



پژوهش در آموزش علوم تجربی

شاپا الکترونیکی: ۳۱۱۵-۸۸۸۹

Home Page: <https://basicscience.cfu.ac.ir>



طراحی آزمایش در دانش مفهوم پداگوژی و ارتقاء آموزشی

محمد داود غفاری^{۱*}، زهرا زارع^۲

۱. استادیار گروه آموزش زیست‌شناسی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵، تهران، ایران.

۲. دانشیار گروه آموزش زیست‌شناسی، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: (Email: Mohmmadghafari@cfu.ac.ir)

چکیده

اطلاعات مقاله

متن چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

استفاده از نرم افزار Design Expert بعنوان ابزاری مفید برای بکارگیری در حوزه دانش مفهوم پداگوژی و ارتقاء آموزشی با هدف آموزش برای کاربر در این پژوهش انجام شد و یک مطالعه مجازی جهت بهینه سازی روش E5 برای آموزش درس زیست‌شناسی نیز انجام شد. از نرم افزار Design Expert ورژن ۱۳ به عنوان ابزاری برای بهبود PCK در محیط های آموزشی استفاده شد. این نرم افزار، ابزار آماری قدرتمند و کاربرپسند بود و به مربی امکان طراحی، تجزیه و تحلیل آزمایش ها، فرضیه ها، بهینه سازی فرایندها و تجسم داده ها را داد. بعلاوه مطالعه مجازی طراحی شده برای بررسی تاثیر سه فاکتور مدت زمان آزمون، پایه تحصیلی و تعداد کل دانش آموزان مدرسه بر روی روش E5 برای آموزش درس زیست‌شناسی انجام شد. مزایای استفاده از Design Expert در زمینه توسعه PCK و ارتقاء آموزشی بخوبی مشاهده شد. نتایج نشان داد که معلمان و تصمیم گیران آموزشی با استفاده از این نرم افزار می توانند شخصی سازی فرایند یاددهی- یادگیری را بهینه کرده و نتایج مثبت تری در یادگیری و ارتقاء مشاهده نمایند. بعلاوه نتایج مربوط به بررسی اثر سه فاکتور یادشده بر روی روش E5 برای آموزش درس زیست‌شناسی نشان داد که مدت زمان آزمون ۶۰ دقیقه همزمان با افزایش تعداد دانش آموزان مدرسه، تاثیر روش E5 را برای بهبود آموزش درس زیست‌شناسی بیشتر کرد. این مقاله نخستین گزارش برای معرفی کاربرد نرم افزار Design Expert برای بکارگیری در حوزه دانش مفهوم پداگوژی و ارتقاء آموزشی است. با توجه به تجربه نویسندگان این نرم افزار قابلیت شگرفی برای ورود به این حوزه را داشته پژوهش مجازی اخیر نیز تاییدی بر این قابلیت بود و امید است این پژوهش مجازی انجام تحقیقات بیشتر در این خصوص را توسط محققین این حوزه تسهیل داده و منجر به نشر گزارش های بسیار بیشتر در ادامه شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۲۷

کلیدواژه‌ها:

طراحی آزمایش،
نرم افزار Design Expert،
دانش محتوایی- پداگوژی،
نرم افزار DOE،
بهینه سازی آموزشی.

استناد: غفاری، محمد داود؛ زارع، زهرا، (۱۴۰۵). طراحی آزمایش در دانش مفهوم پداگوژی و ارتقاء آموزشی. پژوهش در آموزش علوم تجربی، ۱۲ (۴۳)، ۳۱-۱۱.

doi <http://doi.org/10.48310/basic.2026.23492.1609>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه فرهنگیان.

۱. مقدمه

در دنیای امروز که رقابت برای افزایش کیفیت آموزش روز به روز اهمیت بیشتری پیدا کرده است، بهبود یاددهی، یادگیری و تجزیه و تحلیل متغیرهای بسیاری که روی آموزش موثر هستند، بدلیل متعدد بودن، پیچیده بودن و اثرات متقابل و متضاد متغیرهایی که روی فرایندهای آموزشی و پژوهشی دارند، بسیار های دشوار بوده و به یکی از اهداف اصلی موسسات آموزشی و پژوهشی تبدیل شده است. در این بین استفاده و ترکیب دو رویکرد دانشی یعنی دانش محتوایی- پداگوژی (PCK) و طراحی آزمایش یا DOE (Design of Experiments) می تواند بعنوان دو ابزار کلیدی، کمک زیادی در شناسایی متغیرهای موثر در آموزش و افزایش اثربخشی آن ها در آموزش کند.

دانش محتوایی- پداگوژی (PCK) به دانش تخصصی اطلاق می شود که اساتید و معلم ها در مورد چگونگی آموزش موثر محتوایی خاص به دانشجو یا دانش آموز توجه دارند. این شامل درک هر دو موضوع و راهبردهای آموزشی مورد نیاز برای انتقال آن محتوا به شیوه ای معنادار است (شالمن، ۱۹۸۶؛ لوقران و همکاران، ۲۰۱۲). در این خصوص آموزگار و اساتید دائماً به دنبال ابزارها و فن آوری های نوآورانه برای افزایش PCK خود و بهبود نتایج یادگیری دانش آموزان و دانشجویان با تأکید بر شیوه های آموزشی مبتنی بر شواهد هستند. از سوی دیگر برای رسیدن به اهداف نهایی آموزش، یعنی بهبود نتایج یادگیری، ارتقاء سطح آموزشی یا هر نتیجه مطلوب دیگری که جزء اهداف تعلیم دهنده به تعلیم گر است، علاوه بر درک تعلیم دهنده از موضوع آموزشی و پیاده سازی انواع روش ها در آموزش، متغیر های ناشناخته زیاد دیگری در هر گروه آموزشی وجود داشته که می تواند در نتیجه نهایی آموزش اثرگذار باشند. طراحی آزمایش یا DOE (Design of Experiments) می تواند در شناسایی این متغیر های ناشناخته کمک بسیاری کند. علاوه با طراحی آزمایش امکان بررسی میزان تاثیر متغیرهای شناخته و ناشناخته در خروجی نهایی آموزش نیز میسر می شود. بطور خلاصه تر باید بیان کرد که طراحی آزمایش امکان اجرای برنامه ریزی سیستماتیک برای اجرای آزمایش ها، تحلیل و بهینه سازی آن را فراهم می کند. با پیشرفت فناوری رایانه ای و ظهور نرم افزارهایی تخصصی نظیر R (ایگلن، ۲۰۰۹؛ پاولنکو و همکاران، ۲۰۲۰؛ ساقر و همکاران، ۲۰۲۴؛ تاکر و همکاران، ۲۰۲۲)، JMP (جانز و همکاران، ۲۰۱۱؛ پوروست، ۲۰۱۹؛ موسسه ساس، ۲۰۱۹)، Minitab (فاردیلان و همکاران، ۲۰۲۰؛ رامش، ۲۰۰۹؛ گارسیا و همکاران، ۲۰۲۴)، SPSS (چن، ۲۰۱۰؛ جوئرج و همکاران، ۲۰۱۹؛ مهربخش و همکاران، ۲۰۲۴)، Design Expert (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۶؛ آرام وش و همکاران، ۲۰۱۵؛ وب سایت ستاتیست؛ خانی و همکاران، ۲۰۱۶؛ مایر و همکاران، ۲۰۱۶)، Boost (وب سایت کوآتومبوست؛ کومبارو و همکاران، ۲۰۲۳)، MODDE Go (وب سایت سارتریوس؛ دیتا آنالیتیک سارتریوس، ۲۰۱۷) و سایر نرم افزارها (زاوز و همکاران، ۲۰۲۵)، انجام تحلیل های پیچیده در حوزه های مختلف علوم ساده تر و در دسترس تر شده است. Design Expert بدلیل داشتن مزایایی نظیر قابلیت استفاده در محیط آفلاین، عدم نیاز به دانستن دانش کدنویسی پیچیده، محیط کاربر پسندتر و گرافیکی، جامعیت داشتن برای هر دو بخش آماری و طراحی آزمایش های جایگاهی خاص داشته باشد.

قابلیت شگرف نرم افزار Design Expert در علوم مختلف نظیر، زیست شناسی (آرام وش و همکاران، ۲۰۲۵؛ اسد و همکاران، ۲۰۲۴؛ آشنگروفا و همکاران، ۲۰۱۲؛ خانی و همکاران، ۳، ۲۰۱۶؛ نداف و همکاران، ۲۰۲۴؛ مایر و همکاران، ۲۰۱۶؛ معافی و همکاران، ۲۰۱۶؛ وزا و همکاران، ۲۰۲۳)، شیمی (آلبن، ۲۰۰۲؛ بن یونیس و همکاران، ۲۰۰۸؛ جورشبنی و همکاران، ۲۰۱۶؛ ماداس و همکاران، ۲۰۲۳؛ رازیانی و همکاران، ۲۰۲۰)، داروسازی (انصاری زاده و همکاران، ۲۰۲۱؛ آنکو و همکاران، ۲۰۱۶؛ سوییان و همکاران، ۲۰۲۲)، رنگرزی (ایجیموفور و همکاران، ۲۰۲۱؛ کورباهتی و همکاران، ۲۰۰۷؛ رومرو-نوگارا و همکاران، ۲۰۲۲) و مهندسی (چن و همکاران، ۲۰۲۵؛ لامیدی و همکاران، ۲۰۲۲؛ پنگ و همکاران، ۲۰۲۱؛ سگبس، ۲۰۲۲) بیشتر به اثبات رسیده است. با این حال بررسی نویسنده پیرامون کاربرد آن در حوزه دانش مفهوم پداگوژی و ارتقاء آموزشی و شناسایی اثرات ناشناخته پدیده های نشان دهنده بکر بودن استفاده از این نرم افزار در این حوزه از علم می باشد. این در حالی است که اعمال تغییرات در عوامل اثرگذار در آموزش نظیر تغییر در روش آموزش، تغییر در تکنولوژی آموزش، تغییر در میزان دانش معلم، تغییر در زمان و سایر طراحی ها در بهبود این حوزه از علم می تواند بسیار مفید باشد (سسلیا و همکاران، ۲۰۱۷؛ سانگ و همکاران،

۲۰۲۵؛ کوهرلر و همکاران، ۲۰۰۵؛ ۲۰۰۷؛ رادانویک و همکاران، ۲۰۲۵؛ شیو، ۲۰۲۵؛ وان بومل و همکاران، ۲۰۲۵؛ ویبریو و همکاران، ۲۰۲۵). با توجه به تجربیات قبلی نویسنده (آرام وش و همکاران، ۲۰۱۵؛ خانی و همکاران، ۲۰۱۶)، و قابلیت شگرف این نرم افزار در عملیاتی نمودن استفاده از آن برای بررسی ترکیبی از طراحی های مختلف و بررسی حجم زیادی از متغیرها احتمالی که بدون بکارگیری آن امکان بررسی در حجم بالا مقدور نمی باشد، معرفی و آموزش عملی این نرم افزار در حوزه دانش مفهوم پداگوژی و ارتقاء آموزشی، می تواند کمک شایانی به پیشبرد اهداف آموزشی نماید.

نرم افزار *Design Expert* یک فرصت منحصر به فرد را برای آموزگار فراهم کرده تا درک خود را از محتوا، مسیر آموزشی و تمامی متغیرهای ناشناخته ی احتمالی که در نتیجه نهایی آموزش خود موثر بوده را از طریق تجزیه و تحلیل داده ها، آزمایش و تجسم آن، عمیق تر کند. در طراحی آزمایش با کمک نرم افزار *Design Expert*، با کمک مدل سازی و طراحی آزمون های مختلفی نسبت به ارزیابی اینکه کدام ورودی های فرایند ها تاثیر قابل توجهی بر خروجی فرایند، محصول یا نتیجه نهایی دارند و تاثیر هر یک به چه میزان است، و در نهایت اعمال ورودی های بهینه برای حصول نتیجه مورد نظر (خروجی) اقدام می شود. همچنین در بسیاری از کشور ها طراحی آزمایش و استفاده از این نرم افزار بعنوان یکی از دروس مهم برای دانشجویان در مقاطع تحصیلی تدریس می شود (واز کوئیز و همکاران، ۲۰۲۴). به بیان دیگر *Design Expert* یک نرم افزار کاربردی جامع است که به طور گسترده می تواند در زمینه های مختلفی مانند مهندسی، علوم پایه، آموزش و سایر فرایندها استفاده شود. این نرم افزار یک رابط کاربر پسند برای طراحی آزمایش ها، تجزیه و تحلیل داده ها و بهینه سازی فرایندها فراهم می کند (سماکر، ۲۰۲۳). استفاده از نرم افزار *Design Expert* بعنوان یک نرم افزار کلیدی و جامع در طراحی آزمایش و کاربرد آن بعنوان ابزاری مفید برای بکارگیری در حوزه دانش مفهوم پداگوژی و ارتقاء آموزشی بعنوان هدفی کاربردی این پژوهش می باشد. بیان مثال هایی کاربردی و مجازی برای آشنایی بیشتر اساتید، معلمان، دانشجویان و دانش آموزان به منظور کاربرد و نحوه کار با این نرم افزار در حوزه *PCK* و ارتقاء آموزشی انجام شد و قابلیت پیاده سازی بصورت واقعی را دارند. این اولین گزارش از کاربرد عملی این نرم افزار در این حوزه می باشد. در این مقاله به دلیل اهمیت روش *Central Composite Design* و *Box-behnken* این روش ها با مثال هایی از کاربرد عینی آن ها در *PCK* و ارتقاء آموزشی شرح داده شده اند.

۲. پیشینه پژوهش

در نرم افزار *Design Expert* مربی می تواند با طرح های آزمایشی ساده یا بسیار پیچیده و انجام تجزیه و تحلیل های آماری طرح، به بررسی مسیرهای مختلف، فرضیه ها، کیفیت و کمیت منابع، محتوا، الگوها، روش های مختلف تدریس، تحلیل کتاب، متن خاص یا موضوع خاص و هر متغیر فرضی دیگر پرداخته و از آن ها در تجسم نتایج به شیوه ای واضح و مختصر استفاده نماید. این نرم افزار علاوه بر طراحی آزمایش بصورت واقعی، امکان طراحی مجازی آزمایش ها را هم برای کاربر فراهم می نماید. امکان کمی سازی و بررسی میانگین بین طرح ها، متغیرها، منابع، مسیرها و سایر عوامل محتمل را نیز می توان با کمک این نرم افزار تجزیه و تحلیل نمود و نهایتا بهترین راهکار را برای هر گروه یا موضوع خاص در نظر گرفت. بعلاوه امکان بررسی تاثیر هر متغیر روی متغیر دیگر و در نهایت بهینه سازی آزمون نهایی نیز میسر می باشد (اوانگلوپولوس، ۲۰۱۳؛ کارل و همکاران، ۲۰۱۵؛ سایت ستاتیس ۳؛ واز کوئیز و همکاران، ۲۰۲۴).

بهینه سازی، دستیابی به مطلوب ترین خروجی است که گاهی با هدف دستیابی به خروجی کاهش هزینه های آموزش یا کاهش مردودین امتحان نهایی، و یا افزایش کمی تولیدات آموزشی یا افزایش میانگین نمرات، مشارکت بیشتر، افزایش کیفی یا هر خروجی دیگر و یا ترکیبی از این خروجی ها تعریف شود. برای رسیدن به این خروجی های بهینه، راهکارهای متعددی در نظر گرفته می

1. Evangelopoulos, Nicholas E.

2. Karl, A., Wisnowski, J., Rushing, W.

3. <https://www.statease.com/docs>.

4. Vazquez, A., Xuan, X.

شود و براساس هر خروجی، فرضیه های متعددی در آغاز در ذهن محقق مطرح بوده که در قالب ورودی های فرآیند می تواند مطرح شوند و گاهی بررسی یک به یک این فرضیه ها و ورودی ها آن هم در مقیاس واقعی و بصورت کامل بواسطه ی محدودیت های مختلف نظیر محدودیت زمانی، مالی و غیره میسر نمی باشد. از جمله این ورودی هایی که در حوزه دانش محتوایی می توان بطور پیش فرض بیان کرد، بررسی کمیت و کیفیت منابع مختلف برای تهیه محتوای آموزشی، بررسی روش و الگوهای مختلف ارائه محتوای آموزشی، تعیین مدت زمان مفید برای ارائه محتوای آموزشی، بررسی زمان موثر برای ارائه محتوای آموزشی، بررسی متوسط سن فیزیولوژیکی مفید افراد برای ارائه محتوای آموزشی به آن ها، بررسی تاثیر جنسیت/ میزان ضریب هوشی لازم/ اقلیم افراد برای ارائه موثر محتوای آموزشی و موارد بی شمار دیگری از این نوع را می توان نام برد. گاهی حتی محتوای آموزشی ارائه شده توسط افراد مختلف و یا یک نفر نیز می تواند خود ورودی برای بررسی کارایی سیستم آموزشی با خروجی های مختلف نظیر درصد قبولی در کنکور/ آزمون جامع، درصد ادامه تحصیل به مقاطع بالاتر و غیره شود (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۶؛ آرام و همکاران، ۲۰۱۵؛ باکس و همکاران، ۲۰۰۵؛ سایت ستاتیس؛ ۴؛ خانی و همکاران، ۲۰۱۶؛ ۵، ۶؛ مونتگومری، ۲۰۱۷؛ ۷؛ مایر و همکاران، ۲۰۱۶).

۳. روش شناسی پژوهش

دراین مقاله از نرم افزار *Design Expert* ورژن ۱۳ به عنوان ابزاری برای طراحی آزمایش و ترکیب آن با دانش مفهوم پداگوژی و ارتقاء آموزشی استفاده شد. قبل از بیان قسمت نتایج، برای گردآوری داده ها و اطلاعات پیرامون معرفی اجمالی نرم افزار، اجزای طراحی و بخش ها و قسمت های مختلف نرم افزار از روش های مطالعه میدانی و کتابخانه ای و تجربیات نویسنده پیرامون استفاده از این نرم افزار استفاده شد (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۶؛ آرام و همکاران، ۲۰۱۵؛ وب سایت ستاتیس؛ خانی و همکاران، ۲۰۱۶؛ مایر و همکاران، ۲۰۱۵). در این پژوهش مشابهت سازی نتایج برای تجزیه و تحلیل داده ها برای کاربرد این نرم افزار در حوزه دانش مفهومی پداگوژی و ارتقاء آموزشی نیز انجام شد. جمع آوری و تحلیل داده ها به نحوی صورت گرفته است که برای مخاطب، آموزشی جامع از این نرم افزار نیز فراهم شود. در این بین مثال هایی از نحوه ادغام موثر این نرم افزار در استراتژی های آموزشی بصورت نمونه ارائه شده است.

۴. یافته های پژوهش

اجزای طراحی آزمایش

۱- فاکتورها: فاکتورها در طراحی آزمایش با نرم افزار *Design Expert* همان ورودی، متغیرها، یا عوامل موثر احتمالی بوده که بر روی خروجی فرآیند تاثیرگذار هستند (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۶؛ کوتتر و همکاران، ۲۰۰۵؛ سایت ستاتیس؛ ۴؛ مونتگومری، ۲۰۱۶؛ ۷؛ مایر و همکاران، ۲۰۱۶؛ نجوکا و همکاران، ۲۰۲۲) [۳۹، ۵، ۶، ۱۹، ۲۰]. فرض کنین با فرآیند انتخاب بهترین شرایط برای برگزاری آزمون پایانی دروس اصلی برای دانش آموزان کل کشور به منظور حصول بالاترین نمرات ممکن روبرو هستیم. در این فرآیند فاکتورهای ورودی یا متغیرها و عوامل تاثیر گذاری احتمالی می-توانند شامل: ۱- ساعت برگزاری آزمون ۲- تاریخ برگزاری آزمون ۳- منطقه جغرافیایی که آزمون در آن برگزار می شود. ۴- دمای محیطی که در آن آزمون برگزاری می

1. Anderson, M.J., Whitcomb, P.J.
2. Aramvash, A., Akbari Shahabi, Z., Dashti Aghjeh, S., Ghafari, M. D.
3. Box, G., Hunter, S., Hunter, W.
4. <https://www.statease.com/docs>.
5. khani, M., Bahrami, A., Chegeni, A., Ghafari, M. D., Mansouran Zadeh, A.
6. Khani, M., Bahrami, A., Ghafari, M. D.
7. Montgomery, D. St, C.
8. Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, Christine.
9. Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., William, L.
10. Njoku, Chigoziri N., Otisi, Samuel K.

شود. ۵- نوع درس اصلی ۶- مدارک تحصیلی اساتیدی که درس را برگزار می کنند. ۷- سابقه تدریس اساتیدی که درس را برگزار می کنند. ۸- تحصیلات والدین دانش آموز. ۹- گروه سنی دانش آموز. ۱۰- سطح برخورداری استانی. ۱۱- جنسیت و غیره از جمله عوامل یا متغیرهای فرضی موثر در افزایش نمرات دانش آموزان هستند.

۲- سطوح: هر فاکتور خود می تواند مقادیر مختلف کمی/کیفی داشته باشد که به آن سطوح گفته می شود (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۶؛ کوتتر و همکاران، ۲۰۰۵، سایت ستاتیس^۳؛ مونتگومری^۴، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۹؛ مایر و همکاران، ۲۰۱۶؛ نجوکا و همکاران، ۲۰۲۲). بطور مثال در فرآیند افزایش نمرات دانش آموزان کشوری، ساعت یا زمان برگزاری آزمون می تواند بصورت کمی از ۷ تا ۱۹ شب و یا بصورت کیفی بصورت صبح اول وقت (ساعت ۷ صبح)، قبل از ظهر (ساعت ۱۰ صبح)، ظهر (ساعت ۱۲ ظهر)، عصر (ساعت ۱۶ عصر) و شب (ساعت ۱۹ شب) بعنوان سطوح مربوطه تعریف شود و یا سطوح مختلف در تاریخ برگزاری آزمون می تواند بصورت روز اول ماه تا آخر ماه و یا دهه اول تا سوم ماه تعریف شود همچنین سطوح مختلفی که برای فاکتور منطقه جغرافیایی می تواند در نظر گرفته شود می تواند بصورت کیفی گرم، سرد، معتدل، و یا شمال، جنوب، شرق، غرب و مرکز یا ارتفاع از سطح دریا، عرض جغرافیایی یا هر تقسیم بندی احتمالی دیگر تعریف شود.

۳- نتایج: نتایج همان پاسخ فرآیند یا خروجی فرآیند بوده که می تواند تحت تاثیر متغیرهای فرآیند تغییر کنند (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۶؛ کوتتر و همکاران، ۲۰۰۵، سایت ستاتیس^۳؛ مونتگومری^۴، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۹؛ مایر و همکاران، ۲۰۱۶؛ نجوکا و همکاران، ۲۰۲۲). میزان کمی نمرات (از یک تا بیست) و یا کیفی نمرات بصورت عالی (۱۸-۲۰)، خوب (۱۵-۱۷)، متوسط (۱۳-۱۵)، بد (۱۰-۱۲) و خیلی بد (کمتر از ۱۰) می تواند بعنوان نتایج در مثال قبلی ثبت شوند. در فرآیند ذکر شده خروجی مفروض ما نمرات درسی بودند، اما گاهی ما با چندین خروجی مواجه هستیم، بطور مثال در فرآیند ذکر شده می توان درصد شرکت دانش آموزان در آزمون پایانی و یا کاهش نفراتی که در آزمون شرکت نمی کنند، کاهش مردودین و غیره را نیز نام برد.

بخش و قسمت های مختلف نرم افزار Design Expert

در نرم افزار و قسمت Response Surface سه بخش Randomized (حالت تصادفی و استاندارد نرم افزار)، Supersaturated (استفاده برای انجام حداقل تعداد آزمون) و Split-plot (استفاده در مواقعی که یکی از فاکتورها بسختی تغییرپذیر باشد و امکان تقسیم بندی آن به سطوح مختلف وجود ندارد) دیده می شود (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۶؛ کوتتر و همکاران، ۲۰۰۵، سایت ستاتیس^۳؛ راضیان و همکاران، ۲۰۲۰).

Randomized حالت استاندارد طراحی ها بوده و خود شامل بخش های Central composite Design، Box-Behnken و Optional (custom) می باشد قسمت Central composite Design خود دارای ۵ سطح است. در این قسمت می توانید برای هر متغیر، پنج سطح کمی یا کیفی تعریف شود، برای اینکار کافی است که دو سطح Low و High را انتخاب و بسته به مقادیر $\alpha \pm$ نرم افزار سطوح بالاتر از حد High و کمتر از مقدار Low و نیز سطوح مرکزی را نیز در نظر می گیرد. قسمت Box-Behnken در آن هر متغیر می تواند دارای تنها ۳ سطح Low، High و نقطه مرکزی باشد. قسمت آخر Optional (custom) بوده و زمانیکه

1 . Anderson, M.J., Whitcomb, P.J.

2 . Kutner, M .H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., William, L.

3 . <https://www.statease.com/docs>.

4 . Montgomery, D. St, C.

5 . Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, Christine.

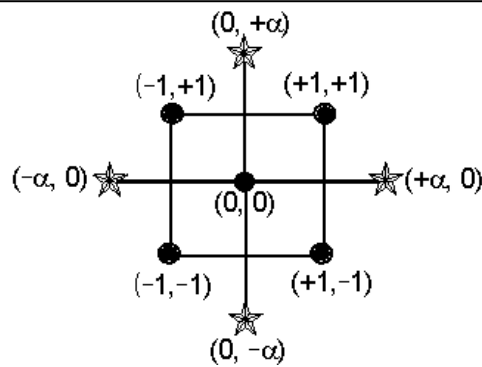
6 . Njoku, Chigoziri N., Otisi, Samuel K.

7 . Raziani, A., Mohammadidoust, A.

تعداد سطوح تغییر کرده و لزوماً فاکتورها تعداد سطوح برابری ندارند، بکار می رود. (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۶؛ کوتتر و همکاران، ۲۰۰۵، سایت ستاتیس^۷؛ راضیان و همکاران^۴، ۲۰۲۰).

در هر طراحی تعدادی متغیر کیفی (*Categoric Faktors*) و کمی (*Numerical Factors*) نیز می توان انتخاب شود. در قسمت *Name* نام فاکتور یا متغیر و قسمت *Unit* واحد مربوط به آن وارد می شود. بعنوان مثال نام فاکتور اول را مدت زمان آزمون (*Time*) و واحد آنرا ساعت (*hour*) و یا نام فاکتور دیگر تاریخ برگزاری آزمون (*Date*) و واحد آنرا روز (*Day*) یا فاکتور سوم دما (*Temperature*) سطح کلاس (*School Level*) / تعداد صفحات (*Pages*) / روان خوانی متن (*Readability*) / تعداد خطوط (*Lines*) / روش تدریس (*Education Method*) و یا هر فاکتور دیگری به همراه واحد آن درج می شود. لازم به ذکر است که برای ورود فاکتور یا متغیرهای کیفی بجز ورود کیفی آن امکان کمی سنجی آن هم وجود دارد. بعنوان مثال چنانچه نمرات بصورت کیفی عالی، خوب متوسط و بد و خیلی بد بیان شده، می توان بجای آن بترتیب از اعداد $+1$ ، 0 ، -1 و -2 استفاده کرد. قسمت دیگر در نرم افزار *Type* است که شامل *Full Fraction*، *Min-Run Res V* و *Small* می باشد. *Small* به معنای طراحی آزمایش با کمترین تعداد آزمون توسط نرم افزار است. *Full* تعداد استاندارد حداکثر آزمایش ها را در نظر می گیرد. دو قسمت $\frac{1}{2}$ *Fraction* و *Min-Run Res V* هم همانند *Small* منجر به کاهش تعداد آزمایش های لازم اما بیشتر از مقدار *Small* در طراحی می شود. بعنوان مثال در حالت *Full* برای هفت فاکتور کمی تعداد ۱۵۲، در حالت $\frac{1}{2}$ *Fraction* برابر ۸۸ و *Min-Run Res V* برابر ۵۰ و نهایتاً در حالت *Small* برای هفت فاکتور کمی تعداد ۴۱ آزمایش را نرم افزار پیشنهاد می دهد. حالت *Small* بدلیل کاهش احتمالی دقت آزمون هرگز (مگر در مواقع بحرانی و خاص) پیشنهاد نمی شود. حالت $\frac{1}{2}$ *Fraction* می تواند برای زمانیکه تعداد فاکتور یا متغیرهای ما بیشتر از ۵ است، استفاده شود. پیشنهاد نویسنده در این موارد که تعداد فاکتورها بیشتر از ۵ است، بکارگیری روش غربالگری با روش *Plackett-Burman* و کاهش آنها برای انجام در روش پاسخ سطحی است. قسمت بعدی *Point* یا نقاط سطوح آزمون بوده که به دو دسته *None-Center point* و *Center Point* تقسیم می شود. نقطه *Center* همان نقطه مرکزی در سطوح بالا و پایین است، بطور مثال چنانچه سطوح فاکتور ساعت ما شامل ساعت ۸ و ساعت ۱۲ باشد، نقطه مرکزی عدد ۱۰ می باشد. در نرم افزار *Alpha* عددی قراردادی بوده و معمولاً برای سه و چهار متغیر بترتیب حالت پیش فرض ۱۶۸ و ۲ می باشد. اگر *Alpha* را عدد دو انتخاب کنیم، سطوح متغیرهای ما اعداد رند است. اما با کلید در قسمت *Options* که جلوی *Alpha* دیده می شود، می توان انواع مختلفی از *Alpha* را برای متغیر خود تغییر دهیم. حالت پیش فرض *Rotatable* یا چرخش پذیر است که اصولاً در روش *CCD (Central composite)* بصورت پیش فرض می باشد، به این معنا است که تغییراتی که در پاسخ توسط مدل داده شده، در فاصله معینی از مرکز طراحی ثابت است و در *CCD* می تواند چرخش پذیر یا *Rotatable* باشد. در *Face Centered* ضریب *Alpha* عدد یک است و در این حالت سطوح اعمالی در آزمون های ما به سه سطح کاهش می یابد و زمانی بکار می رود که روش *CCD* را در سه سطح میخواهیم انجام دهیم (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۶؛ باکس و همکاران، ۲۰۰۵، سایت ستاتیس^۷؛ مونتگومری^۸، ۲۰۱۶؛ مایر و همکاران^۹، ۲۰۱۶).

1. Anderson, M.J., Whitcomb, P.J.
2. Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., William, L.
3. <https://www.statease.com/docs>.
4. Raziani, A., Mohammadidoust, A.
5. Anderson, M.J., Whitcomb, P.J.
6. Box, G., Hunter, S., Hunter, W.
7. <https://www.statease.com/docs>.
8. Montgomery, D. St, C.
9. Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, Christine.



شکل ۱. حالت Rotatable در CCD. با انتخاب نقاط ± 1 که نقاط حاشیه ایی نامند، نقاط مثبت و منفی آلفا که نقاط ستاره ایی و نقطه مرکزی است، مشخص و در مجموع ۵ نقطه در روش CCD در نظر گرفته می شود.

سایر حالت دیگر نظیر *Spherical*، *Orthogonal quadratic* و *Practical* بین مقادیر *Face centered* و *Rotatable* است. معمولاً زمانیکه تعداد متغیرها بالای پنج متغیر می باشد، بهتر است از *Practical* استفاده شود. تجربه نویسنده نشان می دهد که معمولاً در روش CCD آنرا روی *Rotatable* قرار می دهند. قسمت دیگر در نرم افزار *Replication* است که تعداد تکرارهای نقاط *Factorial* (قسمت دایره ایی در شکل ۱ یا آزمایش هایی با سطح بالا $(+1)$ و پایین (-1))، *Axial* (قسمت ستاره ایی در شکل ۱ یا آزمایش هایی با سطح حداقل و حداکثری متغیرهای در نظر گرفته شده) و *Central point* (نقاط مرکزی هر سطح) با آن انتخاب می شود. علت انجام تکرار در طراحی آزمایش برای تعیین میزان خطا آزمون است که از طریق آن میزان *Lack of fit* یا عدم تناسب تعیین می شود. بدلیل اهمیت تکرار در تعیین میزان خطای آزمون، انتخاب تکرار نقطه مرکزی یا *Central point* ضروری بوده و حداقل باید برابر سه انتخاب شود. در صفحه مربوط به پاسخ ها یا *Responses*، نام پاسخ/های مفروض و واحدها (*Units*) آنها را ثبت می نمائیم. در مثال قبلی ذکر شده، حصول بالاترین نمرات، خروجی یا نتایج مورد نظر (میانگین نمرات افراد شرکت کننده) محقق است. در همان فرآیند محقق می تواند خروجی حداکثر تعداد شرکت کنندگان را نیز بعنوان یکی دیگر از خروجی ها بعنوان *Result* یا *Response* اضافه کند. پیشنهاد نویسنده این است که در زمان استفاده از طراحی آزمایش، قبل از شروع طراحی بطور کامل تحلیل شرایط، فاکتور یا پارامترها انجام و تمامی نتایج مختلف انتخاب شود تا نتایج گمراه کننده حاصل نشود. در جدول نهایی پیشنهاد این است که همواره برای رعایت حالت تصادفی *Run Sorting* انتخاب و بترتیب آن آزمون ها انجام شود. در پایان بعد از آماده شدن جدول فوق می توان آنرا ذخیره یا *Save* کرد. (آندرسون و همکاران، ۲۰۱۶؛ باکس و همکاران، ۲۰۰۵، سایت ستاتیس^۳؛ مونتگومری^۴، ۲۰۱۶؛ مایر و همکاران^۵، ۲۰۱۶).

آنالیز نتایج بخش CCD (*Central Composite design*) در نرم افزار *Design Expert*

بعد از انتخاب روش CCD و ورود متغیر و نتایج، نتیجه هر *Run* در ستون مربوط به آن *Run* در جدول نتایج درج شده و در قسمت *Analysis* سپس روی تک تک نتایج یا خروجی ها مربوطه برای شروع آنالیز آن نتایج کلیک می شود. اولین قسمت در بخش آنالیز، *Transform* است که در روش CCD معمولاً تغییر نداده و تنها در مواردی که نسبت ماکسیمم به مینیمم ما بیشتر از ده باشد نیاز به انجام *Transformation* است. در این قسمت و در مواقعی که داده ها پراکنش خوبی ندارند، با انتخاب توابع دیگر *Transformation* انجام می شود. در روش CCD با توجه به آنکه ترم افزار خود داده ها را دسته بندی کرده و آزمون توسط کاربر انجام می شود، نیازی به ایجاد تغییر در این قسمت نیست و برای سایر آزمون ها نظیر *Historical* و غیره ممکن است بکار

1. Anderson, M.J., Whitcomb, P.J.

2. Box, G., Hunter, S., Hunter, W.

3. <https://www.statease.com/docs>.

4. Montgomery, D. St, C.

5. Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, Christine.

رود. در قسمت بعدی آنالیز یعنی *Fit summary* انواع مختلفی از معادلات (خطی یا *Linear*، برهم کنش دو متغیر یا *Fl₂*، درجه دو یا *quadratic* و درجه سه یا *Cubic*) نشان داده شده و معادلاتی که میزان *Sequential p-Value* کمتر از ۰.۰۵ (احتمال دقت بالای ۹۵ درصد) و بالعکس میزان *Lack of fit p-value* بیشتر از ۰.۰۵ داشته باشند (مقادیر کمتر یعنی عدم تناسب مدل معنی دار است و مدل ما مناسب نیست)، معادلات صحیحی می توانند باشند. *Lack of fit* یا عدم تناسب از تکرار نقطه مرکزی هر ورودی محاسبه می شود. *F-value* هر چه از عدد یک دورتر شود یعنی مدل بهتر و معنی دارتر است. *Adjusted R²* و *Predicted R²* نیز نشانه میزان تطابق داده های نتایج محاسبه شده با داده های یا نتایج آزمایش شده است. بطوریکه *Adjusted R²* اثر نتایجی که تأثیری در نتایج پیش بینی شده ما ندارد را نادیده گرفته ولی *Predicted R²* نشان دهنده قدرت هر مدل برای پیشگویی است. بطور مثال *R²* برابر ۰.۹۵ بدین معنی است که ۹۵ درصد نتایج پیشگویی شده با مشاهده شده در آزمون واقعی تطابق داشته است. حداقل مقدار قابل قبول برای *R²* برابر با ۰.۸۰ (معادل ۸۰ درصد) است. مقدار *Predicted R²* می تواند کمتر از ۰.۸۰ نیز باشد، اما اختلاف *Adjusted R²* و *Predicted R²* نباید بیشتر از ۰.۲ (یعنی دو درصد) باشد. اگر این اختلاف بیشتر از ۰.۲ باشد یعنی بدلیل عدم تناسب بین داده ها، نمی توان از آن ها برای استفاده در مدل بهره برد. همان انحراف معیار، *Sum of square* مجموع مربعات، *df* درجه آزادی و *Mean square* میانگین مربعات بوده و از آن برای محاسبه *F-value* و *P-value* استفاده می شود. در مجموع هر چه *Std Dev* و *PRESS* کمتر و *R²* ها بیشتر باشد، یعنی آن مدل، مدل بهتری می باشد. در قسمت *Model* بهترین مدل برای تجزیه و تحلیل داده های باید انتخاب شود. برای انتخاب بهترین مدل در قسمت *Model*، بصورت همزمان باید خروجی های بخش *ANOVA* کنار آن بررسی شود. برای اینکار روی *ANOVA* کلیک کرده و هر فاکتوری که (در ستون *Source*) *P-Value* آن بیشتر از ۰.۱۰ است، بترتیب از بیشترین مقدار تا کمترین مقدار در قسمت *Model* مرحله به مرحله حذف می گردد. حذف مرحله به مرحله فاکتورها تا جایی ادامه می یابد که *P-Value* تمامی فاکتورهای موجود در جدول *ANOVA* کمتر از ۰.۱ (ایدال عدد ۰.۰۵ است) شود. کلمه *m* در کنار هر فاکتور در قسمت *Model* به معنای گزینش آن فاکتور در مدل است و با دوبار کلیک روی هر فاکتور، می توان آنرا حذف کرد. علامت ! در هر ردیف بدین معنی است که آن فاکتور قابل استفاده یا انجام پذیر در آن مدل نیست. با زدن کلید راست روی هر ردیف و انتخاب قفل سبز رنگ یا *Force*، این مطلب به مدل تحمیل می گردد که آن آیتم یا پارامتر باید در معادله نهایی در نظر گرفته شود. زمانیکه با انتخاب گزینه *Auto select* می خواهیم خود نرم افزار بهترین آیتم با *P-Value* مورد نظر را بطور اتوماتیک انتخاب نماید، با گذاشتن *Force* به نرم افزار تاکید می شود که این آیتم/ها حفظ شود. آیتم هایی با مقادیر *P-Value* بین ۰.۱۰ تا ۰.۰۵ نیز احتمالاً با حذف مرحله به مرحله ردیف های بسیار بی معنی (با *P-Value* بالاتر از ۰.۱)، به معنی دار (*P-Value* کمتر از ۰.۰۵) می توانند نائل شوند. نکته مهم دیگر در حذف پارامترهای بی معنا اینکه چنانچه با حذف پارامتری با *P-Value* بیشتر از ۰.۱۰، تأثیر متقابل آن با پارامتر دیگر خیلی کم (مثلاً کمتر از ۰.۰۰۰۱)، شد، در ابتدا نباید اقدام به حذف آن شود و باید از سایر پارامترهای دیگری که *P-Value* بیشتر از ۰.۱ دارند و اثرات متقابل آن ها با دیگر پارامترها یا ورودی ها با *P-Value* بسیار کم نیست، شروع کرد. *Lack of fit* و *Pure Error* هم بترتیب به معنای عدم تناسب و خطای خالص بوده که از تکرار نقطه مرکزی هم فاکتور بدست می آیند. در پایان در قسمت *ANOVA* و ردیف *Model*، هر یک از ورودی ها باید معنی دار (*P-Value* کمتر از ۰.۰۵)، و *Lack of fit* بی معنی (*P-Value* بیشتر از ۰.۰۵) شود. در بخش *ANOVA* و جدول *Fit Statistic*، *C.V.* همان *Coefficient of variation* یا ضریب تغییرات بوده و حاصل تقسیم *Std Dev* (انحراف معیار) بر *Mean* (میانگین) و ضرب در عدد صد است. هر چقدر *C.V.* عدد کمتری شود بهتر است. *Adeq precision* هم صحت کافی یا نسبت سیگنال به نویز را نشان داده که مقادیر بالای ۴ مطلوب است. با مشاهده مقادیر عددی برابر و قرینه منفی در ستون *Coefficient estimate* در می یابیم که بلوک بندی در نتایج آزمون تأثیر گذار نیست یعنی اینکه آزمون روز اول یا وسط ماه انجام شود در نتیجه آزمون ما بی اثر می باشد. آیتم هایی با ضریب منفی، تأثیر

منفی در مقادیر خروجی مدل یا معادله را نشان می دهد (آندرسون و همکاران ۱، ۲۰۱۶؛ باکس و همکاران ۲، ۲۰۰۵، سایت ستاتیس ۳؛ مونتگومری ۴، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۹؛ مایر و همکاران ۵، ۲۰۱۶).

قسمت بعدی ANOVA بوده که چنانچه مدل ما مدل درست و معنی داری شود، باید جلوی کلمه ی *Model* عبارت *Significant* و جلوی عبارت *Lack of Fit* عبارت *Not significant* نمایش داده شود. هر ورودی که تاثیر بیشتری روی خروجی معادله نهایی داشته باشد، *coefficient estimation* بالاتری خواهد داشت. دو بخش *Coded Equation* و *Actual Equation* همان معادلات نهایی است. در *Coded Equation* برای محاسبه نتیجه نهایی باید از مقادیر سطوح -۱ و +۱ بجای مقادیر بالا و پایین واقعی استفاده شود. اما در *Actual Equation* از مقادیر پارامترهای واقعی استفاده می شود. بطور مثال در حالت *Coded* بجای مقادیر واقعی میانگین یا سطح وسط هر ورودی، باید عدد صفر لحاظ شود. برای محاسبه عدد *Coded* سایر سطوح، باید محاسبه آن از روی میزان اختلاف مقادیر *Actual* از *Coded* بدست آید. برای درک بهتر محاسبه *Coded* فرض کنیم ۵ سطح دمایی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ داریم. سطوح -۱ و +۱ آن عدد ۱۰ و ۲۰ درجه بوده و نرم افزار نقطه وسط را ۱۵ و کمتر و بیشتر از مقادیر سطح پایین و بالا را نیز از روی ضریب آلفا محاسبه کرده و برابر ۵ و ۲۵ در نظر می گیرد. مقادیر *Coded* بیان شده، در جدول شماره ۱ نشان داده شده است (آندرسون و همکاران ۱، ۲۰۱۶؛ باکس و همکاران ۲، ۲۰۰۵، سایت ستاتیس ۳؛ مونتگومری ۴، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۹؛ مایر و همکاران ۵، ۲۰۱۶).

جدول ۱. محاسبه مقادیر واقعی (Actual) و کد شده (Coded).

سطوح دمایی		مقادیر	
25	20	10	5
+2	+1	-1	-2
شرح		شرح	
پنج واحد افزایش در مقادیر عدد واقعی سطوح منجر به افزایش یک واحدی در عدد کد شده سطوح شده است، لذا اگر سطح پایین پارامتر واقعی ۱۰ باشد، ۵ واحد کمتر در سطح واقعی آن برابر عدد ۵ و متناظر آن یک واحد کمتر در عدد کد شده آن مععدد ۲- است. می توان اینگونه با یک رابطه طرفین وسطین که ۵ واحد کسر مقادیر واقعی، یک واحد مقادیر کد شده را تغییر می دهد، سایر مقادیر محاسبه شود. بطور مثال، در جدول ۱ اگر مقادیر واقعی ما ۷ باشد که اختلاف ۳ واحدی از سطح واقعی ۱۰ دارد، سطح کدینگ متناظر با سطح واقعی ۷ چیست؟		۷ واحد واقعی کمتر از سطح واقعی ۱۰ ۱ واحد کدینگ کمتر از سطح کدینگ -۱	
۳ واحد واقعی کمتر از سطح واقعی ۱۰ ؟ واحد کدینگ کمتر از سطح کدینگ -۱		۳ واحد واقعی کمتر از سطح واقعی ۱۰ ؟ واحد کدینگ کمتر از سطح کدینگ -۱	
$? = (3 \times 1) / 5 = 0.6$		$? = (3 \times 1) / 5 = 0.6$	
در نتیجه با کم کردن ۰.۶ واحد از کدینگ ۱- به عدد ۱.۶- برای کدینگ متناظر با مقدار واقعی ۷ می رسیم		در نتیجه با کم کردن ۰.۶ واحد از کدینگ ۱- به عدد ۱.۶- برای کدینگ متناظر با مقدار واقعی ۷ می رسیم	

در ادامه از سایر قسمت هایی نظیر *Diagnostic Model Graphs*، *Optimization* و غیره به تحلیل، بهینه سازی و سایر اهداف مد نظر محقق می توان پرداخت. در قسمت *Diagnostic* مدل های مختلفی برای بررسی صحت مدل وجود دارد. بطور مثال در نمودار پراکندگی نرمال باقیمانده (*Normal plot of residuals*) اگر نمودار بصورت خط مورب باشد، هر چه داده ها حول محور خطی باشند، نشان از نرمال بودن داده ها و بر عکس اگر داده ها بصورت S شکل یا خطوط عمودی و غیر خطی باشد، نشانه ی این است که معادله مربوط به داده ها از توان دو یا غیر خطی پیروی می کنند و باید از قسمت *Transform* سایر مدل ها انتخاب شوند. نمودار *Predicted vs Actual*، نمودار رگرسیون محاسبه شده توسط نرم افزار بوده و دقت معادله محاسباتی برای پیشگویی نتایج واقعی را نشان می دهد. در بخش *Model Graphs* انواع مدل های بصری برای نمایش و تجزیه و تحلیل داده های وجود دارد. در مواردی که هر فاکتور به تنهایی در نتیجه یا فرمول نهایی نقش ندارد یعنی هر فاکتور با کمک اثر متقابل فاکتور دیگر در فرمول نهایی اثرگذار است، نباید از نمایش *One factor* استفاده شود و باید از نمودار *interaction* (میانکنش)،

1 . Anderson, M.J., Whitcomb, P.J.

2 . Box, G., Hunter, S., Hunter, W.

3 . <https://www.statease.com/docs>.

4 . Montgomery, D. St, C.

5 . Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, Christine.

Contour (دو بعدی)، *3D surface* (سه بعدی) و *Cubic* (درجه سوم) استفاده کرد. برای درک بهتر فرض کنید در تحلیل نرم افزاری برای بهبود یا افزایش کمی میانگین نمرات امتحان نهایی این نتیجه حاصل شد که با تغییر همزمان دو فاکتور زمان و دمای محیط آموزشی یا زمان و دمای محیطی که در آن آزمون برگزار می شود، افزایش زمان و کاهش دمای محیط آموزشی یا محل آزمون در منطقه ای خاص، منجر به بهبود یا افزایش کمی میانگین نمرات شود، چنانچه از نمودار *One factor* استفاده شود که افزایش زمان را نشانه ی بهبود نتیجه آزمون نشان دهد و فاکتور دوم یعنی کاهش دما را همزمان نشان ندهد، محققى که اثر فاکتور مهم دیگر را در نمودار مشاهده نکند، با پیاده سازی آن در شرایط واقعی، بدون در نظر گرفتن اثر فاکتور دوم، احتمال مشاهده نتیجه کاملاً اشتباه وی وجود دارد (آندرسون و همکاران ۱، ۲۰۱۶؛ آرام و ش و همکاران ۲، ۲۰۱۵؛ باکس و همکاران ۳، ۲۰۰۵، خانی و همکاران ۴، ۲۰۱۶؛ سایت ستاتیس ۶؛ مونتگومری ۷، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۹؛ مایر و همکاران ۸، ۲۰۱۶).

در بخش *Optimization*، بهینه سازی نتیجه حتی برای آزمون هایی که انجام نشده نیز می تواند انجام و نمایش نتایج بصورت عددی (*Numerical*) یا بصری (*Graphical*) مشاهده شود. در ادامه با بیان مثالی به شرح بهتر این بخش پرداخته شده است. فرض کنید بدنبال یافتن و انتخاب مقادیر عددی بهترین فاکتور/ها جهت کمینه کردن تعداد مردودی نمرات کلاسی توسط آموزگاری در یکی از روستاهای دورافتاده هستیم. در این مثال، عدد کمتر تعداد مردودین، نقطه بهینه نتیجه آموزگار است. لذا همواره نقطه بهینه مقادیر نتیجه بیشتر نیست. در قسمت *Optimization* و بخش *Criteria* یک هدف (*Goal*) وجود دارد که می تواند *In range, Target, Minimize, Maximize* یا *equal to* انتخاب شوند. این بدین معنی است که محقق بدنبال حداکثر، حداقل، رسیدن به سمت محدوده ی خاص یا دقیقاً معادلی خاص است. بطور مثال در بهینه سازی نمرات، زمانیکه بدنبال کمینه شدن میزان مردودین در شرایطی هستید که دمای هوا ۴۵ درجه سلسیوس است، در این موارد برای آیتم میزان مردودی، کمینه یا *Minimized* و برای دمای هوا *Target* انتخاب می شود. قسمت *weights* نیز هر چه از ۰.۱ به سمت ۱۰ افزایش یابد بدین معنی است که محقق می خواهد هدف انتخابی خود را دقیقاً همان عدد انتخابی بهینه کند و چنانچه ۰.۱ انتخاب شود یعنی تفاوتی بین عدد انتخابی با اعداد کنارش وجود ندارد. بطور مثال چنانچه محقق می خواهد هدف (*Result*) خود را که نمرات کلاسی مدرسه وی است را روی بیشتر از ۱۰ یعنی قبولی بهینه کند ولی اهمیت زیادی بین نمرات بالاتر از ۱۵ (میانگین نمرات کلاسی) برایش وجود ندارد، می تواند قسمت *Goal* را روی عدد ۱۵، در بخش *Weight* را روی عدد ۱۰ و *upper Weight* را روی ۰.۱ تنظیم کند. این بدین معنا است که نمرات کمتر برایش مطلوب نیست اما چون مقادیر بالا یا *upper Weight* را هم برابر ۰.۱ انتخاب کرده، این بدین معنا است که بین میانگین عددی ۱۵ و بالاتر برای محقق اهمیتی وجود ندارد. در ادامه بخش بعدی یعنی *Solution* بوده که در آن راه حل های مربوطه برای حصول به نتیجه/ نتایج بهینه توسط نرم افزار لیست می شود. ترتیب نمایش راه حل ها، بر حسب *desirability* یا میزان مطلوبیت مد نظر محقق است. چنانچه *Desirability* عدد یک باشد یعنی با انتخاب این شرایط محقق بطور حتم و قطعی به آن نتیجه خواهد رسید. فرض کنید محقق با تغییر متغیرها بدنبال بیشینه کردن نمرات دانش آموزان و کمینه کردن میزان مردودی است. چنانچه در بخش *Criteria* و قسمت *importance* محقق از نرم افزار بخواهد به یک فاکتور یا نتیجه اهمیت بیشتر یا کمتری قائل شود، میتواند از قسمت *importance* استفاده کرده و نرم افزار نتایج یا *Solution* ارائه شده یا پیشنهادی خود را برحسب ترتیب اهمیتی که محقق برای آن قائل شده، ارائه می دهد. در قسمت *Factor* از *tolls* می توان هر یک از راه حل های پیشنهادی را در بخش *Jump to* انتخاب و در بخش *Bar Ramps* و *Graph* و *Pop-out view* به مشاهده جزئیات بیشتر از آن پرداخت. بخش بعدی کنار *Tab Solution*، *Tab* گراف (*Graphs*) بوده که نمایش گرافیکی حالات مختلف ارتباط فاکتورها و نتایج می باشد و یکی از مهمترین نمایش های گرافیکی آن حالت

1. Anderson, M.J., Whitcomb, P.J.
2. Aramvash, A., Akbari Shahabi, Z., Dashti Aghjeh, S., Ghafari, M. D.
3. Box, G., Hunter, S., Hunter, W.
4. khani, M., Bahrami, A., Chegeni, A., Ghafari, M. D., Mansouran Zadeh, A.
5. Khani, M., Bahrami, A., Ghafari, M. D.
6. <https://www.statease.com/docs>.
7. Montgomery, D. St, C.
8. Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, Christine.

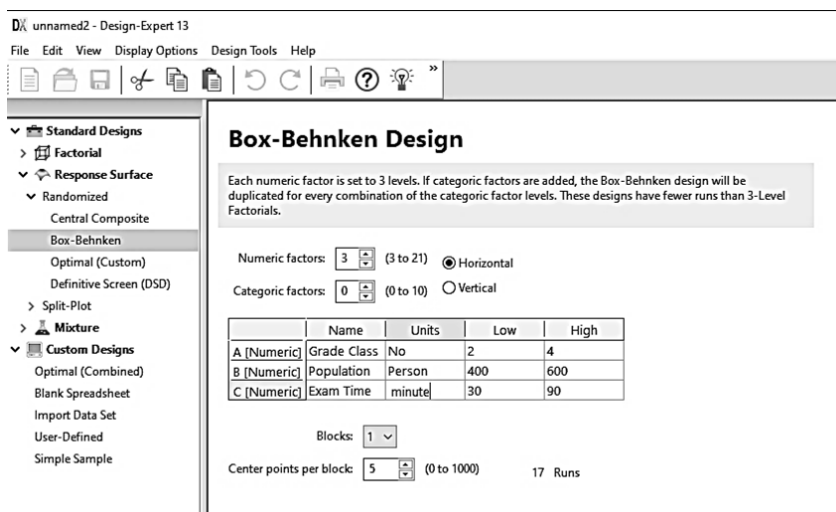
Contour است. بعد از این گزینه نوبت به *Confirmation* بوده که مربوطه به تایید *Solution* انتخابی نهایی است. در این بخش باید با تکرار شرایط پیشنهادی در *Solution* مربوطه نسبت به تایید نهایی آن راه حل اقدام کرد. در این قسمت در بخش *Run* حداقل تعداد ۳ تکرار را باید انتخاب کرد تا با تکرار حداقل ۳ بار تکرار آن *Solution* پیشنهادی در نهایت نسبت به تایید آن اقدام کرد. با ورود نتایج در بخش *Run*، نرم افزار به محاسبه میانگین محاسباتی (*Predicted Mean*)، میانه محاسباتی (*Predicted Median*)، انحراف معیار (*Std Dev*)، میانگین واقعی آزمون تکرار شده *Data Mean* و *PI low* ۵٪ و *PI high* ۹۵٪ می پردازد. دو پارامتری *PI low* ۵٪ و *PI high* ۹۵٪ نشان می دهند که با احتمال بالای ۹۵ درصد با انجام این آزمون ها نتایج باید بین این دو مقدار بالا و پایین باشند. لذا اگر با ۳ بار تکرار *Run* های مربوطه، عدد میانگین در بین این دو مقادیر بالا و پایین محاسباتی شد، آزمون تایید می گردد اما اگر میانگین سه آزمون تکرار شده خارج از این دو مقادیر شود، قسمت *Data Mean* به رنگ قرمز تغییر رنگ داده و نشان دهنده عدم تأیید نتیجه آن راه حل (*Solution*) است. لازم به ذکر است که چنانچه با سه بار تکرار نتیجه راه حل تایید نشد، قبل از عدم تأیید آن، نسبت به انجام آزمون با تکرارهای بیشتر اقدام شود. در این خصوص نرم افزار پیشنهاد می دهد که در صورت مشاهده رنگ قرمز در بخش *Data Mean* حداقل تا ۶ بار تکرار می توان آزمون مجدداً انجام شود. گزینه *point prediction* در بخش *Post Analysis* دارای *CI (Confidence Interval) low/High for Mean* ۹۵٪ و *TI (Tolerance Interval) Low/High for 99% Pop* است و نشان می دهد که با ۹۵ درصد اطمینان باید مقدار میانگین تکرار شده بین این دو مقدار پائین و بالا باشد. گزینه *TI (Tolerance Interval) Low/High for 99% Pop* ۹۵٪ نیز این مطلب را بیان می کند که با ۹۵ درصد تحمل مقدار تکرار شده (نه میانگین آن ها) باید در ۹۹ درصد آزمون های انجام شده بین این دو مقدار پائین و بالا شود. (آندرسون و همکاران ۱، ۲۰۱۶؛ آرام وش و همکاران ۲، ۲۰۱۵؛ باکس و همکاران ۳، ۲۰۰۵، خانی و همکاران ۴، ۲۰۱۶؛ سایت ستاتیس ۶؛ مونتگومری ۷، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۹؛ مایر و همکاران ۸، ۲۰۱۶). فرض کنید چهار متغیر دما هوا، تعداد دانش آموز در هر متر مربع از مدرسه و کلاس و سابقه تدریس معلم ملاک ارزشیابی و حصول نتیجه آزمون با نمره بالای ۱۵ و عدم مشاهده نمره کمتر از ۱۰ بعنوان دو *Rusult* ما مطرح هستند. در این طراحی آزمون نتیجه به روش های مختلف می تواند بارگذاری شود، در روش اول که ساده ترین روش است، ورود دستی تک تک نمرات در یک *Result* تحت عنوان نمره یا *Mark* می تواند انجام شود و در روش دوم می توان دو *Result* تحت نام نمره بالای ۱۰ و نمرات بالای ۱۵ را در نظر گرفت و برای وقوع نمره بالای عدد ۱ و عدم وقوع آن عدد صفر را در نظر گرفت و در زمان تحلیل نتایج، حصول عدد ۱ را بعنوان شرایط ایدآل در بخش *Optimization* بجای ورود تک تک نمرات در نظر گرفت. در روش اول باید میانگین نمره ۱۵ در قسمت *Goal* را روی عدد ۱۵، *Lower Weight* در بخش *Weight* را روی عدد ۱۰ و *upper Weight* را روی ۰.۱ تنظیم کرد. این بدین معنا است که برای محقق نمرات کمتر از ۱۰ اصلاً مطلوب نبوده و بدنبال رسیدن به عدد ۱۰ در مقادیر کمتر می باشد (نه کمتر از ۱۰). بعلاوه چنانچه در بخش ضرایب، ضریب سابقه تدریس معلم بیشتر (مثبت ترین یا منفی ترین مقدار) از سایر ضرایب شود، این بدین معنا است که برای حصول نتیجه مورد نظر نقش سابقه تدریس معلم نسبت به سایر فاکتورها بیشتر است. اما چنانچه حاصل ضرب سابقه تدریس در تعداد دانش آموز در هر متر مربع از کلاس بیشترین مقدار عددی (یعنی مثبت ترین یا منفی ترین مقدار) شود، اهمیت بیشتر تاثیر متقابل این دو فاکتور در حصول نتیجه نهایی مورد نظر نه تاثیر تک متغیر مربوطه را نشان می دهد.

1. Anderson, M.J., Whitcomb, P.J.
2. Aramvash, A., Akbari Shahabi, Z., Dashti Aghjeh, S., Ghafari, M. D.
3. Box, G., Hunter, S., Hunter, W.
4. khani, M., Bahrami, A., Chegeni, A., Ghafari, M. D., Mansouran Zadeh, A.
5. Khani, M., Bahrami, A., Ghafari, M. D.
6. <https://www.statease.com/docs>.
7. Montgomery, D. St. C.
8. Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, Christine.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

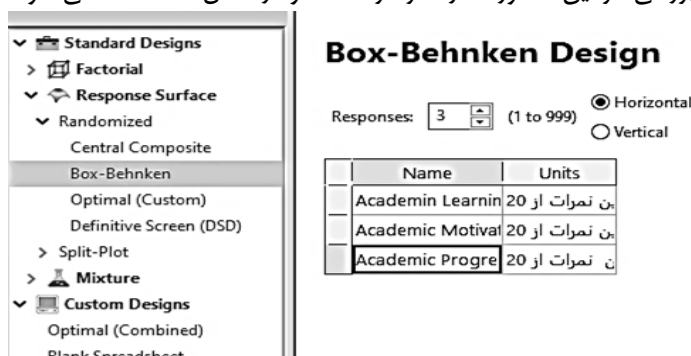
آنالیز نتایج بخش Box-behnken در نرم افزار Design Expert از قسمت Standard design:

در این روش هر فاکتور یا متغیر در سه سطح مطرح است. در نتیجه در این روش موضوع آلفا دیگر مطرح نبوده و به بیان بهتر این روش ساده تر از Central Composite بوده و برای تعریف فاکتورهای آن تنها مقادیر بالا و پائین (Low and High) هر متغیر و نقاط مرکزی (Centre point per block) در نظر گرفته می شود. با توجه به آنکه در روش Box-behnken نقاط بیشتر از مقدار حداکثر و کمتر از حداقل متغیرها بر خلاف روش CCD در طراحی آزمون تجربی در نظر گرفته نمی شود، امکان پیشگویی صحیحتر نتایج با متغیرهای خارج از بازه مقادیر حداقل و حداکثر متغیر در نظر گرفته شده در این روش کمتر از روش CCD است (خانی و همکاران، ۱۳۹۵، ۴، ۲۰۱۶). شرح قسمت آنالیز در این روش مشابه موارد شرح داده شده در روش CCD است. در ادامه، تاثیر سه فاکتور مدت زمان آزمون، پایه تحصیلی و تعداد کل دانش آموزان مدرسه بر روی روش E5 برای آموزش درس زیست شناسی بصورت مجازی بررسی شد. فرض بر این بود که هر سه این فاکتورها می توانند بر روی نتیجه نهایی آموزش درس زیست شناسی موثر باشد. برای فاکتور مدت زمان آزمون سطح ۳۰ دقیقه، ۶۰ دقیقه و ۹۰ دقیقه، برای فاکتور تعداد دانش آموز مدرسه سه سطح ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ دانش آموز، برای فاکتور پایه کلاس هم پایه ۲، ۳ و ۴ انتخاب شد و در شکل ۲ مشاهده می شود. لازم به ذکر است که پایه ۲ و ۳ و ۴ نماینده پایه ۱۰، ۱۱ و ۱۲ می باشند که بجای آنها در جداول از اعداد ۲، ۳ و ۴ بترتیب استفاده شد.



شکل ۲. انتخاب طراحی Box-behnken برای ورود فاکتورهای آزمون

سه پاسخ یادگیری تحصیلی (Academic Learning)، انگیزه تحصیلی (Azademic Motivation) و پیشرفت تحصیلی (Academic Progress) برای بررسی اثر این فاکتورها در نظر گرفته شد و در شکل ۳ مشاهده می شود.



شکل ۳. انتخاب پاسخ از قسمت Standard design.

تعیین یادگیری تحصیلی و انگیزه تحصیلی نیاز به تهیه پرسشنامه داشته و میانگین نمرات در هر پاسخنامه تعیین کننده نمره آن پاسخ است. میانگین نمره پایانی درس زیست شناسی نیز بازگو کننده پیشرفت تحصیلی است. برای مشاهده ی نمونه هایی از این پرسشنامه ها می توان به کارهای هارتر (هارتر ۱، ۱۹۸۱)، لپر و همکاران (لپر و همکاران ۲، ۲۰۰۵) و بحرانی (بحرانی ۳، ۲۰۰۹) مراجعه کرد.

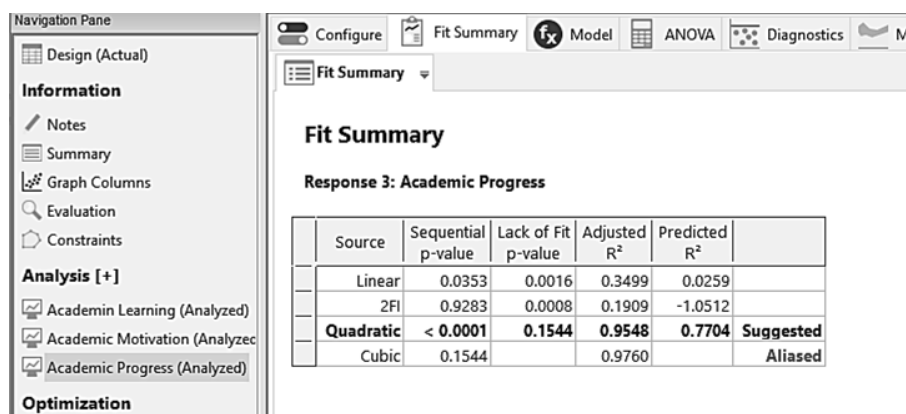
بعد از انجام روش E5 میانگین نمرات یادگیری تحصیلی، انگیزه تحصیلی و پیشرفت تحصیلی در ستون Response ثبت و در شکل ۴ مشاهده می شود.

Navigation Pane		Std	Run	Factor 1 A:Grade Class No	Factor 2 B:Population Person	Factor 3 C:Exam Time minute	Response 1 Academic Learn... میانگین نمرات از 20	Response 2 Academic Motiv... میانگین نمرات از 20	Response 3 Academic Progr... میانگین نمرات از 20
Design (Actual)		6	1	4	500	30	17	16	15
Information		4	2	4	600	60	19	18	17
Notes		13	3	3	500	60	18.25	17.25	16.25
Summary		12	4	3	600	90	17	16	15
Graph Columns		10	5	3	600	30	18	17	16
Evaluation		8	6	4	500	90	17	16	15
Constraints		7	7	2	500	90	17	16	15
Analysis [+]		1	8	2	400	60	17	16	15
Academic Learning (Analyze)		9	9	3	400	30	16	15	14
Academic Motivation (Analyze)		3	10	2	600	60	19	18	17
Academic Progress (Analyze)		15	11	3	500	60	18.25	17.25	16.25
		16	12	3	500	60	18	17	16
		17	13	3	500	60	18	17	16
		11	14	3	400	90	16	15	14
		2	15	4	400	60	17.25	16.25	15.25
		14	16	3	500	60	18	17	16
		5	17	2	500	30	17.25	16.25	15.25

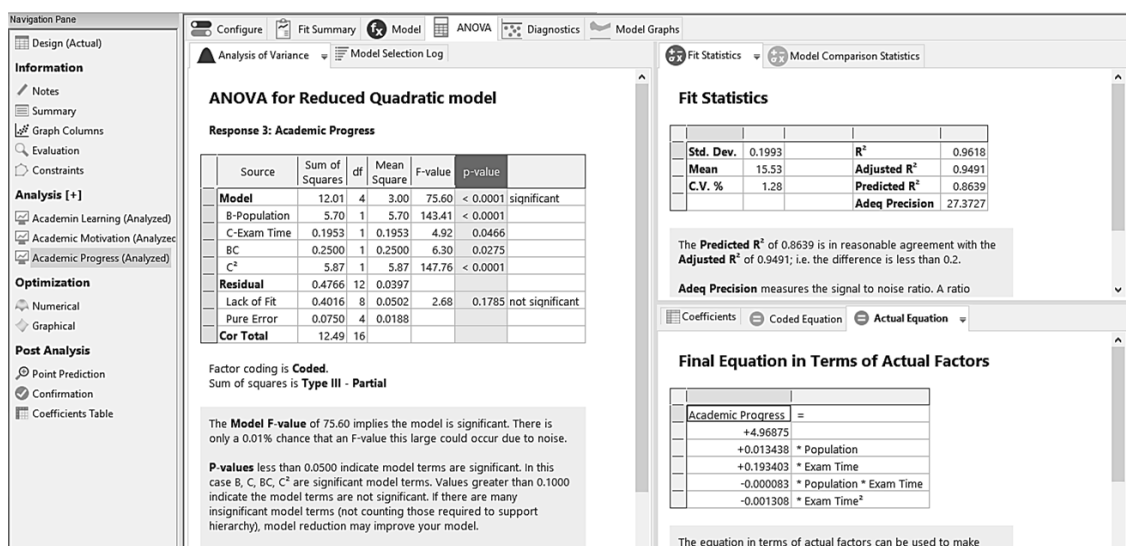
شکل ۴. ثبت میانگین نمرات یادگیری تحصیلی، انگیزه تحصیلی و پیشرفت تحصیلی.

در این مرحله از بخش آنالیز روی یادگیری تحصیلی یا هر کدام از پاسخ های مورد نظر می توان کلیک کرد. در بخش *Fit Summary*، شکل شماره ۵ مشاهده شده و نشان می دهد که مدل انتخابی توان سه (*Cubic*) نبوده و *Quadratic* است. مقدار *Lack of Fit p Value* یا خطای مطلق یا عدم تناسب، با مقایسه ۵ آزمون تکراری که تمامی فاکتورهای آن مشابه بودند تعیین می شود. اگر نتایج آزمون تکراری مشابه شود، خطای مطلق صفر بوده و این ستون خالی می ماند. (آندرسون و همکاران ۴، ۲۰۱۶؛ آرام و ش و همکاران ۵، ۲۰۱۵؛ باکس و همکاران ۶، ۲۰۰۵؛ خانی و همکاران ۸، ۲۰۱۶؛ سایت ستاتیس ۹؛ مونتگومری ۱۰، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۹؛ مایر و همکاران ۱۱، ۲۰۱۶). در بخش *p-value ANOVA* فاکتورهای کمتر از ۰.۰۵ مرحله به مرحله حذف و نمودار شکل ۶ حاصل شد که *Significant model* و *not significant Lack of Fit* است. سایر اطلاعات مربوط به مدل پیش بینی شده نظیر *Actual/ Coded Equation* در جداول شکل ۶ مشاهده می شود. در جدول *ANOVA* شکل ۶ مشاهده شد که تغییر پایه کلاس تاثیری روی بهبود آموزش با روش E5 نداشته و از بین دو فاکتور دیگر، زمان آزمون بدلیل داشتن ضریب بیشتر در معادله *Actual Equation* سهم بیشتری نسبت به تعداد دانش آموزان دارد. در پایان در شکل ۷ نمودار *Contour* از بخش *Model Graph* مشاهده می شود.

1. Harter, S.
2. Lepper, M. R., Corpus, J. H., Iyengar, Sh. S.
3. Bahrani, M.
4. Anderson, M.J., Whitcomb, P.J.
5. Aramvash, A., Akbari Shahabi, Z., Dashti Aghjeh, S., Ghafari, M. D.
6. Box, G., Hunter, S., Hunter, W.
7. khani, M., Bahrani, A., Chegeni, A., Ghafari, M. D., Mansouran Zadeh, A.
8. Khani, M., Bahrani, A., Ghafari, M. D.
9. <https://www.statease.com/docs>.
10. Montgomery, D. St, C.
11. Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, Christine.

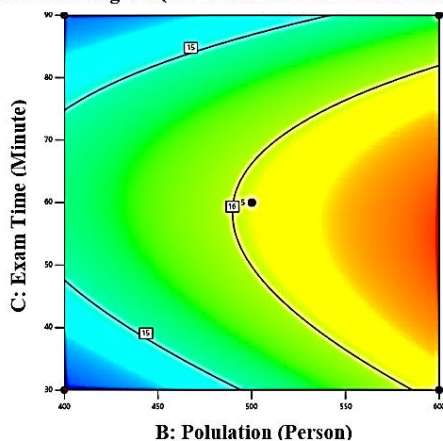


شکل ۵. بخش Fit Summary، در نرم افزار و پیشنهاد مدل Quadratic.



شکل ۶. جدول پیشنهادی ANOVA و تعیین سایر خصوصیات مدل پیشنهادی توسط نرم افزار.

Academic Progress (Ratio of scores out of a maximum of 20)



شکل ۷. نمودار Contour و ارتباط مدت زمان آزمون و تعداد دانش آموزان مدرسه در افزایش پیشرفت تحصیلی با روش

از شکل ۷ بخوبی مشخص شد که برای افزایش پیشرفت تحصیلی (*Academic Progress*) در درس زیست شناسی به روش E5، مدت زمان آزمون 60 (*Exam Time*) دقیقه نسبت به ۳۰ و ۹۰ دقیقه بهتر است. بعلاوه رابطه مستقیمی بین افزایش جمعیت مدرسه (*Person*) در بهبود پیشرفت تحصیلی با آموزش به روش E5 وجود دارد. چنانچه بعد از انجام آزمون و مشاهده نتایج و معادله توسط نرم افزار، خطای بالا و مدل نامناسبی پیشنهاد شد، با تکرار آزمون، خصوصاً آزمون هایی که در *DFFITS* و *DFBETAS* خطای بالاتری دارند می توان نسبت به رفع آن یا در نهایت اصلاح فاکتور و سطوح اقدام شود (آندرسون و همکاران ۱، ۲۰۱۶؛ آرام وش و همکاران ۲، ۲۰۱۵؛ باکس و همکاران ۳، ۲۰۰۵، خانی و همکاران ۴، ۵، ۲۰۱۶؛ سایت ستاتیس ۶؛ مونتگومری ۷، ۲۰۱۶؛ ۲۰۱۹؛ مایر و همکاران ۸، ۲۰۱۶).

۶. منابع.

- Alben, K. T. (2002). Books and Software: Design, analyze, and optimize with Design-Expert. *Analytical Chemistry*, 74(7), 222 A-223 A. <https://doi.org/10.1021/ac0219703>
- Anderson, M. J., & Whitcomb, P. J. (2016). *RSM Simplified: Optimizing Processes Using Response Surface Methods for Design of Experiments, Second Edition (2nd ed.)*. Productivity Press. . <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781315382326>
- Ansarizadeh, M., Tabatabaei, T., Samaei, M. R., Leili, M., & Baneshi, M. M. (2021). Application of Catalyst/UV/PU Nanocomposite for Removal of Tetracycline: Response Surface Methodology for Optimization and Kinetic Study. *Journal of Health Sciences & Surveillance System*, 9(1), 50-59. <https://doi.org/10.30476/jhsss.2020.88591.1148>
- Aramvash, A., Akbari Shahabi, Z., Dashti Aghjeh, S., & Ghafari, M. D. (2015). Statistical physical and nutrient optimization of bioplastic polyhydroxybutyrate production by *Cupriavidus necator*. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(7), 2307-2316. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0768-3>
- Asaad, S. M., Inayat, A., Ghenai, C., & Shanableh, A. (2024). Response Surface Methodology in Biodiesel Production and Engine Performance Assessment. *International Journal of Thermofluids*, 21, 100551. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100551>
- Ashengropha, M., Nahvi, I., & Amini, J. (2012). Application of Taguchi Design and Response Surface Methodology for Improving Conversion of Isoeugenol into Vanillin by Resting Cells of *Psychrobacter* sp. CSW4. *Iran J Pharm Res.* , 12(3), 411-421. <https://doi.org/https://doi.org/10.22037/ijpr.2013.1337>
- Bahrani, M. (2009). The Study of Validity and Reliability of Harter's Scale of Educational Motivation. *Psychological studies*, 5(1), 51-72. <https://doi.org/10.22051/psy.2009.1591>
- Benyounis, K. Y., Olabi, A. G., & Hashmi, M. S. J. (2008). Multi-response optimization of CO2 laser-welding process of austenitic stainless steel. *Optics & Laser Technology*, 40(1), 76-87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2007.03.009>
- Box, G., Hunter, S., & Hunter, W. (2005). *Statistics for experimenters. Design, innovation, and discovery. 2nd ed (Vol. 2)*. John Wiley & Sons, Inc .

1 . Anderson, M.J., Whitcomb, P.J.
 2 . Aramvash, A., Akbari Shahabi, Z., Dashti Aghjeh, S., Ghafari, M. D.
 3 . Box, G., Hunter, S., Hunter, W.
 4 . khani, M., Bahrami, A., Chegeni, A., Ghafari, M. D., Mansouran Zadeh, A.
 5 . Khani, M., Bahrami, A., Ghafari, M. D.
 6 . <https://www.statease.com/docs>.
 7 . Montgomery, D. St. C.
 8 . Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, Christine.

- Cecilia Vieira Guerra., António Moreira., & Rui Vieira. (2017). Technological pedagogical content knowledge development: integrating technology with a Research Teaching Perspective. . *Digital Education Review.* , 32, 85-96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1344/der.2017.32.85-96> .
- Chen, H.-Y., & Chen, C. (2025). A Study of the Response Surface Methodology Model with Regression Analysis in Three Fields of Engineering. *Applied System Innovation*, 8(4), 99. <https://www.mdpi.com/2571-5577/8/4/99>
- Chen, S. (2010). The Application of SPSS in Analyzing the Effect of English Vocabulary Strategy Instruction. English Language Teaching. . *English Language Teaching*, 3(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.5539/elt.v3n2p27> .
- Combarro, E. F., & González-Castillo, S. (2023). *A Practical Guide to Quantum Machine Learning and Quantum Optimization: Hands-on Approach to Modern Quantum Algorithms*. Packt Publishing. https://books.google.com/books?id=L_OWzwEACAAJ
- Cuong, T. V., Khai, N. T., Oo, T. Z., & Józsa, K. (2025). The Impact of Social Media Use Motives on Students' GPA: The Mediating Role of Daily Time Usage. *Education Sciences*, 15(3), 317. <https://www.mdpi.com/2227-7102/15/3/317>
- Eglen, S. J. (2009). A quick guide to teaching R programming to computational biology students. *PLoS Comput Biol*, 5(8), e1000482. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000482>
- Ejimofo, M. I., Ezemagu, I. G., & Menkiti, M. C. (2021). Comparative studies of response surface modeling and Plackett-Burman optimization of particles removal from paint industrial wastewater using modified Aguleri montmorillonite clay. *Results in Engineering*, 12, 100292. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100292>
- Evangelopoulos, N. E. (2013). Latent semantic analysis. *WIREs Cognitive Science*, 4(6), 683-692. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/wcs.1254>
- Fardillah, F., Ruhimat, A & ,Priatna, N. (2020). Self-regulated Learning Student Through Teaching Materials Statistik Based on Minitab Software. *Journal of Physics: Conference Series*, 1477(4), 042065. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1477/4/042065>
- García, J. R., Monterrubio, D. A .S., & Martínez, G. C. (2024). Minitab as a Didactic Resource for Teaching Statistics at Higher Education Level. *Revista de Gestão - RGSA*, 18(4), e07787. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n4-197>
- George, D., & Mallery, P. (2019). *IBM SPSS Statistics 26 Step by Step: A Simple Guide and Reference* (16th ed.). Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780429056765>
- Harter, S. (1981a). *A model of intrinsic mastery motivation in children: Individual differences and developmental change* (Vol. 14). In A .Collins (Ed.), *Minnesota symposia on child psychology* .
- Harter, S. (1981b). A New Self-Report Scale of Intrinsic Versus Extrinsic Orientation in the Classroom: Motivational and Informational Components. *Developmental Psychology*, 17, 300-312. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.17.3.300>
- <https://www.quantumboost.com> ./
- <https://www.sartorius.com/en/products/process-analytical-technology/data-analytics-software/doe-software/modde/modde-free-trial-downloads/modde-free-trial-download-files> .

<https://www.statease.com/docs>. <https://www.statease.com/docs> .

- Iancu, V., Roncea, F., Cazacincu, R. G., Lupa, C. E., Miresan, H., Danaila, C. N., Rosca, C., & Lupuleasa, D. (2016). Response surface methodology for optimization of diclofenac sodium orodispersible tablets (ODTs). . *FARMACIA*, 64(2), 210-216 . .
- Jones, B., & Sall, J. (2011). JMP statistical discovery software. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 3, 188-194. <https://doi.org/10.1002/wics.162>
- Jourshabani, M., Badiei, A., Lashgari, N & ,Mohammadi Ziarani, G. (2016). Application of Response Surface Methodology as an Efficient Approach for Optimization of Operational Variables in Benzene Hydroxylation to Phenol by V/SBA-16 Nanoporous Catalyst. *Journal of Nanostructures*, 6(2), 107-115. <https://doi.org/10.7508/jns.2016.02.001>
- Karl, A., Wisnowski, J., & Rushing, W. (2015). A practical guide to text mining with topic extraction. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 7, 326–340. <https://doi.org/10.1002/wics.1361>
- khani, M ,Bahrami, A., Chegeni, A., Ghafari, M. D., & Mansouran zadeh, A. (2016). Optimization of Carbon and Nitrogen Sources for Extracellular Polymeric Substances Production by Chryseobacterium indologenes MUT.2. *Iranian Journal of Biotechnology*, 14(2), 13-18 <https://doi.org/10.15171/ijb.1266>
- Khani, M., Bahrami, A., & Ghafari, M. D. (2016). Optimization of operating parameters for anti-corrosive biopolymer production by Chryseobacterium Indologenes MUT.2 using central composite design methodology. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 59, 165-172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.09.016>
- Khani, M., Bahrami, A., & Ghafari, M. D. (2016). Selection of optimal conditions for anti-corrosive microbial biopolymer production by the Flavobacterium strain using response surface methodology (RSM). *Biological Journal of Microorganism*, 18, 129-140. <https://doi.org/https://doi.org/10.22108/bjm.2016.20388>
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2005). What Happens When Teachers Design Educational Technology? The Development of Technological Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Educational Computing Research*, 32(2), 131-152. <https://doi.org/10.2190/0ew7-01wb-bkhl-qdyv>
- Koehler, M. J., Mishra, P., & Yahya, K. (2007). Tracing the development of teacher knowledge in a design seminar: Integrating content, pedagogy and technology. *Computers & Education*, 49(3), 740-762. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2005.11.012>
- Körbahti, B., Aktaş, N., & Tanyolaç, A. (2007). Optimization of electrochemical treatment of industrial paint wastewater with response surface methodology. *Journal of hazardous materials*, 148, 83-90. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.02.005>
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & William, L. (2005). *Applied Linear Statistical Models*. McGraw-Hill Irwin. <https://books.google.com/books?id=0xqCAAACAAJ>
- Lamidi, S., Olaleye, N., Bankole, Y., Obalola, A., Aribike, E., & Adigun, I. (2022). Applications of Response Surface Methodology (RSM) in Product Design, Development, and Process Optimization. In P. Kayaroganam (Ed.), *Response Surface Methodology - Research Advances and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.106763>
- Lepper, M. R., Corpus, J. H., & Iyengar, S. S. (2005). Intrinsic and Extrinsic Motivational Orientations in the Classroom: Age Differences and Academic Correlates. . *Journal of*

- Educational Psychology*, 97(2), 184-196. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/0022-0663.97.2.184>
- Loughran, J., Berry, A., & Mulhall, P. (2012). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*. <https://doi.org/10.1007/978-94-6091-821-6>
- Madas, S. R., Narayanan, R., & Gudimetla, P. (2023). Single and multi-objective optimization of PVT performance using response surface methodology with CuO nanofluid application. *Solar Energy*, 263, 111952. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111952>
- Mehrbakhsh, A., Abbasian, G.-R., & Mohammadi, M. (2024). Developing and Validating a Pedagogical Content Knowledge (PCK) Questionnaire for Iranian EFL Teacher Education Programs: A Glocal Approach. *Journal of Applied Linguistics and Applied Literature: Dynamics and Advances*, 12(2), 195-220. <https://doi.org/10.22049/jalda.2024.29257.1638>
- Mohamed, A. S. T., Adnan, N. I. M., Razali, F. A., Hassim, N. H., & Norshahidi, N. D. (2024). Application of R programming in education: Logistic regression approach. *AIP Conference Proceedings*, 2895(1). <https://doi.org/10.1063/5.0192179>
- Montgomery, D., & St, C. (2017). *Design and Analysis of Experiments, 9th Edition*. John Wiley & Sons, Inc .
- Montgomery, D., & St, C. (2019). *Design and Analysis of Experiments, 10th Edition*. John Wiley & Sons, Inc .
- Mouafi, F. E., Abo Elsoud, M. M., & Moharam, M. E. (2016). Optimization of biosurfactant production by *Bacillus brevis* using response surface methodology. *Biotechnology Reports*, 9, 31-37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.btre.2015.12.003>
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. (2016). Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. 705, 856. <https://doi.org/978-1-118-91603-2>
- Nadaf, R. D., Nadaf, P., Toragall, M., & C T, S. (2024). Response surface methodology for optimization of media components for production of lipase from *Bacillus Subtilis* KUBT4. *Archives of Razi Institute*, 79(3), 659-668. <https://doi.org/10.32592/ari.2024.79.3.659>
- Njoku, C. N., & Otisi, S. K. (2022). *Application of Central Composite Design with Design Expert v13 in Process Optimization, Book chapter. Response Surface Methodology- Research Advances and Applications*. LicenseeIntechOpen. . <https://doi.org/https://doi.org/10.5772/intechopen.109704> .
- Pavlenko, L. V., Pavlenko, M., Khomenko, V. H., & Mezhuhev, V. I. (2020). Application of R Programming Language in Learning Statistics. *In Proceedings of the 1st Symposium on Advances in Educational Technology (AET 2020)*, 2, 62-72. . <https://doi.org/https://doi.org/10.5220/0010928500003364> .
- Peng, G., Hong, S., Chang, H., Zhang, Z., & Fengyi, F. (2021). Optimization design of multistage pump impeller based on response surface methodology. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 595-609. <https://doi.org/10.15632/jtam-pl/141939>
- Proust, M. (2019). JMP® 8 Introductory Guide, Second Edition. . *SAS Institute Inc* .
- Radanović, I., Šimić Šašić, S., & Sertić Perić, M. (2025). Comparative Analysis of the Effects of Contact and Online Biology Teaching. *Education Sciences*, 15(8), 1000. <https://www.mdpi.com/2227-7102/15/8/1000>

- Ramesh, N. (2009). The role of Minitab in teaching and learning statistics. *MSOR Connections*, 9. <https://doi.org/10.11120/msor.2009.09030009>
- Raziani, A., & Mohammadidoust, A. (2020). Modeling and optimization study by response surface methodology on magnesium ions removal from hard water through a biosorbent. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 7(1), 77-89. <https://doi.org/10.22126/arww.2020.4897.1155>
- Romero-Noguera, J., Pérez-Villares, N., Bolívar-Galiano, F., & Bailón-Moreno, R. (2022). Response Surface Model Applied to Fine Arts :The Case of the Restoration of Paintings. In P. Kayaroganam (Ed.), *Response Surface Methodology - Research Advances and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.108514>
- Sagbas, A. (2022). Analysis and Optimization of Process Parameters in Wire Electrical Discharge Machining Based on RSM: A Case Study. In P. Kayaroganam (Ed.), *Response Surface Methodology - Research Advances and Applications*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107539>
- Saqr, M., & López-Pernas Sonsoles. (202). *Learning Analytics Methods and Tutorials A Practical Guide Using R* Springer Cham. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-54464-4>
- Sartorius Stedim Data Analytics, A. (2017). user guide for MODDE 12. edition date: June 21, 2017 .
- SAS Institute Staff. (2019). *Using JMP 12. Student Edition* .
- Shiu, W. H. C. (2025). Conceptualising the Pedagogical Purposes of Technologies by Technological, Pedagogical Content Knowledge and Substitution, Augmentation, Modification and Redefinition in English as a Second Language Classrooms. *Education Sciences*, 15(4), 411. <https://www.mdpi.com/2227-7102/15/4/411>
- SHULMAN, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189x015002004>
- Smucker, B., Stevens, N., Asscher, J., & Goos, P. (2023). Profiles in the Teaching of Experimental Design and Analysis. *Journal of Statistics and Data Science Education*, 31(3), 211–224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/26939169.2023.2205907>
- Sopyan, I., Gozali, D., Sriwidodo, S., & Guntina, R. (2022). Design-expert software (DOE): An application tool for optimization in pharmaceutical preparations formulation. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 55-63. <https://doi.org/10.22159/ijap.2022v14i4.45144>
- Tucker, M., C., Shaw, S., T., Son, J., Y., & Stigler, J., W.,. (2022). Teaching Statistics and Data Analysis with R. *Journal of Statistics and Data Science Education*, 31(1), 18-32. <https://doi.org/10.1080/26939169.2022.2089410>
- van Bommel, J., & Walla, M. (2025). Teaching and Learning of Time in Early Mathematics Education: A Systematic Literature Review. *Education Sciences*, 15(8), 1003. <https://www.mdpi.com/2227-7102/15/8/1003>
- Vazquez, A., & Xuan, X. (2024). A Review of Design of Experiments Courses Offered to Undergraduate Students at American Universities. *The American Statistician*, 79, 1-22. <https://doi.org/10.1080/00031305.2024.2368803>
- Veza, I., Spraggon, M., Fattah, I. M. R., & Idris, M. (2023). Response surface methodology (RSM) for optimizing engine performance and emissions fueled with biofuel: Review of RSM for sustainability energy transition. *Results in Engineering*, 18, 101213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101213>

- Vieriu, A. M., & Petrea, G. (۲۰۲۵). The Impact of Artificial Intelligence (AI) on Students' Academic Development. *Education Sciences*, 15(3), 343. <https://www.mdpi.com/2227-7102/15/3/343>
- Zavez, K., & Harel, O. (2025). Teaching Statistical Concepts Using Computing Tools: A Review of the Literature. *Journal of Statistics and Data Science Education*, 00(0), 1-21. <https://doi.org/10.1080/26939169.2024.2445541>



Research in Empirical Science Education

Online ISSN: 3115-8889

Home Page: <https://basicscience.cfu.ac.ir>



Design of Experiments in Pedagogical Content Knowledge and Educational Enhancement.

Mohammad Davoud Ghafari^{1*}, Zahra Zareh¹

1. Department of Biology, Farhangian University, Tehran, Iran).

* Corresponding author: (✉ Mohammadghafari@cfu.ac.ir)

Article Info

ABSTRACT

Article type:
Research Article

Article history:

Received:

2026/07/01

Received in revised form:

2026/07/01

Accepted:

2026/08/19

Available online:

2026/08/19

Keywords:

Experimental Design,
Design Expert Software,
Pedagogical Content
Knowledge (PCK),
DOE Software,
Educational improvement.

This research aimed to utilize Design Expert software as a valuable tool in the field of pedagogical content knowledge (PCK) and educational enhancement, with the goal of training users. Additionally, a study was conducted to optimize the E5 method for teaching the experimental science lesson. Design Expert software (DOE version 13) was employed as a tool to improve pedagogical content knowledge (PCK) in educational environments. This software proved to be a powerful and user-friendly statistical tool, enabling educators to design and analyze experiments, formulate hypotheses, optimize processes, and visualize data. Furthermore, a virtual study was designed to investigate the impact of three factors: test duration, educational level, and total number of students in schools on the E5 method for teaching the experimental science lesson. The advantages of using Design Expert software in the development of pedagogical content knowledge (PCK) and educational enhancement were clearly observed. The results indicated that teachers and educational decision-makers could optimize the personalization of the teaching-learning process using this software, leading to more positive outcomes in learning and academic improvement. Additionally, the results concerning the effect of the three aforementioned factors on the E5 method for teaching experimental science lessons demonstrated that a test duration of 60 minutes (Exam time=60), along with an increase in the number of students (Population=600), significantly enhanced the effectiveness of the E5 method in improving experimental science lessons. This article represents the first report introducing the application of Design Expert software (DOE) in the field of pedagogical content knowledge (PCK) and educational enhancement. According to the experience of the authors, this software (*i.e.* Design Expert software (DOE)) has a great potential for entering this field. The recent virtual research was also a confirmation of this potential, and it is hoped that this virtual research will facilitate further research in this regard by researchers in this field and lead to the publication of many more reports in the future.

Cite this article: Ghaffari, Mohammad Davoud., Zareh, Zahra. (2026). Design of Experiments in Pedagogical Content Knowledge and Educational Enhancement. *Research in Empirical Science Education*, 12 (43), 11-31.

 <http://doi.org/10.48310/basic.2026.23492.1609>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Farhangian University.