

بہ نام خدای کہ در این مردی  
بیکے است



دانشگاه یزد  
دانشکده فنی و مهندسی  
گروه مهندسی صنایع

پایان نامه  
برای دریافت درجه دکتری  
مهندسی صنایع، مدیریت سیستم و بهره‌وری

## توسعه روشهایی برای پایش پروفایلها در فرآیندهای چند مرحله‌ای

استاد راهنما: دکتر احمد صادقیه

استاد مشاور: دکتر امیرحسین امیری

پژوهش و نگارش: حمید اسماعیلی

خرداد ۹۲



تقديم به:

# تمام عزیزانم

و ...



## قدردانی

دروود و سلام به سرور و استاد گرامی جناب دکتر صادقیه که هم معلم علمم شد و هم منتبه عملم. آن واحه که کج رفتیم چوب استاد بود که به راهمان آورد و آن مایه که کم داشتیم دانش استاد بود که توشه راهمان شد. بدینوسیله صمیمانه ترین مراتب قدردانی خود را تقدیم ایشان می‌کنم. برآستی اگر حمایت‌های ایشان نبود پیمودن این راه دشوار برایم میسر نبود. استاد عزیزم همیشه قدردان شما خواهم بود.

همچنین از استاد مشاور عزیزم، جناب آقای دکتر امیری، تشکر می‌کنم. راهنمایی‌های تخصصی ایشان به خصوص در مراحل پایانی پژوهش و طراحی اولیه ساختار مدل پیشنهادی، بسیار مفید بود. برآستی ایشان در طول مسیر انجام این پژوهش از هیچ کمکی دریغ نکرده و همواره پاسخگوی سئوالات اینجانب بوده‌اند.

از جناب آقایان دکتر اولیاء و دکتر خادمی زارع، داوران محترم داخلی، که در دروس مختلف در این دوره تحصیلی برای اینجانب زحمات زیادی کشیده‌اند و نیز متن رساله را با دقت بسیار مطالعه کردند نهایت تشکر و قدردانی می‌کنم.

از جناب آقای دکتر اخوان نیازی که با وجود مشغله زیاد، قبول زحمت کردند و داوری خارجی این رساله را بر عهده گرفتند و بر قوت و اعتبار کار افزودند نهایت تشکر و قدردانی را دارم. از جناب آقای دکتر کاظم زاده به عنوان داور خارجی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از جناب آقای دکتر سفید رئیس محترم دانشکده فنی و آقای دکتر ابویی مدیر محترم گروه مهندسی صنایع به خاطر زحماتی که در تدارک جلسه متقبل شدند تشکر می‌کنم.

همچنین کارکنان محترم گروه مهندسی صنایع، سرکار خانم موسوی، سرکار خانم حمایتیان و آقای مهندس میرولایی که در مراحل مختلف کار و خصوصاً در مرحله برگزاری جلسه دفاع، با جدیت و وجدان کاری بالا، همکاری کردند تشکر می‌کنم.





صور تجلسه دفاع



## چکیده

امروزه بسیاری از فرآیندها به صورت چند مرحله‌ای<sup>۱</sup> می‌باشند. در اکثر فرآیندها کیفیت محصول حاصل عملکرد این مراحل مختلف است و معمولاً این مراحل به یکدیگر وابسته می‌باشند. لذا مستقل فرض کردن مراحل سبب بروز خطا در تحلیل خروجی می‌گردد. تاکنون تاثیر چنین شرایطی بر پایش فرآیندهای چند مرحله‌ای تک متغیره و چند متغیره بررسی شده است اما شرایطی که در یک فرآیند چند مرحله‌ای مشخصه مورد پایش از جنس پروفایل<sup>۲</sup> باشد کمتر مورد تحقیق قرار گرفته است. در این پژوهش ابتدا به معرفی مدل‌هایی مبنی بر وجود پروفایل در یک فرآیند دو مرحله‌ای<sup>۳</sup> و نیز معرفی چند رویکرد مختلف جهت پایش اینچنین مدل‌هایی پرداخته‌ایم، سپس در مورد تشخیص عامل انحراف<sup>۴</sup> در مدلها با توجه به مرحله ایجاد کننده انحراف رویکردهایی پیشنهاد شده است و در نهایت به تعمیم مدل، رویکردهای حل و تشخیص عامل انحراف در فرآیندهای چند مرحله‌ای در حضور پروفایل در حداقل یکی از مراحل پرداخته‌ایم. بررسی نتایج نشان می‌دهد که رویکردهای وابسته به پایش باقیمانده‌ها و همچنین روشهای با حافظه دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر رویکردها و روشها می‌باشد. در نهایت به بررسی یک مورد عملی در این زمینه پرداخته شده است.

در این پژوهش با توجه به جدید بودن موضوع سعی شده مدل‌های ارائه شده به تفکیک و با جزئیات کامل بیان گردد. برای پایش مدل‌های معرفی شده رویکردهای گوناگونی مطرح شده و به ازای هر رویکرد روشهای پایش مختص به خود ارائه شده است. تحلیل‌های صورت پذیرفته توسط داده‌های شبیه‌سازی شده با توجه به مدل‌های ارائه شده بیان گردیده است، همانند سایر پژوهش‌ها در زمینه کنترل فرآیند آماری در این رساله نیز معیار تصمیم‌گیری جهت مقایسه رویکردهای مختلف، شاخص متوسط طول دنباله<sup>۵</sup> می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** نمودار کنترل چند متغیره<sup>۶</sup>، فرآیندهای چند مرحله‌ای، پایش پروفایل،

ضرایب پروفایل، متوسط طول دنباله

---

<sup>1</sup> Multi-Stage Process

<sup>2</sup> Profile

<sup>3</sup> Two-Stage Process

<sup>4</sup> Cause Selecting

<sup>5</sup> Average Run Length

<sup>6</sup> MultiVariate Control Chart



## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات پژوهش .....	۱
۱-۱- مقدمه .....	۳
۲-۱- تعریف مسأله .....	۵
۳-۱- ضرورت انجام تحقیق .....	۷
۴-۱- اهداف تحقیق .....	۸
۵-۱- مفروضات تحقیق .....	۸
۶-۱- سوالات تحقیق .....	۸
۷-۱- عملیات تحلیل اطلاعات .....	۹
۸-۱- ساختار رساله .....	۹
۹-۱- نوآوری رساله .....	۱۰
فصل دوم: مرور ادبیات .....	۱۱
۱-۲- مقدمه .....	۱۳
۲-۲- مرور ادبیات پایش پروفایلها .....	۱۳
۱-۲-۲- تعریف پروفایل و مثالهایی از آن .....	۱۳
۲-۲-۲- فازهای ۱ و ۲ در نمودارهای کنترل .....	۱۹
۳-۲-۲- انواع مختلف پروفایل ها .....	۲۰
۱-۳-۲-۲- پروفایل خطی ساده .....	۲۰
۲-۳-۲-۲- پروفایل خطی چندگانه .....	۲۰
۳-۳-۲-۲- پروفایل چند جمله ای .....	۲۱
۴-۳-۲-۲- پروفایل غیرخطی .....	۲۱
۵-۳-۲-۲- پروفایل اسپیلاین .....	۲۲
۶-۳-۲-۲- پروفایل موجی شکل .....	۲۲

- ۲۳ ..... پروفایل لجستیک ۷-۳-۲-۲
- ۲۴ ..... روشهای پایش پروفایلهای خطی ۴-۲-۲
- ۴۴ ..... روشهای پایش پروفایل های غیرخطی ۵-۲-۲
- ۴۴ ..... روشهای مبتنی بر نمودار کنترل  $T^2$  جهت پایش پارامترها ۱-۵-۲-۲
- ۴۵ ..... انتخاب اول،  $s_1$  ۱-۱-۵-۲-۲
- ۴۶ ..... انتخاب اول،  $s_2$  ۲-۱-۵-۲-۲
- ۴۷ ..... انتخاب اول،  $s_3$  ۳-۱-۵-۲-۲
- ۴۷ ..... انتخاب اول،  $s_4$  ۴-۱-۵-۲-۲
- ۴۹ ..... روشهای پایش واریانس ۲-۵-۲-۲
- ۵۰ ..... رویکرد ناپارامتری ۳-۵-۲-۲
- ۵۲ ..... روشهای پایش پروفایل های غیرخطی در فاز ۲ ۴-۵-۲-۲
- ۵۲ ..... روشهای پایش سایر پروفایل ها- پروفایلهای چند جمله ای، اسپلاین و موجی شکل و لجستیک ۶-۲-۲
- ۵۵ ..... مرور ادبیات پایش فرآیندهای چند مرحله ای ۳-۲
- ۵۵ ..... تعریف فرآیندهای چندمرحله ای و مثالهایی از آن ۱-۳-۲
- ۵۸ ..... کنترل آماری فرآیند در فرآیندهای چندمرحله ای ۲-۳-۲
- ۵۹ ..... نمونه هایی از فرآیندهای چندمرحله ای و بکارگیری CSC ۳-۳-۲
- ۶۲ ..... نمودارهای انتخاب عامل انحراف (CSC) ۴-۳-۲
- ۶۳ ..... شرح اصول پایه و حدود کنترل ۱-۴-۳-۲
- ۶۹ ..... نمودارهای کنترل رگرسیونی ۵-۳-۲
- ۷۱ ..... نمودارهای کنترل مبتنی بر مدل ۶-۳-۲
- ۷۳ ..... نمودارهای کنترل مبتنی بر مدل با فرض نرمال بودن مشخصه های کیفی ۱-۶-۳-۲
- ۷۳ ..... نمودارهای کنترل مبتنی بر مدل با فرض غیر نرمال بودن مشخصه های کیفی ۲-۶-۳-۲
- ۸۲ ..... کیفی ۸۲
- ۹۰ ..... مرور منابع بر روی پایش پروفایل در فرآیندهای چند مرحله ای ۴-۲

۹۲.....	۲-۵- خلاصه
۹۷.....	فصل سوم: تشریح رویکرد پیشنهادی
۹۹.....	۳-۱- مقدمه
۹۹.....	۳-۲- تعریف مسأله
۹۹.....	۳-۲-۱- مثال صنعت تولید نخ نایلونی
۱۰۲.....	۳-۲-۲- مثال صنعت نساجی
۱۰۳.....	۳-۲-۳- مدل پیشنهادی
۱۰۴.....	۳-۲-۳-۱- مدل پیشنهادی فرآیند دو مرحله‌ای
۱۰۴.....	۳-۲-۳-۱-۱- مدل متغیر تصادفی - پروفایل
۱۰۹.....	۳-۲-۳-۱-۲- مدل پروفایل - متغیر تصادفی
۱۱۱.....	۳-۲-۳-۱-۳- مدل پروفایل - پروفایل
۱۱۲.....	۳-۲-۳-۲- مدل پیشنهادی فرآیند چند مرحله‌ای
۱۱۵.....	۳-۳- رویکردهای حل مدل‌های پیشنهادی
۱۱۶.....	۳-۳-۱- رویکرد پایش ضرایب پروفایل
۱۱۶.....	۳-۳-۱-۱- نمودار $\bar{X} / R$
۱۱۷.....	۳-۳-۱-۲- نمودار $EWMA / R$
۱۱۸.....	۳-۳-۱-۳- نمودار کنترل $T^2$ هتلینگ
۱۱۹.....	۳-۳-۱-۴- نمودار کنترل $\chi^2$
۱۲۰.....	۳-۳-۲- رویکرد پایش باقیمانده پروفایل
۱۲۰.....	۳-۳-۱-۲- نمودار $EWMA / \chi^2$ باقیمانده پروفایل
۱۲۱.....	۳-۳-۳- رویکرد پایش باقیمانده‌های ضرایب پروفایل
۱۲۲.....	۳-۳-۱-۳- نمودار $MEWMA$ باقیمانده ضرایب پروفایل
۱۲۳.....	۳-۴- خلاصه
۱۲۵.....	فصل چهارم: شبیه سازی و بررسی عملکرد روشهای پیشنهادی
۱۲۷.....	۴-۱- مقدمه

- ۱۲۷..... ساختار شبیه سازی ۲-۴
- ۱۳۰..... فرآیند دو مرحله‌ای متغیر تصادفی-پروفایل ۳-۴
- ۱۳۱..... مدل کامل فرآیند دو مرحله ای متغیر تصادفی-پروفایل ۱-۳-۴
- ۱۳۱..... رویکردهای پایش ۱-۱-۳-۴
- ۱۳۱..... رویکرد پایش ضرایب پروفایل ۱-۱-۱-۳-۴
- ۱۳۲..... رویکرد پایش باقیمانده پروفایل ۲-۱-۱-۳-۴
- ۱۳۴..... رویکرد پایش باقیمانده ضرایب پروفایل ۳-۱-۱-۳-۴
- ۱۳۵..... رویکرد پایش سنتی ۴-۱-۱-۳-۴
- ۱۳۷..... درصد تشخیص نوع تغییر و مراحل ۲-۱-۳-۴
- ۱۳۸.. تحلیل نتایج مدل کامل فرآیند دو مرحله ای متغیر تصادفی-پروفایل ۳-۱-۳-۴
- ۱۳۸..... تغییر در مشخصه کیفی مرحله اول ۱-۳-۱-۳-۴
- ۱۳۸..... تغییر در میانگین مشخصه کیفی مرحله اول ۱-۱-۳-۱-۳-۴
- ۱۴۲..... تغییر در انحراف معیار مشخصه کیفی مرحله اول ۲-۱-۳-۱-۳-۴
- ۱۴۵..... تغییر در پروفایل ۲-۳-۱-۳-۴
- ۱۴۵.....  $\beta_0$  تغییر در پارامتر ۱-۲-۳-۱-۳-۴
- ۱۴۸.....  $\beta_2$  تغییر در پارامتر ۲-۲-۳-۱-۳-۴
- ۱۵۰.....  $\gamma_1$  تغییر در پارامتر ۳-۲-۳-۱-۳-۴
- ۱۵۳.....  $\tau_1$  تغییر در پارامتر ۴-۲-۳-۱-۳-۴
- ۱۵۵..... تغییر در خطای پروفایل ۵-۲-۳-۱-۳-۴
- ۱۵۸..... مدل شیب فرآیند دو مرحله ای متغیر تصادفی-پروفایل ۲-۳-۴
- ۱۵۸.. تحلیل نتایج مدل شیب فرآیند دو مرحله ای متغیر تصادفی-پروفایل ۱-۲-۳-۴
- ۱۵۹..... مدل عرض از مبدا فرآیند دو مرحله ای متغیر تصادفی-پروفایل ۳-۳-۴
- ۱-۳-۳-۴- تحلیل نتایج مدل عرض از مبدا فرآیند دو مرحله ای متغیر تصادفی-  
پروفایل ۱۶۰.....
- ۱۶۰..... تحلیل نتایج مدل با ایجاد تغییرات به صورت شیفت منفی ۲-۳-۳-۴



۱۶۲	۴-۴- فرآیند چند مرحله‌های
۱۶۵	۴-۴-۱- رویکرد و روش پایش
۱۶۷	۴-۴-۲- تحلیل نتایج فرآیند چند مرحله‌های
۱۶۸	۴-۴-۲-۱- تغییر در مشخصه کیفی مرحله اول
۱۷۰	۴-۴-۲-۲- تغییر در مشخصه کیفی مرحله دوم
۱۷۳	۴-۴-۲-۳- تغییر در مشخصه کیفی مرحله سوم
۱۷۶	۴-۵- مثال موردی
۱۸۱	۴-۶- خلاصه
۱۸۳	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۱۸۵	۵-۱- نتیجه‌گیری
۱۸۷	۵-۲- پیشنهادها
۱۸۹	پیوستها
۲۱۵	مراجع

## فهرست جداول

صفحه	عنوان
۶۷	جدول (۱-۲): قانون تصمیم‌گیری سه نمودار (شو و همکاران، ۲۰۰۴)
۶۸	جدول (۲-۲): قانون تصمیم‌گیری نهایی (شو و همکاران، ۲۰۰۴)
۹۴	جدول (۳-۲) خلاصه ای از فعالیتهای انجام شده در زمینه پروفایل ها
۱۱۵	جدول (۱-۳): دسته‌بندی روشهای پایش نسبت به رویکردهای حل
۱۳۰	جدول (۱-۴) بررسی حذف اثر مرحله اول در پایش مرحله دوم توسط رویکردهای پیشنهادی
۱۳۷	جدول (۲-۴) بررسی عدم حذف اثر مرحله اول در پایش مرحله دوم توسط رویکرد سنتی
۱۶۴	جدول (۳-۴) بررسی از بین بردن اثر آبخاری توسط رویکرد پیشنهادی
۱۶۹	جدول (۴-۴) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص مراحل در روش پیشنهادی نسبت به تغییر میانگین مشخصه کیفی مرحله اول
۱۷۱	جدول (۵-۴) متوسط طول دنباله روش پیشنهادی نسبت به تغییر ضرایب پروفایل مرحله دوم
۱۷۲	جدول (۶-۴) درصد تشخیص مراحل روش پیشنهادی نسبت به تغییر ضرایب پروفایل مرحله دوم
۱۷۴	جدول (۷-۴) متوسط طول دنباله روش پیشنهادی نسبت به تغییر ضرایب پروفایل مرحله سوم
۱۷۵	جدول (۸-۴) درصد تشخیص مراحل روش پیشنهادی نسبت به تغییر ضرایب پروفایل مرحله سوم
۱۹۵	جدول (ب-۱) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر میانگین مشخصه کیفی مرحله اول
۱۹۶	جدول (ب-۲) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر میانگین مشخصه کیفی مرحله اول
۱۹۷	جدول (ب-۳) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر انحراف معیار مشخصه کیفی مرحله اول
۱۹۸	جدول (ب-۴) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر انحراف معیار مشخصه کیفی مرحله اول
۱۹۹	جدول (ب-۵) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر پارامتر $\beta_0$ پروفایل

- ۲۰۰ جدول (ب-۶) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر پارامتر  $\beta_0$  پروفایل
- ۲۰۱ جدول (ب-۷) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر پارامتر  $\beta_2$  پروفایل
- ۲۰۲ جدول (ب-۸) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر پارامتر  $\beta_2$  پروفایل
- ۲۰۳ جدول (ب-۹) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر پارامتر  $\tau_1$  پروفایل
- ۲۰۴ جدول (ب-۱۰) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر پارامتر  $\tau_1$  پروفایل
- ۲۰۵ جدول (ب-۱۱) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر خطای پروفایل
- ۲۰۶ جدول (ب-۱۲) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص دو روش پیشنهادی نسبت به تغییر خطای پروفایل
- ۲۰۹ جدول (ج-۱) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص روشهای پیشنهادی نسبت به تغییر میانگین مشخصه کیفی مرحله اول
- ۲۱۰ جدول (ج-۲) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص روشهای پیشنهادی نسبت به تغییر انحراف معیار مشخصه کیفی مرحله اول
- ۲۱۱ جدول (ج-۳) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص روشهای پیشنهادی نسبت به تغییر پارامتر  $\beta_0$  پروفایل مرحله دوم
- ۲۱۲ جدول (ج-۴) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص روشهای پیشنهادی نسبت به تغییر پارامتر  $\beta_2$  پروفایل مرحله دوم
- ۲۱۳ جدول (ج-۵) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص روشهای پیشنهادی نسبت به تغییر پارامتر  $\gamma_1$  پروفایل مرحله دوم
- ۲۱۴ جدول (ج-۶) متوسط طول دنباله و درصد تشخیص روشهای پیشنهادی نسبت به تغییر خطای پروفایل مرحله دوم

## فهرست اشکال

صفحه	عنوان
۶	شکل (۱-۱): نمونه‌ای از حضور پروفایل در مراحل مختلف فرآیند چند مرحله‌ای
۱۴	شکل (۱-۲): میلی گرم اسانس حل شده در یک لیتر آب در نمونه های مختلف (کنگ و آلباین، ۲۰۰۰)
۱۶	شکل (۲-۲): نمودار مکان ارائه شده توسط بوئینگ (۱۹۹۸)
۱۷	شکل (۳-۲): پروفایل غیرخطی چگالی عمودی تخته های نئوپان بر حسب عمق (واکر و رایت، ۲۰۰۲)
۱۷	شکل (۴-۲): پروفایل موجی شکل سیطگنالهای تناژ در فرآیند پرسکاری (جین و شی، ۱۹۹۹)
۱۸	شکل (۵-۲): نمودار پراکندگی گشتاور و دور موتور (امیری و همکاران، ۲۰۱۰)
۱۸	شکل (۶-۲): نمودار ارتباط بین حجم ریه و جریان بازدم (سقای و نعمت، ۱۳۹۰)
۱۹	شکل (۷-۲): پروفایل‌های دایره ای مطالعه موردی (a) قطبی (b) کارتزین (پاسلا و سمارو، ۲۰۱۱)
۲۳	شکل (۸-۲): پروفایل پیچیده با تغییرات شدید و ناگهانی (ژئونگ و همکاران، ۲۰۰۶a)
۲۳	شکل (۹-۲): پروفایل لجستیک (اگرستی، ۲۰۰۲)
۴۴	شکل (۱۰-۲): ساختارهای پیشنهادی مبتنی بر شبکه عصبی (حسینی فرد و همکاران، ۲۰۱۱)
۵۳	شکل (۱۱-۲): هموارسازهای اسپیلاین مختلف برای مجموعه ای از داده ها (استوور و بریل، ۱۹۹۸)
۵۶	شکل (۱۲-۲): نمای کلی فرآیندهای چندمرحله ای (اسدزاده، ۱۳۸۸)
۶۱	شکل (۱۳-۲): مدل فرآیند سه مرحله ای تولید نیمه هادی (جرکپورن و همکاران، ۲۰۰۳)
۷۰	شکل (۱۴-۲): نمای شماتیک نمودارهای کنترل قدیمی (هاک و همکاران، ۱۹۹۹)
۷۰	شکل (۱۵-۲): نمای شماتیک نمودارهای کنترل رگرسیونی (هاک و همکاران، ۱۹۹۹)
۷۶	شکل (۱۶-۲): نمودار شماتیک تحقیقات انجام شده در حوزه نمودارهای کنترل مبتنی بر مدل در فرآیندهای چندمرحله ای (اسدزاده، ۱۳۸۸)
۱۰۰	شکل (۱-۳): عکسهایی از فرآیند تولید نخ نایلونی
۱۰۲	شکل (۲-۳): شکل حضور پروفایل در فرآیند سه مرحله‌ای تولید نخ نایلونی
۱۰۳	شکل (۳-۳): شکل حضور پروفایل در فرآیند دو مرحله‌ای بافندگی
۱۰۴	شکل (۴-۳): نمونه ای از وجود پروفایل در مرحله دوم یک فرآیند دو مرحله