی برای اولین بار متدولوژی طراحی برای شش سیگما را به منظور کاهش هزینه ها و اشتباهات طراحی در کارخانه موتورولا معرفی و به کار گرفت. متدولوژی طراحی برای شش سیگما از ابزارهای آماری برای بهبود فرآیند طراحی استفاده می کند. آنتونی روش DFSS را بعنوان کاراترین و قابل اطمینان ترین روش برای برآورده کردن نیازهای مشتری در مرحله طراحی معرفی کرد. طبق تعریف ارائه شده توسط وی، روش طراحی برای شش سیگما، روشی سیستماتیک برای طراحی محصولات است که نیازهای مشتری و تواناییها و منابع سازمان را به صورت همزمان در نظر می گیرد. [۴] و [۹].

-انواع مدل‌های رویکرد طراحی برای شش سیگما:

پس از بررسی دقیق از تمامی مدل‌های موجود برای روش طراحی برای شش سیگما می توان به این نتیجه رسید که مدل‌های روش طراحی برای شش سیگما، دارای فازهایی می باشند که مخفف نام این فازها تشکیل دهنده نام مدل می باشد. همچنین فازهای هر مدل شامل تکنیکها و ابزار مخصوص به خود می باشند که مهمترین این مدل‌ها: DMADOV, DCOV, DMADV, IDOV DIDOVM می باشد (جدول ۱) [۱] و [۶] و [۱۰] و [۱۱] و [۱۲].

بهمراه خروجیها و ابزار مورد استفاده در هر فاز از این مدل به تفکیک فاز آورده شده است. فلوچارت موجود با بررسی مدلها و ابزارهای مختلف روش طراحی برای شش سیگما تهیه گردیده که با توجه به شکل زیر مشخص است که روند انجام تحقیق بر چه اساسی می باشد و در هر فاز چه ابزاری جهت تحقق بهبود فرآیند خط تولید باتریهای حرارتی استفاده شده است.



شکل ۱. نمودار مراحل IDOV به همراه خروجیها و ابزار مورد استفاده در هر فاز

۲-۳. انجام تحقیق به تفکیک فازهای مدل IDOV:

فاز شناسایی: در این مرحله با توجه به شکل ۱، از ابزارهای نمودار SIPOC، نمودار پارتو، مدل کانو، نمودارهای کنترلی و بررسی قابلیت فرآیند جهت بررسی وضعیت فعلی و شناخت بهتر فرآیند قبل از بهبود استفاده گردید. با استفاده از نمودار SIPOC، ورودیها، خروجیها و فرآیند بهبود خط تولید باتریهای حرارتی تعیین و با مطالعات انجام پذیرفته نیازهای مشتریان شناسایی گردید. در ادامه با شناسایی دلایل خرابی باتریهای حرارتی و با استفاده از نمودار پارتو، موارد بحرانی صدای مشتری (متغیر پاسخ جهت بهبود فرآیند) مشخص گردید. سپس با استفاده از نمونه گیری تصادفی، نمونه هایی تهیه گردید که پس از رسم نمودارهای کنترلی و اطمینان از تحت کنترل بودن فرآیند، قابلیت فرآیند بررسی و مشخص شد که فرآیند موجود در چه سطحی از سیگما قرار دارد [۲۰-۲۲].

بفروش برساند [۱۴]. شرکتهای تولید کننده لوازم الکتریکی برای کنترل فلاکس در لحیم مدارات چاپی از این مدل استفاده کرده اند [۱۵]. همچنین شرکتهای بزرگ تولید کننده تجهیزات پزشکی در ایرلند نیز جهت تولید محصولات پزشکی خود از مدل IDOV استفاده می کنند [۱۳]. برخی از شرکتهای طراحی مهندسی جهت حل مشکل اتصال فلانچها از این مدل استفاده کرده اند [۱۶]. در تحقیقی که در دانشگاه کریستن پرتا در اندونزی انجام پذیرفت نیز در تکنولوژی دربهای کشویی اتومات از این مدل استفاده کرده اند [۱۷].

پس مشخص گردید که شرکتهای جهت بهبود فرآیندهای تولید خود با استفاده از این مدل به نتایج خوبی دست یافته اند و نتایج کمی (عددی) بهبود فرآیند آنها، موید کامل بودن این مدل می باشد. در واقع کاربرد بیشتر این مدل و نتایج عالی حاصل از کاربرد آن، استفاده از این مدل را تضمین می کند، در نتیجه میتوان گفت که استفاده از مدل IDOV انتخاب مناسبی می باشد.

در این تحقیق نیز جهت بهبود فرآیند خط تولید باتریهای حرارتی از روش طراحی برای شش سیگما و مدل IDOV استفاده شده است که در ادامه به بررسی تکنیکها و ابزارهای موجود در این مدل پرداخته شده است. شرکتهایی که از این مدل جهت بهبود فرآیند کاری خود استفاده کرده اند و به نتایج خوبی دست یافته اند، بررسی شدند که از چه ابزاری برای این مهم استفاده نموده اند که نشان دهنده قدرت، کارایی و مفید بودن ابزار موجود است. از این رو در تحقیق حاضر سعی شده است که از ترکیبی از این ابزار جهت تحقق بهبود تولید باتریهای حرارتی استفاده گردد. در این تحقیق برای فاز شناسایی از ابزارهای نمودار SIPOC، نمودار پارتو، مدل کانو و بررسی صدای مشتری، استفاده از نمودارهای کنترلی برای تعیین وضعیت فرآیند موجود از لحاظ کیفی و آنالیز قابلیت فرآیند استفاده شده است. در فاز طراحی از ابزارهای توسعه عملکرد کیفیت و تعیین پارامترهای بحرانی کیفیت استفاده گردیده است. در فاز بهبود نیز از ابزار طراحی آزمایشات استفاده گردید. در نهایت برای فاز تایید که آخرین مرحله از مدل IDOV می باشد، جهت تایید بهبود صورت پذیرفته از نمودارهای کنترلی جهت تعیین وضعیت کیفی فرآیند جدید و آنالیز قابلیت فرآیند استفاده گردید [۱۶-۱۳] و [۱۸-۱۹].

۳. تشریح مسأله

این تحقیق از نوع کاربردی بوده و روش تحقیق از نوع آزمایش واقعی و مطالعه موردی می باشد. جهت بهبود فرآیند تولید باتری از رویکرد DFSS (مدل و IDOV شامل فازهای: شناسایی، طراحی، بهبود، تایید) استفاده گردید.

۱-۳. فرآیند بهبود با استفاده از مدل IDOV

با توجه به تحقیقات صورت پذیرفته در شکل ۱ فرآیند بهبود با استفاده از مراحل مدل IDOV از روش طراحی برای شش سیگما

فاز طراحی: در این مرحله با توجه به الگوی شکل ۱ از ابزار روش توسعه عملکرد کیفیت و تعیین پارامترهای بحرانی کیفیت استفاده گردید. بدین ترتیب با توجه به شناسایی نیازهای مشتریان، تمام عوامل فنی موجود و موثر در تولید باتریهای حرارتی شناسایی گردید. در باتریهای حرارتی صدای مشتری جمع آوری گردید و نیازها و خواسته های آنها شناسایی و دسته بندی شد. پس از تکمیل بخش مربوط به مشتری، مرحله بعد تهیه بخش اطلاعات فنی آن است. در این بخش ترجمه صداهای مشتری به ویژگیهای فنی صورت پذیرفت. صدای مشتری باید به شکلی ترجمه شود که قابل اندازه گیری و اجرا در سازمان باشد و در نهایت با استفاده از ماتریس QFD پارامترهای بحرانی کیفیت شناسایی گردید [۲۷-۲۳].

بهبود انجام گرفته در خط تولید، افزایش چشمگیری داشته است که این همان هدف از این تحقیق می باشد [۲۱-۲۰].

۳-۳. **جامعه و نمونه آماری تحقیق:** جامعه آماری شامل محصولات باتری در زمان قبل از بهبود و همچنین در زمان بعد از بهبود (اجرای DFSS) می باشد. روش نمونه گیری، روش تصادفی می باشد که برای تعیین قابلیت فرآیند در قبل و بعد از بهبود فرآیند استفاده می شود. همچنین برای تعیین عاملهای موثر با استفاده از روش طراحی آزمایشات از روش طبقه ای برای نمونه گیری استفاده می شود.

۴. نتایج و یافته‌های تحقیق

۴-۱. **نتایج مرحله شناسایی:** در این مرحله از مدل IDOV مشخص گردید که دلایل عمده خرابی برای هر باتری حرارتی تولیدی، تخریب شکل ظاهری باتری، رطوبت گرفتن باتری و عدم تامین ولتاژ مناسب می باشد. با بررسیهای بعمل آمده مشخص گردید که در ۶۲۸ عدد باتری تولیدی با توجه به ۳ علت خرابی، ۱۰۲ عدد باتری مشکل دار بوده اند که ۸۷ مورد خرابی مربوط به عدم تامین ولتاژ مناسب، ۱۱ مورد مربوط به رطوبت گرفتن باتری و ۴ مورد خرابی نیز مربوط به له شدگی بدنه باتری و تخریب شکل ظاهری آن می باشد. پس بر اساس این اطلاعات نمودار پارتو فرصتهای خرابی باتری های حرارتی رسم گردید (شکل ۲) و مشاهده گردید که ۸۵/۳ درصد از دلایل خرابی مربوط به عدم تامین ولتاژ مناسب است و مشخص گردید که پارامتر تامین ولتاژ مناسب به عنوان مهمترین پارامتر در صدای مشتری می باشد که همان پارامتر بحرانی برای مشتری می باشد. در این تحقیق نیز هدف تامین این نیاز اساسی مشتریان می باشد که بتوان با تامین ولتاژ خروجی باتریها، فرآیند تولید باتریهای حرارتی را بهبود بخشید.



شکل ۲. نمودار پارتو دلایل خرابی در باتریهای حرارتی

سپس ورودیها و نحوه اجرای فرآیند بهبود خط تولید باتریهای حرارتی و خروجی این فرآیند بهبود مورد بررسی قرار گرفت و نمودار SIPOC ارائه گردید (شکل ۳)

نمودار SIPOC				
مشتری (Customer)	خروجیها (Outputs)	فرآیند (Process)	ورودیها (Inputs)	تامین کنندگان (Suppliers)
مراکز مصرف کننده باتری	باتریهای حرارتی	خط تولید باتریها	مواد اولیه (پودر) باتریها	تامین کنندگان مواد اولیه باتریها

فاز بهبود: جهت بررسی تمام جوانب و جمع آوری اطلاعات کامل در زمینه تولید اینگونه باتریها و همچنین بعلاوه احتمال وجود اثرات متقابل عوامل کنترلی از طرح آزمایش فاکتوریل کامل در طراحی آزمایشات استفاده گردید. در این مرحله ابتدا از عوامل کنترلی (پارامترهای بحرانی کیفیت در خروجی مرحله طراحی) با دو سطح جهت مقرون به صرفه بودن، برای انجام طرح آزمایش فاکتوریل کامل استفاده گردید و پس از بررسی نتایج آنالیز واریانس، مشاهده گردید که اگر مابین سطوح عوامل کنترلی سطح دیگر در نظر گرفته شود، نتایج از دقت بالاتری برخوردار می شود که برای رسیدن به این مهم در ادامه از طرح آزمایش فاکتوریل کامل برای سه عامل با سه سطح استفاده گردید. در نهایت مشخص گردید که کدامیک از عوامل کنترلی مذکور تاثیر بیشتری بر متغیر پاسخ داشته است و اثرات متقابل این عوامل کنترلی تعیین گردید و نشان داده شد که با استفاده از چه ترکیبی از سطوح عوامل کنترلی می توان متغیر خروجی را بهبود بخشید. با توجه به انجام روش طراحی آزمایشات و آنالیز واریانس، باتریهای جدید با توجه به انتخاب بهترین سطوح از عوامل کنترلی جهت رسیدن به بهترین متغیر پاسخ تولید و مورد بررسی قرار گرفتند [۲۸-۳۱].

فاز تایید: در این مرحله با توجه به الگوی شکل ۱ از ابزارهای نمودارهای کنترلی و آنالیز قابلیت فرآیند جهت بررسی دقیق فرآیند جدید استفاده گردید. با توجه به نتایج حاصل از روش طراحی آزمایشات و انجام آنالیز واریانس، تنظیمات جدید (استفاده از بهترین سطوح از عوامل اثرگذار و کنترلی موجود) انجام پذیرفت. در ادامه خط تولید باتری حرارتی با تنظیمات جدید به فعالیت خود ادامه داد و در نهایت تعدادی باتری حرارتی با تنظیمات جدید تولید و بصورت تصادفی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. پس از رسم نمودارهای کنترلی این نمونه های جدید و اطمینان از تحت کنترل بودن فرآیند، سطح سیگمای فرآیند تنظیم یافته با استفاده از آنالیز قابلیت فرآیند بدست آمد و مشخص گردید که سطح سیگما با

در این مرحله با استفاده از نرم افزار minitab نرمال بودن داده های موجود توسط تست نرمالیت و با روش اندرسون-دارلینگ بررسی شد و با توجه به بالا بودن عدد $P\text{-Value} = 0.385$ مشخص گردید که داده ها (ولتاژهای بدست آمده) نرمال و تصادفی بوده و فرض نرمال بودن داده ها درست است (شکل ۴)



شکل ۳. نمودار SIPOC فرآیند خط تولید باتریهای حرارتی

از نمودارهای کنترلی جهت نشان دادن وضعیت کیفی این فرآیند (قبل از بهبود) استفاده گردید. مقدار مناسب ولتاژ خروجی باتریهای حرارتی در این تحقیق (29.3 ± 0.5) ولت برای هر باتری می باشد. در این مرحله با استفاده از نمونه گیری تصادفی ۵۰ نمونه انتخاب گردید که ۲ نمونه معیوب بود (علت معیوبی: ترک خوردن پودرهای پرس شده). با توجه به اینکه $p = x/n$ نسبت نمونه و یک تخمین نقطه ای می باشد، بطوریکه x تعداد اقلام معیوب در یک نمونه n تایی است) پس $p = 0.04$ می باشد. در ادامه برای تعیین تعداد نمونه ها از فرمول مقابل استفاده گردید:

$$n = (Z_{\alpha/2}/E)^2 p(1-p) \quad (1)$$

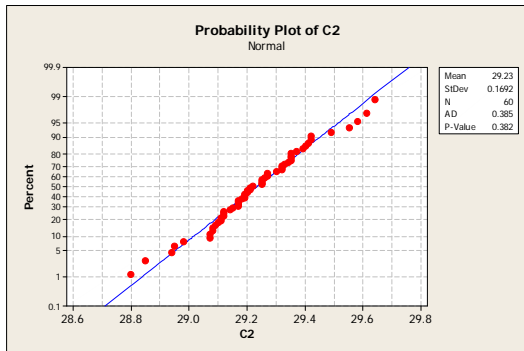
تقریباً ۹۵٪ مطمئن هستیم که مقدار خطا در تخمین p کمتر از $E = 0.05$ است. با جایگذاری مقادیر موجود در فرمول فوق $n = 59$ بدست آمد که در این تحقیق از ۶۰ نمونه باتری استفاده گردید (جدول ۲). در واقع ۱۲ نمونه دیگر به ۴۸ نمونه سالم اولیه اضافه گردید که در مجموع ۶۰ نمونه تهیه گردید [۲۱]. با رسم نمودارهای کنترلی، فرآیند موجود مورد بررسی قرار گرفت که پس از حذف نقاط خارج از کنترل و رفع علل خارج از کنترل قرار گرفتن فرآیند (نمونه هایی که ولتاژ خروجی آن از حد ماکزیمم بیشتر بودند که به علت عدم دقت اپراتور در اندازه گیری مقدار پودرها بود، با نمونه های سالم تعویض گردیدند و نمونه ای که به دلیل قرار گرفتن در هوای آزاد کمی رطوبت گرفته بود و ولتاژ آن از حد مینیمم کمتر بود که می بایست مانند دیگر نمونه ها در محفظه با رطوبت کنترل شده قرار می گرفت با نمونه سالم تعویض گردد) مجدداً نمودار کنترلی رسم گردید.

جدول ۲. ولتاژهای خروجی فرآیند باتری حرارتی قبل از

بهبود

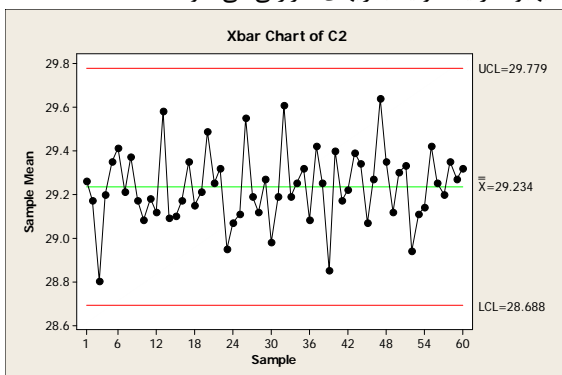
ولتاژهای خروجی باتریها

۲۹/۲۶	۲۹/۱۷	۲۸/۸۰	۲۹/۲۰	۲۹/۳۵	۲۹/۴۱	۲۹/۲۱	۲۹/۳۷	۲۹/۱۷	۲۹/۰۸
۲۹/۱۸	۲۹/۱۲	۲۹/۵۸	۲۹/۱۵	۲۹/۱۰	۲۹/۱۷	۲۹/۳۵	۲۹/۰۹	۲۹/۲۱	۲۹/۴۹
۲۹/۲۵	۲۹/۲۲	۲۸/۹۵	۲۹/۰۷	۲۹/۱۱	۲۹/۵۵	۲۹/۱۹	۲۹/۱۲	۲۹/۲۷	۲۸/۹۸
۲۹/۱۹	۲۹/۶۱	۲۹/۱۹	۲۹/۲۵	۲۹/۳۲	۲۹/۰۸	۲۹/۴۲	۲۹/۲۵	۲۸/۸۵	۲۹/۴۰
۲۹/۱۷	۲۹/۲۲	۲۹/۳۹	۲۹/۳۴	۲۹/۰۷	۲۹/۲۷	۲۹/۶۴	۲۹/۳۵	۲۹/۱۲	۲۹/۳۰
۲۹/۲۳	۲۸/۹۴	۲۹/۱۱	۲۹/۱۴	۲۹/۴۲	۲۹/۲۵	۲۹/۲۰	۲۹/۳۵	۲۹/۲۷	۲۹/۳۲



شکل ۴. نمودار مربوط تست نرمالیت و ولتاژ با تریها قبل از بهبود

بدین ترتیب قبل از بهبود فرآیند تولید باتریهای حرارتی، با استفاده از مقادیر جدول ۲ نمودار کنترلی رسم گردید (شکل ۵) و مشخص گردید که این فرآیند تحت کنترل می باشد و میانگین مقادیر 29.23 ولت می باشد. در ادامه قابلیت فرآیند بررسی گردید و مشخص شد که فرآیند موجود در چه سطحی از سیگما قرار دارد تا بتوان با دانستن سطح سیگمای فرآیند موجود، برای افزایش این سطح سیگما در راستای بهبود فرآیند برنامه ریزی و طراحی نمود. در این مرحله با استفاده از نرم افزار minitab قابلیت فرآیند محاسبه گردید. شکل ۶ نشان می دهد که قابلیت فرآیند موجود باتریهای حرارتی $C_{pk} = 0.18$ می باشد که انطباق این مقدار با مقادیر موجود در جداول موجود، سطح سیگمای $2/4$ را نشان می دهد. پس در حال حاضر فرآیند باتریهای حرارتی در سطح سیگمای $2/4$ قرار دارد که هدف از این تحقیق افزایش این سطح سیگما می باشد که منجر به بهبود فرآیند تولید باتریهای حرارتی می شود.



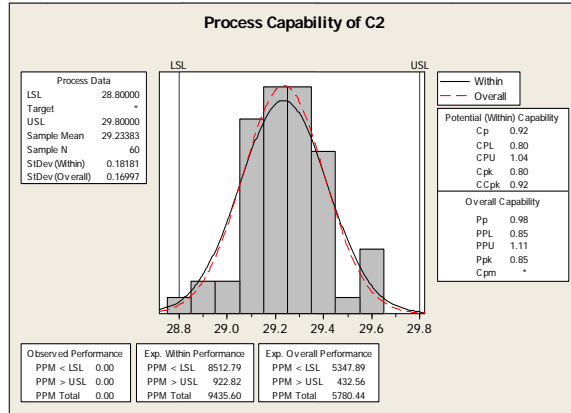
شکل ۵. نمودار کنترلی فرآیند موجود تولید باتریهای حرارتی

بندی ذرات پودری باتری (وزن: ۳۷۸)، میزان اختلاط مواد پودری (وزن: ۳۶۰)



شکل ۷. ماتریس QFD باتریهای حرارتی

۴-۳. نتایج مرحله بهبود: در این مرحله با تمرکز بر نتایج حاصل از روش توسعه عملکرد کیفیت و مشخص شدن عوامل فنی و کنترلی موثر موجود در فرآیند خط تولید باتریهای حرارتی (خلوص مواد باتری، دانه بندی ذرات پودری باتری و میزان اختلاط مواد پودری) جهت بهبود فرآیند و در واقع بهبود ولتاژ خروجی باتریها، از روش طراحی برای آزمایشات استفاده گردید. در نهایت با استفاده از روش طراحی آزمایشات مشخص گردید که کدامیک از عوامل کنترلی مذکور تاثیر بیشتری بر متغیر پاسخ (ولتاژ خروجی باتریها) داشته است و اثرات متقابل این عوامل کنترلی مشخص گردید و دیگر اینکه با استفاده از چه ترکیبی از سطوح عوامل کنترلی می توان به ولتاژ خروجی بهبود یافته رسید. در واقع در این تحقیق هدف، بهبود مهمترین مشخصه باتریهای حرارتی یعنی ولتاژ خروجی باتریهاست. با بررسی های بعمل آمده، مشخص شد که عوامل نویز برق و رطوبت محیط می توانند بر کیفیت باتریهای حرارتی اثرگذار باشند: به عنوان مثال نوسانات برق می تواند سبب ایجاد نویز در فرآیند و تغییر مقدار ولتاژ باتری شود که با استفاده از دستگاه UPS این فرآیند تحت کنترل قرار گرفت و اثر آن به حداقل رسید. رطوبت عامل دیگر می باشد که در صورت



شکل ۶. قابلیت فرآیند موجود تولید باتریهای حرارتی

در ادامه نیازها و خواسته های مشتریان شناسایی و دسته بندی گردید. نیازهای اساسی شامل کیفیت مناسب پوسته باتری، مقاوم بودن اتصالات باتری، ابعاد و وزن مناسب باتری، ولتاژ خروجی باتری به مقدار $29/3 \pm 0/5$ ولت، زمان عملکرد باتری و نیازهای عملکردی شامل: قابلیت های انبارش، حمل و نقل و بسته بندی، عملکرد در شرایط محیطی مختلف می باشد.

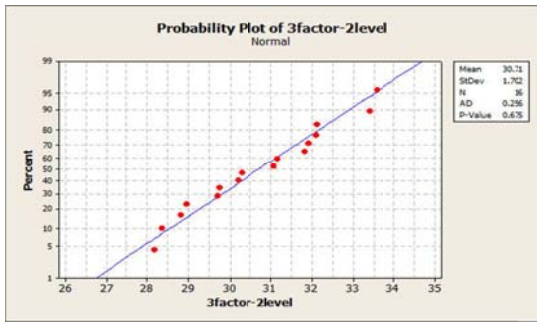
۴-۲. نتایج مرحله طراحی: عدم تامین ولتاژ باتری به عنوان پارامتر بحرانی شناخته شد و باید با تنظیم پارامترهای بحرانی کیفیت (ویژگیهای فنی مهم) بتوان بهترین ولتاژ خروجی را برای باتریهای حرارتی بدست آورد.

در این مرحله از روش توسعه عملکرد کیفیت ((QFD) استفاده گردید. پس از تکمیل بخش مربوط به مشتری (ماتریس شکل ۷)، مرحله بعد، تهیه بخش اطلاعات فنی آن است. در این بخش ترجمه صدهای مشتری به ویژگیهای فنی انجام می شود. با توجه به نیازهای مشتریان و بررسیها و تحقیقات صورت پذیرفته، ویژگیهای فنی و در واقع پارامترهای طراحی تولید باتریهای حرارتی مشخص گردید.

در نهایت ویژگیهای فنی باتریهای حرارتی به شرح ذیل بدست آمد: دانه بندی ذرات پودری باتری، استفاده از عایقهای حرارتی مناسب، فشار پرس شدن مواد پودری، رطوبت موجود در مواد، میزان اختلاط مواد پودری، کیفیت جوش باتری، نحوه چیدمان قرصهای آند و کاتد، کیفیت مواد مصرفی در بدنه باتری، خلوص مواد باتری و استفاده از استانداردهای معتبر.

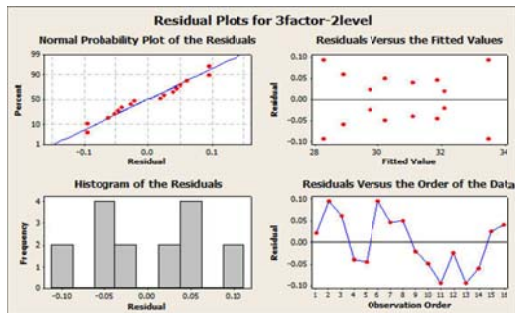
در ماتریس توسعه عملکرد کیفیت (شکل ۷) با توجه به وزنهای بدست آمده از ویژگیهای فنی تولید باتری حرارتی، دریافت شد که سه ویژگی فنی بیشترین وزن را به خود اختصاص داده اند و می توان گفت که اساسی ترین پارامترهای ساخت باتری حرارتی می باشند. در واقع این سه ویژگی فنی را پارامترهای بحرانی کیفیت (CTQ) در نظر می گیرند: خلوص مواد باتری (وزن: ۴۲۱)، دانه

Value = مشخص گردید که داده ها (ولتاژهای بدست آمده) نرمال و تصادفی بوده و فرض نرمال بودن داده ها درست است و می توان طراحی آزمایشات را برای آنها انجام داد(شکل ۸)



شکل ۸. نمودار تست نرمال برای متغیرهای پاسخ ۳ عامل و ۲ سطح

در ادامه نرمال بودن باقیمانده ها با استفاده از نرم افزار مینی تب بررسی و مشخص گردید که واریانس گرایش ندارد، توزیع نرمال و نسبت به زمان مستقل است(شکل ۹).



شکل ۹. نمودارهای مربوط به باقیمانده ها ۳ عامل و ۲ سطح

با توجه به بالا بودن $R^2 = 99/87$ و $R^2_{adj} = 99/75$ دریافت گردید که مدل بر داده ها منطبق شده و مدل مناسبی انتخاب شده است که کمترین خطا را دارد. با توجه به نرم افزار مینی تب عواملی که اثر گذار باشند، دارای p-Value کمتر از ۰/۰۵ می باشند و با توجه به داده های نرم افزار مینی تب مشاهده گردید که همه مقدار p-Value کمتر از ۰/۰۵ دارند و تاثیرگذار هستند. پس تمامی عوامل کنترلی (A: اندازه ذرات مواد باتری، B: مدت زمان اختلاط مواد باتری، C: خلوص مواد باتری) بر متغیر پاسخ (ولتاژ خروجی باتری) اثر گذار هستند(شکل ۱۰) که با توجه به F آنها مشخص گردید که خلوص مواد باتری خیلی زیاد بر متغیر پاسخ (ولتاژ خروجی) اثرگذار است و بعد از آن اندازه ذرات مواد باتری اثر گذاری بیشتر دارد.

$$F_A = 85.0781 \text{ و } F_B = 483.086 \text{ و } F_C = 4576.056$$

عدم کنترل می تواند به خط تولید آسیب جدی وارد سازد و ولتاژ خروجی باتریها را کاهش دهد. در زمینه مهار این عامل نیز مشخص گردید که اگر از محفظه مانع نفوذ هوا و رطوبت استفاده گردد و در داخل این محفظه نیز از سیلیکاژل استفاده گردد، رطوبتی که ممکن است در کیفیت باتریهای حرارتی تاثیرگذار باشند نیز به حداقل می رسد. در مورد مواد مصرفی هم از بهترین مواد خام موجود استفاده گردید. همچنین در این مرحله از تولید این گونه باتریهای حرارتی، از یک دستگاه مجهز پرس هیدرولیک و کالیبره با دقت بالا و از یک نفر متخصص استفاده گردید. در نهایت عوامل فوق بعنوان عوامل ثابت در نظر گرفته شدند و عوامل دانه بندی ذرات پودری باتری، مدت زمان اختلاط مواد پودری باتری و درصد خلوص مواد پودری باتری به عنوان عوامل طراحی (متغیرهای کنترلی) تعیین شدند. در ادامه از روش طراحی آزمایشات برای بررسی عوامل کنترلی استفاده گردید.

۱-۳-۴. طرح آزمایش انتخابی:

فرآیند مورد بررسی، بهبود فرآیند ساخت باتری حرارتی از طریق بهبود ولتاژ خروجی باتریها و بررسی عوامل موثر بر این فرآیند می باشد که عوامل کنترلی موجود دانه بندی پودر در مواد باتری، اختلاط مواد باتری، خلوص مواد باتری است. متغیر پاسخ مورد نظر، مقدار ولتاژ خروجی باتریها می باشد که بهبود این مقدار، در واقع همان هدف بهبود فرآیند تولید باتریهای حرارتی می باشد. این مقدار ولتاژ باید در محدوده زیر باشد: $V = 29/3 \pm 0/5$

طراحی برای آزمایشات (۳ متغیر کنترلی و هر کدام دارای ۲ سطح): با توجه به اینکه احتمالا این عوامل بر روی هم اثر متقابل هم دارند، از طرحهای عاملی استفاده گردید و چون از ۲ سطح برای هر عامل استفاده شده است، لذا از طرحهای عاملی n^k استفاده گردید. هر آزمایش ۲ مرتبه تکرار شده است که ۱۶ باتری تولید گردید. مقادیر متغیر پاسخ (ولتاژ خروجی) برای ۳ عامل کنترلی دارای ۲ سطح در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. ولتاژ خروجی باتری با توجه به عوامل و سطوح کنترلی

طراحی آزمایشات برای	خلوص = ۹۹٪		خلوص = ۹۹/۹٪	
	$h_{1t} =$	$h_{2t} =$	$h_{1t} =$	$h_{2t} =$
سه عامل با دوسخ	۳۳/۵۸	۳۱/۸۳	۳۰/۲۹	۲۹/۷۵
۷۴ میکرون	۳۳/۳۹	۳۱/۹۲	۳۰/۱۹	۲۹/۷
۴۰۰ میکرون	۳۲/۱۳	۳۱/۰۸	۲۸/۹۴	۲۸/۳۶
	۳۲/۰۹	۳۱/۱۶	۲۸/۸۲	۲۸/۱۷

با توجه به اطلاعات بدست آمده از ولتاژ (متغیر پاسخ) باتریهای مورد آزمایش، نرمال بودن داده های موجود توسط تست نرمالیت و با روش اندرسون-دارلینگ بررسی شد و بالا بودن عدد $P = 0/675$

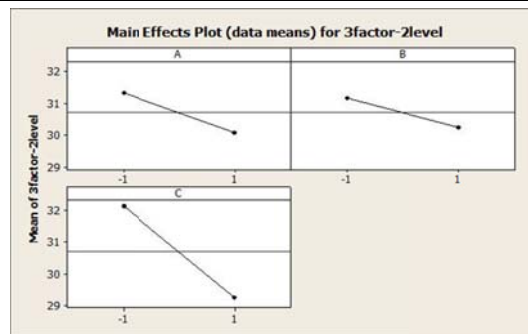
کمی تفاوت دارد، این فرضیه بوجود آمد که ممکن است مابین سطوحی که برای عوامل کنترلی در نظر گرفته شده است، سطح دیگری هم وجود داشته باشد که بتوان با دقت بالاتری به جواب نهایی رسید.

پس این موضوع مطرح گردید که باید از یک آزمون طراحی آزمایشات دیگر با همین عوامل ولی از ۳ سطح استفاده گردد، بطوریکه دقیق مشخص شود که کدام عامل و کدام سطح اثرگذارتر و با تنظیم سطوح عوامل، بیشترین بهبود در ولتاژ خروجی باتریها حاصل شود. برای انجام طراحی آزمایشات تکمیلی به تعداد ۵۴ باتری (۳ عامل ۳ سطحی با ۲ تکرار) نیاز می باشد. لذا از تعداد ۵۴ باتری مورد نیاز (با توجه به موجود بودن مقادیر ولتاژهای ۱۶ باتری در طراحی آزمایشات اولیه) تعداد ۳۸ باتری دیگر با ویژگیهای (سطوحی که مابین سطوح قبل ایجاد شده اند) تولید و مقادیر ولتاژهای آنها اندازه گیری شد و برای انجام طراحی آزمایشات تکمیلی مورد استفاده قرار گرفت که کلیه مقادیر ولتاژهای باتریها در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴. ولتاژ خروجی باتری (برای ۳ عامل کنترلی با سطح ۳

	خلوص=۹۹٪			خلوص=۹۹/۵٪			خلوص=۹۹/۹٪		
	h1I=	h1/5I=	h2I=	h1I=	h1/5I=	h2I=	h1I=	h1/5I=	h2I=
۷۴ میکرون	۳۳/۵۸	۳۲/۷۶	۳۱/۸۳	۳۱/۵۹	۳۰/۹۲	۳۰/۶۳	۳۰/۳۹	۳۰/۰۴	۲۹/۷۵
۲۱۰ میکرون	۳۳/۳۹	۳۲/۸۹	۳۱/۹۲	۳۱/۴۸	۳۰/۸۸	۳۰/۴۴	۳۰/۱۹	۲۹/۹۷	۲۹/۷
۴۰۰ میکرون	۳۳/۴۲	۳۲/۰۸	۳۱/۳۷	۳۰/۸۱	۳۰/۴۰	۳۰/۱۸	۲۹/۶۳	۲۹/۳۵	۲۹/۱۹
۴۰۰ میکرون	۳۳/۵۱	۳۱/۹۷	۳۱/۴۹	۳۰/۹۳	۳۰/۲۷	۲۹/۹۹	۲۹/۷۱	۲۹/۴۳	۲۹/۰۴
۴۰۰ میکرون	۳۳/۱۳	۳۱/۵۴	۳۱/۰۸	۳۰/۵۴	۲۹/۶۹	۲۹/۳۱	۲۸/۹۴	۲۸/۶۲	۲۸/۳۶
۴۰۰ میکرون	۳۳/۰۹	۳۱/۶۸	۳۱/۱۶	۳۰/۴۷	۲۹/۸۲	۲۹/۱۹	۲۸/۸۲	۲۸/۵۳	۲۸/۱۷

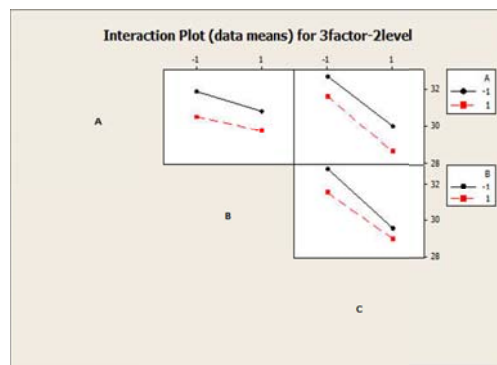
ابتدا با توجه به اطلاعات بدست آمده از ولتاژ خروجی (متغیر پاسخ) باتریهای مورد آزمایش، نرمال بودن داده های موجود توسط تست نرمالیتیه و با روش اندرسون-دارلینگ بررسی شد و با توجه بالا بودن عدد $P-Value = 0.715$ مشخص گردید که داده ها (ولتاژهای بدست آمده) نرمال و تصادفی بوده و فرض نرمال بودن داده ها درست است و می توان طراحی آزمایشات را برای آنها انجام داد(شکل ۱۲).



شکل ۱۰. اثرات اصلی ۳ عامل کنترلی دارای ۲ سطح

در ضمن این سه عامل کنترلی باهم نیز دارای اثر متقابل هستند، درحالیکه اثر متقابل مدت زمان اختلاط مواد باتری با خلوص مواد باتری از همه بیشتر است (شکل ۱۱).

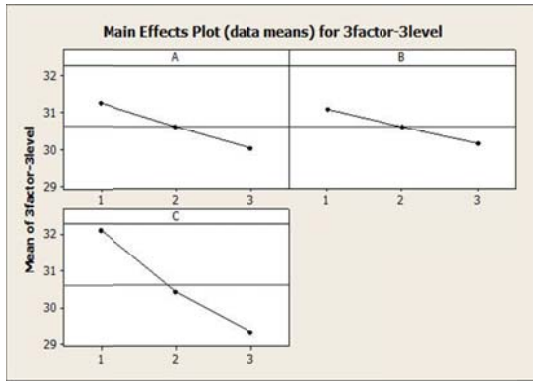
$$F_{AB} = 9.388, F_{AC} = 16.531, F_{BC} = 75.031 \text{ و } F_{ABC} = 18.001$$



شکل ۱۱. اثرات متقابل ۳ عامل کنترلی دارای ۲ سطح

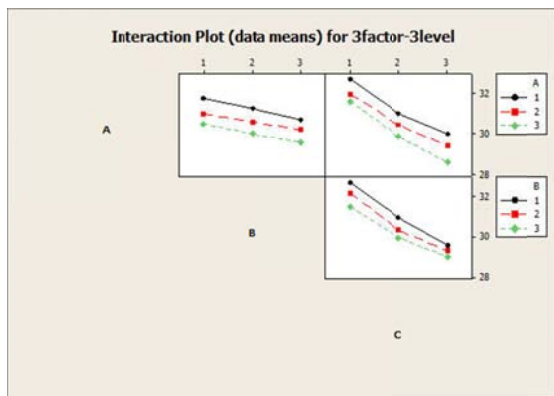
متغیر پاسخ(ولتاژ خروجی باتری) باید دارای مقدار 29.3 ± 0.5 یا $(28.8-29.8)$ ولت باشد و در واقع ولتاژ نباید از 28.8 ولت کمتر باشد و بهترین ولتاژ 29.3 ولت می باشد. با توجه به آنالیز واریانس حاصل (توسط نرم افزار مینی تب) مشخص گردید که زمانی متغیر پاسخ در بهترین حالت خود قرار دارد که: عامل اندازه ذرات مواد باتری ۷۴ میکرون (در سطح اول) باشد. عامل مدت زمان اختلاط مواد باتری ۲ ساعت(در سطح دوم) باشد. عامل خلوص مواد باتری دارای خلوص ۹۹/۹٪ (در سطح دوم) باشد.

روش طراحی برای آزمایشات(۳ متغیر کنترلی و هر کدام دارای ۳ سطح): با توجه به طراحی آزمایشات صورت گرفته بر روی خط تولید باتریهای حرارتی و بررسی سه عامل موجود با ۲ سطح و آنالیز واریانس، مشخص گردید که عوامل کنترلی بر روی هم اثر متقابل دارند و تاثیرگذار هستند. با توجه به هزینه تستهای باتری، ابتدا عوامل دو سطحی در نظر گرفته شدند، ولی با توجه به نتایج آنالیز واریانس و اینکه مقدار ولتاژ در سطوح پیشنهادی عوامل کنترلی پس از بهبود(۲۹/۷) با مقدار میانگین مشخصه فنی(۲۹/۳)



شکل ۱۴. نمودار اثرات اصلی ۳ عامل کنترلی دارای ۳ سطح

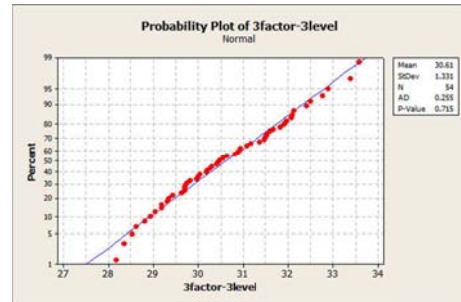
با توجه به مقدار F و گراف نرم افزار مینی تب مشخص گردید که همه اثرات متقابل اثرگذار هستند و اثر متقابل مدت زمان اختلاط مواد باتری با خلوص مواد باتری از همه بیشتر است (شکل ۱۵).
 $FBC = 12/548$ و $FAC = 551/3$
 $FABC = 671/4$ و $248/26$



شکل ۱۵. نمودار اثرات متقابل ۳ عامل کنترلی دارای ۳ سطح

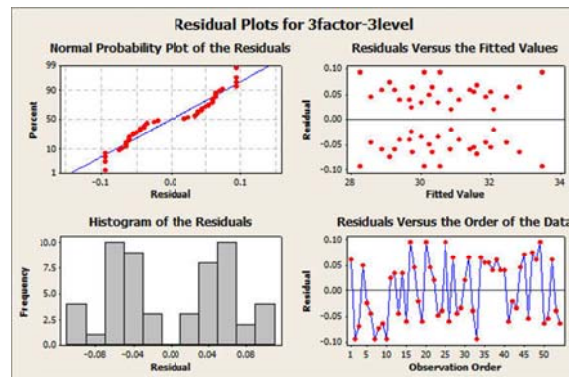
با توجه به آنالیز واریانس توسط نرم افزار مینی تب مشخص گردید که در طراحی آزمایشات با سه عامل و سه سطح زمانی متغیر پاسخ در بهترین حالت خود قرار دارد که: عامل اندازه ذرات مواد باتری ۲۱۰ میکرون (در سطح دوم) باشد. - عامل مدت زمان اختلاط مواد باتری ۱/۵ ساعت (در سطح دوم) باشد و عامل خلوص مواد باتری دارای خلوص ۹۹/۹٪ (در سطح سوم) باشد.

۴-۴. نتایج مرحله تایید: در این مرحله با توجه به نتایج حاصل از روش طراحی آزمایشات و انجام آنالیز واریانس، بهترین ولتاژ خروجی باتری با تنظیمات جدید استفاده از بهترین سطوح از عوامل اثرگذار و کنترلی موجود حاصل گردید.



شکل ۱۲. تست نرمال متغیرهای پاسخ ۳ عامل ۳ سطحی

در ادامه با نرم افزار مینی تب نرمال بودن باقیمانده ها بررسی و مشخص گردید که واریانس گرایش ندارد. توزیع نرمال است و نسبت به زمان مستقل است (شکل ۱۳).



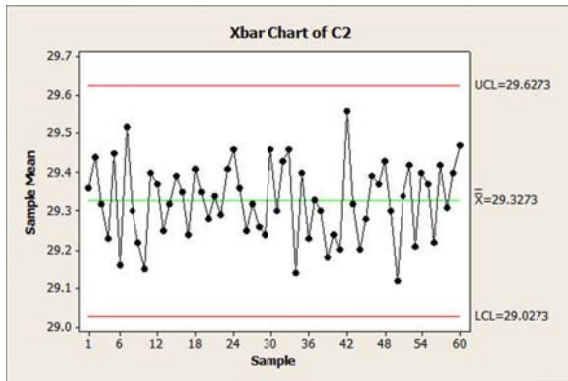
شکل ۱۳. نمودار های Residual ۳ عامل کنترلی دارای ۳ سطح

با توجه به بالا بودن $R^2 = 99/59$ و $R^2_{adj} = 99/79$ دریافت گردید که مدل بر داده ها منطبق شده و مدل مناسبی انتخاب شده است که کمترین خطا را دارد. در نرم افزار مینی تب عوامل اثرگذار دارای p-Value کمتر از ۰/۰۵ می باشند.

پس با توجه به داده های نرم افزار مینی تب مشاهده گردید که همه عوامل، مقدار p-Value کمتر از ۰/۰۵ دارند و تاثیرگذار هستند. در نهایت مشخص گردید که تمامی عوامل کنترلی (A: اندازه ذرات مواد باتری، B: مدت زمان اختلاط مواد باتری، C: خلوص مواد باتری) بر متغیر پاسخ (ولتاژ خروجی باتری) اثر گذار هستند (شکل ۱۴) که با توجه به F آنها مشخص گردید که خلوص مواد باتری خیلی زیاد بر متغیر پاسخ (ولتاژ خروجی) اثر گذار است و بعد از آن اندازه ذرات مواد باتری اثر گذاری بیشتر دارد.

$$F_A = 945/412 \text{ و } F_B = 540/647 \text{ و } F_C = 4935/03$$

پس از بررسی ولتاژهای خروجی، نمودار کنترلی مقدار میانگین بر اساس شکل ۱۷ با استفاده از نرم افزار مینی تب رسم گردید. در شکل ۱۷ مشاهده می‌گردد که با بهبود صورت پذیرفته توسط روش طراحی آزمایشات (تنظیم سطوح عوامل کنترلی) نمودار کنترلی جدید وضعیت مطلوب این فرآیند را نشان می‌دهد، بصورتیکه میانگین ولتاژهای نمونه‌های جدید با فرآیند بهبود یافته مقدار ۲۹/۳۲ می‌باشد که بسیار نزدیک به مقدار میانگین مشخصه فنی (۲۹/۳) است. انحراف معیار نیز نسبت به وضعیت قبل از بهبود کمتر شده است و به مقدار ۰/۰۹ رسیده است و در کل فرآیند جدید کاملاً تحت کنترل می‌باشد.



شکل ۱۷. نمودار کنترلی فرآیند بهبود یافته

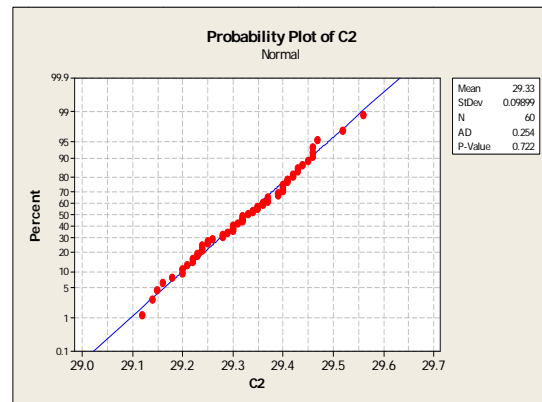
با توجه به نمودار کنترلی و اطمینان از تحت کنترل بودن فرآیند بهبود یافته، سطح سیگمای فرآیند با استفاده از آنالیز قابلیت فرآیند بدست آمد (شکل ۱۸). بدین صورت که در ابتدا قابلیت فرآیند جدید (C_{PK}) توسط نرم افزار مینی تب محاسبه گردید که این عدد برای فرآیند بهبود یافته ۱/۴۱ می‌باشد که با رجوع به جداول، معادل سطح سیگمای ۴/۲ می‌باشد. با توجه به سطح سیگمای فرآیند بهبود یافته (مقدار ۴/۲) در مقایسه با فرایند قبل از بهبود (با سطح سیگمای ۲/۴) مشاهده می‌گردد که بهبود انجام پذیرفته با روش DFSS و مدل IDOV سبب افزایش ۱/۸ سطح سیگمای فرآیند تولید باتریهای حرارتی شده است و ولتاژ خروجی باتریهای حرارتی در وضعیت بسیار مطلوبی قرار گرفته است که در واقع هدف این تحقیق که بهبود فرآیند تولید باتریهای حرارتی می‌باشد، محقق گردیده است.

در واقع با انجام طراحی آزمایشات با ۳ عامل کنترلی (اندازه ذرات مواد باتری- مدت زمان اختلاط مواد- خلوص مواد باتری) و ۳ سطحی که برای این عوامل کنترلی در نظر گرفته شده بود، مشخص گردید که کدامیک از عوامل کنترلی موثرتر (مهمتر) و اثرات متقابل آنها چگونه است و دیگر اینکه کدامیک از سطوح این عوامل کنترلی می‌تواند سبب بهبود ولتاژ خروجی باتری (متغیر پاسخ) و در نهایت، بهبود فرآیند تولید باتری حرارتی گردد. در ادامه خط تولید باتری حرارتی با تنظیمات جدید (با توجه به نتایج روش طراحی آزمایشات با سه عامل کنترلی و سه سطح) به فعالیت خود ادامه داد و در نهایت ۶۰ نمونه تصادفی از تولیدات باتری با تنظیمات جدید انتخاب گردید که مقادیر ولتاژهای جدید در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. مقادیر ولتاژهای خروجی باتری بعد از بهبود

ولتاژهای خروجی باتریهای حرارتی										
۲۹/۳۶	۲۹/۴۴	۲۹/۳۲	۲۹/۲۳	۲۹/۴۵	۲۹/۱۶	۲۹/۵۲	۲۹/۳۰	۲۹/۲۲	۲۹/۱۵	
۲۹/۴۰	۲۹/۳۷	۲۹/۲۵	۲۹/۳۲	۲۹/۳۹	۲۹/۳۵	۲۹/۲۴	۲۹/۴۱	۲۹/۳۵	۲۹/۲۸	
۲۹/۳۴	۲۹/۲۹	۲۹/۴۱	۲۹/۴۶	۲۹/۳۶	۲۹/۲۵	۲۹/۳۲	۲۹/۲۶	۲۹/۲۴	۲۹/۴۶	
۲۹/۳۰	۲۹/۴۳	۲۹/۴۶	۲۹/۱۴	۲۹/۴۰	۲۹/۲۳	۲۹/۳۳	۲۹/۳۰	۲۹/۱۸	۲۹/۲۴	
۲۹/۲۰	۲۹/۵۶	۲۹/۳۲	۲۹/۲۰	۲۹/۲۸	۲۹/۳۹	۲۹/۳۷	۲۹/۴۳	۲۹/۳۰	۲۹/۱۲	
۲۹/۳۴	۲۹/۴۲	۲۹/۲۱	۲۹/۴۰	۲۹/۳۷	۲۹/۲۲	۲۹/۴۲	۲۹/۳۱	۲۹/۴۰	۲۹/۴۷	

ابتدا با توجه به اطلاعات بدست آمده از ولتاژ (متغیر پاسخ) باتریهای مورد آزمایش، نرمال بودن داده‌های فرآیند بهبود یافته توسط تست نرمالیت و با روش اندرسون-دارلینگ بررسی شد و با توجه به بالا بودن عدد $P\text{-Value} = ۰/۷۷۲$ مشخص گردید که داده‌ها (ولتاژهای بدست آمده) نرمال و تصادفی بوده و فرض نرمال بودن داده‌ها درست است (شکل ۱۶).



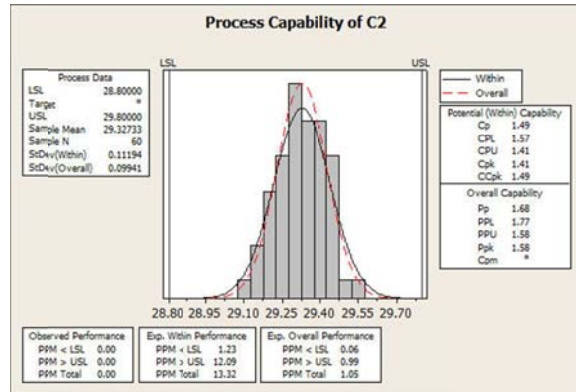
شکل ۱۶. نمودار تست نرمالیت ولتاژ با تریها بعد از بهبود

مهمترین پارامتر برای مشتری تامین ولتاژ مناسب باتری می باشد. هدف در این تحقیق ایجاد فرآیندی با حداقل خطا، جهت تولید باتریهایی با ولتاژ مناسب می باشد. بررسی دیگر اولویتها می تواند در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

[۱] مهربان رضا، "طراحی برای شش سیگما"، انتشارات نشر جهان فردا، صفحه ۵۶-۱، (۱۳۸۸).

[۲] استرانگ، بهداد، سارا، "شش سیگما"، انتشارات هامون، صفحه ۹۴-۱، (۱۳۸۹).



شکل ۱۸. آنالیز قابلیت فرآیند بهبود یافته

۵. نتیجه گیری

در این تحقیق از روش طراحی برای شش سیگما و مدل IDOV برای بهبود فرآیند تولید باتریهای حرارتی با در نظر گرفتن بهبود ولتاژ خروجی باتریها به عنوان مهمترین مشخصه باتریهای حرارتی استفاده گردید. در بررسی های اولیه مشخص گردید که سطح سیگمای فرایند موجود ۲/۴ می باشد که برای باتریهای حرارتی، سطح سیگمای مناسبی نمی باشد. با پیاده سازی مدل IDOV و بهبود ولتاژ خروجی باتریهای حرارتی، سطح سیگمای فرایند به ۴/۲ رسید که در این تحقیق، افزایش ۱/۸ سطح سیگما برای فرآیند تولید باتریها حرارتی و در واقع بهبود ولتاژ خروجی باتریها مشاهده گردید. پس از بهبود فرآیند، در یک بازه زمانی تولیدات باتری مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید که از ۶۱۴ عدد باتری حرارتی تولید شده فقط ۱ مورد معیوبی گزارش شده است.

اگر این مورد را با عملکرد تولید باتریهای حرارتی قبل از بهبود مقایسه کنیم که در بخش ۴-۱ آورده شده است (از ۶۲۸ باتری تولیدی با فرآیند قبل از بهبود ۱۰۲ معیوبی گزارش شده بود) مشخص گردید که با توجه به بهبود صورت پذیرفته از ۱۰۱ خرابی در بازه زمانی مشخص جلوگیری بعمل آمده است.

در نتیجه با توجه به بهبود صورت گرفته توسط روش DFSS با مدل IDOV، سطح سیگمای فرآیند، بهبود چشمگیری داشته است که این همان هدف از این تحقیق می باشد. این امر منجر به صرفه جویی مبالغ هنگفت در تولید باتریهای حرارتی با توجه به تولید صحیح و به حداقل رساندن محصولات معیوب گردید و در نهایت چهارچوبی برای بهبود فرآیند باتریهای حرارتی با استفاده از مدل IDOV پیشنهاد گردید (شکل ۱).

در تحقیقات آتی پیشنهاد می گردد علاوه بر روش مورد استفاده سه سطحی در این تحقیق، از روشهای سطح پاسخ برای بهینه سازی فرآیند و تعیین مدل بهینه نیز استفاده گردد.

در این تحقیق با توجه به فرصتهای خرابی، نمودار پارتو و مدل کانو و در نهایت مدل QFD انجام شده، مشخص گردید که اولین و

[۹] شریفاتیان، غلامرضا، "تاثیر بکارگیری الگوریتم طراحی برای شش سیگما در تکوین با کیفیت محصولات در صنایع دفاعی"، پایان نامه مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی کیفیت، دانشکده مدیریت و فناوریهای نرم، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، صفحه ۵۰-۳۰، (۱۳۸۹).

- [۲۰] موننگومری، نورالسنا، رسول، "کنترل کیفیت آماری"، انتشارات علم و صنعت، تهران، (۱۳۹۰)، صفحه ۳۳۳-۳۵۸.
- [۲۱] موننگومری، آتشگر، کریم، "آمار و احتمال کاربردی مهندسی"، انتشارات علم و صنعت تهران، (۱۳۹۲)، صفحه ۳۸۰-۴۲۰.
- [21] M. Sokovic J.Jovanovic, Basic Quality Tools in Continuous Improvement Process, Journal of Mechanical Engineering, (2009), Vol. 555, pp. 1-9.
- [۲۲] رونالد، گودرزی، آرزو، "توسعه عملکرد کیفیت"، موسسه انتشارات فرااندیش سبز، (۱۳۸۷)، صفحه ۲۰-۹۵.
- [23] Adila Md Hashim, Siti Zawiah Md Dawal, Kano Model and QFD integration approach for Ergonomic Design Improvement, Science direct journal, Elsevier, Procedia - Social and Behavioral Sciences, (2012), Vol. 57, pp. 22 – 32.
- [24] Lai-Kow Chan, Ming-LuWu, A systematic approach to quality function deployment with a full illustrative example, Science direct journal, Omega, (2005), Vol. 33, pp. 119 – 139.
- [25] Dr. Utz Dornberger, Handbook of Quality Function Deployment OF Quality Function Deployment (QFD) FOR SERVICES, (2009), pp. 1-25.
- [۲۶] زارع مهرجردی یحیی، "ارزیابی و رتبه بندی اهمیت نسبی الزامات فنی محصول با تلفیق مدل‌های QDF و DEA: مطالعه موردی (صنایع کاشی و سرامیک)، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دانشگاه علم و صنعت، شهریور (۱۳۹۱)، شماره ۲، جلد ۲۳، صفحه ۱۸۶-۱۷۶.
- [۲۷] موننگومری، نورالسنا، رسول، "طراحی و تحلیل آزمایشات"، انتشارات علم و صنعت تهران، (۱۳۹۱)، صفحه ۳۲۰-۲۰۰.
- [۲۸] بشیری، مهدی، "طراحی و تحلیل آزمایشها با دو نرم افزار Minitab و Design Expert"، انتشارات دانشگاه شاهد، تهران، (۱۳۹۰)، صفحه ۱۴۶-۱۰۶.
- [۱۰] کرباسیان، مهدی، "شش سیگما و هزینه های کیفیت"، انتشارات اردکان دانش، اصفهان، صفحه ۴۶-۵۰، (۱۳۸۸).
- [11] Erick Jones, Gao Fei, Using Design for Six Sigma to Develop Real-world Testing Environments For RFID Systems, proceedings of the 2007 Industrial Engineering Research Conference, USA, (2007), pp. 1016-1022.
- [12] Basem El.Halk and Adnan SHAout, Software Design For Six Sigma, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, PP:194-208, (2010).
- [13] Kevin Naughton, A Study of Irish Medical Device Companies Best Practice New Product Development Tools and Methodologies, A Research Dissertation submitted in partial fulfilment for the Masters of Science in Technology Management in the National University of Ireland, (2009), pp.10-34.
- [14] Ch.Huber and G.H.Mazur, QFD and Design for six sigma, 14th symposium QFD, (2005), pp. 1-14.
- [15] Jeroen de Mast, Gerjan Diepstraten, Quality Quandaries: Design for Six Sigma: Method and Application, Taylor & Francis Group, Quality Engineering, (2011), Vol. 23, pp. 204-211.
- [16] Jahanzaib, Khalid Akhtar, Product Design Variables Optimization using Design for Six Sigma (DFSS) Approach, Life Science Journal, (2013), pp. 57-63.
- [17] Liem Ferryanto, Design for Six Sigma, Jurnal TEKNIK Industry, (2007), Vol. 9, No. 1, pp. 1-14.
- [18] Subhash.Tirumalai, Role of Design for Six Sigma (DFSS) in Designing and Building Test Rigs for Commercial Aircraft, QuEST Global Services, (2012), pp.1-8.
- [19] Sheikh M. Shahrizal, The Use of DFSS Methodology in Product Design, Proceedings of the World Congress on Engineering 2013 Vol I, WCE 2013, July 3-5, (2013), London, U.K, pp. 1-6.

[۲۹] صفایی نیک، فرید، "ارزیابی سیستم تلفن گویا با استفاده از تکنیک شبیه سازی و طراحی آزمایشها"، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دانشگاه علم و صنعت، خرداد (۱۳۹۳)، شماره ۱، جلد ۲۵، صفحه ۹۸-۸۶.

[۳۰] حسینی نسب، حسن، "یک روش ابتکاری برای تجزیه و تحلیل خط مونتاژ بر مبنای شبیه سازی و طراحی آزمایشها"، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دانشگاه علم و صنعت، شهریور (۱۳۹۱)، شماره ۲، جلد ۲۳، صفحه ۲۰۹-۲۰۰.