بسم ا... الرحمن الرحيم

دانشگاه علامه طباطبایی

دانشکده مدیریت و حسابداری

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مدیریت صنعتی، گرایش تحقیق در عملیات

بهبود سیستم های احتمالی جعبه سیاه با استفاده از روش رویه پاسخ (مورد کاوی در مترو تهران)

نگارش:

محسن رحیمی مزرعه شاهی

استاد راهنما:

دکتر مقصود امیری

استاد مشاور:

دکتر جمشید صدقیانی

استاد داور:

دکتر علی خاتمی فیروز آبادی

زمستان ۱۳۸۸

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

سپاسگزاری

مطالب و نتایج مثبت و چشمگیر تحقیق پیش رو، قبل از هر چیز مدیون راهنمایی‌ها و کمک‌های اساتید دانشمند و دوستان بزرگواری است که این حقیر را در این راه یاری رساندند.

پیش از هر چیز بر خود لازم می بینم از راهنمایی‌های موثر استاد گرامی جناب آقای دکتر امیری و مشاوره‌های مفید استاد عزیز جناب آقای دکتر صدقیانی، که علی رغم وظایف و تحقیقات مهم تری که به آن مشغول بودند، اینجانب را در درک مفاهیم، اصول و مبانی علمی مختلف این تحقیق، پدرانه پشتیبانی نمودند تشکر نمایم. همچنین از تمام اساتید بزرگواری که در طول سال‌های تحصیل در دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبایی در خدمت آنها شاگردی نموده ام وآموزه های ایشان را در این تحقیق به کاربستم کمال تشکر را دارم.

همچنین لازم است از همکاری ها و راهنمایی های صورت گرفته از سوی مسئولان شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه، به ویژه آقایان بصیرت، ترابی، محمدی و خانم سبحانی تشکر نمایم.

تلاش‌ها و کمک‌های بی‌مضایقه دوستان عزیزم، آقایان کریمی، محتشمی، خیابانی، احسانی، صفاآبادی، داستانیان و خانم‌ها صفری و پورجعفری در مراحل آماده سازی این تحقیق، که نسبتاً طولانی، پر زحمت و توام با دقت و حساسیت ویژه ای بوده است، موجب افزایش کیفیت این تحقیق شد که از آنها نیز بسیار سپاسگزاری می‌کنم.

امید است که این راهنمایی‌ها و تلاش‌ها بر کیفیت ارائه مطالب افزوده باشد و موجبات رضایت خاطر خوانندگان را فراهم آورد.

محسن رحیمی مزرعه شاهی

چکیده:

این تحقیق روشی را برای مدلسازی فرایندهای جعبه‌سیاه احتمالی و بهبود پاسخ آنها، با استفاده از شبیه‌سازی گسسته پیشامد و روش رویه پاسخ ارائه می‌دهد. هدف یافتن ترکیبی از متغیرهای ورودی به گونه‌ای است که پاسخ بهینه باشد. متامدل‌هایی که برازش مناسبی بر داده‌های حاصل از آزمایش‌های شبیه‌سازی داشته باشد، ساخته می شوند تا رابطه بین متغیرهای خروجی و متغیرهای ورودی را توصیف نمایند. با بهینه سازی متامدل می‌توان ترکیب مناسب متغیرهای ورودی را برای بهینه کردن متامدل بدست آورد، که تخمین مناسبی از نقطه بهینه سیستم اصلی است.

در مطالعه موردی این تحقیق، این راهکار به منظور حل مسئله بهینه‌سازی زمان ماند مسافران در سیستم مترو که یکی از اساسی‌ترین مسائل برنامه‌ریزی حمل و نقل عمومی است، مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه، هدف یافتن سرفاصله‌های مناسب - بازه زمانی بین حرکت دو قطار متوالی – در ساعات مختلف روز به منظور بهینه‌سازی میانگین زمان جابجایی مسافران و نرخ جابجایی قطارها است. متامدلی از نوع توابع چندجمله ای برای توصیف رابطه بین متغیرهای ورودی (سرفاصله ها) و متغیرهای خروجی (میانگین زمان ماند مسافران در سیستم و ترخ جابجایی قطارها) بر داده‌های حاصل از آزمایش‌های شبیه‌سازی برازش شد و سپس به کمک روش متریک وزن‌دار و برنامه‌ریزی کوادراتیک تناوبی، ترکیب‌هایی از متغیرهای ورودی یافت شد که منجر به پاسخ های مناسبی شدند.

کلید واژه ها:

روش رویه پاسخ (response surface Methodology)، شبیه سازی (simulation)، سیستم جعبه سیاه احتمالی(Stochastic Black Box system)، بهینه سازی (Optimization)، میانگین زمان جابجایی مسافر (Average Passenger Travel Time)، متامدل (Metamodel)

علائم و اختصارات

در این پایان‌نامه به منظور سهولت و کوتاه تر شدن متن از علائم اختصاری زیر استفاده شده است:

علائم و اختصارات	توضیحات
ARE	خطای نسبی خالص (Absolute Relative Error)
BFGS	روش Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno برای به روزرسانی ماتریس هشین
C	ظرفیت قطار (نفر)
d	بردار جهت جستجو
EGO	بهینه‌سازی کلی موثر (Efficient Global Optimization)
GP	مسئله عمومی (General problem)
H	ماتریس هشین
HW	متغیرهای ورودی ساده مسئله مطالعه موردی (هدوی ها)
h_i	نیم گستره طیف سطح پایین تا سطح بالای متغیر ورودی iام
i.i.d	متغیر دارای توزیع معین و مستقل (Independent Identically Distributed)
K	تعداد متغیرهای تصمیم ورودی
KT	روابط کان و تاکر (Kuhn-Tucker)
l_i	کنتراست خطی اثر i
m_i	میان دامنه طیف سطح پایین تا سطح بالای متغیر ورودی iام
n	تعداد کل مسافران جابجا شده در یک روز
n_o	تعداد نقاط مرکزی طراحی
n_d	تعداد کل نقاط طراحی (تعداد کل ترکیبات رفتاری)
n_f	تعداد نقاط عاملی طراحی
n_i	تعداد سطح متغیر عاملی iام
n_O	تعداد نقاط مرکزی طراحی عاملی
n_z	تعداد تکرار آزمایش روی ترکیبات رفتاری
P	پارامتر رابطه lp-metric، تعداد متغیرهای ورودی
QP	برنامه ریزی کوادراتیک (Quadratic Programming)
R	تفکیک پذیری طراحی عاملی (Resolution)
r	درصد خطای نسبی خالص
RSM	روش رویه (سطح) پاسخ (Response Surface Methodology)

توضیحات	علائم و اختصارات
منطقه موجه مسئله بهینه سازی، تعداد حرکت قطارها در یک روز	S
برنامه ریزی کوادراتیک تناوبی (Sequential Quadratic Programming)	SQP
واریانس نمونه	s^2
زمان ماند مسافر iام در سیستم (مترو)	T_i
واریانس	Var
پاسخ های حاصل از شبیه سازی	w
مجموعه موثر تکرار kام الگوریتم حل مسئله برنامه ریزی کوادراتیک	W_k
متغیر تصمیم ورودی کدگذاری شده iام	x_k
متغیرهای ورودی کدگذاری شده مسئله مطالعه موردی (هدوی ها)	X_i
تابع پاسخ با متغیر های ورودی کدگذاری شده، جواب های حاصل از متامدل	y
مقدار ایده آل تابع هدف	Z^*
مقدار حضیض تابع هدف (نقطه مقابل مقدار ایده آل)	Z_{nadir}
طول گام جستجو، پارامتر محوری طراحی درجه دوم مرکب مرکزی، سطح معنی داربودن	α
پارامترهای تابع چندجمله‌ای با متغیرهای ساده (کدگذاری نشده)	β
تابع پاسخ با متغیرهای ورودی ساده (کدگذاری نشده)	η
متغیر تصمیم ورودی ساده iام (کدگذاری نشده)	ξ_i
واریانس کل	σ^2
مقدار اثر عوامل ، پارامتر های تابع چند جمله ای با متغیر های کدگذاری شده	γ

فهرست مطالب

فصل ۱ . طرح و کلیات تحقیق ۱

۱-۱ موضوع تحقیق ۲

۱-۲ تعریف مسئله مطالعه موردی ٤

۱-۳ اهمیت و ضرورت موضوع تحقیق ٦

۱-۴ اهداف تحقیق ٦

۱-۵ سوالات تحقیق ۷

۱-۶ خلاصه پیشینه تحقیق ۷

۱-۷ شرح اصطلاحات ۸

فصل ۲ . مبانی نظری تحقیق ۱۱

۲-۱ طراحی آزمایش ها ۱۲

۲-۲ طراحی‌های عاملی ۱۸

۲-۳ روش رویه پاسخ ۳٦

فصل ۳ . روش اجرای تحقیق ۴۷

۳-۱ شناسایی سیستم ٦٦

۳-۱ تعیین متغیرهای ورودی رفتاری و تعیین سطح آنها ٦۷

۳-۳ شناسایی متغیرهای خروجی ٦۹

۳-۴ انتخاب طرح آزمایش ٦۹

۳-۵ طرح‌های برازش مدل درجه اول ٦۹

۳-۶ ساخت مدل درجه اول ۷۰

۳-۷ مسیر بیشترین شیب صعود ۷۱

۳-۸ طراحی درجه دوم ۷۲

۳-۹ ساخت مدل درجه دوم ۷٦

۳-۱۰ یافتن نقطه بهینه ۷۷

فصل ۴ . مطالعه موردی ۸۳

۴-۱ تعریف مسئله ٦٦

۴-۲ شناسایی متغیرهای ورودی و تعیین سطح آنها ٦٧
۴-۳ شناسایی متغیرهای خروجی ۷۰
۴-۴ انتخاب طرح آزمایش ۷۱
۴-۵ انجام آزمایش‌ها در سیستم شبیه‌سازی ۷۲
۴-۶ ساخت مدل رگرسیون ۷٤
۴-۷ بهینه‌سازی ۱٤۲

فصل ۵ . نتیجه گیری ۱۴۷

۵-۱ نتایج تحقیق ۱٤۹
۵-۲ بحث و بررسی ۱۵۱
۵-۳ محدودیت ها ۱۵۳
۵-۴ پیشنهاد ها ۱۵٤

ضمیمه الف: شبیه سازی ۱۵۶

الف-۱ شبیه‌سازی با نرم‌افزار SIMULINK ۱۵۹
الف-۲ گام‌های شبیه‌سازی ۱٦۰

ضمیمه ب : بررسی عدم برازش مدل ۱۷۵

ب-۱ تحلیل واریانس ۱۷٦
ب-۲ آزمون‌های عدم برازش ۱۷۷

ضمیمه ج : جداول زمان‌بندی واقعی و پیشنهادی خط ۲ مترو تهران ۱۸۴

مراجع ۲۱۱

فهرست اشکال

شکل ۲-۱. نمونه ای از طراحی عاملی (الف) ترکیب فاکتورهای رفتاری ورودی، (ب) نتایج آزمایشات حاصل از ترکیب های رفتاری ورودی ۱۹

شکل ۲-۲. نمایش مکعبی داده های طراحی مثال بارگذاری نخ پشمی ۲۲

شکل ۲-۳. (الف) منحنی پاسخ؛ (ب) سطح یا رویه پاسخ ۳۸

شکل ۲-۴. (الف) نمایش هندسی یک چند جمله‌ای درجه اول. (ب) کانتورهای ارتفاعی تصویر شده صفحه درجه اول..... ۴۱

شکل ۲-۵. مثال هایی از سطوح مختلف کوادراتیک با دو متغیر ورودی ۴۶

شکل ۳-۱. طراحی مرکب مرکزی برای $p=2$ و $p=3$..... ۷۴

شکل ۳-۲.شکل هندسی طراحی سه متغیره باکس و بنکن ۷۵

شکل ۴-۱. نمودار نرمال اثرات اصلی پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم..... ۷۷

شکل ۴-۲.نمودار پارتو اثرات اصلی پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم..... ۷۷

شکل ۴-۳. هیستوگرام مانده‌های استاندارد مدل رگرسیون درجه اول پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۷۸

شکل ۴-۴. نمودار نرمال مانده‌های استاندارد مدل رگرسیون درجه اول پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم..... ۷۹

شکل ۴-۵. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب مقادیر برازش شده در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۷۹

شکل ۴-۶. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_1 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۸۰

شکل ۴-۷. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_2 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۸۰

شکل ۴-۸. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_3 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۸۱

شکل ۴-۹. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_4 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۸۱

شکل ۴-۱۰. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_5 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۸۱

شکل ۴-۱۱. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_6 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۸۲

شکل ۴-۱۲. نمودار اثرات اصلی شش متغیر بر پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم..... ۸۲

شکل ۴-۱۳. نمودار احتمال نرمال مانده‌های مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۸۹

شکل ۴-۱۴. هیستوگرام مانده‌های مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم..... ۹۰

شکل ۴-۱۵. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب مقادیر برازش شده مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم. ۹۰

شکل ۴-۱۶. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_1 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۹۱

شکل ۴-۱۷. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_2 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۹۱

شکل ۴-۱۸. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_3 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۹۲
شکل ۴-۱۹. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_4 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۹۲
شکل ۴-۲۰. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_5 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۹۲
شکل ۴-۲۱. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_6 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۹۳
شکل ۴-۲۲. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای اول و دوم ۹۴
شکل ۴-۲۳. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای اول و سوم ۹۴
شکل ۴-۲۴. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای دوم و سوم ۹۴
شکل ۴-۲۵. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای اول و چهارم ۹۵
شکل ۴-۲۶. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای دوم و چهارم ۹۵
شکل ۴-۲۷. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای سوم و چهارم ۹۵
شکل ۴-۲۸. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای اول و پنجم ۹۶
شکل ۴-۲۹. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای دوم و پنجم.....۹۶
شکل ۴-۳۰. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای سوم و پنجم ۹۶
شکل ۴-۳۱. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای چهارم و پنجم..... ۹۷
شکل ۴-۳۲. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای اول و ششم ۹۷
شکل ۴-۳۳. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای دوم و ششم..... ۹۷
شکل ۴-۳۴. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای سوم و ششم ۹۸
شکل ۴-۳۵. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای چهارم و ششم..... ۹۸
شکل ۴-۳۶. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای پنجم و ششم ۹۸
شکل ۴-۳۷. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای اول و دوم..... ۹۹
شکل ۴-۳۸. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای اول و سوم ۹۹
شکل ۴-۳۹. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای دوم و سوم..... ۹۹
شکل ۴-۴۰. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای اول و چهارم.....۱۰۰
شکل ۴-۴۱. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای دوم و چهارم ۱۰۰
شکل ۴-۴۲. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای سوم و چهارم.....۱۰۰
شکل ۴-۴۳. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای اول و پنجم.....۱۰۱

شکل ۴-۴۴. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای دوم و پنجم ۱۰۱
شکل ۴-۴۵. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای سوم و پنجم.....۱۰۱
شکل ۴-۴۶. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای چهارم و پنجم.....۱۰۲
شکل ۴-۴۷. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای اول و ششم.....۱۰۲
شکل ۴-۴۸. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای دوم و ششم ۱۰۲
شکل ۴-۴۹. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای سوم و ششم.....۱۰۳
شکل ۴-۵۰. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای چهارم و ششم.....۱۰۳
شکل ۴-۵۱. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم بر حسب متغیرهای پنجم و ششم.....۱۰۳
شکل ۴-۵۲. نمودار نرمال اثرات اصلی پاسخ نرخ جابجایی ۱۰۷
شکل ۴-۵۳. نمودار پارتو اثرات اصلی پاسخ نرخ جابجایی.....۱۰۷
شکل ۴-۵۴. هیستوگرام مانده‌های استاندارد مدل رگرسیون درجه اول پاسخ نرخ جابجایی ۱۰۸
شکل ۴-۵۵. نمودار نرمال مانده‌های استاندارد مدل رگرسیون درجه اول پاسخ نرخ جابجایی ۱۰۹
شکل ۴-۵۶. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب مقادیر برازش شده در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ نرخ جابجایی ۱۱۰
شکل ۴-۵۷. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_1 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ نرخ جابجایی ۱۱۰
شکل ۴-۵۸. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_2 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ نرخ جابجایی ۱۱۱
شکل ۴-۵۹. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_3 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ نرخ جابجایی ۱۱۱
شکل ۴-۶۰. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_4 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ نرخ جابجایی ۱۱۱
شکل ۴-۶۱. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_5 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ نرخ جابجایی ۱۱۲
شکل ۴-۶۲. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_6 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ نرخ جابجایی ۱۱۲
شکل ۴-۶۳. نمودار نرمال اثرات اصلی پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی.....۱۱۶
شکل ۴-۶۴. نمودار پارتو اثرات اصلی پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی.....۱۱۶
شکل ۴-۶۵. هیستوگرام مانده‌های استاندارد مدل رگرسیون درجه اول پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی.....۱۱۷
شکل ۴-۶۶. نمودار نرمال مانده‌های استاندارد مدل رگرسیون درجه اول پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی.....۱۱۸
شکل ۴-۶۷. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب مقادیر برازش شده در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی ۱۱۸
شکل ۴-۶۸. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_1 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی ۱۱۹
شکل ۴-۶۹. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_2 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی ۱۱۹

شکل ۴-۷۰. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_3 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی ۱۲۰
شکل ۴-۷۱. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_4 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی ۱۲۰
شکل ۴-۷۲. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_5 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی ۱۲۰
شکل ۴-۷۳. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_6 در مدل رگرسیون درجه اول پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی ۱۲۱
شکل ۴-۷۴. نمودار اثرات اصلی شش متغیر بر پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی ۱۲۱
شکل ۴-۷۵. نمودار احتمال نرمال مانده‌های مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی ۱۲۷
شکل ۴-۷۶. هیستوگرام مانده‌های مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی ۱۲۷
شکل ۴-۷۷. نمودار مانده‌های استاندارد بر حسب مقادیر برازش شده مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی ۱۲۸
شکل ۴-۷۸. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_1 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی ۱۲۹
شکل ۴-۷۹. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_2 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی ۱۲۹
شکل ۴-۸۰. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_3 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی ۱۲۹
شکل ۴-۸۱. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_4 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی ۱۳۰
شکل ۴-۸۲. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_5 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی ۱۳۰
شکل ۴-۸۳. مانده‌های استاندارد بر حسب متغیر X_6 در مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی ۱۳۰
شکل ۴-۸۴. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای اول و دوم ۱۳۱
شکل ۴-۸۵. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای اول و سوم ۱۳۲
شکل ۴-۸۶. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای دوم و سوم ۱۳۲
شکل ۴-۸۷. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای اول و چهارم ۱۳۲
شکل ۴-۸۸. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای دوم و چهارم ۱۳۳
شکل ۴-۸۹. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای سوم و چهارم ۱۳۳
شکل ۴-۹۰. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای اول و پنجم ۱۳۳
شکل ۴-۹۱. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای دوم و پنجم ۱۳۴
شکل ۴-۹۲. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای سوم و پنجم ۱۳۴
شکل ۴-۹۳. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای چهارم و پنجم ۱۳۴
شکل ۴-۹۴. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای اول و ششم ۱۳۵
شکل ۴-۹۵. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای دوم و ششم ۱۳۵

شکل ۴-۹۶. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای سوم و ششم ۱۳۵
شکل ۴-۹۷. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای چهارم و ششم ۱۳۶
شکل ۴-۹۸. کانتورهای مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای پنجم و ششم..... ۱۳۶
شکل ۴-۹۹. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای اول و دوم ۱۳۶
شکل ۴-۱۰۰. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای اول و سوم ۱۳۷
شکل ۴-۱۰۱. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای دوم و سوم..... ۱۳۷
شکل ۴-۱۰۲. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای اول و چهارم..... ۱۳۷
شکل ۴-۱۰۳. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای دوم و چهارم ۱۳۸
شکل ۴-۱۰۴. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای سوم و چهارم..... ۱۳۸
شکل ۴-۱۰۵. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای اول و پنجم..... ۱۳۸
شکل ۴-۱۰۶. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای دوم و پنجم ۱۳۹
شکل ۴-۱۰۷. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای سوم و پنجم..... ۱۳۹
شکل ۴-۱۰۸. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای چهارم و پنجم ۱۳۹
شکل ۴-۱۰۹. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای اول و ششم..... ۱۴۰
شکل ۴-۱۱۰. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای دوم و ششم ۱۴۰
شکل ۴-۱۱۱. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای سوم و ششم..... ۱۴۰
شکل ۴-۱۱۲. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای چهارم و ششم ۱۴۱
شکل ۴-۱۱۳. سطح پاسخ مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی بر حسب متغیرهای پنجم و ششم ۱۴۱
شکل ۴-۱۱۴.نمودار پاسخ های حاصل از بهینه سازی و تشکیل مرز پارتو برای مسئله..... ۱۴۵
شکل الف-۱.نقشه خطوط فعال مترو تهران ۱۶۲
شکل الف-۲. هیستوگرام داده های مربوط به ورود مسافران به ایستگاه نواب صفوی ساعت ۸ الی ۹ صبح ۱۶۸
شکل الف-۳. نمایی از سطح بالای مدل شبیه سازی خط ۲ مترو تهران..... ۱۷۴

فهرست جداول و نمودارها

جدول ۲-۱. داده‌های آزمایش بارگذاری نخ‌های پشمی تحت شرایط مختلف ۲۰

جدول ۲-۲. متغیرهای ورودی و سطوح بالا و پایین آنها ۲۱

جدول ۲-۳. طراحی عاملی $۲^{۳}$ در واحدهای بدون کد و کدگذاری شده با پاسخ‌های Y و $y=\log Y$ ۲۱

جدول ۲-۴. جدول علامت‌ها در طراحی عاملی دو سطحی با سه متغیر ۲۳

جدول ۲-۵. جدول محاسبات یتس برای مثال بارگذاری نخ پشمی ۲۶

جدول ۲-۶. بلوک بندی طراحی $۲^{۶}$ در دو بلوک به کمک $B=123456$ ۲۸

جدول ۲-۷. بخشی از جدول علامت‌ها به ترتیب استاندارد برای محاسبه تعامل مولد ضربی ۳۰

جدول ۲-۸. جدول تخصیص آزمایش ها به چهار بلوک به کمک تعامل های مولد 1234 و 3456 ..... ۳۰

جدول ۲-۹. نظم مناسب برای بلوک بندی در طراحی ۲^{k} ۳۱

جدول ۲-۱۰.تعداد ضرایب چندیجمله ای درجه d با k ورودی ۴۰

جدول ۲-۱۱. سطوح بالا و پایین متغیرها در تحقیق بهبود ترکیب دارویی ۴۳

جدول ۲-۱۲. طراحی $۲^{۵-۱}$ به همراه پاسخ‌های مثال بهبود ترکیب دارو ۴۳

جدول ۲-۱۳. بخشی از جدول تحلیل واریانس و سهم عبارات درجه اول و دوم در مجموع مربعات ۴۴

جدول ۲-۱۴. نقاط روی مسیر بیشترین شیب صعود ۴۵

جدول ۴-۱. تعریف متغیرهای ورودی و تعیین ساعت‌های مربوط به هر یک ۶۷

جدول ۴-۲. سطح بالا و پایین متغیرهای ورودی در دو حالت ساده و کدگذاری شده ۶۸

جدول ۴-۳. طرح عاملی کسری 2^{6-2} برای ساخت مدل درجه اول ۷۲

جدول ۴-۴. داده‌های شبیه‌سازی بر اساس طرح دو عاملی کسری برای زمان ماند مسافران ۷۳

جدول ۴-۵. داده‌های شبیه‌سازی بر اساس طرح دو عاملی کسری برای نرخ جابجایی ۷۳

جدول ۴-۶. جدول رگرسیون درجه اول برای پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۷۴

جدول ۴-۷. آنالیز واریانس مدل رگرسیون درجه اول پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۷۵

جدول ۴-۸. باقیمانده های حاصل از برازش مدل درجه اول برای پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۷۶

جدول ۴-۹. طراحی Box-Behnken برای شش متغیر و پاسخ‌های شبیه‌سازی میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۸۴

جدول ۴-۱۰. جدول رگرسیون مدل درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران ۸۵

جدول ۴-۱۱. جدول آنالیز واریانس مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۸۶
جدول ۴-۱۲. مانده‌های حاصل از برازش مدل رگرسیون درجه دوم برای پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۸۷
جدول ۴-۱۳. ادامه جدول مانده‌های حاصل از برازش مدل رگرسیون درجه دوم برای پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم..... ۸۸
جدول ۴-۱۴. جدول رگرسیون درجه اول برای پاسخ نرخ جابجایی ۱۰۴
جدول ۴-۱۵. آنالیز واریانس رگرسیون درجه اول برای پاسخ نرخ جابجایی ۱۰۵
جدول ۴-۱۶. مانده‌های حاصل از برازش مدل درجه اول برای پاسخ نرخ جابجایی ۱۰۶
جدول ۴-۱۷. تبدیل Johnson روی پاسخ نرخ جابجایی ۱۱۳
جدول ۴-۱۸. جدول رگرسیون درجه اول برای پاسخ‌های تبدیل یافته نرخ جابجایی ۱۱۳
جدول ۴-۱۹. آنالیز واریانس مدل رگرسیون درجه اول پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی..... ۱۱۴
جدول ۴-۲۰. مانده‌های حاصل از برازش مدل رگرسیون درجه اول برای پاسخ تبدیل یافته نرخ جابجایی..... ۱۱۵
جدول ۴-۲۱. طراحی Box-Behnken برای شش متغیر و پاسخ‌های شبیه‌سازی ۱۲۲
جدول ۴-۲۲. جدول رگرسیون مدل درجه دوم پاسخ نرخ جابجایی ۱۲۳
جدول ۴-۲۳. جدول آنالیز واریانس مدل رگرسیون درجه دوم پاسخ میانگین زمان ماند مسافران در سیستم ۱۲۴
جدول ۴-۲۴. مانده‌های حاصل از برازش مدل رگرسیون درجه دوم برای پاسخ نرخ جابجایی ۱۲۵
جدول ۴-۲۵. ادامه جدول مانده‌های حاصل از برازش مدل رگرسیون درجه دوم برای پاسخ نرخ جابجایی ۱۲۶
جدول ۴-۲۶. داده های حاصل از بهینه سازی ۱۴۴
جدول ۵-۱. هدوی های کدگذاری شده و معمولی حالت واقعی و نقطه بهینه متامدل ۱۵۱
جدول الف-۱. اطلاعات ظرفیت قطارهای خط ۲ متروی تهران ۱۶۳
جدول الف-۲. ماتریس احتمال تعیین جهت مسافران در ایستگاه های مختلف ۱۷۰
جدول الف-۳. ماتریس تعیین مقصد مسافران به سمت ایستگاه صادقیه ۱۷۱
جدول الف-۴. ماتریس تعیین مقصد مسافران به سمت ایستگاه دانشگاه علم و صنعت ۱۷۲
جدول ب-۱. آنالیز واریانس برای مدل درجه اول ۱۷۷
جدول ب-۲. تست عدم برازش ژنریک برای مدل درجه اول ۱۷۹
جدول ب-۳. تحلیل واریانس برای طراحی و مدل درجه دوم ۱۸۰
جدول ج-۱. برنامه واقعی حرکت قطارها از ایستگاه صادقیه به دانشگاه علم و صنعت (روز های شنبه تا چهارشنبه)..... ۱۸۵
جدول ج-۲. برنامه پیشنهادی حرکت قطارها از ایستگاه صادقیه به دانشگاه علم و صنعت (روز های شنبه تا چهارشنبه)..... ۱۹۳

جدول ج-۳. برنامه واقعی حرکت قطارها از ایستگاه دانشگاه علم و صنعت به صادقیه (روز های شنبه تا چهارشنبه) ۱۹۹

جدول ج-۴. برنامه پیشنهادی حرکت قطارها از ایستگاه دانشگاه علم و صنعت به صادقیه (روز های شنبه تا چهارشنبه).....۱۹۹

فصل ۱ . طرح و کلیات تحقیق

هر فرآیند یا سیستم فنی و مهندسی با هدف مشخص و مورد انتظاری طراحی می‌شود. برآورده شدن این هدف مستلزم عملکرد مطلوب عملیات و فرایند طراحی‌شده است. در بسیاری از موارد چون عملکرد مطلوب را نمی‌توان به طور قطعی تضمین نمود و همچنین از آن جهت که کلیه جوانب طراحی را نمی‌توان کنترل و حتی درک نمود، مرحله‌ای برای انجام آزمایشات و تست‌ها در نظر گرفته می‌شود که جزئی از فعالیت طراحی مهندسی محسوب می‌شود. یکی از نمونه‌های کلاسیک این موضوع ساخت پایلوت‌ها و ماکت‌های آزمایشگاهی قبل از ساخت واحدهای بزرگ صنعتی است. در طراحی محصولات جدید، گروه تحقیق و توسعه آزمایشاتی را ترتیب می‌دهد، مدل‌هایی را می‌سازد و سعی می‌کند عملکرد محصول طراحی شده را با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشات بهبود ببخشد. این بهینه‌سازی عمدتاً بر روی مدل‌هایی از سیستم واقعی صورت می‌گیرد.

در تمام زمینه‌های واقعی تحقیق، معمولاً آزمایش هایی به وسیله پژوهشگران برای کشف حقیقتی درباره فرآیند یا سیستمی خاص انجام می‌شود. به معنای واقعی کلمه، آزمایش یک آزمون است. آزمایش طرح شده، یک آزمون یا دنباله‌ای از آزمون‌ها است که در آنها تغییرات مورد نظر بر روی متغیرهای ورودی فرایند یا سیستم اعمال می‌شوند، به قسمی که می‌توانیم علل تغییرات در پاسخ خروجی را مشاهده و مشخص کنیم.

۱-۱ موضوع تحقیق

گاهی در بررسی یک سیستم، هدف شناخت روابط بین اجزای آن و یا کشف چگونگی عمل سیستم در شرایط به‌کارگیری یک خط مشی تازه است. همیشه در بررسی سیستم، امکان تجربه در مورد خود سیستم وجود ندارد.