فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال سیزدهم/ شماره ۴۵ /پاییز ۱۳۹۷

تعیین وزن بهینه بطری سرم ۵۰۰ سی‌سی با استفاده از طرح آزمایشی k^2 (مطالعه موردی در شرکت داروسازی ثامن)

بهنام بیانی راد
کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
حمیده رضوی
دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
هانیه فرحمند
کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه سمنان، ایران
علی هادیان فر (نویسنده مسؤول)
کارشناسی ارشد آمار زیستی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، ایران
Email address: hadianfar69@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۶/۱۳ * تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۱۱

چکیده

در فرآیندهای صنعتی و تولیدی، عوامل ورودی متعددی با سطوح مختلف وجود دارند که هرکدام ممکن است بر روی مشخصات محصول نهایی تأثیرگذار باشند. روش طراحی آزمایش‌ها به عنوان یکی از روش‌های بهبود کیفیتی نوین، با انجام طرح‌های آزمایشی، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت محصول را شناسایی و سطوح بهینه آن‌ها را تنظیم می‌کند. هدف این تحقیق تعیین وزن استاندارد بطری سرم ۵۰۰ سی‌سی با روش طرح آزمایشی 2^k به حدی که اگر ضخیم‌تر از آن گردد باعث افزایش مصرف ماده اولیه $P.P$. و زیان شرکت شده و اگر کمتر از حد استاندارد مصرف گردد سبب دفرمه شدن بدنه و ضایع شدن محصول می‌گردد. چون فرآیند تولید سرم با مقداری ضایعات غیرقابل اجتناب در قسمت بالا و پایین سرم مواجه است که این ضایعات هیچ شکل خاصی نداشته، اما تغییرات پی‌درپی در وزن آن‌ها سبب می‌شود که کنترل مصرف به‌درستی صورت نگیرد لذا پس از تعیین وزن استاندارد سرم باید شرایط تنظیم دستگاه بررسی شود تا بتوان به تولید محصول با وزن استاندارد نزدیک شد و وزن ضایعات عادی تحت کنترل باشد. در این مطالعه سعی شد تا با استفاده از طرح آزمایشی 2^k عوامل مؤثر بر وزن بطری سرم شناسایی شود. پس از تحلیل‌های صورت گرفته و بررسی کفایت مدل نتایج آنالیز واریانس و نمودارهای اثرات اصلی نشان داد که به ترتیب تایم سیکل، دمای هیترها و دور اکسترودر بیشترین تأثیر مستقیم را در وزن بطری دارند که با کنترل این عوامل، می‌توان نوسانات وزن بطری را کاهش داد.

کلمات کلیدی: وزن استاندارد، ضایعات، سرم، طراحی آزمایشات

۱- مقدمه

در فرآیندهای صنعتی و تولیدی، عوامل ورودی متعددی با سطوح مختلف وجود دارند که هرکدام ممکن است بر روی مشخصات محصول نهایی تأثیرگذار باشند. شناسایی عوامل ورودی مؤثر بر یک فرآیند تولیدی و تنظیم آن‌ها در سطحی که بتواند به بهبود خروجی‌ها کمک و ما را به خروجی ایده آل نزدیک کند، سؤالی است که همواره مدیران تولید و عملیات با آن مواجه بوده‌اند.

در اکثر مسائل معمولاً چندین هدف مدنظر می‌باشد؛ بنابراین لازم است جهت برآوردن اهداف مورد نظر، خروجی‌ها و همچنین پارامترهای مؤثر بر خروجی (ورودی‌ها) تعیین شوند. سپس برای هر یک از ورودی‌ها سطوح مختلفی از مقادیر را در نظر گرفته و با تنظیم ورودی‌ها و اجرای آزمایش‌ها خروجی مورد نظر حاصل گردد؛ اما تعدد ورودی‌ها باعث می‌شود تعداد آزمایش‌ها برای اجرا زیاد شود؛ بنابراین اجرای تمامی آن‌ها در اکثر موارد امکان‌پذیر و از نظر هزینه و زمان مقرون به صرفه نخواهد بود. جهت رفع این مشکل و رسیدن به نتایج مورد نظر با حداقل آزمایش‌ها از رویکرد طراحی آزمایشات (DOE) استفاده می‌گردد(Montgomery, 2008). روش طراحی آزمایشات (DOE) یکی از روش‌های بهبود کیفیت است که در دهه‌های ۱۹۸۰، ۱۹۹۰ به‌عنوان یک مزیت رقابتی در کشورهای غربی و ژاپن مطرح شد به‌طوری که به‌عنوان یکی از الزامات گواهینامه Qs9000 پذیرفته شده است. طراحی آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌های آماری به‌عنوان روش‌هایی مؤثر در بهبود کیفیت محصولات تولیدی اهمیت فراوانی دارند بنابراین آشنایی با تحلیل‌های آماری که بتواند پاسخ سیستم را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد، قدم اول در استفاده از این روش می‌باشد. قدم دوم به‌کارگیری طراحی صحیح آزمایش‌ها می‌باشد که قادر به تحلیل پارامترهای مؤثر با حداقل آزمایش‌های ممکن باشد. حال این‌که چه طور می‌توان پارامترهای مؤثر و میزان تأثیر آن‌ها را با حداقل آزمایش‌ها به دست آورد نیازمند تسلط کامل بر روش‌های آماری و طراحی آزمایش‌ها می‌باشد(Jafarian , Dehghan, & Vafaie Sefat, 2009).

امروزه مقوله کیفیت، به یکی از اهرم‌های مهم تولید تبدیل شده است و توانسته با به‌کارگیری نمونه‌گیری جهت پذیرش، تکنیک‌های کنترل کیفیت آماری فرآیند و طراحی آزمایش‌ها، مزیتی رقابتی برای شرکت‌های تولیدی کسب کند(Motaghi & Rabbani, 2010). روش طراحی آزمایش‌ها یکی از روش‌های نوین آمار کاربردی مورد استفاده جهت شناسایی متغیرهای مؤثر بر مشخصه کیفی مورد نظر فرایند می‌باشد. با به‌کارگیری این روش می‌توان عامل‌های ورودی قابل‌کنترل را به‌طور سیستماتیک تغییر داد و آثار آن‌ها را بر روی پارامترهای محصول خروجی ارزیابی کرد(Amiri & Kousha, 2013). آزمایش‌هایی که به‌طور آماری طراحی گردند می‌توانند به مقدار قابل‌توجهی از میزان تغییرات در مشخصات کیفی بکاهند و همچنین سطوح متغیرهای قابل کنترل را که باعث بهینه کردن عملکرد فرایند می‌گردند تعیین کنند. طراحی آزمایش‌ها یکی از عمده‌ترین ابزارهای کنترل کیفیت قبل از تولید[1] است که غالباً در فعالیت‌های تحقیقات و توسعه و در مراحل اولیه تولید به کار می‌رود.

استفاده از روش‌های طراحی آزمایش‌ها (DOE) در مراحل اولیه چرخه توسعه محصولات جدید، بهبود محصولات موجود و بهینه‌سازی فرآیندهای تولیدی بهینه، می‌تواند راز موفقیت محصول را ه دنبال داشته باشد(Amiri, 2012).

کندا[2] و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیقات خود نشان داده‌اند که DOE ابزاری کیفیتی است که در مباحثی چون کشف عوامل معنادار در فرایند، تأثیر هر عامل بر خروجی، واریانس (پراکندگی) فرایند، عیب‌یابی مشکلات ماشین، بررسی و نمایش پارامترها و مدل‌سازی فرایند به کار می‌رود و بسیاری از صنایع از DOE برای باقی ماندن در دنیای رقابتی به‌وسیله طراحی محصول پایدار با قابلیت اطمینان بالا استفاده می‌کنند و اثر چندین متغیر را به صورت هم‌زمان و همچنین ارتباطات و تعاملات بین متغیرها را بررسی می‌کنند؛ کاری که سایر تکنیک‌های آماری با حجم پایین مورد نیاز در DOE قادر به انجام آن نیستند(Konda, Rajurkar, Bishu, Guha, & Parson, 1999).

1 Off Line Quality Control

2 Konda

آنتنی[3] (۲۰۰۱) بهبود کیفیت فرایند ساخت و تولید از طریق DOE را در قالب مطالعه موردی نشان داد وی به همراه گروهی از مهندسین واحد تضمین کیفیت (۲۰۰۴) در تحقیقات خود نشان داد بهبود کارایی فرایند و همچنین کاهش هزینه‌های کیفیتی همچون ضایعات، دوباره‌کاری و سایر هزینه‌های شکست از طریق تکنیک DOE قابل بررسی است(Antony, 2001).

در ایران نیز در مطالعات متعددی تکنیک‌های طراحی آزمایشات DOE را به منظور بهینه‌سازی و بهبود فرایندهای تولیدی به کار برده‌اند. امیری (۱۳۸۹) در مطالعه خود به منظور تعیین عوامل مؤثر بر فرآیند تولید بطری شیشه‌ای، با استفاده از طراحی آزمایش‌ها تأثیر پنج عامل ورودی قابل کنترل شامل مواد اولیه، سرعت الکتروموتور، دمای گرمخانه، دمای کوره و فشار هوا بر سطح پاسخ مورد نظر یعنی مقاومت بطری شیشه‌ای را مورد بررسی قرار داد(Amiri, 2012).

در میان طرح‌های DOE، طرح‌های عاملی کامل[4] طرح‌هایی هستند که در آن‌ها در هر آزمایش، تمام ترکیب‌های ممکن سطوح عوامل بررسی می‌شوند. این طرح‌ها امکان بررسی آثار اصلی و آثار متقابل عوامل را به وجود می‌آورند. این طرح‌های عاملی کامل a^k قابلیت آزمایش k عامل در a سطح را دارند، اما واحدهای تحقیقاتی و آزمایشگاهی، به دلیل محدودیت زمان، مواد و تجهیزات باید از حداقل اجرا در آزمایش‌ها استفاده کنند. بدین منظور، امروزه طرح‌های عاملی کسری[5]، به تازه‌ترین مقوله به منظور افزایش کارایی تبدیل‌شده‌اند. در این طرح‌ها برای هر عامل تنها دو سطح تست می‌شود، یعنی طرح‌های 2^k با k عامل و ۲ سطح. برای انجام آزمایش با این طرح‌ها، پس از تعیین k که عامل مؤثر بر متغیر پاسخ است، برای هر عامل دو سطح کم و زیاد را باید در نظر گرفت. اگر عامل مؤثر بر متغیر پاسخ با دو سطح وجود داشته باشد و هر آزمایش برای اطمینان بیشتر به نتیجه نهایی n بار انجام شود، باید تعداد $2^K \times n$ آزمایش انجام داد. علت این‌که این طرح‌ها در صنایع کاربرد زیادی دارد این است که فقط دو سطح از هر عامل در این طرح‌ها در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه با تعداد آزمایش کم، هزینه اندک و زمان محدود می‌توان بحرانی بودن عوامل را تعیین کرد(Aslan, Camuşcu, & Birgören, 2007).

۲- روش‌شناسی پژوهش

در این مطالعه میانگین وزن بطری‌ها به‌عنوان متغیر پاسخ انتخاب گردیده است. عوامل ورودی که بر ضخامت بدنه بطری تأثیر دارند عبارت‌اند از: تایم سیکل، دور اکسترودر، دمای هیتر، تعداد نمونه. در این قسمت به‌منظور بررسی عوامل تایم سیکل، دور اکسترودر و دمای هیترها بر وزن بطری، طرح عاملی 2^3 در نظر گرفته شده است. در مجموع برای سه عامل، در ۲ سطح و با ۴ تکرار تعداد ۳۲ نمونه اخذ شده، سپس نمونه‌ها را توزین نموده و در فرم مربوطه ثبت می‌گردد. تحلیل‌هایی که صورت می‌گیرد عبارت است از: ارزیابی کفایت مدل، آنالیز واریانس، نمودار اثرات اصلی و نمودار اثرات متقابل.

هدف این تحقیق تعیین وزن بهینه بطری سرم ۵۰۰ سی‌سی با روش طرح آزمایشی 2^k به حدی که اگر ضخیم‌تر از آن گردد باعث افزایش مصرف ماده اولیه P.P. و زیان شرکت شده و اگر کمتر از حد استاندارد مصرف گردد سبب دفرمه شدن بدنه و ضایع شدن محصول می‌گردد. استاندارد نمودن وزن بدنه سرم‌ها منجر به افزایش سود شرکت می‌گردد (با کاهش مصرف P.P. یا با کاهش میزان ضایعات)، همچنین سبب می‌شود که امکان کنترل مصرف ماده اولیه P.P. فراهم گردد. چون فرآیند تولید سرم با مقداری ضایعات غیرقابل اجتناب در قسمت بالا و پایین سرم مواجه است که این ضایعات هیچ شکل خاصی نداشته، اما تغییرات پی‌درپی در وزن آن‌ها سبب می‌شود که کنترل مصرف به‌درستی صورت نگیرد لذا پس از تعیین وزن استاندارد سرم باید شرایط تنظیم دستگاه بررسی شود تا بتوان به تولید محصول با وزن استاندارد نزدیک شد و وزن ضایعات عادی تحت کنترل باشد.

جامعه آماری این تحقیق، شرکت داروسازی ثامن است. شرکت داروسازی ثامن یکی از شرکت‌های فعال در عرصه تولید فرآورده‌های تزریقی و بیوتکنولوژی بوده و سالانه بالغ بر ۳۵ میلیون واحد انواع سرم بطری و ۴۰ میلیون واحد آمپول آب‌مقطر در این شرکت تولید می‌شود. جنس بدنه بطری و آمپول از نوع رندوم کوپلیمر پلی‌پروپیلن (P.P) بوده و سالانه حدود ۱۶۰۰ تن P.P در این شرکت مصرف می‌گردد. تعیین وزن استاندارد بدنه بطری، به حدی که اگر ضخیم‌تر از آن گردد باعث افزایش مصرف ماده اولیه P.P. و زیان شرکت شده و اگر کمتر از حد استاندارد مصرف گردد سبب دفرمه شدن بدنه و ضایع شدن

[3] Antony
[4] Full Factorial Design
[5] Fractional Factorial Design

محصول می‌گردد. چون در فرآیند تولید سرم با مقداری ضایعات غیر قابل اجتناب در قسمت بالا و پایین سرم مواجه هستیم که این ضایعات هیچ شکل خاصی نداشته، اما تغییرات پی‌درپی در وزن آن‌ها سبب می‌شود که کنترل مصرف به‌درستی صورت نگیرد لذا پس از تعیین وزن استاندارد سرم باید شرایط تنظیم دستگاه بررسی شود تا بتوان به تولید محصول با وزن استاندارد نزدیک شد و وزن ضایعات عادی تحت کنترل باشد. به منظور دست یافتن به وزن استاندارد، باید فشارهای وارده بر بدنه سرم را تحلیل نموده و با توجه به خواص مکانیکی P.P. ضخامت بدنه سرم تعیین می‌گردد تا بدنه بتواند این فشارها را تحمل کرده و به نقطه پلاستیک نرسد. چون بیشترین فشار وارده بر سرم در داخل اتوکلاو بوده و تقریباً به‌طور یکنواخت بر تمام سطوح آن فشار ۳ بار وارد می‌شود، فرض می‌شود ضخامت کلیه قسمت‌های بدنه سرم یکسان باشد سپس به کمک نرم‌افزار Abaqus تحلیل‌های مکانیکی و ترمودینامیکی صورت می‌گیرد. ابتدا ضخامت را ۱ میلی‌متر در نظر گرفته و با در نظر گرفتن خواص مکانیکی محلول و P.P. ضخامت به حدی است که کلیه فشارهای وارده را تحمل می‌کند. سپس طی چند مرحله ضخامت را کاهش داده و مجدداً تحلیل می‌نماییم تا اینکه در ضخامت ۰/۲۵ میلی‌متر، قسمت‌هایی از بدنه سرم به نقطه پلاستیک می‌رسند. در ضخامت ۰/۲۶میلی‌متر، هیچ نقطه‌ای که به حد پلاستیک برسد مشاهده نشده است. میانگین وزن بطری‌ها به‌عنوان متغیر پاسخ انتخاب گردیده است. عواملی که بر ضخامت بدنه بطری تأثیر دارند شامل تایم سیکل بین ۲۲–۲۳ ثانیه، دور اکسترودر بین ۷۳–۷۲ دور بر دقیقه، دمای هیتر در سطح کم بین ۱۹۰–۱۹۵ درجه سانتی‌گراد و در سطح زیاد بین ۱۹۵–۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و تعداد نمونه برابر ۴ انتخاب شده است؛ و به‌منظور بررسی عوامل تایم سیکل، دور اکسترودر و دمای هیترها بر وزن بطری، طرح عاملی $۲^{۳}$ در نظر گرفته شده است.

در این قسمت مدل مفهومی مطالعه مورد بررسی قرار می گیرد:

در آزمایش‌های مشتمل بر چندین عامل که در آن‌ها مطالعه اثر توأم عوامل بر پاسخ ضروری است، طرح‌های عاملی به صورت وسیعی کاربرد دارند. از مزایای این طرح‌ها هزینه و زمان کمتر نسبت به سایر طرح‌های آزمایش است که هر عامل فقط در دو سطح بررسی می‌شود(Santner, Williams, & Notz, 2013). مدل آماری برای یک طرح ۲^{K} شامل K اثر اصلی، $\binom{K}{2}$ اثر متقابل دو عاملی، $\binom{K}{3}$ اثرات متقابل سه عاملی، ... و یک اثر متقابل K عاملی است. به عبارت دیگر مدل کامل یک طرح ۲^{K}، شامل ۲^{K-1} اثر است.

رویکرد کلی تحلیل آماری یک طرح ۲^{K} به طور خلاصه شامل گام های زیر است:

۱- برآورد اثرات

۲- تشکیل مدل اولیه

۳- انجام آزمون آماری

۴- اصلاح مدل

۵- تحلیل باقیمانده ها

۶- تفسیر نتایج

گام اول برآورد اثرات و بررسی علامت و اندازه هریک از آنهاست، اینکار کمک می کند تا اطلاعات اولیه ای در خصوص عامل ها، اثرات متقابل مهم و جهت تعدیل عامل ها باعث بهبود پاسخ می شود در اختیار تحلیلگر قرار می گیرد. معمولا در زمان تهیه مدل اولیه سعی می شود از یک مدل کامل و یا به عبارت دیگر، مدلی که تمام اثرات متقابل را شامل می شود استفاده شود. سپس در مرحله ۳، از تحلیل واریانس جهت ارزیابی معنادار بودن اثرات اصلی و متقابل استفاده می شود. گام ۴ یا اصلاح مدل، معمولا شامل حذف متغیرهای غیرمعنادار از مدل کامل می شود. در گام ۵، تحلیل باقیمانده ها و بررسی کفایت مدل و مفروضات انجام می شود. در بعضی مواقع، اصلاحات مدل پس از تحلیل باقیمانده ها انجام می شود. اینکار زمانی رخ می دهد که مدل از کفایت لازم برخوردار نباشد و یا مفروضات آن بطور جدی نقض شده باشد. مرحله آخر، معمولا شامل تحلیل نمودارهای اثرات اصلی و اثرات متقابل می شود.

با توجه به نکاتی که در بخش‌های قبلی مطرح شده طرح عاملی $۲^{۳}$ برای انجام این آزمایش مناسب به نظر می‌رسد. در این

آزمایش، مدل تحلیل ضایعات عادی به صورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad (۱)$$

که در آن μ اثر میانگین وزن کل بطری

τ_i اثر سطح i عامل تایم سیکل

β_j اثر سطح j عامل دور اکسترودر

γ_k اثر سطح k عامل هیترها

$(\tau\beta)_{ij}$ اثر متقابل بین τ_i و β_j

$(\tau\gamma)_{ik}$ اثر متقابل بین τ_i و γ_k

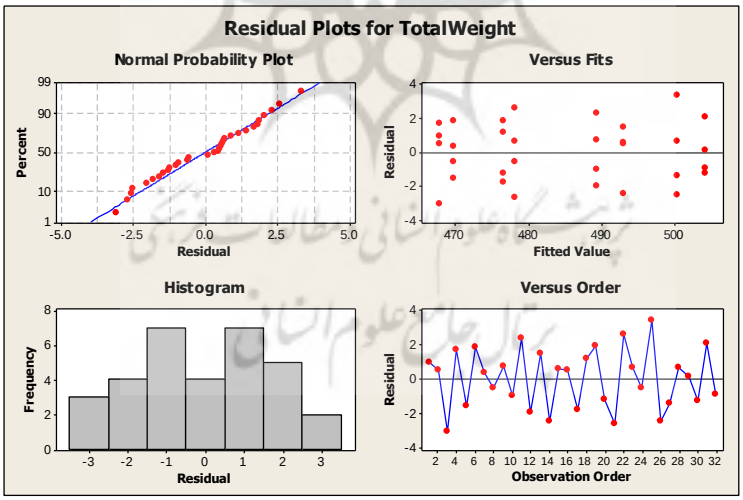
$(\beta\gamma)_{jk}$ اثر متقابل بین β_j و γ_k

$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ اثر متقابل بین τ_i و β_j و γ_k

ε_{ijkl} مؤلفه خطای تصادفی را نشان می‌دهد.

۳-نتایج و بحث

پس از تشخیص عوامل مؤثر بر ضخامت بدنه بطری، به منظور تأیید معنادار بودن اثر عوامل معرفی‌شده، از تحلیل واریانس استفاده می‌شود. بدین منظور ابتدا کفایت و قابل قبول بودن مدل بررسی می‌شود برای این منظور از تحلیل باقیمانده‌ها به‌عنوان ابزار اصلی ارزیابی کفایت مدل استفاده می‌شود. شکل ۱ نتایج تحلیل باقیمانده‌ها برای ارزیابی کفایت مدل را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۱): نمودارهای آزمون کفایت مدل برای متغیر وزن بطری

نمودار احتمال نرمال این باقیمانده‌ها مشکل خاصی را نشان نمی‌دهد چون تشکیل یک خط راست را داده است و مؤید نرمال بودن باقیمانده‌هاست. در نمودار باقیمانده‌ها برحسب مقدار برآورد شده با توجه به اینکه روند خاصی در نمودار باقیمانده‌ها مشاهده نمی‌شود در نتیجه فرض استقلال داده‌ها برقرار است.

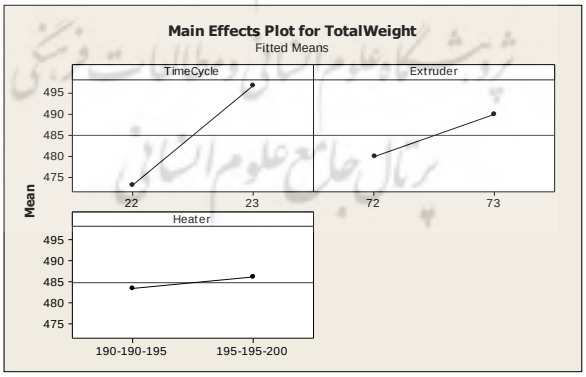
پس از تأیید کفایت و قابل قبول بودن مدل پیشنهادی، به تحلیل واریانس پرداخته شد. همان‌طور که در جدول شماره (۱)، مشاهده می‌شود مقادیر $MS_{TimeCycle}$ و $MS_{Extruder}$ و MS_{Heater} خیلی بزرگ بوده و تفاوت زیادی با MS_{Error} دارند، همچنین مقدار P-Value خیلی ناچیز است، درنتیجه تحت هر شرایطی فرض صفر رد می‌شود که نشان می‌دهد وزن بطری به ازای سطوح مختلف تایم سیکل، دور اکسترودر و دمای هیترها با یکدیگر متفاوت است. چون $MS_{TimeCycle} > MS_{Extruder}$

MS_{Heater}> نتیجه می‌شود که به ترتیب تایم سیکل، دمای هیترها و دور اکسترودر بیشترین تأثیر را در وزن بطری دارند و به دلیل اینکه$R^2 = 99\%$، یعنی تقریباً کل تغییرات وزن بطری توسط تایم سیکل، دور اکسترودر و دمای هیترها توضیح داده می‌شود.

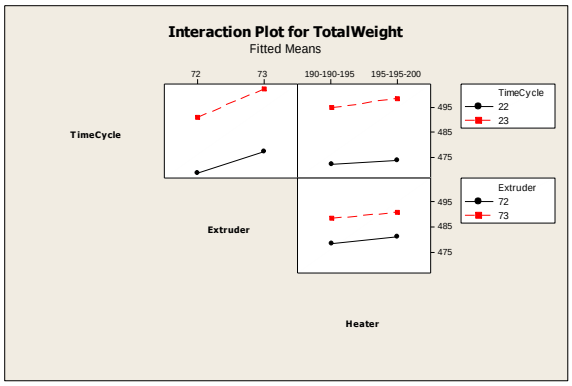
جدول شماره (۱): نتایج آنالیز واریانس وزن بطری

منبع تغییرات	درجه آزادی	Adj MS	P-Value
تایم سیکل	۱	۱۰۳۳۲/۶	<۰/۰۰۰۱
دور اکسترودر	۱	۱۲۰۴/۱	<۰/۰۰۰۱
دمای هیتر	۱	۱۳۵۶/۸	<۰/۰۰۰۱
تایم سیکل* دور اکسترودر	۱	۱۳/۲	۰/۰۰۲
تایم سیکل *دمای هیتر	۱	۰/۶	۰/۴۸
دور اکسترودر * دمای هیتر	۱	۲/۲	۰/۱۷
تایم سیکل* دور اکسترودر * دمای هیتر	۱	۱	۰/۳۵
خطا	۲۴	۱/۱	

پس از اینکه عوامل با بیشترین اثر بر روی متغیر پاسخ تعیین شدند، شیوه تأثیر این عوامل معنادار، یعنی اثر اصلی تایم‌سیکل، دور اکسترودر و دمای هیترها و اثر متقابل آن‌ها بر متغیر پاسخ بررسی گردید. طبق شکل (۲) که نمودار اثرات اصلی را نشان می‌دهد، شیب خطوط، شدت اثر آن عوامل را نشان می‌دهد. افزایش عامل تایم‌سیکل از سطح کم به سطح زیاد باعث می‌شود تا مقدار متوسط وزن اسکرپ حدود ۴۰ گرم افزایش یابد. افزایش عامل دور اکسترودر از سطح کم به سطح زیاد باعث می‌شود تا مقدار متوسط وزن اسکرپ حدود ۱۰ گرم افزایش یابد. همچنین افزایش عامل دمای هیترها از سطح کم به سطح زیاد باعث می‌شود تا مقدار متوسط وزن اسکرپ حدود ۱۵ گرم افزایش یابد. در بررسی آثار متقابل، اگر خطوط موازی باشند، معلوم می‌شود که اثر متقابل این عوامل بر روی متغیر پاسخ یعنی وزن بطری معنادار نیست شکل ۳ نمودار اثرات متقابل بین عامل‌ها را نشان می‌دهد، همان‌طور که مشاهده می‌شود خطوط باهم موازی بوده درنتیجه بین عامل‌ها اثر متقابل وجود ندارد.



شکل شماره (۲): نمودار اثرات اصلی عوامل مؤثر در وزن بطری



شکل شماره (۳): نمودار اثرات متقابل عوامل مؤثر در وزن بطری

روش های مختلف طراحی آزمایش ها از دیرباز به عنوان یک رویکرد مؤثر در شناسایی عوامل مؤثر و بهینه کردن اثـر این عوامل بر فرایند ها مطرح بوده اند. در مطالعه حاضر به منظور تعیین وزن استاندارد بطری سرم ۵۰۰ سی‌سی طرح آزمایشی که در برگیرنده سه عامل تایم‌سیکل، دور اکسترودر و دمای هیترها بود انجام شد. نتایج نشان داد که به ترتیب تایم‌سیکل، دمای هیترها و دور اکسترودر بیشترین تأثیر را در وزن بطری دارند. همچنین مشخص شد کمترین وزن کل مربوط به نقطه‌ای است که عوامل تأثیرگذار در کمترین سطح خود هستند یعنی دور اکسترودر ۷۲، تایم سیکل ۲۲ و درجه حرارت هیترها (۱۹۵–۱۹۰–۱۹۰) باشند؛ و بیشترین وزن کل مربوط به نقطه‌ای است که عوامل تأثیرگذار در بالاترین سطح خود هستند یعنی دور اکسترودر ۷۳، تایم سیکل ۲۳ و درجه حرارت هیترها (۲۰۰–۱۹۵–۱۹۵) می‌باشد. (کمترین وزن شات در حالتی که کلیه عوامل در سطح پایین خود باشند برابر ۴۷/۴ گرم می‌باشد که ۱۴/۱ گرم مربوط به اسکرپ و ۳۳/۳ گرم مربوط به بدنه بطری می‌باشد). در حالتی‌که با کمترین وزن کل مواجه هستیم، کمترین وزن اسکرپ را داشته (میزان ضایعات عادی در کمترین حد خود است) و از طرفی وزن بدنه بطری نیز بیش از وزن استاندارد می‌باشد یعنی با تغییرات جزئی در کیفیت مواد اولیه، باز هم به مرحله تولید ضایعات نمی‌رسیم. در بین همه عوامل بررسی شده، تایم‌سیکل بیشترین اهمیت را دارد و کاهش آن ضمن کم کردن وزن شات باعث افزایش تعداد محصول تولید شده می‌گردد. دور اکسترودر در جهت تنظیم میزان ضایعات اسکرپ اهمیت داشته و دومین عامل مؤثر است. دمای هیترهای حرارتی به علت تأثیر مستقیم در وزن اسکرپ و اثر معکوس در وزن بدنه بطری، اهمیت کمی در وزن شات دارد و می‌توان تأثیر آن را نادیده گرفت. چون عامل‌های (تایم‌سیکل، دور اکسترودر و دمای هیترها) تأثیرات متقابل با یکدیگر ندارند می‌توان تنظیمات دستگاه را برای هر عامل به‌طور مستقل انجام داد.

٤- منابع

1. Amiri, A. H., & Kousha, M. (2013). *statistical quality control*: Negahe Danesh.
2. Amiri, M. (2012). Application of Response Surface Methodology to Determine Effective Factors on Production Process of Glass Bottle. *Industrial Management Studies, 8*(18), 15-39 .
3. Antony, J. (2001). Improving the Manufacturing Process Quality Using DOE: A Case study. *Journal of Operations and Production Management, 21*(5), 812-882 .
4. Aslan, E., Camuşcu, N., & Birgören, B. (2007). Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al2O3+ TiCN mixed ceramic tool. *Materials & design, 28*(5), 1618-1622 .
5. Jafarian, M., Dehghan, G. H., & Vafaie Sefat, A. (2009). Investigation of Machine Parameters on the Leveling and Speed of Tungsten Carbide Machine Machining in Weld Electric Drainage Process (WEDM). *Majlesi Journal of Mechanical Engineering(MJME), 2*(2), 11-16 .
6. Konda, R., Rajurkar, K. P., Bishu, R. R., Guha, A., & Parson, M. (1999). Design of experiments to study and optimize process performance. *International Journal of Quality & Reliability Management, 16*(1), 56-71. doi: doi:10.1108/02656719910226914

7. Montgomery, D. C. (2008). *Design and analysis of experiments*: Wiley New York.
8. Motaghi, H., & Rabbani, M. (2010). How to improve the quality of the product using the Test Design Technique (DOE), (Case Study on MgO-C Brick in Pars Refractory Products Company). *Management Research in Iran, 11*(20), 161-179 .
9. Santner, T. J., Williams, B. J., & Notz, W. I. (2013). *The design and analysis of computer experiments*: Springer Science & Business Media.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Determination of the optimum weight of the 500-ml serum bottle using the 2^k design of experimental (Case Study: Samen Pharmaceutical Co.)

Behnam Bayani Rad
MCs of Industrial Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Hamideh Razavi
Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Haniye Farahmand
MSc of Industrial Management, Semnan University, Iran
Ali hadianfar (Corresponding Author)
MSc of Biostatistics, School of Public Health, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran
Email address: hadianfar69@gmail.com

Abstract
In industrial and manufacturing processes, there are several input factors in different levels, which may affect the final product characteristics. The design of experimental method, as one of the new quality improvement methods identifies the most important effective factors on product quality by experimental design and adjusts its optimal levels. The purpose of this study was to determine the optimum weight of the 500-ml serum bottle using the 2^k design of experiment to the extent that if it will be thicker, it would increase the consumption of the primary substance of P.P and losses of the company, if it will be used less than standard, it would be cause deformation of the body and loss of the product. Because the serum production process faces some inevitable waste at top and bottom of serum bottle which hasn't any special form but the subsequent changes in their weight cause the consumption control not be properly performed, so after determining the serum standard weight it should be checked the machine tuning conditions that could close to produce the product with standard weight and the normal waste weight be under control. In this study, we tried to identify the effective factors on serum bottle weight using 2^k design of experiment. After analyzing and evaluating the adequacy of model, the results of analysis of variance and main effects graphs showed that respectively cycle time, heaters temperature and the extruder circle have the most direct effect on the bottle weight which by controlling these factors can reduce the bottle weight fluctuations.

Keywords: Standard Weight, Waste, Serum, Design of Experiments.