بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تربیت مدرّس
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه‌ی دوره‌ی کارشناسی ارشد

مهندسی صنایع

# تخمین نقطه‌ی تغییر در پایش پروفایل‌های خطی ساده‌ی خودهمبسته‌ی اتورگرسیو مرتبه‌ی اول

**حمیدرضا میربیک**

استاد راهنما:

**دکتر رضا برادران کاظم زاده**

استاد مشاور:

**دکتر امیر حسین امیری**

زمستان ۱۳۹۲

بسمه تعالی

# تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای حمید رضا میربک پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان تخمین نقطه تغییر در پایش پروفایل های خطی ساده خودهمبسته مرتبه ی اول (AR-۱) در تاریخ ۱۳۹۲/۱۰/۲۱ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - مهندسی صنایع پیشنهاد می کنند.

| عضو هیات داوران | نام و نام خانوادگی | رتبه علمی | امضا |
|---|---|---|---|
| استاد راهنما | دکتر رضا برادران کاظم زاده | دانشیار | |
| استاد مشاور | دکتر امیرحسین امیری | استادیار | |
| استاد ناظر | دکتر حمید اسکندری | استادیار | |
| استاد ناظر | دکتر سید تقی اخوان نیاکی | استاد | |
| مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی) | دکتر حمید اسکندری | استادیار | |

## آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

**مقدمه:** با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب حمیدرضا میربک دانشجوی رشته مهندسی صنایع-صنایع ورودی سال۱۳۹۰ مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد دانشکده فنی و مهندسی متعهد می شوم کلِیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:

تاریخ: ۹۲/۱۰/۲۱

**آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس**

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی صنایع است که در سال۹۲ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر کاظم زاده و مشاوره جناب آقای دکتر امیری از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب حمیدرضا میربک دانشجوی رشته‌مهندسی صنایع مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضا:

## تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و دورد بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است؛ و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز...بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجّل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می کند و سلامت امانت هایی را که به دستش سپرده اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر اللّه عزّ و جلّ" :ازپدر و مادر عزیزم...این دو معلم بزرگوارم... که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت هایم گذشته اند و در تمام عرصه های زندگی یار و یاوری بی چشم داشت برای من بوده اند؛از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر کاظم زاده که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛از استاد صبور و با تقوا ، جناب آقای دکتر امیری ، که زحمت مشاوره این رساله را در حالی متقبل شدند که بدون مساعدت ایشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی رسید؛و از استاد فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر اخوان نیاکی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

# چکیده

در بسیاری از مسائل کنترل فرآیند آماری، عملکرد یک فرآیند یا کیفیت یک محصول بوسیله‌ی ارتباط بین یک متغیر پاسخ و یک متغیر مستقل بخوبی توصیف می‌شود. در ادبیات کنترل فرآیند آماری به این رابطه پروفایل خطی ساده گفته می‌شود. در اغلب تحقیقات انجام گرفته در حوزه‌ی پروفایل‌های خطی ساده، فرض شده که مشاهدات از یکدیگر مستقل‌اند در حالی که اغلب در عمل بدلیل نزدیک بودن نمونه‌ها به یکدیگر از لحاظ زمانی، این فرض نقض می‌شود و مشاهدات با یکدیگر همبسته هستند. عموماً جهت پایش پروفایل‌ها در طول زمان از نمودارهای کنترل استفاده می‌شود. نمودارهای کنترل از مهمترین ابزارهای کنترل فرآیند آماری هستند که برای کنترل میزان تغییرات مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً زمانی که نمودار کنترل هشداری مبنی بر خارج از کنترل بودن فرآیند صادر می‌کند، با زمانی که فرآیند تغییر کرده است، متفاوت است. کشف زمان واقعی تغییر می‌تواند باعث پیدا کردن هر چه سریعتر علل ریشه‌ای خروج فرآیند از حالت تحت کنترل شود و در نتیجه صرفه‌جویی فراوانی در زمان و هزینه ایجاد خواهد شد. به این زمان واقعی تغییر در فرآیند، نقطه‌ی تغییر گفته می‌شود.

در این تحقیق، بطور خاص فرض می‌شود که کیفیت فرآیند با استفاده از یک پروفایل خطی ساده خودهمبسته از نوع AR(1) مدل می‌شود. سپس نقطه‌ی واقعی تغییر در فرآیند بعد از دریافت هشدار از نمودار کنترل $T^2$ هتلینگ، طراحی شده در فاز ۲، با استفاده از سه روش ماکزیمم درستنمایی، خوشه‌بندی و بدون حذف خودهمبستگی با استفاده از دو نوع شیفت پله‌ای و تدریجی محاسبه می‌شود. در نهایت عملکرد سه روش پیشنهادی با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرند.



واژگان کلیدی : پروفایل خطی ساده، نقطه‌ی تغییر، خودهمبستگی، نمودار کنترل $T^2$ هتلینگ

# فهرست مطالب


فصل ۱ :کلیات ..... ۱
۱-۱- تعریف مسأله ..... ۲
۱-۲- مفروضات تحقیق ..... ۳
۱-۳- اهداف تحقیق ..... ۳
۱-۴- روش اعتبار سنجی ..... ۴
۱-۵- نوآوری های تحقیق ..... ۴
۱-۶- ساختار پایان نامه ..... ۵
فصل ۲ : مرور ادبیات ..... ۶
۲-۱- مقدمه ..... ۶
۲-۲- تعریف پروفایل‌ها و کاربردهای آن ..... ۶
۲-۳- کاربردهای پروفایل‌ها ..... ۷
۲-۳-۱- شیرین کننده‌ی مصنوعی ..... ۷
۲-۳-۲- کاربردهای کالیبراسیون ..... ۷
۲-۴- نمودار کنترل $T2$ برای پایش پروفایل‌های خطی ساده در فاز ۲ ..... ۸
۲-۵- انواع خودهمبستگی در پروفایل‌ها و اثرات آنها ..... ۹
۲-۵-۱- رفع خودهمبستگی درون مشاهدات پروفایل‌های خطی ساده اتورگرسیو مرتبه‌ی اول با استفاده از روش تبدیل ..... ۱۰
۲-۶- روش مدل ترکیبی خطی برای پایش پروفایل‌های خودهمبسته ..... ۱۱
۲-۷- نقطه‌ی تغییر ..... ۱۴
۲-۷-۱- انواع تغییرات در فرآیندها ..... ۱۴
۲-۷-۲- روشهای تخمین نقطه‌ی تغییر ..... ۱۶
۲-۸- مروری بر ادبیات تخمین نقطه‌ی تغییر ..... ۲۳
۲-۸-۱- تخمین نقطه‌ی تغییر در پروفایل‌ها ..... ۲۳
۲-۸-۲- تخمین نقطه‌ی تغییر در فرآیندهای مختلف ..... ۲۴
فصل ۳ : روشهای پیشنهادی تخمین نقطه‌ی تغییر ..... ۲۶
۳-۱- مقدمه ..... ۲۷

۳-۲- تخمین نقطه‌ی تغییر پله‌ای در پایش پروفایل‌های خطی ساده‌ی خودهمبسته با روش تبدیل و روش ماکزیمم درستنمایی ..... ۲۸
۳-۳- تخمین نقطه‌ی تغییر پله‌ای در پایش پروفایل‌های خطی ساده‌ی خودهمبسته با روش خوشه بندی ..... ۳۷
**۳-۴-** روش پیشنهادی برای تخمین نقطه‌ی تغییر پله‌ای در پارامترهای مدل پروفایل خطی ساده‌ی خودهمبسته بااستفاده از توزیع توأم مشاهدات خودهمبسته..... ۳۳
۳-۴-۱- توزیع فرآیند اتورگرسیو مرتبه‌ی اول ..... ۳۴
۳-۴-۲- تابع درستنمایی در حالت وجود شیفت‌های پله‌ای ..... ۳۶
۳-۵- تخمین نقطه‌ی تغییر تدریجی در پایش پروفایل‌های خطی ساده‌ی خودهمبسته با استفاده از روش تبدیل و روش ماکزیمم درستنمایی ..... ۳۸
۳-۶- تخمین نقطه‌ی تغییر تدریجی در پایش پروفایل‌های خطی ساده‌ی خودهمبسته با استفاده از روش خوشه بندی ..... ۴۱
۳-۷- روش پیشنهادی تخمین نقطه‌ی تغییر تدریجی در پایش پروفایل‌های خطی ساده‌ی خودهمبسته از طریق توزیع توأم مشاهدات خودهمبسته ..... ۴۲
۳-۸- نتیجه گیری ..... ۴۵
فصل ۴ : مطالعات شبیه سازی ..... ۴۷
۴-۱- مقدمه ..... ۴۸
۴-۲- مثال عددی ..... ۴۸
۴-۳- ارزیابی عملکرد روش ماکزیمم درستنمایی برای تخمین نقطه‌ی تغییر پله‌ای ..... ۴۹
۴-۴- ارزیابی عملکرد روش خوشه‌بندی برای تخمین نقطه‌ی تغییر پله‌ای ..... ۵۳
۴-۵- ارزیابی عملکرد روش بدون حذف خودهمبستگی برای تخمین نقطه‌ی تغییر پله‌ای ..... ۵۷
۴-۶- مقایسه‌ی عملکرد سه روش پیشنهادی در تخمین نقطه‌ی تغییر پله‌ای ..... ۶۰
۴-۷- ارزیابی عملکرد سه روش پیشنهادی در تخمین نقطه‌ی تغییر تدریجی ..... ۶۴
۴-۸- نتیجه گیری ..... ۶۸
فصل ۵ : نتیجه گیری ..... ۷۰
۵-۱- مقدمه ..... ۷۱
۵-۲- جمع بندی و نتیجه گیری ..... ۷۱
۵-۳- پیشنهادات برای مطالعات آتی ..... ۷۳

# فهرست جداول

**جدول ۴-۱** : شیفت در $\boldsymbol{a_1}$ به $\boldsymbol{a_1 + \lambda_2 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش ماکزیمم درستنمایی با وجود خود همبستگی ۰/۱ (نقطه‌ی واقعی تغییر ۵۰ در نظر گرفته شده است)..... ۵۰
**جدول ۴-۲** : شیفت در $\boldsymbol{a_1}$ به $\boldsymbol{a_1 + \lambda_2 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش ماکزیمم درستنمایی با وجود خود همبستگی ۰/۹ (نقطه‌ی تغییر ۵۰ در نظر گرفته شده است). ..... ۵۱
**جدول ۴-۳** : : شیفت در $\boldsymbol{a_0}$ به $\boldsymbol{a_0 + \lambda_1 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش ماکزیمم درستنمایی با وجود خود همبستگی ۰/۱ (نقطه‌ی تغییر ۵۰ در نظر گرفته شده است)..... ۵۲
**جدول ۴-۴** : شیفت در $\boldsymbol{a_0}$ به $\boldsymbol{a_0 + \lambda_1 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش ماکزیمم درستنمایی با وجود خود همبستگی ۰/۹(نقطه‌ی واقعی تغییر ۵۰ در نظر گرفته شده است). ..... ۵۲
**جدول ۴-۵** : : شیفت در $\boldsymbol{a_1}$ به $\boldsymbol{a_1 + \lambda_2 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش خوشه بندی با وجود خود همبستگی ۰/۱ (نقطه‌ی واقعی تغییر ۵۰ در نظر گرفته شده است)..... ۵۴
**جدول ۴-۶** : شیفت در $\boldsymbol{a_1}$ به $\boldsymbol{a_1 + \lambda_2 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش خوشه بندی با وجود خود همبستگی ۰/۹ (نقطه‌ی تغییر ۵۰ در نظر گرفته شده است)..... ۵۵
**جدول ۴-۷** : شیفت در $\boldsymbol{a_0}$ به $\boldsymbol{a_0 + \lambda_1 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش خوشه بندی با وجود خود همبستگی ۰/۱ (نقطه‌ی تغییر ۵۰ در نظر گرفته شده است).....۵۶
**جدول ۴-۸** : شیفت در $\boldsymbol{a_0}$ به $\boldsymbol{a_0 + \lambda_1 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش خوشه بندی با وجود خود همبستگی ۰/۱ (نقطه‌ی تغییر ۵۰ در نظر گرفته شده است).....۵۶
**جدول ۴-۹** : شیفت در $\boldsymbol{a_1}$ به $\boldsymbol{a_1 + \lambda_2 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش ماکزیمم درستنمایی بدون حذف خودهمبستگی با وجود خود همبستگی ۰/۱ (نقطه‌ی تغییر ۵۰ در نظر گرفته شده است). ..... ۵۸
**جدول ۴-۱۰** : شیفت در $\boldsymbol{a_1}$ به $\boldsymbol{a_1 + \lambda_2 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با روش بدون حذف خودهمبستگی ..... ۵۸

**جدول ۴-۱۱** : شیفت در $\boldsymbol{a_0}$ به $\boldsymbol{a_0 + \lambda_1 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش ماکزیمم درستنمایی بدون حذف خودهمبستگی با وجود خود همبستگی ۰/۱ (نقطه‌ی تغییر ۵۰ در نظر گرفته شده است). ..... ۵۹

**جدول ۴-۱۲** : شیفت در $\boldsymbol{a_0}$ به $\boldsymbol{a_0 + \lambda_1 \sigma}$ و تخمین نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش ماکزیمم درستنمایی بدون حذف خودهمبستگی با وجود خود همبستگی ۰/۱ (نقطه‌ی تغییر ۵۰ در نظر گرفته شده است). ..... ۵۹

**جدول ۴-۱۳** : مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از شبیه سازی سه روش پیشنهادی جهت تخمین نقطه‌ی تغییر پله‌ای در پارامتر $a_1$ با وجود خودهمبستگی ۰/۱ ..... ۶۰

**جدول ۴-۱۴** : مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از شبیه سازی سه روش پیشنهادی جهت تخمین نقطه‌ی تغییر پله‌ای در پارامتر $a_1$ با وجود خودهمبستگی ۰/۹ ..... ۶۱

**جدول ۴-۱۵** : مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از شبیه سازی سه روش پیشنهادی جهت تخمین نقطه‌ی تغییر پله‌ای در پارامتر $a_0$ با وجود خودهمبستگی ۰/۱ ..... ۶۲

**جدول ۴-۱۶** : مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از شبیه سازی سه روش پیشنهادی جهت تخمین نقطه‌ی تغییر پله‌ای در پارامتر $a_0$ با وجود خودهمبستگی ۰/۹ ..... ۶۳

**جدول ۴-۱۷** : نتایج شبیه سازی سه روش پیشنهادی در تخمین نقطه‌ی تغییرتدریجی در پارامتر $a_1$ در صورت وجود خودهمبستگی ۰/۱ ..... ۶۴

**جدول ۴-۱۸** : نتایج شبیه سازی سه روش پیشنهادی در تخمین نقطه‌ی تغییرتدریجی در پارامتر $a_1$ در صورت وجود خودهمبستگی ۰/۹ ..... ۶۶

**جدول ۴-۱۹** : نتایج شبیه سازی سه روش پیشنهادی در تخمین نقطه‌ی تغییرتدریجی در پارامتر $a_0$ در صورت وجود خودهمبستگی ۰/۱ ..... ۶۶

**جدول ۴-۲۰** : نتایج شبیه سازی سه روش پیشنهادی در تخمین نقطه‌ی تغییرتدریجی در پارامتر $a_0$ در صورت وجود خودهمبستگی ۰/۹ ..... ۶۷

# فهرست اشکال


..... ۷

**شکل ۲-۱** - میلیگرم اسانس حل شده در یک لیتر آب در دماهای مختلف (کنگ و آلباین (۲۰۰۰)) ۷

**شکل ۲-۲** : انواع تغییراتی که میتواند در پارامترهای فرآیندهای مختلف رخ دهد.(امیری و الله یاری(۲۰۱۱)) ..... ۱۶

**شکل ۲-۳** : نمودار کنترل np برای تعداد محصولات معیوب (نمونه شانزدهم از حد بالای کنترل خارج شده است)(امیری و الله یاری(۲۰۱۱)). ..... ۱۷

**شکل ۲-۴** : نتایج محاسبات تخمین نقطه‌ی تغییر بر اساس زیرگروههای مختلف(امیری و الله یاری(۲۰۱۱)) ..... ۱۸

**شکل ۲-۵** : نمودار کنترل CUSUM که در نقطه‌ی ۲۸ سیگنال خارج از کنترل بودن فرآیند را صادر میکند.(امیری و الله یاری (۲۰۱۱)) ..... ۱۹

**شکل ۲-۶** : نمودار کنترل EWMA که در نقطه‌ی ۲۸ هشدار میدهد، در حالی که نقطه‌ی واقعی تغییر ۲۰ است.(امیری و الله یاری(۲۰۱۱) ..... ۲۱

**شکل ۲-۷** : نمای کلی از نمونه‌گیریهای انجام شده و خوشه‌های مربوطه(غضنفری و همکاران(۲۰۰۸)) ..... ۲۲

# فصل ۱:کلیات

## ۱-۱- تعریف مسأله :

برای مشاهده و کشف تغییرات در فرآیندهای تولید عموماً از نمودارهای کنترل استفاده می‌شود. نمودارهای کنترل توانایی تشخیص انحرافات با دلیل را دارند، اما به منظور شناسایی و حذف اینگونه انحرافات باید ابتدا منابع ایجاد اشکال و انحراف تعیین و حذف شوند. زمانی که انحرافات با دلیل در نمودارهای کنترل کشف می‌شوند، زمان واقعی انحراف نبوده و نمودارهای کنترل با یک تأخیر زمانی آن را کشف می‌کنند. بنابراین یکی از موثرترین راهکارها شناسایی زمان واقعی است که انحراف و تغییر در فرآیند آغاز می‌شود، که با کشف این نقطه علل ریشه ای شناسایی شده و راه را برای بهبود دراز مدت در فرآیند باز می‌کند. این زمان واقعی تغییر در فرآیند را نقطه‌ی تغییر[۱] می‌گویند. در بسیاری از مسائل کنترل فرآیند آماری، عملکرد فرآیند یا کیفیت محصول بجای اینکه بوسیله‌ی یک یا چند مشخصه‌ی کیفی توصیف و توسط نمودارهای کنترل تک متغیره یا چند متغیره کنترل شود، بوسیله‌ی رابطه‌ای بین یک متغیر پاسخ و یک متغیر مستقل توصیف می‌شود که محققان این رابطه را پروفایل خطی ساده می‌نامند. در اکثر تحقیقات صورت گرفته در حوزه‌ی پروفایل‌ها، فرض شده است که مشاهدات درون پروفایل‌ها از یکدیگر مستقل هستند، در صورتی که در بسیاری از کاربردهای واقعی بدلیل نزدیک شدن نمونه‌گیری‌ها از لحاظ زمانی فرض استقلال مشاهدات درون پروفایل‌ها نقض می‌شود و مشاهدات با یکدیگر همبسته می‌شوند. در این پایان نامه، تخمین نقطه‌ی تغییر در پروفایل‌های خطی ساده‌ی خودهمبسته[۲] مورد توجه قرار می‌گیرد. برای ایجاد خودهمبستگی میان

---

[1]- change point

[۲]- Autocorrelation

مشاهدات هر پروفایل، از یک ساختار اتورگرسیو مرتبه‌ی اول[1] استفاده می‌شود. دو روش نیز برای مقابله با ساختار خودهمبستگی استفاده می‌شود. در روش اول با استفاده از روش تبدیل[2] متغیرها، خودهمبستگی درون مشاهدات را از بین می‌بریم و بعد از پایش پروفایل‌ها با استفاده از نمودار کنترل $T^2$، طراحی شده در فاز ۲، نقطه‌ی تغییر با دو روش خوشه‌بندی و ماکزیمم درستنمایی شناسایی می‌شود. در روش دوم بعد از پایش پروفایل‌های خطی ساده‌ی خودهمبسته با استفاده از نمودار کنترل $T^2$، توزیع مشاهدات بدست می‌آید و در نهایت نقطه‌ی تغییر بر اساس روش ماکزیمم درستنمایی تخمین زده می‌شود. برای تعیین دقت و صحت روش‌های پیشنهادی از شبیه سازی مونت کارلو بهره گرفته می‌شود.

## ۱-۲- مفروضات تحقیق

۱. عملکرد فرآیند بوسیله‌ی رابطه بین یک متغیر پاسخ ($Y$) و یک متغیر مستقل ($X$) توصیف می‌شود.
۲. باقیمانده‌ها دارای ساختار اتورگرسیو مرتبه‌ی اول هستند.
۳. مقادیر تحت کنترل برای پارامترهای پروفایل مشخص هستند و پایش پروفایل‌ها در فاز ۲ قرار دارند.
۴. واریانس در نمونه‌های مختلف مقدار یکسانی دارد و مقدار آن مشخص است.
۵. شیفت‌های ایجاد شده در فرآیند به دو صورت پله‌ای و تدریجی اعمال می‌شوند.
۶. مقادیر متغیر مستقل برای همه‌ی پروفایل‌ها یکسان هستند.

## ۱-۳- اهداف تحقیق

هدف از شناسایی زمان واقعی تغییر در فرآیندهای تولید این است که با تشخیص این زمان دامنه جستجوی علل بروز انحراف که باید شناسایی و رفع شوند تا فرآیند اصلاح شود، محدودتر شده و مجموعه عللی مورد بررسی قرار گیرند که تغییرات اصلی را در فرآیند ایجاد کرده‌اند. بنابراین علاوه بر اینکه شانس یافتن منابع اصلی تغییر به حداکثر می رسد، زمان، هزینه و میزان وابستگی به تجربه و

---

۱- AR(1)

4-Transformation

دانش مورد نیاز برای بررسی علل نیز به حداقل ممکن رسیده و در نتیجه با اقدامات اصلاحی که بر روی این علل انجام می‌گیرد، به بهبود دراز مدت فرآیند و کاهش تغییر پذیری در فرآیند دست یافته، ضایعات و دوباره کاری‌هایی که خطر جدی برای هرگونه برنامه بهبود کیفیت هستند، کاهش یافته و ظرفیت تولید نیز افزایش می‌یابد. با دستیابی به زمان واقعی تغییر در فرآیندها، برای همه‌ی سازندگان و کارخانجات تولیدی که عملکرد فرآیند تولیدی آنها بصورت پروفایل خطی ساده است امکان استفاده از این روش و در نتیجه کاهش هزینه های تولیدی و دستیابی به فرآیندهای تحت کنترل با کمترین تغییر پذیری فراهم می‌شود.

## ۱-۴- روش اعتبار سنجی

در این تحقیق برای اعتبار سنجی و تعیین دقت و صحت روش های پیشنهادی تخمین نقطه تغییر، از شبیه سازی مونت کارلو استفاده می‌شود.

## ۱-۵- نوآوری های تحقیق

تخمین نقطه‌ی تغییر در پایش پروفایل‌های خودهمبسته، موضوعی است که کمتر در تحقیقات بدان توجه شده است. در معدود مطالعاتی که روی این موضوع انجام شده، برای مقابله با اثر خودهمبستگی مشاهدات درون پروفایل‌ها، از روش تبدیل متغیر استفاده شده و بر اساس پارامترها و متغیرهای تبدیل یافته، نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش ماکزیمم درستنمایی تخمین زده شده است. در این تحقیق علاوه بر روش ماکزیمم درستنمایی، روش خوشه بندی نیز برای تخمین نقطه‌ی تغییر بکار برده می‌شود.

نوآوری دیگر این تحقیق، استفاده از روشی جدید برای مقابله با اثر خودهمبستگی مشاهدات درون پروفایل‌ها است. در روش‌های قبلی، برای نوشتن تابع درستنمایی و تخمین نقطه‌ی تغییر، ابتدا مشاهدات مدل پروفایل خودهمبسته تبدیل می‌شوند و بعد از مستقل نمودن مشاهدات و معین شدن توزیع آنها، می‌توان تابع درستنمایی را تشکیل داد و نقطه‌ی تغییر را تخمین زد. در این تحقیق سعی می‌شود بجای استفاده از روش تبدیل، توزیع توأم مشاهدات بدست آمده بر اساس مدل پروفایل خطی

ساده‌ی خودهمبسته‌ی اتورگرسیو مرتبه‌ی اول را بدست آورده و بر اساس آن تابع درستنمایی ایجاد شده و نقطه‌ی تغییر با استفاده از روش ماکزیمم درستنمایی تخمین زده شود.

### ۱-۶- ساختار پایان نامه

تحقیق حاضر در پنج فصل گردآوری می‌شود. فصل دوم به بیان کلیات و تعاریف موجود در ادبیات دو موضوع پروفایل و نقطه‌ی تغییر می‌پردازد و همچنین مروری بر ادبیات تخمین نقطه‌ی تغییر در فرآیندهای با ویژگی کیفی پروفایل‌ها صورت می‌گیرد. در فصل سوم، روش‌های پیشنهادی برای تخمین نقطه‌ی تغییر در پروفایل‌های خطی ساده‌ی خودهمبسته با ساختار اتورگرسیو مرتبه‌ی اول توضیح داده می‌شوند. این روش‌ها برای دو نوع شیفت پله‌ای و تدریجی بکار برده می‌شوند. در فصل چهارم با استفاده از یک مثال عددی، عملکرد روش‌های پیشنهادی با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و نتایج سه روش با هم مقایسه می‌شوند. فصل پنجم به جمع-بندی فصول قبل و ارائه‌ی پیشنهادات برای تحقیقات آتی می‌پردازد.

# فصل ۲: مرور ادبیات

## ۲-۱- مقدمه

در این فصل، مروری بر روش‌های پایش پروفایل‌ها، اثرات خودهمبستگی بر پایش پروفایل‌ها و ادبیات تخمین نقطه‌ی تغییر در پایش پروفایل‌ها انجام می‌شود. در ابتدا، پروفایل‌ها تعریف می‌شوند و کاربردها و روش‌های پایش آنها گفته می‌شود. در قسمت بعدی همین بخش، تمرکز مطالب بیشتر بر روی ساختارهای خودهمبستگی و کاهش اثراتشان در تخمین پارامترهای پروفایل‌ها معطوف می‌شود. در ادامه، مدل ترکیبی خطی که برای پایش پروفایل‌های خودهمبسته بکار می‌رود توضیح داده می‌شود و در انتهای این فصل، مروری بر تحقیقات صورت گرفته در حوزه‌ی تخمین نقطه‌ی تغییر بویژه در پروفایل‌ها انجام می‌گیرد.

## ۲-۲- تعریف پروفایل‌ها و کاربردهای آن

در اغلب کاربردهای کنترل فرآیند آماری، کیفیت یک فرآیند بوسیله‌ی توزیع یک یا چند مشخصه‌ی کیفی توصیف می‌شود و با استفاده از نمودارهای کنترلی تک متغیره یا چند متغیره کنترل می‌شود. اما در بعضی از شرایط، کیفیت یک فرآیند یا محصول بوسیله‌ی ارتباط یک متغیر پاسخ و یک یا چند متغیر مستقل توصیف می‌شود که محققان به این رابطه پروفایل می‌گویند. پروفایل‌ها در سال‌های اخیر به موضوعی با کاربردهای فراوان تبدیل شده‌اند.

## ۲-۳- کاربردهای پروفایل‌ها

پروفایل‌ها دارای کاربردهای گوناگون در حوزه‌های تولیدی و خدماتی هستند. در اینجا به دو مثال از فرآیندهایی که عملکرد کیفی آنها به خوبی با پروفایل‌ها مشخص می‌شود، بیان می‌شوند :

### ۲-۳-۱- شیرین کننده‌ی مصنوعی

کنگ و آلباین[۱] (۲۰۰۰) مثالی را از یک شیرین کننده‌ی مصنوعی بیان کردند که در آن میزان اسانسی که می‌تواند در یک لیتر آب حل شود ($Y_j$)، تابعی از دمای آب ($x_i$) است. شکل ۲-۲ میلی گرم اسانس حل شده در یک لیتر آب را به ازای دماهای مختلف و برای چندین نمونه نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که هرچه دما افزایش می‌یابد، میزان اسانس حل شده در یک لیتر آب تا حد معینی افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد. حال سوالی که مطرح می‌شود این است که چگونه می‌توان این منحنی‌ها را به منظور پی بردن به وجود یک انحراف با دلیل ارزیابی کرد و اینکه آیا هیچ اشتباهی بین این مورد و حدود کنترل بالا و پایین نمودارهای کنترل آماری وجود دارد یا نه؟

**شکل ۲-۱**- میلیگرم اسانس حل شده در یک لیتر آب در دماهای مختلف (کنگ و آلباین (۲۰۰۰))

### ۲-۳-۲- کاربردهای کالیبراسیون

یکی از مهمترین کاربردهای پروفایل در کالیبراسیون تجهیزات اندازه گیری است. این کار با هدف اطمینان از عملکرد مناسب در طول زمان، تعیین دفعات بهینه‌ی کالیبراسیون و اجتناب از کالیبراسیون اضافی صورت می‌گیرد. کروکین و وارنر[۲] (۱۹۸۲) روشی را پیشنهاد کردند که در ابتدا

[۱]- Kang and Albain

[۲]- Krokin and warner

برای کالیبراسیون سیستم‌های تصویربرداری نوری به کار گرفته شد. در این روش انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده از مقادیر استاندارد به ازای مقادیر کوچک، متوسط و بزرگ استاندارد بر روی یک نمودار شوهارت رسم می‌شود. در فرآیند کالیبراسیون فرض می‌شود که مقادیر اندازه‌گیری شده به کمک رابطه‌ی ۲-۱ به مقادیر استاندارد مربوط می‌شوند.

$$y_{ij} = f(x_i) + \varepsilon_{ij}, \quad i=1,2,\ldots,n \qquad j=1,2,\ldots \tag{۱-۲}$$

در این رابطه، $y_{ij}$ ها مقادیر اندازه‌گیری شده، $x_i$ ها مقادیر استاندارد، n تعداد مشاهدات در j امین نمونه‌گیری و $\varepsilon_{ij}$ ها خطاهای تصادفی و مستقل نرمال با میانگین صفر و واریانس $\sigma^2$ هستند.

## ۲-۴- نمودار کنترل $T^2$ برای پایش پروفایل‌های خطی ساده در فاز ۲

این رویکرد توسط کنگ و آلباین (۲۰۰۰) برای پایش ضرایب رگرسیون ارائه شد. این نمودار بر این اساس که برآورد کننده‌های حداقل مربعات $A_0$ و $A_1$ دارای توزیع نرمال دو متغیره‌اند، پیشنهاد شده است. در این روش، ابتدا بردار برآورد کننده‌ی نمونه $z_j = (a_{0j}, a_{1j})^T$ برای نمونه‌ی j ام محاسبه می‌شوند. برآوردکننده‌های $a_{0j}$ و $a_{1j}$ دارای توزیع نرمال دو متغیره با بردار میانگین U و ماتریس واریانس- کوواریانس $\sum$ هستند.

$$U = (A_0, A_1)^T \tag{۲-۲}$$

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_0^2 & \sigma_{01}^2 \\ \sigma_{01}^2 & \sigma_1^2 \end{pmatrix} \tag{۳-۲}$$

که در ماتریس $\sum$، $\sigma_0^2$ و $\sigma_1^2$ به ترتیب واریانس $A_0$ و $A_1$ هستند و $\sigma_{01}^2$ کوواریانس $A_0$ و $A_1$ است. سپس آماره‌ی $T^2$ به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$T_j^2 = (z_j - U)^T S^{-1} (z_j - U) \tag{٤-۲}$$