

صلى الله عليه وسلم

بسمه تعالی



دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده علوم ریاضی

تأییدیه اعضای هیأت داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

اعضای هیأت داوران نسخه نهایی پایان‌نامه آقای مجید تلخابی رشته آمار به شماره دانشجویی ۸۸۵۲۷۰۱۰۰۳ تحت عنوان: «تحلیل بیزی مدل‌های فضایی- زمانی سلسله مراتبی پویا با پاسخ‌های چندمتغیره» را از نظر فرم و محتوا بررسی نموده و آن را برای اخذ درجه کارشناسی ارشد مورد تأیید قرار دادند.

امضاء	رتبه علمی	نام و نام خانوادگی	اعضای هیأت داوران
	استادیار	دکتر مجید جعفری خالدي	۱- استاد راهنما
	استاد	دکتر محسن محمدزاده	۲- استاد ناظر داخلي
	استادیار	دکتر موسی گل‌علی‌زاده	۳- استاد ناظر داخلي
	استادیار	دکتر خلیل شفیعی	۴- استاد ناظر خارجي
	استادیار	دکتر موسی گل‌علی‌زاده	۵- نماینده تحصیلات تکمیلی

آیین نامه چاپ پایان نامه (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 می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» 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 آمار است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده علوم ریاضی سرکار خانم/جناب آقای دکتر جعفری خاندی، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر _____ و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر _____ از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

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

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

مقطع کارشناسی ارشد

ماده ۶: اینجانب مجید تلخایی دانشجوی رشته آمار

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: مجید تلخایی

تاریخ و امضا: ۹۰/۱۱/۲۹

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 پایان‌نامه/ 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 پایان‌نامه 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 آئین‌نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که بحاصل 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 تاریخ ۸۷/۴/۱ 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.....^{سجید کلخانی} دانشجوی رشته.....^{آمار}..... ورودی سال تحصیلی.....^{۱۳۸۸}.....
مقطع.....^{کارشناسی ارشد}..... دانشکده.....^{علوم ریاضی}..... متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم 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:.....^{۹۰.۱۱.۲۹}.....



دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم ریاضی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد آمار

تحلیل بیزی مدل‌های فضایی-زمانی سلسله مراتبی پویا با پاسخ‌های چندمتغیره

توسط

مجید تلخابی

استاد راهنما

دکتر مجید جعفری خالدي

بهمن ۱۳۹۰

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرکردانی و ترس در پناہشان به شجاعت می گرید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

قدردانی

سپاس و ستایش معبود یگانه را که پرتو الطاف بی‌شمارش بر لحظه لحظه زندگی‌ام ساطع و آشکار است. حمد و ثنا می‌گزارم او را که فکرت و اندیشه را در بستر روحم روان ساخت و بهره‌گیری از خوان گسترده دانش اساتیدم را نصیب و روزی‌ام گردانید.

امتنان و سپاس می‌گزارم تلاشها، زحمات و راهنمایی‌های ظریف، ارزشمند و بی‌شائبه استاد فرزانه و گرانمایه‌ام، جناب دکتر مجید جعفری خالیدی را که با حمیت و جدیت، مرا به دقت، اندیشه، درک و تعمق وامی‌داشتند. از اساتید گرانقدر جناب آقایان دکتر محسن محمدزاده و دکتر موسی گل‌علیزاده و تمامی دوستانی که در این مرحله از زندگی مرا به هر شکل ممکن یاری نمودند از صمیم قلب تشکر می‌کنم.

مجید تلخابی

بهمن ۱۳۹۰

چکیده

مدل‌های فضایی-زمانی پویا برای استنباط و پیشگویی داده‌هایی که در طول زمان و برحسب موقعیت و مکان قرارگیریشان در فضای مورد مطالعه وابسته‌اند، بسیار حائز اهمیت هستند. در واقع مدل‌های فضایی با در نظر گرفتن تغییرات پویا در زمان، کلاس مدل‌های فضایی-زمانی پویا را شکل می‌دهند. در این پایان‌نامه ابتدا روش ماکسیمم درست‌نمایی برای اینگونه مدل‌ها بررسی می‌شود. به دلیل حجم زیاد داده‌های فضایی-زمانی و اجتناب ناپذیر بودن وجود داده‌های گمشده، تابع درست‌نمایی مدل به صورت انتگرال‌هایی با بعد بالا می‌باشد که محاسبه‌ی تحلیلی آن‌ها بسیار دشوار و بعضاً نشدنی است، از اینرو الگوریتم امیدگیری و ماکسیمم‌سازی (EM) کلی برای ماکسیمم نمودن تابع درست‌نمایی به کار می‌رود. اما بکارگیری روش بسامدی در حالتی که پاسخ‌ها چندمتغیره هستند، به دلیل افزایش بعد پارامترها بسیار دشوار خواهد شد. لذا در ادامه رویکرد بیزی برای تحلیل مدل‌های فضایی-زمانی پویای چندمتغیره اتخاذ می‌شود. در اغلب مقالات تحت فرض‌های محدودکننده‌ی ایستایی، همسانگردی و تفکیک‌پذیری، مدلی پارامتری برای توابع کوواریانس فضایی اختیار شده و استنباط‌ها ارائه می‌شوند. بعلاوه به دلیل آن که با مواردی مواجه می‌شویم که تعداد موقعیت‌های نمونه‌گیری زیاد است، انجام روش بیزی نیز با استفاده از الگوریتم‌های مونت کارلوی زنجیر مارکوفی چالش برانگیز خواهد شد. برای حل این مسئله، رهیافت بازپارامتریدن نامقید پیشنهاد می‌شود، به طوری که در این روش هیچ‌گونه فرض ساختاری برای توابع کوواریانس در نظر گرفته نمی‌شود. در ادامه یک کلاس سلسله‌مراتبی از مدل‌های پویای چندمتغیره ارائه می‌شود که ویژگی مهم آن متغیر بودن ضرایب رگرسیونی در فضا و زمان است. در این حالت، استنباط بیزی با استفاده از دو روش پارامتریدن و بازپارامتریدن نامقید انجام می‌شود. در

انتها با یک مثال واقعی مربوط به داده‌های آلودگی هوای شهر تهران، نحوه‌ی کاربست مدل ارائه شده بیان و عملکرد آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی : مدل‌های فضایی-زمانی پویای چندمتغیره، ساختار سلسله مراتبی، ضریب متغیر، الگوریتم EM، روش بیزی، رهیافت بازپارامتریدن نامقید.

فهرست مندرجات

۱	مقدمات و مفاهیم	۱
۱	مقدمه	۱.۱
۵	مقدمه‌ای بر مدل‌های فضایی	۲.۱
۷	الگوریتم EM برای استنباط درست‌نمایی	۳.۱
۹	استنباط بیزی	۴.۱
۱۴	مدل‌های پویا	۵.۱
۱۶	مدل‌های خطی پویا	۱.۵.۱
۱۷	مدل‌های فضایی-زمانی پویا	۲.۵.۱

۲ استنباط درستنمایی برای مدل‌های فضایی-زمانی پویا با استفاده از

۱۹	الگوریتم EM	
۱۹	مقدمه	۱.۲
۲۱	مدل فضایی-زمانی پویا	۲.۲
۲۲	هموارساز و پالایش کالمن	۳.۲
۲۴	برآورد پارامترها با استفاده از الگوریتم EM	۴.۲
۲۷	الگوریتم امیدگیری-ماکسیمم سازی شرطی	۱.۴.۲
۲۸	الگوریتم GEM با گام نیوتن-رافسون	۲.۴.۲
۳۰	روش‌های پارامتریدن برای کاهش تعداد پارامترهای ماتریس R_t	۳.۴.۲
۳۳	روش‌های پارامتریدن برای ماتریس Q	۴.۴.۲
۳۹	روش‌های پارامتریدن برای ماتریس انتقال H	۵.۴.۲
۴۱	بحث و نتیجه‌گیری	۵.۲

۳ استنباط بیزی برای DSTM چندمتغیره با روش بازپارامتریدن

۴۳	نامقید	
۴۳	مقدمه	۱.۳
۴۵	مدل‌های پویای چندمتغیره	۲.۳
۴۷	روش بازپارامتریدن نامقید	۳.۳
۵۰	استنباط بیزی و روش‌های محاسباتی	۴.۳
۶۹	پیشگویی فضایی-زمانی	۵.۳
۷۴	مثال شبیه‌سازی	۶.۳
۴ مدل‌های DSTM سلسله مراتبی چندمتغیره با ضرایب پویای به طور		

۸۰	فضایی متغیر	
۸۰	مقدمه	۱.۴
۸۲	مدل فضایی-زمانی پویا با ضرایب متغیر	۲.۴

۸۲	مدل پاسخ تک متغیره	۱.۲.۴
۸۶	مدل پاسخ چند متغیره	۲.۲.۴
۸۹	استنباط بیزی براساس روش پارامتریدن	۳.۴
۹۰	نمونه گیری از توزیع پسین	۱.۳.۴
۹۶	پیشگویی فضایی-زمانی	۲.۳.۴
۹۹	مثال کاربردی	۳.۳.۴
۱۱۲	استنباط بیزی براساس روش بازپارامتریدن نامقید	۴.۴
۱۱۷	نمونه گیری از توزیع پسین	۱.۴.۴
۱۲۹	پیشگویی فضایی-زمانی	۲.۴.۴
۱۳۳	مثال کاربردی	۳.۴.۴
۱۴۴	بحث و نتیجه گیری	۵.۴

لیست اشکال

- ۱.۶.۳ پیشگویی هر دو متغیر (بالایی، متغیر اول؛ پایینی، متغیر دوم) در موقعیت (۳/۵, ۳/۵) در ۳۰ دوره‌ی زمانی. خط ممتد سیاه، مقادیر پاسخ و خط چین قرمز، مقادیر پیشگویی را نمایش می‌دهد. ۷۷
- ۲.۶.۳ پیشگویی هر دو متغیر (بالایی، متغیر اول؛ پایینی، متغیر دوم) در موقعیت (۶/۵, ۵/۵) در ۳۰ دوره‌ی زمانی. خط ممتد سیاه، مقادیر پاسخ و خط چین قرمز، مقادیر پیشگویی را نمایش می‌دهد. ۷۸
- ۱.۳.۴ نقشه ۲۴ ایستگاه هواشناسی در ناحیه‌ای از شمال شرقی ایالات متحده. مختصات طول و عرض جغرافیایی بر حسب درجه اعشاری می‌باشد. ۹۹
- ۲.۳.۴ مقادیر $\log SO_2$ و $\log NO_3$ بر مبنای زمان برای پنج ایستگاه هواشناسی ۱۰۰

- ۳.۳.۴ ۵۰،۲/۵ و ۹۷/۵ درصد از نمونه‌های توزیع پسین عناصر Θ_{2t} ،
 ۱۰۳ $t = 1, \dots, 342$ $Y_t = \log SO_2$ تحت مدل یک متغیره SO_2
- ۴.۳.۴ مقادیر پیشگویی شده‌ی SO_2 برای $t = 1, \dots, 342$ در مکان‌های SPD و
 ۱۰۴ LRL
- ۵.۳.۴ مقادیر مشاهده شده‌ی NO_2 برای $t = 1, \dots, 342$ در مکان‌های SPD و
 ۱۰۴ LRL
- ۶.۳.۴ ۵۰،۲/۵ و ۹۷/۵ درصد از نمونه‌های توزیع پسین عناصر Θ_{2t} ،
 ۱۰۶ $t = 1, \dots, 342$
- ۷.۳.۴ نقشه‌ی پیشگویی نمونه‌ها از توزیع پسین عناصر $\Theta_{1(342)}$
 ۱۰۷
- ۸.۳.۴ رویه‌ی پیشگویی SO_2 و NO_2 برای $t = 342$
 ۱۰۸
- ۹.۳.۴ نمودار میانگین پسین باقیمانده‌های SO_2 و NO_2 در زمان‌های
 ۱۰۹ $t = 340, 341, 342$

- ۱۰۳.۴ پیشگویی بدست آمده برای SO_2 در ایستگاه‌های LRL و SPD ۱۱۰
- ۱۱.۳.۴ پیشگویی بدست آمده برای SO_2 در ایستگاه‌های LRL و SPD ۱۱۱
- ۱۲.۴.۴ پراکندگی ایستگاه‌های سنجش آلودگی هوا در شهر تهران ۱۳۷
- ۱۳.۴.۴ نمودار جعبه‌ای داده‌های CO و PM_{10} در ۱۶ ایستگاه ۱۳۹
- ۱۴.۴.۴ پهنه‌بندی مولفه‌های ضریب رگر سونی Θ_1 در زمان $t = 62$ به ترتیب برای
 ضرایب ثابت، طول و عرض جغرافیایی ۱۴۵

لیست جداول

۷۹	برآورد برخی پارامترها در مقابل مقدار واقعی آنها	۱.۶.۳
۱۳۸	موقعیت جغرافیایی ۱۶ ایستگاه سنجش آلودگی هوا در تهران	۱.۴.۴
۱۴۰	مقدار آماره‌های آزمون شاپیروویلیک	۲.۴.۴
۱۴۲	برآورد برخی پارامترها در زمان $t = 62$	۳.۴.۴
	مقادیر DIC مربوط به مدل‌های تک متغیره و چندمتغیره با ضرایب پویای به	۴.۴.۴
۱۴۳	طور فضایی متغیر	

۵.۴.۴	مقادیر DIC مربوط به مدل چندمتغیره و مدل چندمتغیره با ضرایب پویای
۱۴۳	به طور فضایی متغیر

مقدمات و مفاهیم

۱.۱ مقدمه

مدل‌های فضایی-زمانی، ابزار مهمی برای استنباط و پیشگویی داده‌هایی که در طول زمان و برحسب موقعیت و مکان قرارگیریشان در فضای مورد مطالعه وابسته‌اند، به شمار رفته و از اینرو در علوم مختلف از جمله هواشناسی، پزشکی و محیط زیست کاربردهای فراوانی دارند. داده‌های فضایی-زمانی اغلب با بعد بالا بوده و تغییرات پیچیده متقاطع بین فضا و زمان در آن‌ها وجود دارد. تاکنون رهیافت‌های مختلفی برای مدل‌بندی اینگونه داده‌ها ارائه شده که در مقاله کیریاکیدیس و ژورنل (۱۹۹۹) به تفصیل معرفی شده‌اند. اگر زمان به عنوان بعد دیگر در فضا در نظر گرفته شود، در این صورت مدل‌ها و تکنیک‌های آمار فضایی را می‌توان مورد استفاده قرار داد. اما در این شیوه‌ی تحلیل، تفاوت‌های اساسی بین زمان و فضا مورد توجه قرار نمی‌گیرد. از جمله این تفاوت‌ها این است که زمان به طور طبیعی دارای ترتیب است در حالی که فضا این ویژگی را ندارد. به منظور در نظر گرفتن تفاوت‌های بین فضا و زمان، می‌توان از دیدگاه زمین آمار چندمتغیره به

مسئله نگرینست که در آن با بکارگیری تعامل بین مدل‌های فضایی و زمانی، امکان تحلیل توأم مولفه‌های فضا و زمان فراهم می‌شود. با تکیه بر این دیدگاه پایان‌نامه‌ها و رساله‌هایی در گروه آمار دانشگاه تربیت مدرس به نگارش در آمده‌اند که از آن جمله می‌توان به ریواز (۱۳۸۶)، بهشناد (۱۳۸۹) و موسوی (۱۳۹۰) اشاره نمود. به طور کلی در این رهیافت لازم است تابع کوواریانس فضایی-زمانی تعیین شود. اگرچه تاکنون توابع معتبر متعددی برای مدل‌بندی همبستگی فضایی-زمانی ارائه شده‌اند (کرسی و هانگ، ۱۹۹۹؛ گنیتینگ، ۲۰۰۲؛ استین، ۲۰۰۵؛ فوئننتس و همکاران، ۲۰۰۸)، اما کلاس توابع ساخته شده آنگونه انعطاف‌پذیر نیست که برای ساختارهای فضایی-زمانی پیچیده که در آن‌ها با تغییر زمان، ویژگی‌ها و پارامترهای میدان تصادفی تغییر می‌یابد مورد استفاده قرار گیرند. یک رهیافت مناسب برای مدل‌بندی این فرایندهای پیچیده، برمبنای مدل‌های فضایی-زمانی پویا است (استرود و همکاران، ۲۰۰۱؛ لی و گوش، ۲۰۰۸؛ ویکل و هوتن، ۲۰۱۰). چارچوب این مدل‌ها شامل دو سطح، معادله مشاهدات و معادله تکاملی می‌باشد به طوری که معادله مشاهدات، رابطه‌ی میان مشاهدات و متغیرهای کمکی و معادله تکاملی، پویایی ضرایب رگرسیون را روی زمان نشان می‌دهد. در واقع مدل‌های فضایی با در نظر گرفتن تغییرات پویا در زمان منجر به کلاس مدل‌های فضایی-زمانی پویا می‌شوند. تاکنون مدل‌های پویا برای تحلیل داده‌های فضایی-زمانی در چارچوب هر دو رهیافت بسامدی و بیزی به کار رفته‌اند. تحت رهیافت بسامدی این مدل‌ها توسط هانگ و کرسی (۱۹۹۶)، ماردیا و همکاران (۱۹۹۸)، ویکل و کرسی (۱۹۹۹)، ژو و ویکل (۲۰۰۷)، آپیکایاکول و کادیرکاماناتان (۲۰۱۱) و فاسو و فینازی (۲۰۱۱) و تحت رهیافت بیزی توسط سانسو و گونی (۱۹۹۹)، استرود و همکاران (۲۰۰۱)، هرتا و همکاران (۲۰۰۴)، لی و گوش (۲۰۰۸)، گوش و همکاران (۲۰۱۰)، اسشمیت و همکاران (۲۰۱۰) و فاینلی و همکاران (۲۰۱۲) مورد بررسی قرار گرفته‌اند.