**یک مدل داده محور از بخش اورژانس:**

چکیده:

این مقاله، مدلی یکپارچه و تصادفی را از بخش اورژانس بر اساس بررسی دقیق داده های درباره دفعات ورود هر بیمار و مدت اقامت در بخش اورژانس بیمارستان Rambam در اسرائیل توسعه می دهد، که در تجزیه و تحلیل داده های اکتشافی گسترده توسط Armony و همکارانش (2015) مورد استفاده قرار گرفت. این مجموعه داده از اهمیت ویژه ای برخوردار است چرا که آن را در دسترس عموم قرار داده اند، تا آزمایشات قابل تجدید باشند. تجزیه و تحلیل ما موید نتیجه گیری های قبلی در‌مورد میزان ورود بر حسب متغیر زمان و نتایج آن را می باشد، اما همینطور متوجه شدیم که احتمال پذیرش در یک بخش داخلی اورژانس و توزیع مدت اقامت بیمار نیز باید بر حسب متغیر زمان باشد. تجزیه و تحلیل ما منجر به یک مدل تصادفی و یکپارچه ی جدیدِ سرور نامحدود برحسب متغیر زمان بخش اورژانس می شود، در حالیکه توزیع مدت اقامت و میزان ورود، در طول یک هفته، دوره ای است.

**مقدمه**:

تاریخچه طولانی مطالعات تحقیقی عملیاتی با هدف بهبود کیفیت و کارآیی مراقبت های بهداشتی وجود دارد که در مطالعات اولیه [1] و مطالعات اخیر [2-5] نشان داده شده است. با این وجود، همانطور که در [6] تأکید شده است، نیازهای زیادی برای بهبود بیشتر وجود دارد. بیشتر این بهبود به احتمال زیاد از جمع آوری داده های بسیار بهبود یافته، ذخیره سازی، بازیابی و تجزیه و تحلیل می آید.

۱.۱داده های در دسترس عموم برای انجام مطالعات قابل تجدید

قدرت تحلیل داده، بوسیله تجزیه تحلیل داده های اکتشافی جریان بیمار در بیمارستان بزرگ رام بام در اسرائیل، از چشم انداز علمی صف بندی انجام شده توسط آرمونی و همکارانش [7] نشان داده شده است.علاوه بر تحليل خودشان از داده های جریان بیماردر سطح بیماران، آنها ترتیبی دادند تا این داده ها در دسترس عموم قرار گیرد، تا مطالعات قابل تجدید با هدف ایجاد نتیجه گیری های کلی از کاربرد گسترده، تسهیل گردد. در این مقاله ما با تحلیل بخشی از داده های جریان بیمار ارائه شده در بند هفت پاسخ‌می دهیم. به خصوص، روی بخش اورژانس (ED)، درست مانند §3 از بخش [7] تمرکز می کنیم.

در میان بسیاری از مطالعات OR در زمینه مراقبتهای بهداشتی، بسیاری از افراد در حال حاضر بر روی بخش اورژانس تمرکز کرده اند مثلا [12-8]. همانطور که آن مقالات نشان میدهد، هدف معمول، بهبود طراحی سیستم و عملیات است. در مقابل، در این مقاله، ما صرفا روی تحلیل داده های جریان بیمار تمرکز می کنیم تا تعیین کنیم که یک مدل تصادفی و یکپارچه بخش اورژانس خوب چیست. این تجزیه و تحلیل دقیق، موجه است زیرا بخش های اورژانس، پیچیده هستند. نتایج به دست آمده در اینجا به منظور ایجاد سریعتر مدلهای تصادفی بهتر است که می توان برای بهبود طراحی و عملیات مراقبت های بهداشتی مورد استفاده قرار گیرد.

داده های جریان بیمار موجود در بخش اورژانس، به این خاطر قدرتمند است که شامل دفعات ورود و ترخیص بیماران می شود، اما از این نظر نیز محدود است که شامل گزارش دقیق تمام مراحل و فرآیند های نمی شود که در مدت اقامت بیمار اتفاق می افتد. بنابر این با توجه به داده های موجود، ما تنها قادریم یک مدل تصادفی و یکپارچۀ نسبتا خشن بسازم ولی حتی آن هم می تواند مفید باشد و ایجاد آن راحت نیست. مدل ما تنها سه جزء دارد.1-یک مدل فرایند ورود 2-مدل احتمال پذیرش و 3- مدل مدت اقامت. تمام این سه مورد، پیچیده هستند، چون دریافتیم که هر سه این موارد را باید به عنوان تابع زمان درنظر گرفت. با توجه به این اجزاء، مدل تصادفی جامع ما برای اشغال سیستم، صف سرور نامحدود متغیر زمان Gt/GIt/∞ است، که بسیار قابل اجتناب تر از آن است که تصور نشان می دهد. (Gt، یک فرایند ورود برحسب متغیر زمان کلی را نشان می دهد (غیر قابل تجدید، غیر مارکف)، در حالی که GIt نشان دهنده دفعات سرویس متقابلا مستقل، مستقل از فرایند ورود است، اما با یک توزیع وابسته به زمان). مدل سرور نامحدودِ Mt/Mt∞، برای مراقبت های بهداشتی در سال 1976 توسط Collings و Stoneman پیشنهاد شد [13].

به خاطر داده های محدود، کاربردهای مستقیم و ممکنِ مدلِ کامل برای بهبود عملیاتی، محدود هستند. با این حال می توان از آن در اجرای مطالعات "مشروط" استفاده کرد مثلاً برای برآورد تاثیر عملکرد میزان ورود که تا 3 درصد، هر ساله، در طول پنج سال آینده افزایش می یابد. همانطور که در [14] بررسی شد، مدل های سرور-نامحدود، بار وابسته به متغیر زمان را همراه با محرک های آن بار توصیف می کنند. البته این بار را می توان به طور مستقیم با سرشماری اندازه گیری کرد یعنی تعداد بیماران در بخش اورژانس به عنوان تابع زمان، اما ما نشان می دهیم چگونه به محرکهای اصلی مربوط هستند به خصوص به فرآیند ورود بیمار و مدت اقامت بیماران (LoS)، که هر دو، متغیر زمان هستند، و باید به عنوان مدل تصادفی در نظر گرفته شوند. ما فکر می کنیم که این مدل جدید، بیشتر از همه، برای ارائۀ مدلهای مفید جدید اجزاء مدل اصلی، مفید است. تقریبا هر مدل تصادفی بکار رفته برای مدلسازی یک سیستم مراقبت های بهداشتی، دارای یک مولفه یا جزء است که مدلی از فرآیند ورود بیمار می باشد.

**1-2 وابستگی به زمان**

همانطور که قبلا مطرح شد، مثلا §6.3 بخش 15 را ببینید، نویسندگان در §3 بخش 7، وابستگی زمانی چشمگیری را در میزان ورود و میانگین سطوح اشغال بخش اورژانس مشاهده می کنند. ما آن مشاهدات را تایید می کنیم اما با اشاره به وابستگی زمانی چشمگیر در (1) احتمال پذیرش در بخش داخلی از بخش اورژانس، (2) توزیع مدت اقامت بیمار ورودی و (3) میزان ترخیص بیمار، جلوتر می رویم. وابستگی به زمان در مدت اقامت نیز در بررسی اخیر بیمارستان سنگاپور در بند 6، موضوع مهمی بود. ما رابطه بین وابستگی به زمان وابستگی به حالت را که در بند 17-7 در بخش 4.5 تاکید گردیده، مورد بحث قرار می دهیم.

مطابق §3 بند (7) متوجه شدیم که میزان ورود به بخش اورژانس باید برحسب متغیر زمان باشد اما تاکید می کنیم که نگرش صحیح در مقابل با نگرش معمولی روزانه، در طول یک هفته است. به ویژه، ما فکر می کنیم میزان ورود را می توان به صورت دوره ای در طول هفته در نظر گرفت. قبلا در [7،11] متوجه شدیم که پراکندگی بیش از حد متعادل، در مقایسه با فرآیند پوآسون ناهمگن (NHPP) وجود دارد. نتیجه می گیریم که ممکن است استفاده از یک مدل فرآیند ورودی NHPP منطقی باشد، اما در واقع ما به جای آن، مدل فرآیند ورود دو زمانی را پیشنهاد می کنیم. در ابتدا مدلسازی آمارهای روزانه را به عنوان فرآیند گاوسی زمان گسسته و سپس اجازه به ورودهای در طول روز را پیشنهاد می کنیم که با توجه به آمار روزانه، به عنوان یک NHPP توزیع می شود. NHPP مشروط بدین معنی است که زمانهای ورود تعداد ورودی های آمار روزانه (نه زمان های بین دو ورود) به عنوان متغیرهای تصادفی i.i.d، در کل روز با احتمال تابع تراکم (pdf) نسبت به تابع میزان ورود برای آن روز برخورد می شوند، که در [18،19] توضیح داده شد. این مدل فرآیند ورود، نوعی از مدل پیشنهاد شده در 18 است. ما متوجه شدیم که آزمونهای آماری در [19،20]، از این مدل پشتیبانی می کنند. بخش3.4 را ببینید.

مدل مقیاس دو زمانه راحت است زیرا از تمرکز روی ورودی ها در طول روزهای متوالی و ورودی ها در ظرف چند روز جداگانه پشتیبانی می کند. مدلسازی جداگانه آمارهای روزانه برای بکارگیری روشهای سری های زمانی مناسب است که می توانند تمایلات و وابستگی تصادفی در میان روزهای متوالی را تست و ضبط کنند اما شواهد قوی آن را کشف نکردیم (فراتر از تاثیر چشمگیر روزهای هفته). نمونه ای برای مدلهای مراقبت پزشکی مقیاس دو زمانه در [16،21] وجود دارد اما این شواهد بسیار متفاوتند است. اولی، روی بیمارستان به علاوه بخش اورژانس تمرکز می کند و مشاهده می کند که بخشهای داخلی در مقیاس زمانی آهسته تر روزها عمل می کنند در حالی که اورژانس در مقیاس زمانی سریع تر ساعات، کار می کنند. مقاله [21] مدل زنجیره ای مارکوف آن سیستم را با استفاده از MC زمان گسسته برای روزها و یک MC زمان پیوسته برای انتقال ها در عرض چند روز، پیشنهاد و تجزیه تحلیل می کند. از سوی دیگر، در §3.2 بخش [16]، نویسندگان، یک مدل مقیاس دو زمانه از مدت اقامت را پیشنهاد می دهند. محور کلی [16] مطابق با توزیع مدت اقامت متغیر زمانی ماست که بعد بحث می کنیم.

ما شواهد محکمی ارائه می دهیم که توزیع مدت اقامت باید به عنوان متغیر زمان در نظر گرفته شود و متوجه شدیم برای اینکه آن را به یک متغیر زمان در طول ساعات تبدیل کند، کفایت می کند. شکل 8 در اینجا نشان می دهد که متوسط سطوح اشغال و میزان ترخیص با استفاده از کل توزیع مدت اقامت به درستی پیش بینی نشده است. به خصوص افزایش چشمگیری از ترخیص ها درست قبل از نیمه شب در هر روز وجود دارد همانطور که از شکل های (8) (سمت چپ) و 17 می توان مشاهده کرد. علاوه براین، همانطور که از جدول 5 می توان مشاهده کرد، این ترخیص های نیمه شب، برای ورودی ها در طیف گسترده ای از زمان ها رخ می دهد. ما با استفاده از نظریه صف های سرور نامحدود، مانند [22] یا معادل آن، از قانون متغیر زمان لیتل می توانیم ارتباط برقرار کنیم. ما نشان می دهیم که چگونه مدت اقامت بر حسب متغیر زمان می تواند به طور کارآمد و موثری با بهره مندی از مدل زمان گسسته در مقیاس زمانی ساعات تحلیل شود. وابستگی زمانی در مدت اقامت بیمار ممکن است در بررسی عملیات زمانبندی در بخش اورژانس و بخشهای داخلی ثابت کند مفید است.

**1.3 سازماندهی**

در بخش 2 ما به طور خلاصه بیمارستان Rambam و منبع داده هایمان را با اشاره به بند 7 برای جزییات بیشتر توضیح می دهیم. ما فرآیند ورود به بخش اورژانس را در بخش 3 تجزیه تحلیل و مدلسازی می کنیم؛ همینطور احتمال پذیرش در بخش داخلی را در اینجا به بحث می گذاریم. در بخش 4، مدت اقامت را تحلیل و مدلسازی می کنیم. در بخش 5 ما فرآیند ترخیص را بررسی می کنیم که نشان می دهد می تواند برای مرور فرآیند ترخیص در زمان معکوس، مفید باشد. در بخش 6 ما مدل خود را با شبیه سازی مقایسه می کنیم. در نهایت در بخش 7 نتیجه گیری ها را ترسیم می کنیم. موضوعات مکمل در ضمیمه آنلاین [25] فراهم شده است (ضمیمه A را مشاهده کنید).

**2-بخش اورژانس Rambam و داده ها**

همانطور که در بند 7 آمده ما بیمارستان Rambam را مطالعه می کنیم. یک بیمارستان 1000 تختخوابی با 45 واحد پزشکی در حیفای اسراییل. به خصوص، در §3 بخش 7 ما روی واحد پزشکی داخلی اورژانس (EIMU) تمرکز می کنیم که بزرگترین واحد در بخش اورژانس جامع است. آن تمرکز موجه است چون واحدهای مختلف بخش اورژانس، از نظر فیزیکی جداگانه هستند و منابع کمی را به اشتراک می گذارد. حدود 60% بیماران جدید، از طریق اورژانس وارد بیمارستان می شوند و اکثر آنها از طریق واحد پزشکی داخلی اورژانس به بیمارستان وارد می شوند که از این به بعد به سادگی آن را اورژانس می نامیم. بعد از معاینه شدن و درمان شدن در بخش اورژانس، همانطور که در شکل 2 نشان داده شد، بیماران در یکی از بخش های داخلی، پذیرش یا مرخص می شوند. حدود 40 درصد ورودی ها به بخش اورژانس، پذیرش می شوند.

همانطور که در ضمیمه 2 از [7] آمده، ما داده ها را از آزمایشگاه تحقیقاتی پایگاه داده SEElab در Technion به دست آوردیم. داده های موجود بیمارستان از ژانویه 2004 تا اکتبر 2007 جمع آوری شد. ما تنها بر روی دوره 25 هفته ای از دسامبر 2004 تا ماه می 2005 تمرکز می کنیم. به خصوص ما از ستونهای 5 . 6 . 13 . 18 جدول بازدید در پایگاه داده ها استفاده می کنیم که گروه ورودی، دپارتمان اول، زمان ورود و مدت اقامت در بخش اورژانس است. در داده های خام، سوابق زمان، تا نزدیک ترین ثانیه گِرد می شوند.

مجموع 58332 بیمار به بخش جامع اورژانس سر زدند، که 24317 بیمار، به بخش EIMU (3955، 4360، 3530، 4324، 3965 و 4183 نفر در هر ماه) رفتند. جدول ۱، تعداد کل ورودی ها به بخش اورژانس را فراهم می کند و آمارهای طول اقامت برای هر‌ جمعیت نمونه، در تحلیل های پی در پی بکار رفت. Los به مدت اقامت در بخش اورژانس تا زمانی اشاره می کند که تصمیم گیری شود بیمار در بخش داخلی پذیرش شود یا نه. به این ترتیب، مدت اقامت شامل تاخیر نمی شود تا زمانی که بعد از تصمیم پذیرش، انتقال انجام شود که به طور معمول بیمارگیری بخش اورژانس نامیده می شود.

برای هر دوی پایگاه داده ها و [7] می دانیم که بیماران بخش اورژانس را می توان با توجه به تصمیم پذیرش، به دو گروه تقسیم کرد. ما به این امر که بیماران پذیرش می شوند یا نمی شوند، توجه می کنیم. حتی اگر تصمیم پذیرش، جلوتر مشخص نباشد، ما متوجه می شویم که میزان پذیرش بیماران در ساعات متوالی به زمان وابسته است و بنابراین در مدلسازی و تجزیه و تحلیل می توان استفاده نمود.

در پایگاه داده ها چندین متغیر وجود دارد که برای کمک به طبقه بندی بیماران می توان استفاده کرد. در این مقاله ما از "گروه خروج" استفاده می کنیم که دریافتیم مطابق با "واحد خروج"، "بخش خروج" و "تعداد ترخیص" در جدول بازدید ها است. "گروه خروج=1" یعنی بیماری که از بخش اورژانس مرخص شد و در هیچ بخشی از بیمارستان پذیرش نشد.

"گروه خروج=2" یعنی بیمار از یک بخش بیمارستان مرخص شد که بدین معنی است که او حداقل در یکی از بخش های اورژانس پذیرش شد. بنابراین زمانی که ما روی بیمارانی تمرکز می کنیم که ابتدا به بخش اورژانس وارد شدند، این به ما خواهد گفت که آیا بیمار در بخش داخلی پذیرش شد یا نه. در میان 23409 بیماری که در دوره ی 25 هفته ای به بخش اورژانس (EIMU) سر زدند، 9669 نفر (حدود 40%) پذیرش شده و 13740 بیمار پذیرش نشدند.

در زیر شرح دقیقی از مجموعه داده ها در جدول 1 موجود است. در تمام این مقاله ما به جدول 1 برای مشخص کردن جمعیت اشاره خواهیم کرد.

* مجموعه داده 2: زیر مجموعه ای از مجموعه داده 1-شامل بیمارانی است که در طول دوره 25 هفته ای، به بخش EIMU در بخش اورژانس جامع رفتند؛ ما به EIMU به سادگی به عنوان بخش اورژانس اشاره می کنیم.
* مجموعه داده 3: زیرمجموعه ای از مجموعه داده 2 شامل بیمارانی است که ظرف دوره 25 هفته ای وارد شدند (ما از مجموعه داده های 2 را برای آمار اشغال استفاده می کنیم)
* مجموعه داده 4: زیر مجموعه داده 2 شامل بیمارانی است که بین 5 دسامبر 2004 و 28 ماه می 2005 به سیستم وارد یا از آن ترخیص شدند و کمتر از 40 ساعت مدت اقامت داشتند.
* مجموعه داده 5: زیر مجموعه ی مجموعه داده 3 شامل بیمارانی است که بعد از رفتن به اورژانس، پذیرش شدند ("گروه خروج=1")
* مجموعه داده 6: زیر مجموعه ی مجموعه داده 3 شامل بیمارانی است که بعد از رفتن به بخش اورژانس پذیرش نشدند ("گروه خروج=2").
* مجموع داده 7: زیر مجموعه ای از مجموع داده 2 شامل بیمارانی است که زمان ترخیص آنها، در دوره 25 هفته ای (از 5 دسامبر 2004 تا 28 ماه می 2005) است.
* مجموع داده 8: زیر مجموعه ای از مجموعه داده 7 شامل بیمارانی است که بعد از رفتن به بخش اورژانس پذیرش شدند("گروه خروج = 1").
* مجموع داده 9: زیر مجموعه ای از مجموعه داده 7 شامل بیمارانی است که بعد از رفتن به اورژانس پذیرش نشدند ("گروه خروج= 2).

**3. فرایند ورود به بخش اورژانس یا ED**

در این بخش، ما فرایند ورود بیماران به بخش اورژانس را بررسی می کنیم (همیشه منظورمان EIMU است). در بخش 3.1 ما به گزارشات آماری روزانه نگاه می کنیم. به طور خلاصه وابستگی میان گزارش آماری روزانه را در بخش 3.2 مورد بحث قرار می دهیم. در بخش 3.3 میزان ورود در هر ساعت را در طول یک هفته برآورد می کنیم. در بخش 3.4 ما متغیر تصادفی در فرایند ورود را ارزیابی می کنیم که منجر به پیشنهاد مدل دو زمانه میشود که شامل روند پواسون ناهمگن مشروط است. در بخش 3.4.1 ما شاخص پراکندگی برای شمارش را برآورد می کنیم. در بخش 3.4.2 ما نتایج آزمونهای آماری ویژگی های مشروط NHPP را با ترسیم در بخش (20،19)گزارش می دهیم. در بخش 3.5 فرایندهای ورود و دو گروه جداگانه از بیمارانی را بررسی می کنیم: که در نهایت در یکی از بخشهای داخلی پذیرش شدند و بیمارانی که پذیرش نشدند. در نهایت در بخش 3.6 مدل دو زمانه را برای فرایند ورود خلاصه می کنیم که بر اساس آن تحلیل آماری، مطرح می کنیم.

***3.1 آمارهای روزانه یا جمع بندی های روزانه***

جدول 2 تعداد بیمارانی را نشان میدهد که به بخش اورژانس در هر روز از 5 دسامبر 2004 تا 28 می 2005 وار شدند (25 هفته).

***شکل 1-آمارهای ورود هفتگی در طول دوره بررسی 25 هفته ای (از مجموعه داده های 3 استفاده کنید)***

آمارهای روزانه 25×7=175، از 77 تا 191 متغیر است و میانگین 133.8 و متوسط 135 دارند.

برخی از نوسانات ممکن است توسط تعطیلات یهودی توضیح داده شود. در اسرائیل، در 8 دسامبر 2004 تا 12 دسامبر 2004، در هفته 1 و 2، فستیوال Hanukkah، بود، درحالیکه 24 آوریل 2005 تا 30 آوریل 2005 در هفته 21، عید فصح یا Passover بود. می بینیم که آمارهای روزانه، در هفته های 1 و 2 قدری پایین هستند اما در هفته 21، زیاد متفاوت نیست. همچنین متوجه می شویم که دوره ی پایین دیگری بین 4 فوریه 2005 و 11 فوریه 2005، در هفته های 9 و 10 رخ داد که ما برای آن هیچ توضیحی نداریم. ممکن است این به دلیل خصومت های نظامی بوده باشد، اما ما نمی توانیم آن را تایید کنیم. ما این دوره ها را از داده هایمان حذف نمی کنیم، زیرا آنها رویدادی تصادفی غیرمنتظره ای را که اتفاق می افتد، نشان می دهند.

در طول یک هفته، یکشنبه بیشترین تعداد ورودی ها را دارد که انتظار می رود که این بخاطر آغاز هفته کاری در اسرائیل باشد. سپس میانگین آمارهای روزانه در طول هفته کاهش می یابد. جمعه و شنبه، ورود بسیار کمتری دارند، که ممکن است انتظار برود چون آخر هفته است. ما همچنین واریانس آمارهای روزانه را برای هر روز هفته محاسبه کردیم. با نگاهی به پراکندگی (نسبت واریانس به میانگین)، می بینیم که میزان متوسط پراکندگی بیش از حد برای آمارهای روزانه نسبت به یک فرآیند پوآسون (که در آن پراکندگی 1 است) وجود دارد.

شکل 1 نموداری از آمارهای هفتگی است. این مشاهدات ما را در مورد مقادیر پایین در هفته ی 10 را تایید می کند. جدول 2 نشان می دهد که میانگین تعداد هفتگی ورودی ها 936 است. بنابراین اگر فرایند ورود، یک NHPP باشد، آنگاه واریانس باید مانند میانگین باشد و انحراف معیار آمارهای هفتگی در حدود است. شکل 1 با ویژگی پوآسون، به استثنای هفته 10، که حدود 5 انحراف معیار زیر میانگین است، تقریبا سازگار است.

ما مدل هایی را برای آمارهای روزانه مورد بررسی قرار دادیم. ابتدا مدل رگرسیون آماری دو فاکتوری را با باقی مانده های گاوسی برای تعداد آمار روزانه ورودی ها در نظر گرفتیم؛ §§2.7، 3.7 و 6.5 از [26] برای پس زمینه را ببینید. آمار روزانه به صورت زیر نشان داده شده است.

*T(w, d) ≡ A + Bw + Cd + G(0, σ2), (1)*

که در آن *≡* در تعریف نشان دهنده تساوی است.w نشان دهنده هفته و d دهنده روز در هفته است (DoW) است. در حالی که G(0, σ2) میانگین متغیر تصادفی گاوسی o با واریانس σ2 (باید برآورد شود) است و A ، B و C مقادیر ثابت هستند. هفته و روز هفته دو عامل هستند بنابراین در حقیقت wi را به عنوان شاخصهایی برای هر هفته داریم dj به عنوان شاخصهایی برای هر روز هفته است و Bi و Cj نیز به همین ترتیبند. چون افزونگی در مدل (1) وجود دارد زیرا فرمول و فرمول هستند ما فرمول و فرمول را تنظیم می کنیم بنابراین A میانگین تعداد آمار روزانه ی ورودها را برای تمام روزها می دهد.

جدول 3 تحلیل معمولی از جدول واریانس یا واریانس (AnovA) برای رگرسیون است. از مقادیر p در ستون آخر جدول 3 می بینیم که هر دو فاکتور، در سطح 1%، از لحاظ آماری قابل توجه است. از باقی مانده ها، واریانسِ تخمین زده شده، فرمول است. تحت این مدل، نسبت واریانس به میانگین 161.5/133.8 = 1.21 است. همانطور که از نمودار هیستوگرام باقی مانده ها و طرح QQ ی باقی مانده های دانشجویی شده در پیوست [25] می توان مشاهده کرد، مدل دو فاکتوری گاوسی با مشاهده اینکه باقی مانده ها مطابق با توزیع گاوسی هستند، پشتیبانی می شود.

با این حال، برای کاربردهایی، در واقع مدل تک فاکتوری را با تنها روز هفته به عنوان فاکتور تک ترجیح می دهیم چون تاثیر روزهفته معلوم است، در حالیکه تاثیر هفته معلوم نیست، اما نتایج فوق، اگر بتوانیم فرض کنیم این نتیجه را نشان می دهد که که می تواند شناخته شود یا بطور کلی تر، اگر برآوردهای بهتری از آمارهای روزانه را بتوان از پیش بینی، ایجاد کرد. از این رو به جای (1)، ما مدل تک فاکتوری را پیشنهاد می کنیم.

فرمول 2

که دوباره در آن d نشان دهنده ی فاکتور روز هفته است و G(o,o2) متغیر تصادفی گاوسی است، در حالیکه A وC مقادیر ثابت هستند. مجدداً، این فرمول را تنظیم می کنیم تا از افزونگی جلوگیری کنیم.

جدول 4، ضرایب تخمینی برای مدل 2 را نشان می دهد در حالیکه شکل 2، هیستوگرام و طرح-QQ را برای باقی مانده ها نشان می دهد. ضرایب Cj روند کاهش آمار روزانه ورودی ها در عرض یک هفته را کیفیت سنجی می کند. شکل 2، نشان می دهد که طبیعی بودن باقی مانده ها، خوب باقی می ماند. جدول ANOVA را می توان از جدول 3 محاسبه کرد. واریانس برآورد شده و پراکندگی 1 (نسبت واریانس به میانگین) به شرح فرمول زیر است.

فرمول

که در آن m میانگینِ برآورد شده، است که دوباره سطح متوسط پراکندگی بیش از حدِ مربوط به NHPP را نشان می دهد.

**3-2 وابستگی میان آمارهای روزانه و باقی مانده ها**

ما همینطور وابستگی میان باقی مانده ها را در مدل تک فاکتوری بررسی کردیم. ابتدا به طور مستقیم تابع همبستگی را بر آورد کردیم و ضرایب هفت گانه اول را یافتیم که همه مثبت بودند. سپس مدلهای رگرسیونی خودکار AR(p) را مقایسه کردیم و متوجه شدیم که این تناسب خیلی خوب نبود اما دوباره ضرایب مثبت، برخی از وابستگی­های مثبت میان باقی­مانده­ها را نشان می دهد. با این وجود، هنگامی که چهار تست آماری مختلف باقی مانده ها را انجام دادیم متوجه شدیم که هیچکدام نمی توانست فرضیه وابستگی را رد کند. در نهایت مدلهای ARAM را برای آمارهای روزانه واقعی برای q و p مختلف با p=7 که یک انتخاب طبیعی است، متناسب کردیم که این به خاطر اثر مشاهده شده ی روز هفته است. در کل، ما مدل بهتری برای پیشنهاد پیدا نکردیم. بنابراین جزییات را در ضمیمه [25] می گذاریم.

***3-3 الگوی ورود ظرف چند روز***

ما اکنون میزان ورود برحسب متغیر زمان را با محاسبه میانگین های هر ساعت و استفاده از یک طرح خطی قطعه ای برآورد می کنیم. برخلاف اغلب سیستم های خدماتی متوجه شدیم که انداختن یک دیدگاه هفته ای بر خلاف دیدگاه روزانه مهم است. بنابراین تمام 25 هفته را ترکیب می کنیم و میزان ورود ساعتی در طول هفته را همانطور که در شکل 3 نشان داده شده، برآورد می کنیم. خط­چین­های عمودی در نیمه شب بین روزهای متوالی هستند. شکل 3 نشان می دهد که میزان ورود در صبح زود حدود pm6 در پایین تر سطح است، و تا درست پیش از ظهر تا آخرین نقطه به سرعت افزایش می یابد که بعد از آن، بصورت غیر منظم، با یک شیب ملایم حدود نیمه شب کاهش می یابد. همانطور که انتظار می رفت، میزان ورود در شب نسبت به طول روز پایین تر است. همینطور می توانیم ببینیم که میزان ورود در اواخر هفته ها پایین تر است و الگوی قدری متفاوت دارد.

از آنجا که اثر قوی روز هفته را روی آمار روزانه نشان داده ایم، طبیعی است که الگو را بدون اثر آمارهای روزانه بررسی کنیم. برای انجام این کار، ما می توانیم میزان ورود را با آمارههای روزانه عادی کنیم؛ یعنی ما میزان ورود را در شکل 3 با متوسط ورودهای آمار روزانهی هر روز از هفته تقسیم می کنیم. شکل 4 (سمت چپ) میزان ورود را بعد از عادی سازی نشان می دهد، در حالیکه شکل 4 (راست) تابع میزان ورود تجمعی تخمین زده ی متناظر را نشان می دهد. شکل 4 نشان می دهد که میزان های ورود عادی شده هنوز هم برای روز های مختلف، متفاوت به نظر می رسد اما ما رفتار عادی تری را با دیدگاه جمعی می بینیم. شکل 4 نشان می دهد نباید مقایسه کردن میزان ورود را با میزان ثابت پایین تر از نیمه شب تا 9 صبح و میزان ثابت بالاتر از 9 صبح تا نیمه شب غیر منطقی باشد. این مدل میزان ورود نسبتا ساده، تجدید نظرکننده است اما متوجه شدیم که در مقایسه های شبیه سازی نیز، خوب عمل نکرد.

***3-4متغیر تصادفی در فرایند ورود برحسب متغیر زمان***

عموماً پذیرفته اند که فرایند ورود به بخش اورژانس را می توان توسط فرایند پوآسون ناهمگن (NHPP) مدلسازی کرد. چون ورودی ها به طور معمول از بروز حوادث پزشکی مستقل بسیاری از افراد مختلف ناشی می شود که هر یک از آنها، از بخش اورژانس به ندرت استفاده می کنند. حمایت ریاضی، بوسیله قضیه توزیع پوآسون فراهم می شود؛ مثلا §11.2 از [27]، اما این باید تایید شود مانند [19،20].

درواقع، ما از قبل واریانس تصادفی قوی در آمارهای روزانه مشاهده کرده ایم که پراکندگی بیش از حد را نسبت به روند پوآسون نشان می دهد. به منظور نمایش دسته بندی ورود غیرمنتظره که میتواند برحسب روایتی از نیویورک اتفاق بیفتد، کارکنان بخش اورژانس، افزایش های ورود در زمان های ورود به بخش حمل و نقل عمومی در بیمارستان را گزارش می کنند.

بر همین اساس، ما متغیر تصادفی در روند ورود را با (1) برآورد شاخص پراگندگی برای شمارش، مانند [28،29]، و با انجام آزمون های آماری از ویژگی های NHPP مانند [19،20] مورد بررسی قرار دادیم. ما نتایج تحقیقات مان را بطور خلاصه شرح دادیم و برای جزئیات بیشتر به ضمیمه مراجعه می کنیم.

***3-4-1 شاخص پراکندگی برای شمارش***

شاخص پراکندگی برای شمارش (IDC) نسبت واریانس به میانگینِ روند شمارش ورود، به عنوان تابعی از زمان است. فرض کنید A(t) تعداد ورودی ها در فاصله زمانی (0,t) باشد به طوریکه {A(t), : t ≥0 } فرآیند شمارش ورود است. فرض کنید Λ(t) ≡ E[A(t)] و V(t) ≡ Var (A(t)) توابع میانگین و واریانس باشد.

این دستورالعملی است تا سه دیدگاه مختلف را در نظر بگیریم: (1) دیدگاه هفته؛ (2) دیدگاه روز و (3) دیدگاه روز هفته یا DoW. در دیدگاه هفته ما T=24\*7=168 ساعت را در نظر می گیریم و Λ(t) و V(t) را هر ساعت با درنظر گیری 25 هفته به عنوان نمونه، براآورد می کنیم، سپس این نسبت را برای برآورد I(t) محاسبه می کنیم. در دیدگاه روز، ما T=24 ساعته را انتخاب می کنیم و هر روز خاص هفته را در 25 هفته انتخاب می کنیم به طوری که اندازه نمونه برای هر روز هفته 25 باشد. توجه داشته باشید که طبیعی است سه شنبه های متوالی را به عنوان i.i.d. در نظر بگیریم، اما نه روزهای متوالی، بنابراین دیدگاه DoW احتمالا وابستگی کمتری دارد.

شکل 5 برآوردهای IDC را در هر سه دیدگاه نشان می دهد. در هر دو دیدگاه هفته و روز IDC به طور پیوسته افزایش می یابد، که وابستگی بیش از چند روز را نشان می دهد. در مقابل، در دیدگاه DoW، IDC ، در سطحی که برای پواسون خیلی بزرگتر از 1 نیست، بسیار یک­دست­تر است. دیدگاه DoW در شکل 5 نشان می دهد که میانگین IDC برابر با حدوداً 1.5 است که با نتیجه رگرسیون برای ورودهای آمارهای روزانه در بخش 3.1 همخوانی دارد. شکل 5 شواهد قوی نشان می دهد که فرایند کلی ورود به عنوان یک NHPP به خوبی مدلسازی نشده است، اما به عنوان یک NHPP مشروط، به خوبی مدل سازی شده، که در آن، شرایط فرایند ورود درمورد آمار روزانه، به عنوان NHPP در نظر گرفته می شود. همان طور که در بند 3-2 [30] توضیح داده شده است، این بدان معنی است که بعد از اینکه ما به آمار روزانه مقید می شویم، آن زمان های ورود را می توان به عنوان متغیرهای تصادفی i.i.d. در طول روز در نظر گرفت، که هر کدام، یک pdf متناسب با تابع میزان ورود بر حسب متغیر زمان دارد.

تجزیه و تحلیل ما مطابق با نتیجه گیری ها در [11] و در §3.2 از [7] است، اما روش بسیار متفاوتی دارد که آن را نشان می دهد. در [7]، با تجزیه و تحلیل داده های اکتشافی، نویسندگان دریافتند که میزان ورود ساعتیِ بخش اورژانس، برحسب متغیر زمان می باشد. [11]، که همچنین در [7] ذکر شده است، پراکندگی بیش از حد برای فرایند ورود را با نگاهی به ضرایب تجربیِ تغییر در وضوح چهار برابری (در هر ساعت، هر 3 ساعت، هر 8ساعت و روزانه) مشاهده کرد. در اینجا ما با نشان دادن ساختار متغیر زمان از طریق IDC ادامه می دهیم.

3.4.2 آزمون های آماری ویژگی های NHPP

برای آزمون آماری انحراف ها از فرض NHPP مشروط، ما از آزمون های آماری در [19،20]، به ویژه آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (آزمون CU KS) و آزمون لوییس KS استفاده کردیم. نتایج آزمون در ضمیمه نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که بیشتر فواصل زمانی، این آزمون های KS را گذرانده اند، که نشان می دهد منطقی است که فرایند ورود را به عنوان NHPP در هر روز در نظر بگیریم. همانطور که در [19] تأکید شده است، این به این معنی نیست که تابع میزان ورود، باید قطعی درنظر گرفته شود. در عوض، از ویژگی NHPP مشروط پشتیبانی می کند، زیرا این آزمون های آماری نمی توانند بین NHPP شرطی و NHPP مستقیم را، زمانی که روزهای جداگانه به طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرند، تشخیص دهند مانند دیدگاه DoW در بخش فرعی قبلی.

به طور خلاصه، ما یک مدل دو زمانه را پیشنهاد می کنیم که آمارهای روزانه تصادفی دارد و روی آن آمارها، شرطی است و فرض می کند که فرایند ورود در هر روز، یک NHPP است. ویژگی شرطی به این معنی است که، روی آمارهای روزانه شرطی است که آن تعداد از ورودها به صورت متغیرهای تصادفی i.i.d. در طول روز مدل سازی می شودکه هر یک دارای یک pdf متناسب با تابع میزان ورود است. ما از استفاده میکنیم تا این فرآیند ورود NHPP شرطی دو زمانه را نشان دهیم، که T بیانگر مقید بودن به آمارهای روزانه است. یک نوع از این مدل فرایند ورود ، برای فرایندهای ورودِ قرارِ ایجاد شده در [18] پیشنهاد شد. برای فرایندهای ورودِ قرار ایجاد شده ، فرایند ورود در مقایسه با فرآیند پوآسون، پراکندگی کمتری داشت.

3.5 فرآیندهای ورود دو گروه: پذیرش شده و پذیرش نشده

در بخش 2 ما ذکر کردیم که بیماران در بخش اورژانس را می توان براساس تصمیم به پذیرش (در بخش داخلی اورژانس) به دو گروه تقسیم کرد. بیماران پذیرش نشده، پس از درمان در اورژانس مرخص می شوند، در حالی که بیماران پذیرش شده در بخش داخلی، به بیمارستان اصلی منتقل می شوند. به طور پیش فرض، ما تشخیص می دهیم که این دو فرایند ورود را میتوان به عنوان یک مستقل که از کل روند ورود کاهش می یابد، درنظر گرفت. برای مدیریت ED یا بخش اورژانس، ما می خواستیم تحقیق کنیم که آیا این کاهش ممکن است وابسته به زمان باشد. شکل 6 میزان ورود تخمین زده ی بیماران پذیرش شده و پذیرش نشده را برای یک هفته نشان می دهد.

ما همچنین نسبت بیماران پذیرش شده در بخش داخلی را به عنوان تابعی از زمان ورود آنها، که با p (t) نشان داده می شود، دیدیم. شکل 7 برآوردهای نسبت بیماران پذیرش شده را بوسیله زمان روز در طول یک روز، با استفاده از تمام 175 روز نشان می دهد. شکل 7 شواهد محکمی را نشان می دهد که احتمال پذیرش در واقع بر حسب متغیر زمان است. از منظر مدلسازی، قابل توجه است که وابستگی به زمان، اما عدم وابستگی تصادفی، کاهش، ویژگی NHPP را حفظ می کند؛ به عنوان مثال، اگر A یک NHPP باشد، دو فرایند ورود جداگانه نیز فرایند NHPP خواهند بود؛ پیشنهادات 2.3.2 از [31] را ببینید.

علاوه بر این، ما از حداقل مربع ها استفاده می کنیم تا با یک تابع درجه دوم به p (t) با حداکثر در 2:30 بعد از ظهر هماهنگ شویم. شکل 7 (راست) تابع متناسب شده را نشان می دهد، که فرمول است، که فرمول و فرمول. تابع مدول برای درمان داده ها به صورت دوره ای با یک چرخه روزانه استفاده می شود.

***3.6. خلاصه: مدل کامل فرایند ورود به بخش اورژانس***

ما تجزیه و تحلیل را در زیربخش های قبلی برای ایجاد یک مدل فرآیند کامل ورود ترکیب می کنیم که می تواند در مطالعات شبیه سازی استفاده شود. اولا، آمارهای روزانه برای تعداد ورودها به عنوان متغیرهای تصادفی مستقل با توزیع گاوسی مدل سازی می شوند، که توسط مدل تک فاکتوری گاوسی در (2) تعیین می شود. سپس، با توجه به آمارهای روزانه، فرایند ورود به عنوان یک NHPP مدل سازی می شود، که بدین معنی است که تعداد روزانه تصادفی داده شده از ورودها به عنوان متغیرهای تصادفی i.i.d در طول روز با یک pdf متناسب با تابع میزان ورود تخمین زده شده برای آن روز، قرار می گیرد. ما به مدل فرایند ورود به عنوان اشاره می کنیم. در نهایت، یک بیمار که در زمان t وارد می شود با احتمال p (t) پذیرش می شود، که توسط تابع درجه دوم فوق برآورد می شود. ما آزمایشات شبیه سازی را با استفاده از این مدل در بخش 6 انجام می دهیم.

با این وجود، به دلیل اینکه ما در طی هر روز تنها پراکندگی بیش از حد و متوسط فرایند ورود و تنها وابستگی محدودی بین آمارهای روزانه متوالی را پیدا کردیم، تجزیه و تحلیل آماری ما می تواند به عنوان حمایت مشروط از یک مدل فرایند ورود NHPP معمولی (Mt) تفسیر شود. با این حال، همان طور که از میانگین ها و واریانسهای درون جدول 2 مشهود است، ما انحرافات قابل ملاحظه ای از NHPP را مشاهده کردیم. مهمتر از آن، ما فکر می کنیم که مدل فرایند ورود دو زمانه که در اینجا معرفی شده، یک چارچوب مفید برای مطالعه انحرافات احتمالی از یک مدل NHPP باشد. برای متناسب ساختنِ مستقیمِ یک NHPP، به طور کامل پرسشنامه تناسب مدل را نادیده بگیرد.

ما همچنین اشاره می کنیم که استفاده از این مدل دو زمانه، در مدل های شبیه سازی آسان است. این مدل مزیتی نسبت به NHPP دارد که مطالعات شبیه سازیِ تأثیر پراکندگی بیش از حدِ توزیع و وابستگی آمار روزانه میان آمار روزانه متوالی در عملکرد بخش اورژانس را اجازه می دهد، زیرا این ویژگی ها را می توان به طور مستقیم در این مدل گنجاند.

4. **مدت اقامت بیمار**

در این بخش، ما توزیع مدت اقامت بیمار را بررسی می کنیم (برای انجام این کار،یادآور می شویم که مدت اقامت زمانی اعلام می شود که تصمیم پذیرش اتخاذ شود یعنی پذیرش خواه ناخواه بیمار در بخش داخلی؛ بیمار پذیرش شده ممکن است همچنان در اورژانس، منتظر منتقل شدن به بخشهای داخلی باشد). ابتدا متوجه می شویم که توزیع مدت اقامت باید بر حسب متغیر زمان باشد. پس ما تجزیه و تحلیل زمان گسسته را معرفی می کنیم تا ساختار را دقیق تر نشان دهیم. ما توزیع مدت اقامت وابسته به وضعیت متناوب را در بخش 5-4 به بحث می گذاریم.

**4-1 شکست مدل یکپارچه Gt/GI/∞**

بررسی مستقیم توزیع مدت اقامت بیمار عادی است طوری که گویا باید یک ابتکار طبیعی باشد. برای مدل سازی، که به این معنی است که مدت اقامت بیماران پی در پی به عنوان متغیرهای تصادفی iid. با آن توزیع، مدل سازی می شود. با توجه به این چشم انداز، ما با برآورد توزیع کل مدت اقامت بیمار آغاز می کنیم؛ ما برای جزییات بیشتر به ضمیمه رجوع می کنیم. این کار با توجه به تفاوت بین زمان خروج و زمان ورود هر بیمار انجام شد. یک مدل دقیق تر از آنچه در بین ورود و ترخیص اتفاق می افتد، امکان پذیر نبود، چرا که چنین اطلاعات اضافی در داده ها گنجانده نمی شد.

همچنین معلوم می شود بسیار مهم باشد که زمان ترخیص یا خروج، به عنوان زمانی که پزشک اورژانش تصمیم میگیرد که بیمار را پذیرش کند یا نه، تعریف شد. بنابراین برای بیماران پذیرش شده، زمان اضافی تا انتقال به بخش داخلی (IW)، در داده ها گنجانده نشده بود. به این ترتیب قادر نبودیم به طور مستقیم مشکل مهم پانسیون بخش اورژانس را بررسی کنیم (تاخیر اضافی بین تصمیم به پذیرش بیمار و انتقال او به بخش داخلی یا IW).

با توجه به این چشم انداز، یک مدل طبیعی یکپارچه برای بخش اورژانس، صف سرور نامحدود Mt/GI/∞ یا Gt/GI/∞ با ترکیب فرایند ورود با یک تابع میزان ورود بر حسب زمان با مدت اقامت بیمار مدلسازی شده توسط توالی زمان های سرویس یکسان توزیع شده و مستقل (i.i.d) با یک تابع توزیع جمعی کلی (cdf) G خواهد بود.

برای دیدن اینکه آیا این مدل ها با زمانهای مدت اقامت تقریبا مناسب هستند، ما میزان ترخیص بر حسب متغیر زمان δ(t) مدل و میانگین میزان اشتغال m(t) ≡ E[Q(t)] را در مدل Gt/GI/∞ با استفاده ار قضیه 1 [22] همراه با تابع میزان زمان برآوردشده λ(t) و cdf G مدت اقامت محاسبه کردیم. (همانطور که در بخش 5 از [32] تأکید شده است، این فرمول ها برای Gt و همچنین ورودهای Mt اعمال می شود و همچنین برای ورودی اعمال می شود، همانطور که در بخش 3.6 فرض شد.) در شکل 8، میزان خروجِ مستقیماً برآورد شده و میانگین اشغال برای برآوردگر غیرمستقیم با بهره گیری از این مدل مقایسه می شود. شکل 8 نشان می دهد که این مدل با مدت اقامت Gi حدودا میزان واقعی ترخیص و میانگین سطوح اشتغال را تقریب نمیزند. به ویژه قابل توجه است که افزایش در ترخیص ها در پایان روز، حدود نیمه شب است که به طور کلی با مدل Mt/GI/∞ اشتباه گرفته می شود. در پایان، ما خاطر نشان می کنیم که شکل 8 برابر و به موازات شکل 3 در [7] است. در این جاست که تاکید می شود اوج اشغال بعد از اوج میزان ورود کاهش می یابد که می توان از شکل 8 نیز مشاهده کرد.

***4-2 توزیع مدت اقامت متغیر زمانی***

برای مشاهده مستقیم ساختار متغیر زمانِ توزیع مدت اقامت، ما به طرح جدولِ مدت اقامت بیمار برای هر ساعت نگاه کردیم که برای پس­زمینه به [33] نگاه کنید. رفتار متغیر زمانِ مدت اقامت را می توان از دیدگاه هفته مشاهده کرد (پیوست را ببینید)، اما به خصوص در دیدگاه روز، واضح است. همانطور که در شکل 9 نشان داده می شود. این کادرها، 25% و 75% را نشان می دهد در حالیکه الماسهای آبی، میانگین ها هستند و میله های سیاه متوسط ها هستند. مطابق درک مستقیم، مدت اقامت برای بیمارانی که بعد از نیمه شب وارد می شوند طولانی تر است. مدت اقامت نیز تا حدودی تمایل دارد که برای ورودی ها در شب کمتر باشد. این ممکن است با تلاش اضافی در مرخص کردن بیماران پذیرش نشده تا نیمه شب توضیح داده شود که به زودی در این مورد بحث خواهیم کرد.

با توجه به وابستگی به زمان در توزیع مدت اقامت بیمار، تصمیم گرفتیم در زمان گسسته یک تجزیه تحلیل دقیق انجام دهیم. به این منظور فرض کنید Xk,J تعداد ورودی ها در دوره زمانی گسسته k باشد که مدت اقامت دوره زمانی j را دارد یعنی آن در دوره زمانی گسسته k+j,j≥0 ترخیص می شود. ما فرض می کنیم دوره زمان گسسته، یک ساعت باشد. ما همپنان روی دوره زمانی از 5 دسامبر 2004 تا 28 می 2005 تمرکز می کنیم، (دوره 25 هفته 175 روزه)، بنابراین داریم 00:00-01:00 در 5 دسامبر 2004 که دوره زمانی گسسته k=1 است. برای داشتن تعداد صحیح بیماران در سیستم، ما تنها بیمارانی را می شماریم که در آن دوره زمانی وارد سیستم یا خارج شدند و البته مدت اقامتی منطقی دارند؛ یعنی از مجموعه داده های 4 در سراسر این بخش استفاده می کنیم. ما باید یک روز اضافی (4 دسامبر 2004) را در آغاز بگنجانیم تا فرض بگیریم x شامل تمام بیمارانی می شود که ما روی آنها متمرکز شدیم. بلند ترین مدت اقامت کمتر از 37 ساعت بعد از پاک کردن داده ها است. بنابراین ماتریس x ما ابعاد فرمول دارد. ماتریس کامل X در پیوست نمایش داده شده است.

اکنون ساختار دوره ای در طی دوره های متوالی زمان های گسسته را فرض می کنیم.

فرض کنید Ak و Dk، تعداد ورودها و ترخیص ها در دوره زمانی k باشند. آنگاه داریم:

فرمول

که فرض می کنیم Xk,j=0 برای تمام k، j به جز فرمول باشد.

اکنون یک ساختار دوره ای را در دوره های متوالی زمانهای گسسته d درنظر می گیریم. فرض می کنیم که داده های کافی برای برآورد میانگین های در n تعداد دوره را داریم، که شامل دوره های زمان گسسته nd می شود. به خصوص، اگر ما ادوره ای را یک هفته در نظر بگیریم، سپس داریم n=25 و d=7\*24؛ اگر دوره ای را یک روزه فرض کنیم، سپس داریم n=175=7\*25 و d=24.

در این تنظیم دوره ای، ما میانگین ها را می سازیم. به وِیژه فرض کنید

فرمول

و

فرمول

برای فرمول و فرمول. ماتریس X برای d=24 در ضمیمه نشان داده شده است. جدول 5 قسمتی از انتقال ماتریس X را نشان می دهد. یعنی ورود به ردیفj و ستون K تعداد میانگین ورودی ها در ساعت K است که مدت اقامت برابر با ساعت J داشتند، به طوی که مقادیر پر رنگ مربوط به افزایش درست قبل از نیمه شب است.

برای اینکه ساختار بیشتر اشکار شود ما برخی سلولها را سایه دار و پررنگ نشان می دهیم. آن سلولهای بصورت مورب مرتب شده مربوط به تعداد میانگین بیمارانی است که در ستون ساعتی وارد شدند که مقادیر ردیف مدت اقامت ان، باعث شد که از بخش اورژانس در یک ساعت پیش از نیمه شب ترخیص شوند. جدول 5 نشان می دهد که بسیاری از بیماران درست قبل از نیمه شب از بخش اورژانس ترخیص می شوند. برای مثال، ورود را در ساعت (ستون) 10 در نظر بگیرید. تعداد میانگین از J=1 تا j=2 افزایش می یابد، اما سپس تا مقدار پایین 0.023 در j=13 قبل از پرش به 234/0 در j=14 ، یک مقدار 10 برابر بالاتر، قبل از کاهش سریع به سوی 0، کاهش می یابد.

باز هم، ما تاکید می کنیم که داده هایی که ما استفاده کردیم، تنها زمان ورود و خروج را برای هر بیمار فراهم می کند، در حالی که زمان خروج زمانی است که پزشک بخش اورژانس تصمیم پذیرش را بگیرد. بدیهی است در نیمه شب تغییری در پرسنل پزشکی وجود دارد که قبل از نیمه شب تعداد تصمیمات پذیرش را افزایش می دهد.

***4-3 مدت اقامت دو گروه***

درست مانند فرایند ورود، می خواهیم تفاوت ها در توزیع مدت اقامت برای بیماران پذیرش شده و پذیرش نشده را بررسی کنیم. شکل 10 توزیع مدت اقامت تجربی را برای دو گروه بدون ساختار زمانی نشان می دهد. بیماران پذیرش شده، میانگین مدت اقامت کمتر ولی متوسطِ طولانی تری دارند چون حدود 7% بیماران پذیرش شده، مدت اقامت بسیار کمتری دارند. بدیهی است این بیماران بلافاصله به بخش داخلی منتقل شدند. اگر ما بیماران پذیرش شده را که مدت اقامت آنها، کمتر از 2 دقیقه باشد را حذف کنیم (657 بیمار)، آنگاه متوسطِ مدت اقامت گروه پذیرش شده تا 4:30 ساعت افزایش می باید که بیشتر از گروه پذیرش نشده است.

سپس به ویژگی متغیر زمانی مدت اقامت برای دو گروه نگاه می کنیم. دوباره از طرح های کادری استفاده می کنیم. شکل 11 نشان می دهد که توزیع مدت اقامت متغیر زمانی، برای بیماران پذیرش نشده منظم تر است. ما تفاوت های کاملا قابل توجهی برای بیماران پذیرش شده، قبل و بعد از نیمه شب مشاهده می کنیم.

***4-4 مدل مدت اقامت و اشغال***

تحلیل ما از داده های مدت اقامت، ما را به مدل توزیع مدت اقامت به عنوان (1) وابسته زمانی (2) بسته به این که آیا بیمار پذیرش شده یا نه هدایت می کند. اگر ما مدل فرایند ورود دو زمانه را در بخش 6-3 استفاده کنیم و تمایز بین بیماران پذیرش شده و پذیرش نشده را نادیده بگیریم، این امر، یک مدل یکپارچه ی سرورنامحدود را ایجاد می کند. با بسط آن به به دو نوع بیمار، این به دو مدل مستقل تبدیل می شود که دوباره از مدل فرآیند ورود از بخش 6-3 استفاده می کنیم که یکی برای بیماران پذیرش شده و دیگری برای بیماران پذیرش نشده است. ما برای هر گروه، توزیع مدت اقامت بر حسب زمان جداگانه را استفاده خواهیم کرد. ما خاطر نشان می کنیم که این فرضیه ی مستقل، یک تقریب است، چون در حقیقت این دو گروه، ضرورتاً وابسته اند چون از منابع مشابه استفاده می کنند.

حتی اگر یک مدل سرور نامحدود در بخش 7 پیشنهاد نمی شد، مدل سرور نامحدود، مطابق با مشاهدات متعدد در آن است. اول در §3.1 [7] نویسندگان تاکید می کنند که ظرفیت تخت اورژانس، بسیار قابل تغییر است به طوری که بطور موثر، محدودتی ندارد. دوم، در شکل 4 و 5 در §3.2.2 [7] نویسندگان مشاهده می کنند که توزیع گاوسی برحسب متغیر زمان برای داده های اشغال به خوبی متناسب است، اما مطابق با توزیع پوآسون نظریِ برحسب متغیر زمان در مدل متغیر زمان Mt/GI/∞ و تقریب ترافیک سنگین گاوسی برای مدلهای سرور نامحدود در [34] است.

***4-5 وابستگی زمانی در مقابل وابستگی به حالت***

ما در مقابل توزیع مدت اقامت وابسته به حالت یا وضعیتِ پیشنهادی در 17-7، توزیع مدت اقامت وابسته به زمان را پیشنهاد کرده ایم و در منابع آنجا ذکر شد. چون وابستگی شدیدی به زمان در سطوح اشغال وجود دارد. این دو فرم وابستگی، در ارتباط تنگاتنگ هستند و به راحتی جدا نمی شوند.

برای اثبات این ادعا، ما آنالوگ وابسته به حالتِ شکل 9 در شکل 12 را ارائه می دهیم. شکل 12، طرح کادری توزیع مدت اقامت را بوسیله حالت ارائه می دهد؛ یعنی تعداد بیماران در اورژانس. ما همینطور، اندازه کوچک را به عنوان تابع حالت ارائه می دهیم که در محور راست نشان داده شده است، که نشان می دهد که ورودی های کمتری در هنگامی وجود دارد که حالت کم یا زیاد است. از هر دوی مقادیر میانگین (الماسهای بنفش) یا میانه ها (میله های سیاه) مشاهده می کنیم که مدت اقامت یک تابع در حال افزایشِ اشغال بخش اورژانس است.

به طور کلی، اینکه کدام مدل ترجیح داده میشود ممکن است به سهولتِ تحلیل، بستگی داشته باشد. مدل مدت اقامت وابسته به حالت، ممکن است قابل تشخیص تر در نظر گرفته شود چون مدل ثابتی را تولید می کند. با این اوصاف، تجزیه تحلیل مدلهای وابسته به حالت، به ویژه مدلهای حالت غیر مارکوویان، آسان نیست.در واقع مورد خوبی می توان ساخت که در آن، تحلیل مدلهای دارای وابستگی زمانی در واقع آسان تر باشد. اکنون نوشته های قابل توجهی وجود دارد [14،15،32،35].

هر دو نگرش، بینش مهمی ارائه می دهند. وابستگی به حالت، نشان می دهد که ازدحام بخش اورژانس، مدت اقامت بیمار را افزایش می دهد، در حالیکه وابستگی به زمان، ارتباط نتایج با عملیات بخش اورژانس و روال بیمارستان را آسان تر می کند که با ساعت، بیشتر از بار، تحریک می شود. به ویژه، روالهای عالی بیمارستان معمولا دیکته می کنند که پذیرش بیمارستان و تصمیمات ترخیص، مایلند در زمانهای ترجیحی گرفته شوند.

به طور خاص،همانطور که در شکل 8 (چپ) و 17 است، برای داده های بخش اورژانس، ما به دلیل افزایش روزافزون ترخیص ها درست قبل از نیمه شب در هر روز، شواهد محکمی برای وابستگی به زمان در مقایسه با وابستگی به حالت ارائه کرده ایم. جدول 5 نشان می دهد که این ترخیص های نیمه شب، برای بیمارانی رخ می دهد که در طیف گسترده ای از زمان وارد می شوند. با این وجود، می توان آن را با توزیع مدت اقامتِ متغیر زمان توضیح داد.

بررسی دقیق مدل های وابسته به حالت باقی می ماند. بدیهی است، مدت اقامت وابسته به حالت نمیتواند افزایش ناگهانی نیمه شب را توضیح دهد، اما انواع مدل های وابسته به حالت وجود دارد که ممکن است در نظر گرفته شوند. احتمالا، وابستگی حالت مناسب، باید اشغال را در سراسر مدت اقامت بیمار، نه درست در هنگام ورود، در نظر بگیرد اما به کارگیری آن آسان نیست.

***5 فرایند ترخیص***

در این بخش ما، فرآیند ترخیص از اورژانس را بررسی می کنیم. مثل نکته منبع نظری، برای مدل Mt/GIt/∞، فرآیند ترخیص نیز یک NHPP است. متوجه می شویم که بررسی فرآیند ترخیص و ورود به اورژانس در زمان معکوس مفید است به طوری که می توانیم به فرآیند ترخیص به عنوان یک فرآیند ورود فکر کنیم و از روشهای مشابه استفاده کنیم که در بخشهای قبلی استفاده کردیم. چشم انداز این زمان معکوس، به ویژه نشاندهنده بررسی نسبت متغیر زمانِ بیمارانِ پذیرش شده و طول اقامت بیمار بر حسب زمان است که در آن، زمان، به جای زمان ورود، به زمان ترخیص اشاره می کند.

***5-1 آمارهای روزانه***

در ابتدا در بخش 1-3 به آمارهای روزانه ترخیص ها نگاه می کنیم اما مرور مختصری ارائه می کنیم؛ برای جداول و راقام به پیوست مراجعه کنید.

چشم انداز زمان معکوس باعث می شود که کمی داده ها را تغییر دهیم. اکنون بیمارانی را در نظر می گیریم که از 5 دسامبر تا 28 ماه می 2004 بیمارستان را ترک کردند، که در مجموع 23407 بیمار است (جدول 1 را ببینید). میانگین مقادیر برای هر هفته و هر روز هفته تقریبا مشابه ورودی هاست اما اختلاف قابل توجهی در واریانس وجود دارد. واریانس کل تعداد ترخیص ها در روزهای هفته، بالاتر از ورودها است. بدیهی است، نظم کمتری در ترخیص نسبت به ورودها وجود دارد.

دوباره ما مدلهای رگرسیون گاوسی را در (1) و (2) در بخش 3.1 برای ترخیص ها قرار می دهیم. این پارامترها همان معنی قبلی را دارند. جدول 6 نتایج ANOVA را نشان می دهد. مانند قبل، هر دوی فاکتورهای هفته و روز هفته از لحاظ آماری قابل توجه هستند اما فاکتور روز هفته، بیشتر واریانس ها را توضیح می دهد. برای مدل دو فاکتوری، میانگینِ مجموعِ مربع برای باقی مانده ها، فرمول است که بیشتر از میانگین فرآیند ورود است. نسبت واریانس به میانگین، فرمول است. اگر ما فاکتور هفته را حذف کنیم و مدلتک فاکتور را در نظر بگیریم، آنگاه میانگین مجموع مربع برای باقی مانده ها (فرمول) و نسبت واریانس به میانگین فرمول است.

***5-2 الگوی ترخیص در هر روز***

اکنون به ساختار زمان میزان ترخیص ظرف چند روز باز می گردیم. شکل 13 دیدگاه زمان معکوس را نشان می دهد که با توازن و تقویت شکل های 8 و 13، به وضوح نشان می دهد که میزان ترخیص، افزایش ناگهانی نیمه شب دارد و نقاط اوج، در طول هفته افزایش می یابند.

مانند قبل، بیماران را به دو گروه با توجه به تصمیم پذیرش تقسیم کردیم. (برای آمارهای پایه، جدول 1 را ببینید) شکل 14 نسبت متغیر زمانی بیمارانِ پذیرش شده را به عنوان تابع زمان ترخیص نشان می دهد. مشاهده می کنیم که نسبت بیماران پذیرش شده، در 8-7 صبح در هر روز بسیار کم است. بدیهی است که تصمیمات پذیرش در آن زمان، به زمانی بتعویق می افتند که پزشکان جدید بعد از اینکه کارکنان نوبت صبح عوض شوند، وارد می شوند.

شکل 15 طرح های کادرِ توزیع مدت اقامت را به عنوان تابعی از زمان ترخیص را (از دید زمان معکوس) برای بیماران پذیرش شده (سمت چپ) و پذیرش نشده (سمت راست) نشان می دهد. می بینیم که افزایش نیمه شب به خاطر بیماران پذیرش نشده ایجاد می شود و این که مدت اقامت بیماران پذیرش نشده بیشتر تحت تأثیر زمان روز قرار می گیرند.

***6. مقایسه با شبیه سازی***

در این قسمت ما شبیه سازی هایی را برای اثبات مدل مان انجام می دهیم.

***6-1 مقایسه مدلهای اقامت جایگزین***

ما آزمایشات شبیه سازی را با مدل خودمان انجام دهیم تا ببینیم چگونه داده ها را نشان می دهد. اول، روی مدل مدت اقامت متمرکز می شویم. برای انجام این کار، ما از داده های ورود اصلی استفاده می کنیم. ما دوره 25 هفته ای را 40 بار تکرار می کنیم تا اندازه نمونه 1000 هفته شود. برای بررسی مدلهای مدت اقامت جایگزین، آنها را به روشهای مختلف درمان می کنیم: (A) گزینه اول GL است؛ یعنی فرض می کنیم که توزیع مدت اقامت برحسب متغیر زمان نیست؛ ما از براورد cdf کلی استفاده می کنیم. (B) گزینه دوم GlT است اما با دیدگاه روز؛ یعنی فرض می کنیم که توزیع مدت اقامت در طول هر روز، برحسب متغیر زمان است؛ از تخمین cdf برحسب متغیر زمان بسته به زمان ورود در یک روز استفاده می کنیم. (C) گزینه سوم GIt اما با دیدگاه هفته است؛ یعنی فرض می کنیم که توزیع مدت اقامت، در طول یک هفته، برحسب متغیر زمان است. ما از cdf برحسب متغیر زمان تخمین زده، بسته به زمان ورود در عرض یک هفته استفاده می کنیم.

شکل 16 و 17، برآوردهای مدل مستقیم را برای هدایت برآوردهایِ به ترتیب، شبیه سازی اشغال مورد انتظار برحسب متغیر زمان m(t) و میزان ترخیص برحسب متغیر زمان δ(t)، و براساس هر یک از این سه مدل مدت اقامت مقایسه می کنیم.

طرح های برتر شکل های 16 و 17 نتیجه ی نادیده گرفتن توزیع مدت اقامت بر حسب زمان را نشان می دهد. مطابق با شکل 8، شکل 16 نشان می دهد که مدل مدت اقامت GI بطور چشمگیری، اشغال را در انتهای روز و نیمه شب ناچیز می انگارد، و آن را در آغاز روز و بعد از نیمه شب بیش از حد در نظر می گیرد در حالیکه شکل 17 نشان می دهد که مدل مدت اقامت GI، افزایش نیمه شب ترخیص ها را کاملا نادیده می گیرد.

طرح های متوسطِ (B) از شکل های 16 و 17 نشان می دهند که مدل مدت اقامت GIt با داشتن دیدگاه روز، بسیار بهتر از مدل GI عمل می کند که افزایش نیمه شب را در ترخیص ها توضیح میدهد. با این وجود، شکافی واضح میان منحنی های اشغال میانگین وجود دارد. بطور قابل توجهی، سطرح های پایینیِ (C) از شکل های 16 و 17، نشان می دهند که مدل مدت اقامت GIt با دیدگاه هفته ای، توافق تقریبا کاملی را نمایش می دهد.

***6.2 ارزیابی مدل کامل***

زمانیکه ما: (1) مدل ورود را که در بخش 3.6 بصورت مختصر بیان شده، ترکیب می کنیم، (2) ورودها را به دو گروه پذیرش شده و پذیرش نشده با استفاده از کاهش وابسته براساس احتمال متغیر زمانی p(t) تقسیم می کنیم که در بخش 3.5 برآورد شده است، و (3) زمانی که از مدل مدت اقامت برای هر گروه استفاده می کنیم، یک مدل اورژانس کامل بدست می آوریم.

ما این سه آزمایش شکل های 16 و 17 را با استفاده از مدل کامل، تکرار کردیم. این سه مدل مدت اقامت را برای هر گروه به طور جداگانه بکار بردیم. نتایج جدید شبیه سازی، شبیه به شکل های 16 و 17 بنظر می رسند و بنابراین تنها در ضمیمه نمایش داده می شوند.

***6-3 قانون متغیر زمان لیتل***

توافق بین براوردهای شبیه سازی برای هر مورد (C) در ابتدا گیج کننده بود. با این حال متوجه شدیم که مانند [23،24] می توان این را تا حد زیادی با قانون متغیر زمان (TVLL) توضیح دهد. قانون TVLL لیتل برای مدل Gt/Gt/∞ استفاده می شود و بنابراین برای مدل MT /GIt/∞ ما هم کاردبرد دارد. بررسی زمان گسسته در این مقاله، ما را برانگیخت که همین طور نسخه زمان گسسته TVLL را در نظر بگیریم. ما قصد داریم TVLL زمان گسسته و مفاهیم TVLL را در بند 36 به بحث بگذاریم. به طور خلاصه، این مفاهیم، آنهایی هستند که ما زمانی که ما میانگین اشغال را از همین داده های بکار رفته برای تناسب مدل برآورد می کنیم، باید پیش بینی دقیق اشغال میانگین با توجه به مدل یکپارچه Gt/GI/∞ را به عنوان بررسی یکپارچگی داده ها به جای پیش بینی های درست در نظر بگیریم.

**7 نتیجه گیری**

ما نسبت 25 هفته ای داده های اورژانس را که در بررسی جریان بیمار توسط ARMONY و همکاران استفاده شده، مطالعه کردیم. با دقت، فرآیند ورود به بخش اورژانس و توزیع مدت اقامت بیمار را بررسی کردیم که به نتیجه گیری های مهم متعددی رسیدیم.

ابتدا برای فرآیند ورود، ما فکر می کنیم که استفاده از روش مقیاس دو زمانه، مفید است که در آن ما ابتدا به آمارهای روزانه و سپس به فرآیند ورود در هر روز مشروط به آمارهای روزانه نگاه می کنیم که منجر به مدل فرآیند ورود می شود که در بخش 6-3 بطور خلاصه بیان شد. مدل مقیاس دو زمانه، مفید است زیرا چارچوبی مفید را برای تحقیقات آینده فراهم می کند. سپس، نگاهی به پیشرفت هایی برای مدل آمارهای روزانه با استفاده از (1) مدلهای سری زمانی (2) پیش­بینی روشها و (3) دانش محتوایی بیشتر برای درک وابستگی به آمار روزانه متوال، طبیعی است. همانطور که در §3.2 اشاره شد، و در ضمیمه [25] انتظار می رود، بررسی های پیشین، وابستگی مثبت درمیان باقیمانده ها را نشان داد. با آثار بیشتر، احتمال دارد شرح وابستگی درطول روزهای متعدد نمایش داده شده در شکل 5 (دو طرح یا پلات اول) امکان ذیر باشد.

میزان ورود برحسب متغیر زمان را در بخش 3.3 مطالعه کردیم. همانطور که در شکل 3 نشان داده شد، نتیجه گرفتیم که یک دیدگاه هفته ای داشته باشیم تا این که یک دیدگاه روزانه عادی. یک یافته جدید و مهم، وابستگی تصمیم برای پذیرش بیمار از اورژانس به بخش داخلی در زمان ورود است، که در بخش 3.5 بحث شد. (هنوز هم یافتن توضیحی خوب، باقی می ماند) اگرچه تصمیم به پذیرش، را نمی توان از پیش برای بیماران دانست، می توانیم وابستگی زمان را در تصمیمات پذیرش مشاهده شده برای مدلسازی این دو گروه از بیماران را بطور متفاوت بکار ببریم. در نهایت، تغییر پذیری تصادفی را در فرایند ورود در بخش 3.4 شرح دادیم و برای این دو مدل دو زمانه، پشتیبان یافتیم که مشروط به آمارهای روزانه، ورود در طی روز را می توان به عنوان یک NHPP مدلسازی کرد. ما این فرایند ورود را به عنوان در نظر می گیریم.

ثانیا، ما توزیع مدت اقامت بیمار را در بخش 4 تحلیل نمودیم. نتیجه گرفتیم که این نیز باید به زمان ورود بستگی داشته باشد. ما مدلهای وابسته به حالت جایگزین را در [7،17] در بخش 4.5 مورد بحث قرار می دهیم. شکل های 8، 16 ئ 17 بطور قابل توجهی نتیجه ی نادیده گیری این ویژگی متغیر زمان را نشان می دهد. البته، مطلوب است که احتمال با صف بندی مدل شبکه، یک مدلسازی با جزئیات بیشتری را از این جریان، در اورژانس انجام دهیم بطوری که توزیع کلی مدت اقامت را بتوان از طریق اجزای مولفه آن، تحلیل کرد اما داده های موجود اجازه آن را ندادند. حتی بعد از انجام آن، یک مدل یکپارچه باید برای مقایسه، مفید باشد.

با ترکیب مدل فرایند ورود در بخش 3 و مدل مدت اقامت در بخش 4، مدل یکپارچه ی سرور نامحدود متغیر زمانی اورژانس MTt /GIt/∞ پیشنهاد شده را بدست می آوریم. این مدل، اگر بیماران پذیرش شده و پذیرش نشده را با وابستگی بعد از کاهش استقلال یک NHPP بطور جداگانه مدلسازی کنیم، به دو مدل سرور نامحدود غیر وابسته تعمیم می یابد. این مدل را می توان برای برنامه ریزی ظرفیت و برای مقایسه مدلهای شبکه صف بندی اورژانس بطور مفصل استفاده کرد.

ما فکر میکنیم همچنین حائز اهمیت است که فرایند ترخیص از اورژانس را تحلیل کنیم که در بخش 5 در زمان معکوس انجام می دهیم. تابع میزان ترخیص در شکل 13 بوضوح افزایش نیمه شب را نشان میدهد که می توان با دیدگاه های دیگر اشتباه گرفت. شکل های 14 و 15 نشان می دهد که تصمیم به پذیرش و مدت اقامت، هر دو به زمان ترخیص و همچنین زمان ورود بستگی دارند.

نهایتا، مدل مان را برای شبیه سازی در بخش 6 مقایسه کردیم. توافق قابل توجهی را در سطح اشغال میانگین و میزان ترخیص یافتیم اما همانطور که قصد داریم در [36] به بحث بگذاریم، دریافتیم که این تخمین های با کیفیت بالا را میتوان تا حد زیادی با قانون متغیر زمانی لیتل در [23، 24] توضیح داد.

مشکلات متعددی برای تحقیقات آینده باقی مانده است. اولا، بررسی دقیق افزایش ترخیص ها قبل از نیمه شب در هر روز و علت آن، باقی مانده است. دوما، بررسی توانایی مدل برای پیش بینی آینده باقی مانده است. سوما، یافتن و بررسی مجموعه های داده زیادتری که شامل این موارد شود باقیست: (1) مدت اقامت کامل تا بیمار تختی را در بخش داخلی بگیرد، (2) مراحل عملیاتی در اورژانس و (3) استفاده از دسترس پذیری منابع اضافی مانند دکتر ها و پرستاران. در نهایت مقایسه و تقابل مدلهای وابسته به حالت و وابسته به زمان باقی مانده است.