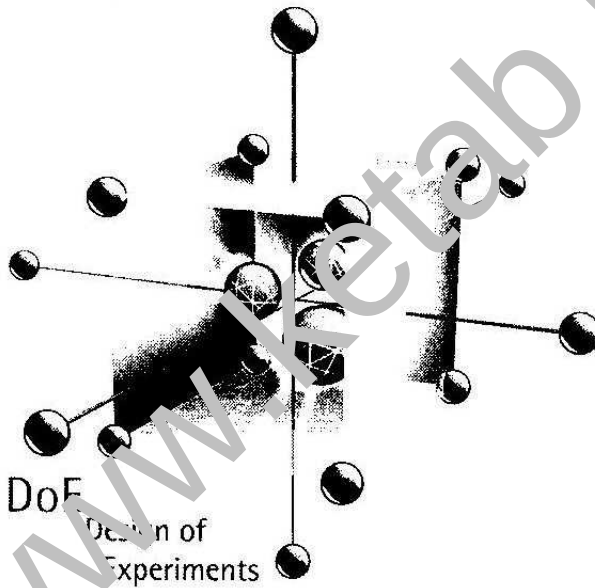


به نام خدا

طراحی و تحلیل آزمایش‌ها و کاربرد آن‌ها برای مهندسان و پژوهشگران



محسن شایان‌مهر

رضا زمان‌چهرمی



۱۳۹۷

سرشناسه: شایان مهر، محسن، ۱۳۶۱-

عنوان و نام پدیدآور: طراحی و تحلیل آزمایش‌ها و کاربرد آن‌ها برای مهندسان و پژوهشگران / محسن شایان مهر، رضا زمان جهرمی.

مشخصات نشر: تهران: اندیشه‌سرا، ۱۳۹۶.

مشخصات ظاهری: ۲۰۰ ص.: مصور، جدول، نمودار

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۷۱۶-۲۲-۱

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

یادداشت: کتابنامه

موضوع: طرح‌های آزمایشی

Experimental design

شناسه افزوده: زمان جهرمی، رضا، ۱۳۵۴-

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۶ ۴ط ۲ش/ ۲۷۹ QA

رده بندی دیویی: ۰۰۱/۴۳۴

شماره کتابشناسی ملی: ۵۰۸۳۹۶۵

برای اطلاع از درست نامی احتمالی، فایده‌ی ضمیمه یا مطلب تکمیلی مرتبط با هر یک از کتاب‌های اندیشه‌سرا لطفاً نام کتاب را در یک ابزار شبکه جستجو کنید. به شماره ۰۹۳۵۶۷۲۵۷۲۲ پیام دهید.



انتشارات اندیشه‌سرا

طراحی و تحلیل آزمایش‌ها و کاربرد آن‌ها برای مهندسان و پژوهشگران

نوشته‌ی: محسن شایان مهر، رضا زمان جهرمی

چاپ اول، ۱۳۹۷ شمارگان: ۲۰۰ نسخه، بها: ۱۶۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۷۱۶-۲۲-۱ ISBN: 978-600-5716-22-1

حق چاپ و نشر محفوظ و هرگونه استفاده از محتوای کتاب به هر شکل به اجازه‌ی کتبی نیازمند است.

تهران، میدان انقلاب، کوچه آبرو، پلاک ۲، واحد ۴۲ (ساعت ۱۴ تا ۹)

اندیشه‌سرا از انتشار کتاب‌های ارزشمند حمایت می‌کند. ۰۹۱۲۳۱۶۱۶۸۷

مسئولیت نوشته‌های کتاب با نویسنده است.

www.andishehsara.org

پیشگفتار

طراحی آزمایش‌ها ابزاری قوی و قدرتمند برای کاوش فرآیندهای جدید، افزایش دانش فرآیندهای موجود و نیز بهینه‌سازی این فرآیندها برای تحقق اجرا در کلاس جهانی است. کتاب‌های زیادی در رابطه با این موضوع موجود است که توسط متخصصین آمار و یا حتی مهندسان صنایع نوشته شده‌اند. اغلب آن‌ها برای رشته‌های آمار و برخی نیز برای مهندسين شاغل در صنایع (به‌صورت عملی) و مدیران اجرایی که در زمینه‌های ریاضی و آمار مهارت بسیار بالایی دارند، مناسب می‌باشند.

طراحی آزمایش‌ها برای طیفی از مهندسين امروزی و مدیران سازمان‌های مختلف ابزار محبوبی نیست. دلیل آن نیز متراکم بودن برنامه‌های کاری و درگیری‌های زیاد و همچنین لغات و اصطلاحات بسیاری است که مربوط به آمار است و باید توسط یک آمارشناس تدریس شود. این کتاب برای افرادی که از تلاش بیهوده رای یا گیری بیم دارند و یا هرگز احساس درستی از پتانسیل و ظرفیت طراحی آزمایش‌ها برای نیل به بهبود در کیفیت و کارایی فرآیند و یا حتی هر دو ندارند، هدف‌گذاری شده است.

این کتاب به خاطر تعداد زیاد مثال‌های عملی و بررسی‌های موردی، تکنیک‌ها را به شکل قوی و جامع ارائه می‌کند. استفاده‌کنندگان این کتاب به درکی عمیق و بی‌نقص از تئوری طراحی آزمایش‌ها و جنبه‌های عملی و کاربردی دست خواهند یافت؛ این یک آزمایش را چگونه طراحی، آنالیز و تفسیر کنند. در تمام این کتاب، تأکید بر روی ابزارهای گرافیکی و نموداری ساده، اما نیرومند برای داده‌کاوی و تفسیر است. همه نمودارها و گراف‌های موجود در این کتاب با استفاده از نرم‌افزار Minitab ترسیم شده است.

صادقانه انتظار بر آن است که مهندسين شاغل در صنایع و مدیران همچنین محققین در شبکه پژوهشی کشور یاد بگیرند که چطور از طراحی آزمایش‌ها در کار و پروژه خود به طور کاربردی استفاده کنند. این کتاب همچنین برای افرادی که با آموزش Six Sigma و پروژه‌های رابسته به بهینه‌سازی طراحی و بهبود عملکرد فرآیند درگیر هستند، یک منبع مفید می‌باشد.

در پایان امید است که این کتاب خواننده را ترغیب کند که از طراحی آزمایش‌ها در حل مسئله و رفع عیب فرآیند و به شکل همیشگی و هر روزه استفاده کند.

به خوانندگان محترم توصیه می‌شود برای یادگیری هر چه بهتر مطالب این کتاب، تمامی فصول آن را به‌طور کامل و البته بر اساس ترتیب ارائه شده، مطالعه کنند تا در قسمت‌های بعدی این مجموعه دچار مشکل نشوند؛ همچنین پیشنهاد می‌شود که خواننده‌های این کتاب مطالعات خود را بر روی موضوعات پیشرفته و مطالبی که در این کتاب آورده نشده است، ادامه دهند.

امید است انتقادات، پیشنهادات و نقطه نظرات ناصحانه خوانندگان ارجمند، نویسندگان مجموعه حاضر را در بهبود و تعالی موضوعات طرح شده یاری کند.

و من الله توفیق

محسن شایان مهر، رضا زمان جهرمی

www.ketab.ir

فهرست

۱۲.....	۱- آشنایی مقدماتی.....
۱۲.....	۱-۱ اهداف فصل اول.....
۱۳.....	۲-۱ مقدمه‌ای بر طراحی آزمایش‌ها.....
۱۶.....	۳-۱ برخی از مسائل اساسی و عملی در آزمایش‌های صنعتی.....
۱۷.....	۴-۱ خلاصه.....
۱۷.....	۵-۱ تمرین.....
۱۸.....	۶-۱ مراجع.....
۲۰.....	۲- کلیاتی در مورد طراحی آزمایش‌ها.....
۲۰.....	۱-۲ اهداف فصل دوم.....
۲۱.....	۲-۲ مقدمه.....
۲۲.....	۳-۲ اصول اساسی طراحی آزمایش‌ها.....
۲۳.....	۱-۳-۲ تصادفی سازی.....
۲۵.....	۲-۳-۲ تکرار.....
۲۶.....	۳-۳-۲ بلوک‌بندی.....
۲۶.....	۴-۲ درجه آزادی.....
۲۷.....	۵-۲ آمیختگی.....
۲۸.....	۶-۲ تفکیک طراحی.....
۲۹.....	۷-۲ علم اندازه‌گیری مشاهدات برای آزمایش‌های طراحی شده صنعتی.....
۲۹.....	۱-۷-۲ توانایی سیستم اندازه‌گیری.....
۳۱.....	۲-۷-۲ چند نکته و راهنمایی برای توسعه سیستم اندازه‌گیری.....
۳۱.....	۸-۲ انتخاب مشخصات کیفی برای آزمایشات صنعتی.....

۳۲.....	۹-۲ تمرینات
۳۳.....	۱۰-۲ مراجع
۳۶.....	۳- بررسی اثرات متقابل کلیدی در فرایندها
۳۶.....	۱-۳ اهداف فصل سوم
۴۱.....	۳-۳ روش‌های پیشنهادی برای محاسبه اثرات متقابل مرتبه دو
۴۲.....	۴-۳ اثرات متقابل سینرژیستیک در مقابل اثرات متقابل رقابتی
۴۳.....	۱-۳ سناریو ۱
۴۶.....	۶-۳ سناریو ۲
۴۸.....	۷-۳ خلاصه
۴۸.....	۸-۳ تمرین
۴۹.....	۹-۳ منابع
۵۲.....	۴- یک روش اصولی برای طراحی آزمایشات
۵۲.....	۱-۴ اهداف فصل چهارم
۵۳.....	۳-۴ موانع پیشرو در کاربرد موفقیت‌آمیز DOE
۵۴.....	۴-۴ روشی عملی برای DOE
۵۵.....	۱-۴-۴ فاز برنامه‌ریزی
۵۷.....	۲-۴-۴ فاز طراحی
۵۷.....	۳-۴-۴ فاز اجرایی
۵۸.....	۴-۴-۴ فاز تحلیل
۵۸.....	۵-۴ ابزار کار تحلیل در DOE
۵۸.....	۱-۵-۴ نمودار اثرات اصلی
۵۹.....	۲-۵-۴ نمودار برهم‌کنش‌ها
۵۹.....	۳-۵-۴ نمودار مکعبی

۶۰.....	۴-۵-۴ نمودار پارتو اثرات فاکتور.....
۶۱.....	۴-۵-۵ نمودار احتمال نرمال اثرات فاکتور.....
۶۲.....	۴-۵-۶ نمودار احتمال نرمال باقی مانده ها.....
۶۳.....	۴-۵-۷ نمودارهای سطح پاسخ و مدل های رگرسیون.....
۶۵.....	۴-۶ مدل سازی برای پیش بینی تابع پاسخ.....
۶۶.....	۴-۷ فاصله اطمینان برای پاسخ متوسط.....
۶۷.....	۴-۸ خلاصه.....
۶۷.....	۴-۹ تمرین.....
۶۸.....	۴-۱۰ منابع.....
۷۰.....	۵- طراحی های غربالی.....
۷۰.....	۵-۱ اهداف فصل پنجم.....
۷۱.....	۵-۳ طرح های هندسی و غیرهندسی P-3.....
۸۱.....	۵-۴ خلاصه.....
۸۱.....	۵-۵ تمرین.....
۸۲.....	۵-۶ منابع.....
۸۴.....	۶- طرح عاملی کامل (فاکتوریل کامل).....
۸۴.....	۶-۱ اهداف فصل ششم.....
۸۵.....	۶-۳ مثالی برای طرح فاکتوریل کامل 2^2
۸۶.....	۶-۳-۱ هدف ۱: تعیین اصلی ترین فاکتورها یا برهم کنش هایی که بر روی ضخامت متوسط پوشش، تأثیر می گذارند.....
۸۹.....	۶-۳-۲ هدف ۲: تعیین اصلیت ترین فاکتورها یا برهم کنش هایی که بر روی تغییر پذیری ضخامت پوشش اثر می گذارند.....
۹۰.....	۶-۳-۳ هدف ۳: چگونه به ضخامت نهایی 120 واحد می توان رسید؟.....
۹۲.....	۶-۴ مثالی برای طرح عاملی کامل 2^2

- ۴-۱-۶ هدف ۱: تعیین اصلی‌ترین فاکتورها یا برهم‌کنش‌هایی که بر روی بازده فرآیند تأثیر می‌گذارند. ۹۴
- ۴-۲-۶ هدف ۲: تعیین اصلی‌ترین فاکتورها یا برهم‌کنش‌ها که بر روی دامنه تغییرات فرآیند تأثیرگذار می‌باشند. ۹۵
- ۴-۳-۶ هدف ۳: شرط بهینه فرآیند چیست؟ ۹۸
- ۴-۵-۶ هدف ۵: مثالی برای طرح عاملی کامل 2^4 ۹۹
- ۴-۱-۵-۶ هدف ۱: اصلی‌ترین برهم‌کنش‌هایی که بر اندازه میانگین ترک تأثیر می‌گذارند کدامند؟ ۱۰۰
- ۴-۲-۵-۶ هدف ۲: اصلی‌ترین فاکتورها یا برهم‌کنش‌ها که بر دامنه تغییرات طول ترک تأثیرگذارند کدامند؟ ۱۰۰
- ۴-۳-۵-۶ هدف ۳: شرط بهینه فرآیند برای اینکه طول میانگین ترک را به حداقل برسانید، چیست؟ ۱۰۴
- ۴-۶-۶ خلاصه ۱۰۵
- ۴-۷-۶ تمرین ۱۰۵
- ۴-۸-۶ منابع ۱۰۷
- ۴-۷- طرح عاملی کسری (فاکتوریل جزئی) ۱۱۰
- ۴-۱-۷ اهداف فصل هفتم ۱۱۰
- ۴-۳-۷ ایجاد طرح‌های فاکتوریل نیم‌کسری ۱۱۱
- ۴-۴-۷ مثالی از طرح عاملی $2^{(۷-۴)}$ ۱۱۴
- ۴-۵-۷ کاربردی از طرح عاملی کسری در دو سطح ۱۱۹
- ۴-۶-۷ مثالی از طرح عاملی $2^{(۵-۱)}$ ۱۲۵
- ۴-۶-۷ هدف اول: تعیین فاکتورهایی که بر متوسط ارتفاع آزاد مؤثرند ۱۲۶
- ۴-۶-۷ هدف دوم: تعیین فاکتورهایی که بر تغییرپذیری در ارتفاع آزاد فنرهای تیغه‌ای مؤثرند ۱۲۷
- ۴-۶-۷ چگونه فاکتورها را برای به حداقل رساندن تغییرپذیری در ارتفاع آزاد بهینه کرد؟ ۱۲۸
- ۴-۷-۷ خلاصه ۱۲۹
- ۴-۸-۷ تمرین ۱۳۰
- ۴-۸- برخی نکات مفید و عملی برای موفقیت‌آمیز کردن آزمایش‌های صنعتی ۱۳۶

۱-۸ اهداف فصل هشتم.....	۱۳۶
۱-۲-۸ به درک کاملی از مسئله برسید.....	۱۳۷
۲-۲-۸ انتخاب نقشه.....	۱۳۸
۳-۲-۸ جلسات جامع و مفصل تبادل اندیشه برگزار کنید.....	۱۳۹
۴-۲-۸ کار گروهی و انتخاب گروه برای آزمایش.....	۱۳۹
۵-۲-۸ بهترین مشخصات یا پاسخ‌های قابل اندازه‌گیری متداوم را برای آزمایش انتخاب کنید.....	۱۴۰
۶-۲-۸ ساختار طراحی مناسب برای آزمایش.....	۱۴۱
۷-۲-۸ آزمایش تکراری.....	۱۴۲
۸-۲-۸ آزمایش را به رتیب تصادفی انجام دهید.....	۱۴۳
۹-۲-۸ تکرار آزمایش (Rep. Cp. 10) به منظور تعدیل کردن اثر نویز یا تغییرات کنترل نشده.....	۱۴۳
۱۰-۲-۸ بازده آزمایش را با استفاده از اثر بلوک بندی (blocking) بالا ببرید.....	۱۴۵
۱۱-۲-۸ اطلاع از ساختار آمیزش از حالت فاکتوریل.....	۱۴۵
۱۲-۲-۸ آزمایشهای تأییدی انجام دهید.....	۱۴۶
۳-۸ خلاصه.....	۱۴۶
۴-۸ تمرین.....	۱۴۷
۵-۸ منابع.....	۱۴۷
۹- مطالعات موردی.....	۱۵۰
۱-۹ مقدمه.....	۱۵۰
۲-۹ مطالعات موردی.....	۱۵۰
۱-۲-۹ بهینه‌سازی بررسی کیفیت جوش به روش رادیوگرافی.....	۱۵۰
۲-۲-۹ کاهش تغییرپذیری در فرآیند با استفاده از تکنیک طراحی آزمایش.....	۱۵۵
۳-۲-۹ کاهش نرخ استهلاک با استفاده از آزمایشهای فاکتوریل کسری.....	۱۶۱
۴-۲-۹ بهینه‌سازی زمان پرواز یک هلیکوپتر کاغذی.....	۱۶۴

- ۵-۲-۹ بهینه‌سازی فرآیند اتصال سیم با استفاده از طراحی آزمایش ۱۷۰
- ۶-۲-۹ آموزش طراحی آزمایش با استفاده از قلاب سنگ ۱۷۵
- ۷-۲-۹ بهینه‌سازی دوام لوله مرکزی با استفاده از طراحی آزمایش ۱۸۰
- ۸-۲-۹ بهینه‌سازی فرآیند جوش نقطه ای با استفاده از طراحی آزمایش ۱۹۱
- ۳-۹ خلاصه ۱۹۸
- ۴-۹ منابع ۱۹۸

www.ketab.ir