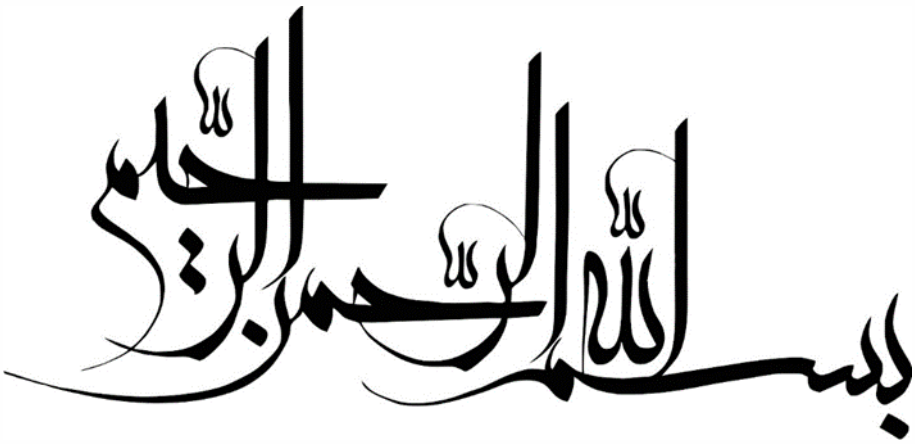
دانشگاه علوم پزشکی
وخدمات بهداشتی درمانی کرمان
پژوهشکده آینده پژوهی در سلامت



دانشگاه علوم پزشکی
وخدمات بهداشتی درمانی کرمان
پژوهشکده آینده پژوهی در سلامت

بررسی مدل‌های تعیین روند و هشدار اولیه اپیدمی و رنگ‌بندی وضعیت اپیدمی بیماری کووید ۱۹ در ایران

سفارش:

معاونت پژوهشی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی

مجری:

مرکز مدل‌سازی در سلامت، پژوهشکده آینده‌پژوهی در سلامت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان

فهرست مطالب

مقدمه ۴

بررسی متون ۶

گزارش رنگبندی و تعیین هشدار اولیه و دوره پیک در ۲۱ شهر انتخابی کشور ۱۶

مدل 1 : بررسی روند (مدل میلاد) ۱۷

مدل ۲ : مدل فاصله اطمینان (پواسن، نرمال و ناپارامتری (میانه)) ۲۹

مدل ۳ : مدل تشخیص نوسان (انحراف معیار و تابع خود همبستگی) ۴۱

مدل۴ : مدل رگرسیون (رگرسیون خطی، پواسن و دوجمله ای منفی) : ۵۸

مدل ۵ : روش بیزی ۷۵

پیوست: ۹۹

مقدمه

از ابتدای اپیدمی کرونا سیاست‌گذاران مداخلات غیر دارویی زیادی را برای کاهش پیک اپیدمی انجام داده‌اند که می‌توان به بستن مدارس و دانشگاه‌ها، بستن مراکزی که تجمع جمعیتی در آن‌ها وجود دارد، همانند استادیوم‌های ورزشی و سایر مداخلات غیر دارویی که به کاهش بزرگی منحنی اپیدمی و توزیع همه‌گیری منجر می‌شوند، اشاره کرد. آگاهی سیاست‌گذار از وضعیت اپیدمی کمک می‌کند تا سیستم بهداشتی و نظام بیمارستانی نیز هر چه سریعتر خود را برای اپیدمی آماده کند. مطالعات زیادی انجام شده است که نشان داده‌اند که حتی اجرای چند روز زودتر مداخلات در کاهش منحنی اپیدمی کووید-۱۹ تأثیر به‌سزایی دارند. برای مثال مطالعه‌ای که توسط مرکز تحقیقات مدل‌سازی دانشگاه علوم پزشکی کرمان انجام شد نشان داد که اجرای یک هفته زودتر مداخلات باعث می‌شود که تعداد مرگ و میر و بیماران مبتلا حدود ۳۵ درصد کاهش یابد. در نتیجه آگاهی به موقع سیاست‌گذاران از وضیت اپیدمی می‌تواند به آن‌ها کمک کند تا در بهترین زمان تصمیم‌گیری کنند و برای کاهش پیک در سریع‌ترین زمان ممکن مداخلات لازم را اجرا کنند.

به همین دلیل سیاست‌گذار به دنبال پیدا کردن روش‌هایی است که بتواند در ابتدا هر چه سریعتر روند صعودی اپیدمی را در شهرستان‌های مختلف متوجه شود و همچنین وضعیت روزانه اپیدمی را نیز در این شهرستان‌ها بداند که آیا وضعیت به صورت هشدار است یا خیر. روشی که در حال حاضر در کشور استفاده می‌شود رنگ‌بندی کووید-۱۹ در شهرستان‌های مختلف کشور می‌باشد که به صورت آبی، زرد و قرمز وضعیت اپیدمی گزارش می‌شود. در مدت حدوداً دو سالی که از اپیدمی گذشته است این روش تا حدود زیادی به سیاست‌گذاران کمک کرده است تا اقدامات لازم را بر اساس وضعیت شهرستان‌های مختلف اجرا کنند. اما به نظر می‌رسد علاوه بر وضعیت اپیدمی، بررسی روند آن و همچنین روش‌های اعلام هشدار اولیه نیز می‌توانند کمک کنند تا سیاست‌گذاران سریع‌تر روند صعودی اپیدمی را کشف کنند و با اجرای به موقع مداخلاتی نظیر بستن مدارس و دانشگاه‌ها، کنسرت‌ها و مکان‌هایی که تجمع افراد در آن‌ها زیاد است از بزرگی منحنی اپیدمی بکاهند.

در بیشتر کشورها از رنگ‌بندی به فرم رایج کشور ایران استفاده نمی‌کنند و در بیماری‌های عفونی و سرایت‌پذیری مانند کرونا، آنفلونزا و ...، اغلب کشورها به دنبال اعلام هشدار و اخطار برای شروع و پایان دوره پیک یک اپیدمی هستند. لذا در این گزارش، تیم حاضر هم به دنبال تعیین نقطه شروع و اعلام خطر شروع یک پیک هستند و هم در کنار آن سعی شده است که به رنگ‌بندی نیز پرداخته شود.

تیم تحقیق مرکز مدلسازی کرمان در ابتدا تعداد زیادی از مدل‌های موجود که هشدار اولیه و رنگ‌بندی کووید-۱۹ را در نقاط مختلف دنیا استفاده کرده بودند، را مورد بررسی قرار داده و سپس به بررسی مدل‌هایی که قابلیت اجرا داشتند پرداخته است و برای ۲۱ شهرستان مختلف کشور، انواع مدل‌های مختلف هشدار اولیه و رنگ‌بندی کووید-۱۹ اجرا شدند که در این گزارش به بررسی هر کدام از آن‌ها پرداخته شده و در نهایت به سیاست‌گذار اعلام می‌شود که کدام روش کمک می‌کند تا بهترین تصمیم را بگیرد.

بررسی متون

با پیدایش بیماری کووید-۱۹، در کشورهای مختلف جهان، مطالعات متعددی به منظور ارائه روش‌ها و مدل‌های مختلف تعیین هشدار زود هنگام و یا رنگ‌بندی شهرها در جهت اعمال محدودیت‌های خاص برای کنترل این بیماری، انجام شده است. در ادامه به برخی از این مطالعات و روش‌ها به اختصار اشاره خواهد شد. در ابتدا روش‌های مختلف رنگ‌بندی و در ادامه مطالعات مرتبط با تعیین هشدار اولیه[1] ارائه خواهد شد.

در ایالت ایندیانا، رنگ‌بندی براساس یک شاخص ترکیبی که حاصل محاسبه میزان مثبت بودن تست‌های هفت‌روزه و بروز موارد جدید هفتگی در ۱۰۰ هزار نفر جمعیت است، انجام شده است. به این منظور شاخص نسبت مثبت بودن تست تشخیصی در هر روز محاسبه و میانگین هفت روز گذشته محاسبه شده (تعداد تست مثبت تقسیم بر تعداد کل تست ها در هر روز) و براساس مقدار محاسبه شده، رنگ و pointهای زیر مشخص می‌شوند [۱]:

- آبی : کمتر از ۵ درصد (0 point)
- زرد: بین ۵ تا ۹/۹ درصد(1 point)
- نارنجی: بین ۱۰ تا ۱۴/۹ درصد(2 point)
- قرمز: ۱۵ درصد یا بیشتر(3 point)

همچنین شاخص بروز هفتگی براساس تقسیم تعداد کل بیماران در یک هفته بر کل جمعیت در هر ۱۰۰ هزار نفر محاسبه شده و سپس رنگ و pointهای زیر مشخص می‌شوند:

- آبی: کمتر از ۱۰ بیمار در هر ۱۰۰ هزار نفر (0 point)
- زرد: ۱۰ تا ۹۹ بیمار در هر ۱۰۰ هزار نفر (1 point)
- نارنجی : ۱۰۰ تا ۱۹۹ بیمار در هر ۱۰۰ هزار نفر (2 point)
- قرمز : ۲۰۰ بیمار و بیشتر در هر ۱۰۰ هزار نفر (3 point)

[1] Early warning signals (EWS)

در نهایت، با ترکیب دو شاخص فوق رنگ‌بندی به صورت زیر انجام می‌شود:

از point دو شاخص میانگین گرفته شده و با توجه به این میانگین رنگ‌بندی به صورت زیر انجام می‌شود:

- آبی : ۰ تا ۰/۵
- زرد: ۱ تا ۱/۵
- نارنجی : ۲ تا ۲/۵
- قرمز : ۳

در ایالت کالیفرنیا، رنگ‌بندی براساس دو شاخص میانگین تعداد بیماران جدید در هفت روز گذشته در ۱۰۰ هزار نفر و درصد تست‌های مثبت روزانه انجام شده است [۲].

- بنفش: میانگین تعداد بیماران جدید در هفت روز گذشته در ۱۰۰ هزار نفر بیشتر از ۷ و درصد تست‌های مثبت روزانه بیشتر از ۸ درصد باشد.
- قرمز: میانگین تعداد بیماران جدید در هفت روز گذشته در ۱۰۰ هزار نفر بین ۴ تا ۷ و درصد تست‌های مثبت بین ۵ تا ۸ درصد باشد.
- نارنجی: میانگین تعداد بیماران جدید در هفت روز گذشته در ۱۰۰ هزار نفر بین ۱ تا ۳/۹ و درصد تست‌های مثبت بین ۲ تا ۴/۹ درصد باشد.
- زرد: میانگین تعداد بیماران جدید در هفت روز گذشته در ۱۰۰ هزار نفر کمتر از یک و درصد تست‌های مثبت روزانه کمتر از دو درصد باشد.

کاستولاس و همکاران (۲۰۲۱)، از داده‌های موارد جدید کووید-۱۹ ایتالیا و نیویورک از تاریخ ۲۲ ژانویه ۲۰۲۰ تا آوریل ۲۰۲۱، به منظور معرفی یک شاخص جدید هشدار اولیه، شاخص نوسانات همه‌گیر[۲] (EVI)، برای همه‌گیری‌ها استفاده کرده‌اند [۳]. این شاخص یک ابزار جدید و از نظر مفهومی ساده، برای هشدار اولیه امواج همه‌گیری‌ها معرفی می‌کند.

[۲] Epidemic Volatility Index (EVI)

شاخص نوسانات همه‌گیر از تغییرات نسبی انحراف‌معیار تعداد بیماران جدید روزانه یک دوره m روزه با یک تاخیر نسبت به m روز قبل محاسبه می‌شود:

$$s_t = \sqrt{\frac{1}{m}\sum_{i_t=1}^{m}\left(x_{i_t} - \overline{x}_t\right)^2}$$

$$EVI_{t-1,t} = \frac{s_t - s_{t-1}}{s_{t-1}}$$

هرگاه این شاخص از یک مقدار مانند c، عددی بین صفر و یک، بزرگتر باشد و تعداد بیماران در زمان مورد نظر بزرگتر از میانگین تعداد بیماران گزارش شده در هفته قبل باشد آنگاه وضعیت قرمز اعلام می‌شود:

$$Ind_{EVI_{t-1,t}} = \begin{cases} 1 \ if \ EVI_{t-1,t} \geq c \wedge y_t \geq \overline{\mu}_{t:t-7} \\ 0 \ \text{otherwise} \end{cases}$$

مقادیر c و m را به‌گونه‌ای محاسبه می‌شوند که شاخص یودن، youden Index= sensitivity+ spesifity-1، ماکزیمم شود. مقادیر m و c به صورت روزانه به روزسانی می‌شوند. حداکثر مقدار m، عدد ۳۰ درنظر گرفته می‌شود که تحت‌تاثیر پیک‌های قبلی کرونا قرار نگیرد. حساسیت و ویژگی مورد استفاده در شاخص یودن به صورت زیر تعریف می‌شوند:

حساسیت: احتمال اینکه شاخص EVI، اپیدمی را در صورتی که واقعاً اپیدمی رخ داده باشد، تشخیص دهد.

ویزگی: احتمال اینکه در شرایطی که اپیدمی وجود نداشته باشد شاخص EVI نیز اپیدمی را گزارش نکند.

دانیله پروورییو و همکاران (۲۰۲۱)، مطالعه‌ای در زمینه عملکرد سیگنال‌های هشدار اولیه برای پیدایش مجدد بیماری براساس داده‌های کووید-۱۹انجام داده‌اند. در این پژوهش با تجزیه و تحلیل‌های رایج عملکرد سیگنال‌های هشدار اولیه مانند افزایش واریانس و خود همبستگی با استفاده از داده‌های کووید-۱۹ در کشورهای مختلف بررسی شده است. دراین مطالعه نشان داده شده است که سیگنال‌های هشدار اولیه در تشخیص مجدد بیماری موفقیت‌آمیز است همچنین در مواردی نیز این روشها با شکست مواجه شده‌اند. به طور کلی، سیگنال‌های هشدار اولیه می‌توانند برای نظارت فعال بر پویایی اپیدمی مفید باشند، اما عملکرد آنها حساس است. در این مطالعه با پارامتر کنترل R، میانگین تعداد عفونت‌های ثانویه از یک مورد واگیردار در یک جمعیت مستعد است، استفاده شده است. زمانی‌که پارامتر R از مقدار آستانه عدد یک عبور کند، می‌توان از سیگنال‌های هشدار اولیه آماری مانند افزایش واریانس یا خود همبستگی قبل از انتقال استفاده کرد و با برآورد پارامتر R با روش‌های بیزی زنجیره مارکوف- مونت کارلویی و رگرسیون خطی تغییرات R را تعیین نمود.

مطالعه لیو و همکاران (۲۰۲۱)، درباره‌ی پیش‌بینی شیوع محلی کووید-۱۹ و اپیدمی بیماری‌های عفونی بر اساس چشم‌انداز شبکه آنتروپی انجام شده است. در این مطالعه، بر اساس مفهوم Dynamic network marker (DNM) که یک روش محاسباتی است، چشم انداز شبکه آنتروپی (LNE) برای پیش بینی شیوع بیماری اپیدمی پیشنهاد می‌شود. روش LNE می‌تواند به طور کمی، گسترش یک بیماری عفونی در یک شبکه منطقه‌ای را مشخص کند و به این ترتیب سیگنال‌های هشدار اولیه شیوع کووید-۱۹را تشخیص دهد. بر خلاف پیش‌بینی سری زمانی یا تشخیص سنتی مرحله شیوع، هدف روش LNE شناسایی مرحله پیش از شیوع یا مرحله بحران است که به طور کلی ناهنجاری‌های روشنی ندارد اما با پتانسیل بالایی برای ورود به رویداد فاجعه بار/غیرخطی در آینده‌ای نزدیک است، کاربرد دارد. به طور خلاصه، روش LNE تنها به اطلاعات شبکه‌های منطقه جغرافیایی و داده‌های با ابعاد بالا از موارد جدید روزانه نیاز دارد. LNE به عنوان یک روش بدون مدل و داده محور، نیاز به مفروضات خاصی ندارد و عملکرد قابل قبولی در پیش‌بینی شیوع کووید-۱۹ و آنفلوانزای فصلی داشته است. در این مطالعه، نقطه هشدار مقادیر LNE عدد بیشتر از ۲۰ در نظر گرفته شده است [۴].

مطالعه فابیان دابلاندر (۲۰۲۱)، به موضوع هم‌پوشانی مقیاس‌های زمانی که سیگنال‌های هشدار اولیه موج دوم کووید-۱۹ را مبهم می‌کنند، پرداخته است. در این مطالعه، شاخص‌های هشدار اولیه مبتنی بر کندی بحران به‌عنوان ابزاری مستقل و کم‌هزینه برای پیش‌بینی دوباره بیماری‌های عفونی پیشنهاد شده‌اند و از مدل‌های سری زمانی استفاده شده است. هدف بررسی این موضوع است که آیا چنین شاخص‌هایی می‌توانند موج دوم کووید-۱۹ را در کشورهای اروپایی پیش‌بینی کنند یا خیر. برخلاف پیش‌بینی‌های نظری انجام شده، شاخص‌های هشدار اولیه به‌جای افزایش قبل از موج دوم، عموماً کاهش یافتند. شبیه‌سازی‌های نشان می‌دهد که این عدم تفکیک مقیاس زمانی در طول موج دوم همه‌گیری اروپایی COVID-19 قابل انتظار بود. به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که تئوری کند شدن بحران تنها زمانی اعمال می‌شود که فشار خارجی سیستم در یک نقطه بحران نسبت به پویایی سیستم داخلی کند باشد.

چن و همکاران (۲۰۱۹) و دانگ و همکاران (۲۰۲۱)، با استفاده از روش DNM به بررسی تشخیص به موقع و زودهنگام اپیدمی پرداخته‌اند. در کل روند اپیدمی از سه فاز تشکیل شده است فاز اول، فاز نرمال است. فاز دوم، فاز قبل از طغیان و فاز سوم، فاز طغیان است. وقتی که اپیدمی از فاز نرمال به فاز پیش از طغیان تغییر جهت می‌دهد، مدل DNM می‌تواند این تغییر را به سیاستگذاران هشدار دهد. این مدل یک مدل وابسته به داده است. از مزیت‌های این مدل می‌توان به در نظر گرفتن اثر مکانی بین شهرستان ها اشاره کرد برای مثال برای نشان دادن اپیدمی در یک استان تمام شهرستان‌های استان را به عنوان گره[۳] در نظر می‌گیرد. فرض کنید داده تمام شهرستان‌های استان نیز در t روز از شروع اپیدمی جمع‌آوری شده باشد ابتدا به ساخت یک ماتریس به اندازه تعداد شهرستان‌ها در تعداد روزهای اپیدمی می‌پردازد. هر شهرستان با تعدادی از شهرستان‌ها مرز مشترک

[۳] Node

دارد، با ضرب تغییرات واریانس بین این شهرستان‌ها در تغیرات همبستگی بین این شهرستان‌ها یک وزن به‌دست می‌آید. از جمع وزن‌های بین تمامی شهرستان‌ها استفاده شده و تعیین می‌شود که آیا اپیدمی در مرحله پیش از طغیان است یا خیر [۵، ۶].

جمبرت و همکاران (۲۰۲۱)، روشی برای تعیین سیگنال‌های هشدار اولیه ارائه داده‌اند در این روش داده‌های مربوط به موارد جدید کووید-۱۹ را در یک بازه زمانی t روزه درنظر گرفته می‌شود و مدل‌های رگرسیونی مختلف برازش شده و براساس معیار آکائیک[۴] مدل مناسب انتخاب شده و فاصله اطمینان خط رگرسیونی محاسبه شده است. مشاهداتی که خارج از فاصله اطمینان قرار گرفته‌اند به عنوان نقاط پرت درنظر گرفته شده و مشاهداتی که درون این فاصله قرار گرفته‌اند بیانگر وضعیت نرمال هستند. مواردی که بیشتر از حدبالای فاصله اطمینان هستند به عنوان نقاط هشدار اپیدمی و مواردی که کمتر از حدپایین فاصله اطمینان قرار دارند بیانگر وضعیت کاهشی هستند. اشکالی که به این روش وارد است این است که نوسانات داده‌ها باعث بروز خطا در این روش می‌شود. یکی از راه های برطرف کردن این اشکال می‌تواند هموار کردن داده با روش میانگین-متحرک باشد [۷].

مطالعه دانکن و همکاران (۲۰۲۱)، براساس داده‌های موارد جدید کوید ۱۹ در بریتانیا انجام شده است. هدف بیان سیگنال‌های هشدار اولیه پیش‌بینی تغییرات در سیستم‌های پیچیده در داده‌های سری زمانی است. اخیراً نشان داده شده است که این سیگنال‌ها قبل از ظهور اولیه شیوع بیماری ظاهر می‌شوند و این امید را ایجاد می‌کنند که سیاست‌گذاران بتوانند تصمیم‌های مدیریتی پیش‌بینی‌کننده و نه واکنشی اتخاذ کنند. در این مطالعه با استفاده از داده‌های روزانه مواردکووید-۱۹، نشان داده شده که سیگنال‌های هشدار اولیه ترکیبی متشکل از واریانس، خودهمبستگی و نرخ بازگشت به منظور آشکارسازی پیدایش اولیه موارد و پیش بینی ظهور مجدد آن قابل استفاده است. در این مطالعه، برای ارزیابی افزایش و کاهش آنی موارد کووید-۱۹ و تعریف «امواج»، مدل‌های تعمیم‌یافته جمعی[۵] برای موارد روزانه کووید-۱۹ برازش داده شده است. نقاط عطف سری‌های زمانی، که نشان‌دهنده شروع و بهبود امواج کووید-۱۹ است، براساس تفاوت معنی‌دار مشتق اول مدل برازش شده از صفر تعریف شده و با فواصل اطمینان نقطه‌ای ۹۵٪ ارزیابی شدند. شروع موج با یک مشتق اول مثبت و معنی‌دار که برای هفت نقطه زمانی بعد از ایستایی حفظ شود، مشخص شده، در حالی‌که فرونشست موج توسط یک دوره ثابت بعد از منفی و معنی‌دار شدن مشتق، لحاظ شده است. انتخاب هفت نقطه زمانی براساس دوره نهفتگی ویروس SARS-CoV-2 انجام شده است. در این مطالعه، تمرکز بر روی دو شاخص رایج سیگنال‌های هشدار اولیه، واریانس و خودهمبستگی در اولین تاخیر (ACF) و همچنین نرخ بازگشت بوده است. هر شاخص با کم کردن میانگین بسط داده شده آن از مقدار محاسبه شده آن در زمان t و تقسیم بر انحراف استاندارد بسط داده شده، نرمال شده و سپس یک مقدار ترکیبی با جمع کردن تمام مقادیر شاخص فردی محاسبه شده در هر نقطه زمانی

[۴] Akaike information criterion

[۵] Generalized addittive models

ساخته شده است. بنابراین، زمانی‌که مقدار ترکیبی از میانگین بسط داده شده خود از ۲σ بیشتر شود یک هشدار وجود دارد. آستانه ۲σ بر اساس معادل بودن آن با فاصله اطمینان ۹۵ درصد و عملکرد مطلوب آن در مقایسه با سایر سطوح آستانه انتخاب شده است. از آنجایی که میانگین بسط داده شده، مبنای ارزیابی است، موج قبلی اغلب دومی را پنهان می کند. به‌همین دلیل، هنگامی‌که یک موج فروکش کرد، ارزیابی سیگنال‌های هشدار اولیه مجدداً شروع می‌شود یعنی سری زمانی از نقطه پایان موج برش داده می‌شود. این منجر به ارزیابی یک موج خاص و مستقل از امواج قبلی می‌شود. به طور مشابه، رویکرد پنجره در حال گسترش مستعد سیگنال های مثبت کاذب در شروع است ارزیابی با توجه به طول سری زمانی کوتاه و تنوع زیاد زمانی که نقاط داده کمی به الگوریتم ارائه می شود. برای کاهش این امر، یک دوره burn-in هفت روزه قبل از ارزیابی مقدار شاخص به دست آمده برای "آموزش" سیگنال ها معرفی شده است. برای مقایسه Robustness شاخص‌ها، یک "هشدار" در دو سناریو در نظر گرفته شد. اول، زمانی که سیگنال اولیه شناسایی شده، و دوم اینکه آیا سیگنال ها برای هفت مرحله زمانی متوالی شناسایی شده اند یا خیر. شواهد نشان می‌دهد که یک سیگنال پایدار برای دو مرحله زمانی برای کاهش فراوانی مثبت کاذب کافی است. اگرچه این مطالعه شواهدی برای سودمندی شاخص‌های سیگنال‌های هشدار اولیه ارائه می‌کند، اما کاربرد این روشها اغلب تحت تاثیر کیفیت داده‌های موجود است. اشکالات گزارش دهی و دقیق نبودن تاریخ شروع عفونت (زمان ارائه نتیجه تست لحاظ می شود) و لحاظ نشدن مواردی که تست نداده‌اند از جمله این مشکلات است. اما از آنجا که سیگنال‌های هشدار اولیه مبتنی بر بروز بیماری اغلب رفتار منحصر به فردی را در مقایسه با همان شاخص‌های مبتنی بر شیوع بیماری نشان می‌دهند، این مطالعه نشان می‌دهد که سیگنال‌های هشدار اولیه هنوز هم می‌توانند انتقال‌های حیاتی در داده‌های روزانه را از طریق گسترش پنجره زمانی مورد بررسی، تشخیص دهند [۸].

مطالعه پورقاسمی و همکاران (۲۰۲۰)، به منظور تحلیل عوامل خطر شیوع ویروس کرونا برای شناسایی مناطق پرخطر و ارزیابی سرایت کووید-۱۹ در استان فارس بوده است. در این مطالعه از مشاهدات روزانه موارد ابتلا استفاده شده است. ماشین بردار پشتیبان[۶] مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، برای ارزیابی خطر شیوع کووید-۱۹ مورد استفاده قرار گرفته است. از رگرسیون Ridge برای تعیین متغیرهای تاثیرگذار بر کووید-۱۹ و از مدل‌های چندجمله‌ای و میانگین متحرک اتورگرسیو[۷] برای بررسی الگوهای آلودگی به ویروس در فارس و ایران استفاده شده است. بر اساس سطح زیر منحنی راک، این مدل برازش خوبی داشته است. از نتایج این مدل برای رنگ‌بندی مناطق استفاده شده است. شانزده عامل برای نقشه‌بندی خطر شیوع کووید-۱۹ در استان فارس انتخاب شده که شامل حداقل دمای سردترین ماه، حداکثر دمای گرم ترین ماه، بارش در مرطوب‌ترین ماه، بارش خشک-ترین ماه، فاصله از جاده‌ها، فاصله از مساجد، فاصله از بیمارستان‌ها، فاصله از جایگاه‌های سوخت، ردپای انسان، تراکم شهرها،

[6] Support vector mechine (SVM)

[۷] Autoregressive integrated moving average

فاصله از ایستگاه های اتوبوس، فاصله از بانک ها، فاصله از نانوایی ها، فاصله از مکان‌های دیدنی، فاصله از دستگاه‌های خودپرداز بانک و تراکم روستاها، هستند [۹].

در مطالعه پلوچینو و همکاران (۲۰۲۱)، از یک چارچوب مبتنی بر داده برای ارزیابی ریسک در مناطق جغرافیایی مختلف ایتالیا و تعیین مناطق پرخطر استفاده شده است. شاخص ریسک مورد استفاده، تابعی از سه مولفه مختلف (مخاطره بیماری، مواجهه و آسیب پذیری) است. برای هریک از مناطق ۲۰گانه ایتالیا از متغیرهای شاخص تحرک جمعیت، تمرکز مسکن، تراکم مراقبت‌های بهداشتی، آلودگی هوا، میانگین دمای زمستان و سن جمعیت استفاده شده است. انتخاب این متغیرها مبتنی بر بررسی متون با در نظر گرفتن سهولت دسترسی و توزیع نابرابر آنها در مناطق مختلف ایتالیا بوده است. در روش ارائه شده شاخص ترکیبی که براساس این متغیرها ساخته شده، به عنوان یک شاخص قابل اعتماد در داده های ایتالیا در دو مقطع زمانی یکی نزدیک به اوج (پیک) همه‌گیری و دیگری پایان موج همه‌گیری ارزیابی شده است. در این مطالعه، ارتباط متغیرهای انتخابی نرمال شده، به طور جداگانه با شاخص‌های تاثیر اصلی اپیدمی کووید-۱۹، یعنی مجموع موارد و کل مرگ‌ومیرهای شناسایی‌شده در مناطق مختلف ایتالیا بررسی شده است. ارزیابی ریسک و کالیبراسیون داده‌های کووید-۱۹، مبتنی بر تئوری ارزیابی ریسک مرسوم بر "مثلث ریسک کرایتون"، بوده است. در این چارچوب، ریسک به عنوان تابعی از سه مولفه ارزیابی شده است: مخاطره، مواجهه و آسیب پذیری. مخاطره، احتمال بالقوه یک رویداد برای ایجاد آسیب است (مانند زلزله، سیل، بیماری های همه گیر). مواجهه، مقدار دارایی‌های در معرض آسیب (مانند ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها، جمعیت) را اندازه گیری می‌کند. آسیب‌پذیری عبارت است از آسیب‌پذیری دارایی‌ها در صورت قرار گرفتن در معرض رویدادهای مخاطره‌آمیز (مانند ویژگی‌های ساختمان، سیستم‌های زهکشی، سن جمعیت). ریسک تنها زمانی وجود دارد که هر سه جزء در یک مکان وجود داشته باشند. این رویکرد که برای اولین بار در صنعت بیمه مورد استفاده قرار گرفت، سپس برای ارزیابی خطرات توزیع شده مکانی در بسیاری از زمینه‌های مدیریت بلایا، مانند موارد مرتبط با تأثیر تغییرات آب و هوا و زلزله، توسعه یافته است. در این مطالعه، مخاطره به عنوان درجه انتشار ویروس در جمعیت مناطق ایتالیا در نظر گرفته شده است (متأثر از مجموعه ای از عوامل، مربوط به ویژگی های فضایی و اجتماعی-اقتصادی منطقه است). مواجهه، تعداد افرادی است که ممکن است به طور بالقوه در نتیجه خطر به ویروس آلوده شوند (باید با اندازه جمعیت منطقه مطابقت داشته باشد). آسیب‌پذیری تمایل یک فرد مبتلا به بیماری یا مرگ است (به طور کلی، به شدت به سن و شرایط سلامتی قبل از عفونت مرتبط است). ترکیبی از آسیب‌پذیری و مواجهه پیامد نامیده شده است. در این مطالعه، دو مدل پیشنهاد شده است که از نظر شاخص‌های ریسک متفاوت هستند. در مدل اول، مخاطره و آسیب‌پذیری در یک تابع وابسته منفرد از شش شاخص ترکیب شده، و در مدل دوم، که در آن خطر و آسیب پذیری به ترتیب به عنوان توابع وابسته به شاخص تحرک، تراکم منازل و توزیع مراکز مراقبت های بهداشتی از یک سو و آلودگی هوا، میانگین دمای زمستان و

سن جمعیت از سوی دیگر، در نظر گرفته شده‌اند. درنهایت براساس مدل نهایی که برازش بهتری به داده‌ها داشته است، مناطق پرخطر و کم‌خطر را مشخص نموده‌اند [۱۰].

با توجه به انواع داده‌های مختلف، روش‌های هشدار اولیه را می‌توان به مدل‌های هشدار اولیه زمانی، مکانی، مکانی و زمانی، مدل های رگرسیونی و تکنیک های هشدار اولیه بر اساس منابع چندگانه داده تقسیم کرد. در جدول زیر مدل‌های مختلف به همراه ویژگی‌های آنها به صورت خلاصه آورده شده است :

Model	Definition	Features	Method
Time early warning models	به توزیع زمانی یا ویژگی‌های دینامیکی شاخص‌های پایش بیماری در یک منطقه خاص می پردازد که آیا وقوع بیماری‌های عفونی به طور قابل‌توجهی افزایش یافته است یا خیر؟	فرآیند استفاده ساده است و نتایج به راحتی قابل درک است، اما عدم استفاده کامل از اطلاعات مکانی در داده ها باعث ایجاد محدودیت های خاصی می شود.	Control chart method, Moving average control chart method, Moving percentile method, Cumulative sum control chart (CUSUM), EWMA, Exponentially weighted moving average method. Stationary time series, Temporal regression models, Autoregressive models (AR) and Autoregressive integrated moving average models (ARIMA)
Spatial early warning models	به توزیع مکانی یا ویژگی‌های دینامیکی شاخص‌های پایش بیماری در یک زمان خاص یا در تمام نقاط زمانی می پردازد و بررسی می شود که آیا تجمع فضایی آشکار وجود دارد یا خیر. شرط لازم برای	ویژگی های مکانی شاخص های پایش، به ویژه تجمع فضایی بیماری های عفونی را آشکار کند.	Geographic information systems (GIS) Remote Sensing (RS) Kulldorff's space scan statistic The Rogerson spatial model

	استفاده، این است که یک موقعیت جغرافیایی در داده های مورد بررسی وجود داشته باشد.		
Spatiotemporal warning model	نظارت همزمان بر تغییرات شاخص ها در دو بعد زمانی و مکانی.	دقت بیشتر بهبود یافته است.	Spatiotemporal scanning statistics, Forward-looking spatiotemporal rearrangement scanning statistics, The Knox method, Dynamic network marker/biomarker
Early Warning Models Based on Regression	داده های نظارتی (به عنوان مثال، تعداد موارد و مرگ و میر، موارد جدید ابتلا)، که در بیماری های عفونی رایج هستند، مورد نیاز است.	Trends, cycles, و seasons سایر عناصر داده های نظارتی که می توان از آنها برای ساخت مدل های هشدار اولیه استفاده کرد.	Linear and Poisson regression, The Serfling method.
Early Warning Techniques Based on Multiple Sources of Data	داده‌های چند منبعی داده‌هایی هستند که از چندین منبع برای برآورده کردن یک هدف نظارتی مشترک جمع‌آوری می‌شوند.	اعتبار بالاتر داده ها	Multifactor analyses, multivariate-regression, stepwise discriminant, multivariate statistical process control, biological change-models. point detector, and WSARE

منابع :

1. Color-coded County Maps. URL: https://www.coronavirus.in.gov/map/CountyScoringMapDetails.pdf
2. California's Color-Coded County Tier System. URL: https://emd.saccounty.gov/EMD-COVID-19-Information/Documents/California-Color-Coded-Tier-System--en.pdf
3. Kostoulas P, Meletis E, Pateras K, Eusebi P, Kostoulas T, Furuya-Kanamori L, Speybroeck N, Denwood M, Althaus CL, Kirkeby C: The epidemic volatility index, a novel early warning tool for identifying new waves in an epidemic. *Scientific reports* 2021, 11 **(1):1-10.**
4. Liu R, Zhong J, Hong R, Chen E, Aihara K, Chen P, Chen L: Predicting local COVID-19 outbreaks and infectious disease epidemics based on landscape network entropy. *Sci Bull* 2021, 10.
5. Chen P, Chen E, Chen L, Zhou XJ, Liu R: Detecting early-warning signals of influenza outbreak based on dynamic network marker. *Journal of* cellular *and molecular medicine* 2019, 23(1):395-404.
6. Dong M, Zhang X, Yang K, Liu R, Chen P: Forecasting the COVID-19 transmission in Italy based on the minimum spanning tree of dynamic region network. *PeerJ* 2021, 9:e11603.
7. Jombart T, Ghozzi S, Schumacher D, Taylor TJ, Leclerc QJ, Jit M, Flasche S, Greaves F, Ward T, Eggo RM: Real-time monitoring of COVID-19 dynamics using automated trend fitting and anomaly detection. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 2021, 376(1829):20200266.
8. O'Brien DA, Clements CF: Early warning signals predict emergence of COVID-19 waves. *medRxiv* 2021.
9. Pourghasemi HR, Pouyan S, Farajzadeh Z, Sadhasivam N, Heidari B, Babaei S, Tiefenbacher JP: Assessment of the outbreak risk, mapping and infection behavior of COVID-19: Application of the autoregressive integrated-moving average (ARIMA) and polynomial models. *Plos one* 2020, 15(7):e0236238.
10. Inturri G, Latora V, Le Moli R, Rapisarda A, Russo A, Pluchino A, Biondo A, Giuffrida N, G, Zappalà C: A novel methodology for epidemic risk assessment of COVID-19 outbreak. *Scientific Reports* 2021, 11(1):1-20.

گزارش رنگ‌بندی و تعیین هشدار اولیه و دوره پیک در 21 شهر انتخابی کشور

جهت مشخص نمودن نقاط هشدارهای اولیه و در نهایت رنگ‌بندی کرونایی شهر های کشور، نگاه ما به مدل‌های مختلف، از جنبه بررسی روند تغییرات بر اساس داده‌های گذشته بوده است.

در ادامه،پنج روش مورد بررسی قرار گرفته‌اند که در هر روش ابتدا روش معرفی می‌گردد و سپس نتایج آن برای شهرهای منتخب ارایه می‌شود. بیست و یک شهر موردنظر به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند و شامل شهرهای بزرگ و متوسط و کوچک هستند. شهر های مورد نظر شامل تهران، ساری، محمودآباد، یزد، مهریز،کرمانشاه، جوانمرد، بیرجند، سربیشه، بندر عباس، هرمز، مشهد، قوچان، تبریز، مرند، اهواز، شادگان، زاهدان، چابهار، اصفهان و نطنز هستند.

مدل‌های مورد نظر برای داده‌های موارد روزانه بستری در بیمارستان‌ها، بر حسب نتیجه تست، (مثبت، منفی و نامشخص) از تاریخ ۲۰۲۰/۰۱/۲۱ معادل اول بهمن ماه ۱۳۹۸ تا ۲۰۲۱/۱۱/۱۸ معادل ۲۷ آبان ۱۴۰۰ بود، برازش داده شده است.

نحوه محاسبه تعداد بستری‌های هر روز به صورت ذیل است:

تعدادبستری هر روز= (تعداد بستری تست مثبت) + (تعداد بستری تست منفی) ×۰,۵+ (تعداد بستری تست نامشخص) ×۰,۷

مدل 1 : بررسی روند (مدل میلاد)

مدل اول که در ادامه توضیحات آن داده شده است، از جنبه های زیر، دارای نقاط قوت است:

۱. روند گذشته را مورد بررسی قرار می‌دهد.
۲. قابلیت مشخص نمودن، افزایش یا کاهش‌های کوچک در تعداد موارد گزارش‌شده
۳. عدم تأخیر در مشخص نمودن پیک‌ها

روش اجرا:

در هر شهر ابتدا داده‌ها به‌صورت بازه‌های پنج روزهاز آخر به اول جدا می‌شوند. سپس میانگین تعداد بستری هر ۵ روز، محاسبه می‌گردد. برای شاخص رنگ‌بندی و مشخص نمودن نقاط هشدار اولیه روند، تغییرات در طول ۲۰ روز پیش تاکنون، با استفاده از شاخص SQ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این شاخص عددی بین صفر و یک است، که عدد یک نشان‌دهنده افزایش و صفر کاهش را نشان می‌دهد. شاخص به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$M_i =$ میانگین بستری درپنج روز

$M_0 =$ میانگین بستری پنج روز کنونی

$$SQ_5 = \frac{M_0 - Min(M_0, M_i, M_{i-1}, \dots M_{i-4})}{Max(M_0, M_i, M_{i-1}, \dots M_{i-4}) - Min(M_0, M_i, M_{i-1}, \dots M_{i-4})}$$

$$SQ_4 = \frac{M_0 - Min(M_0, M_i, M_{i-1}, \dots M_{i-3})}{Max(M_0, M_i, M_{i-1}, \dots M_{i-3}) - Min(M_0, M_i, M_{i-1}, \dots M_{i-3})}$$

$$\vdots$$

$$SQ_1 = \frac{M_0 - Min(M_0, M_i)}{Max(M_0, M_i) - Min(M_0, M_i)}$$

رنگ قرمز : هرگاه میانگین ۵ روز کنونی، از میانگین حداقل ۱۵ روز قبل به صورت متوالی افزایش داشته باشد، افزایشی در نظر گرفته می‌شود (همه ۵ تا SQ مقدار یک به خود می‌گیرند).

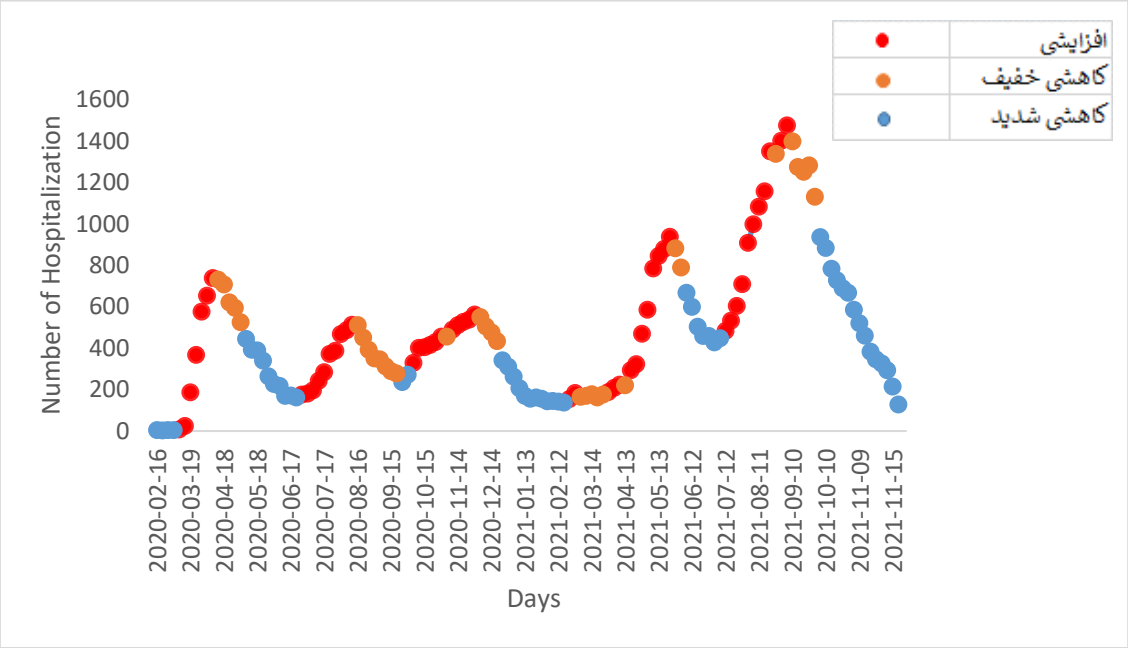
رنگ آبی: هرگاه میانگین ۵ روز کنونی، از میانگین ۲۰ روز گذشته به صورت پیوسته و متوالی کاهش داشته باشد، آن را کاهش در نظر گرفته می‌شود (همه ۵ تا SQ مقدار صفر به خود می‌گیرند).

هرگاه روند به صورت کاهشی یا افزایشی متوالی نبود رنگ‌بندی به‌صورت ذیل است:

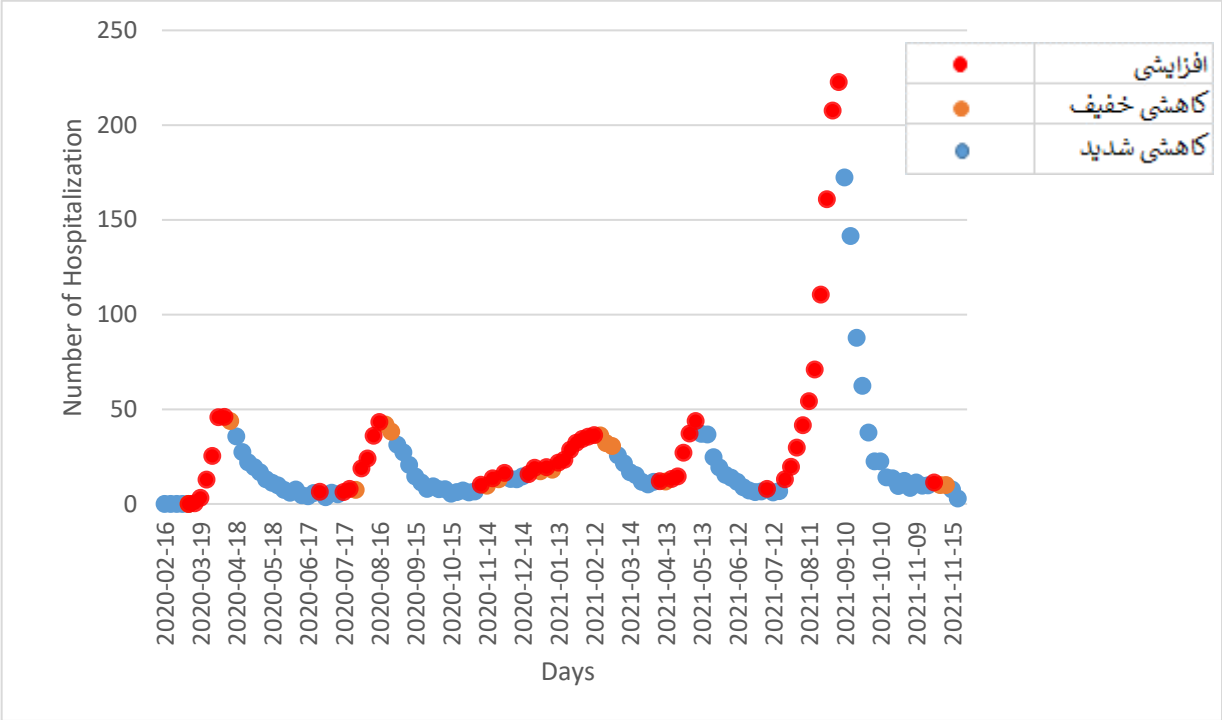
رنگ نارنجی: هرگاه میانگین ۵ روز کنونی، از میانگین ۵ روز قبل خود، کمتر از ۱۵ درصد کاهش داشته باشد.

رنگ آبی: هرگاه میانگین ۵ روز کنونی، از میانگین ۵ روز قبل خود، بیشتر از ۱۵ درصد کاهش داشته باشد.

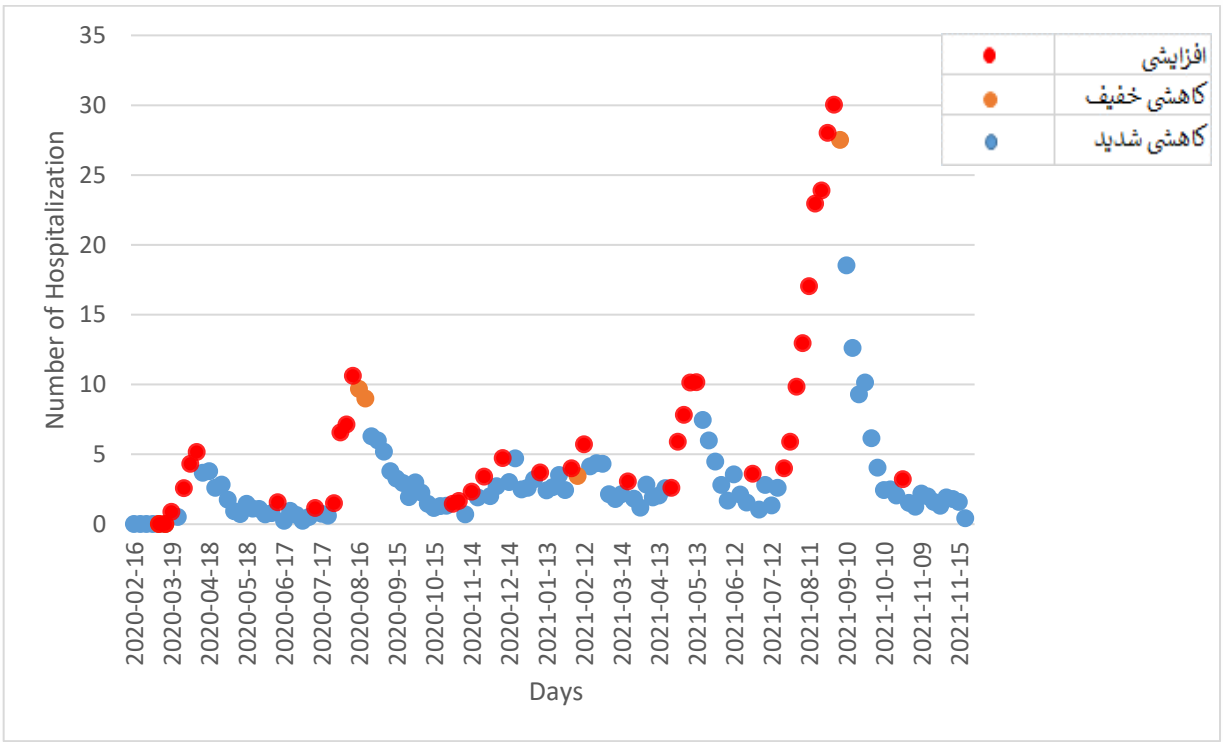
در ذیل نمودار رنگ‌بندی ۲۱ شهر کشور، نشان داده شده است.



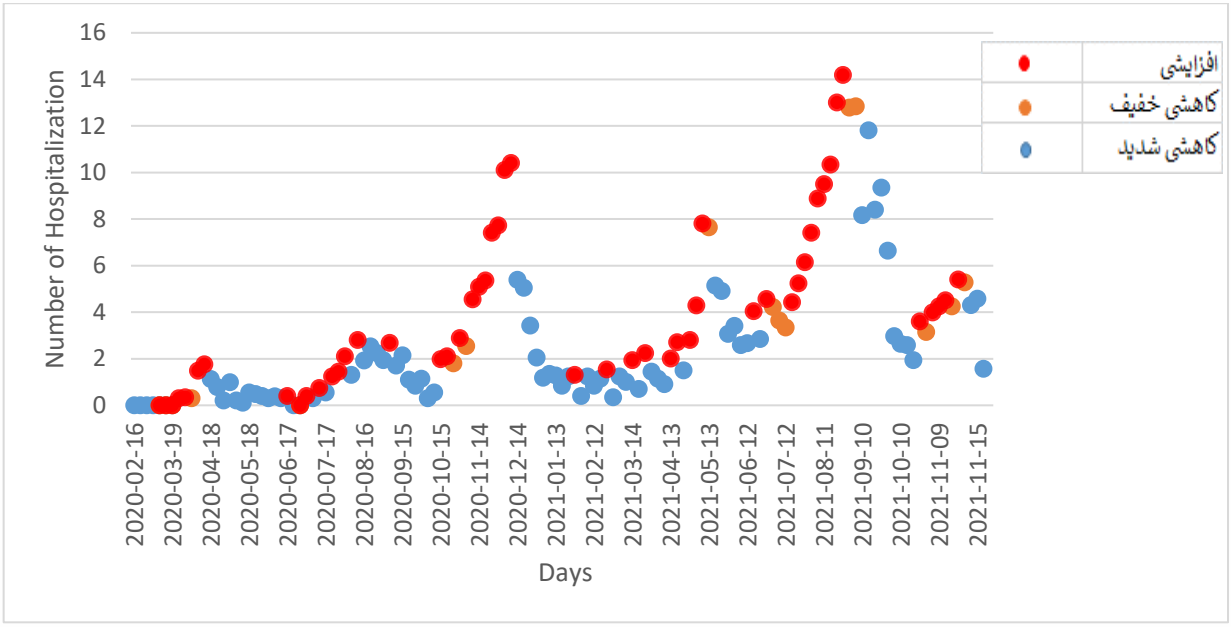
نمودار رنگبندی شهر تهران بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



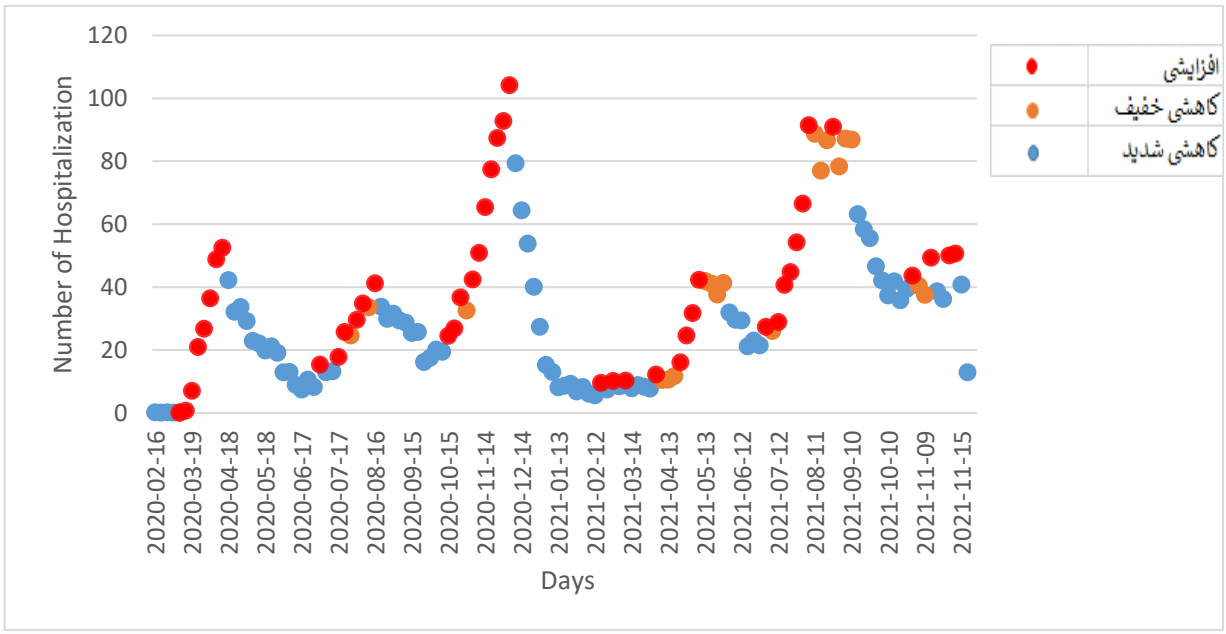
نمودار رنگبندی شهر ساری بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



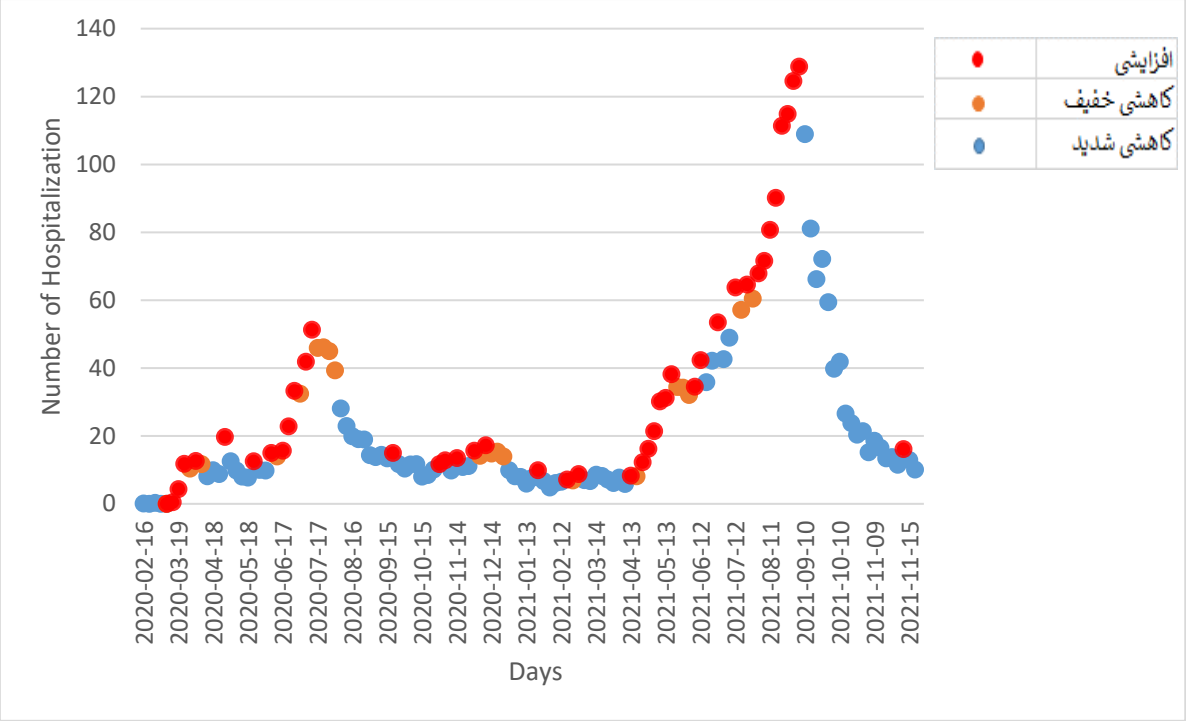
نمودار رنگ‌بندی شهر محمودآباد بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



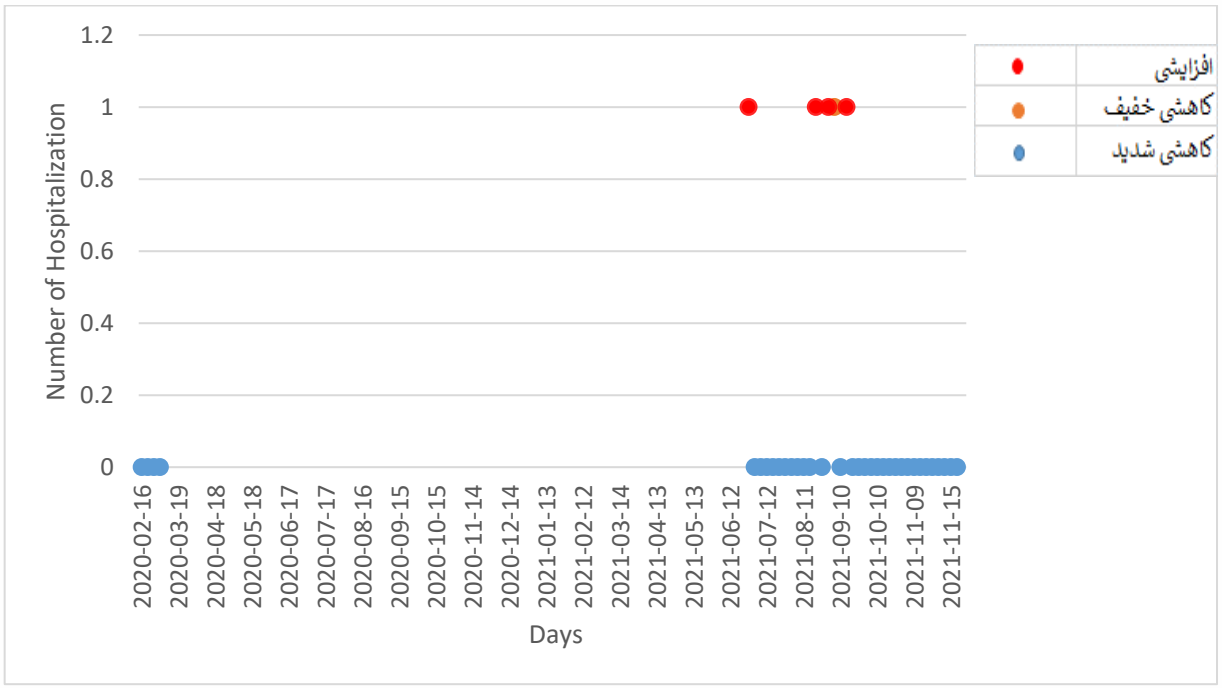
نمودار رنگ‌بندی شهر مهریز بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



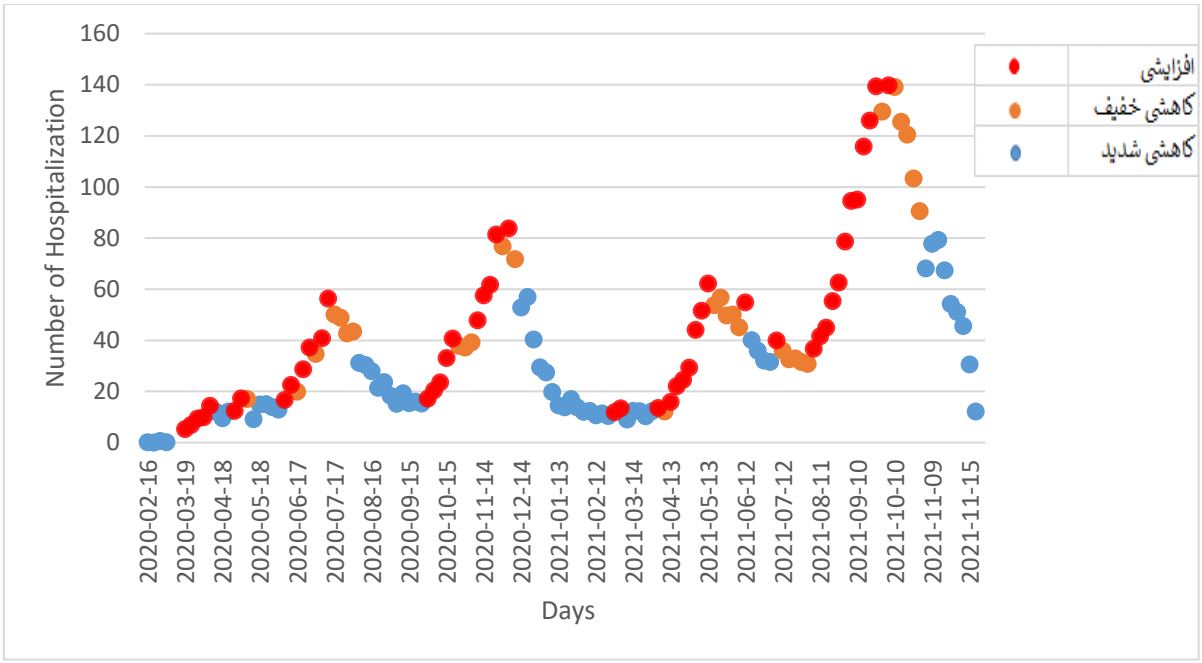
نمودار رنگ‌بندی شهر یزد بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



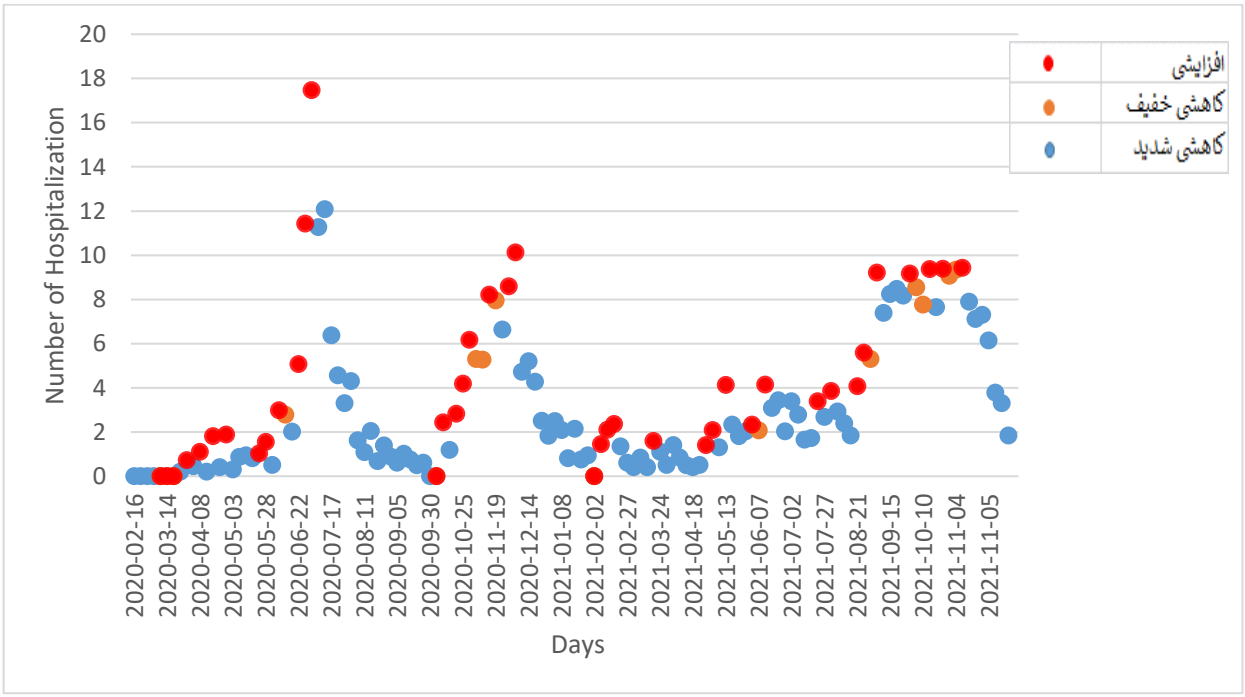
نمودار رنگ‌بندی شهر بندرعباس بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



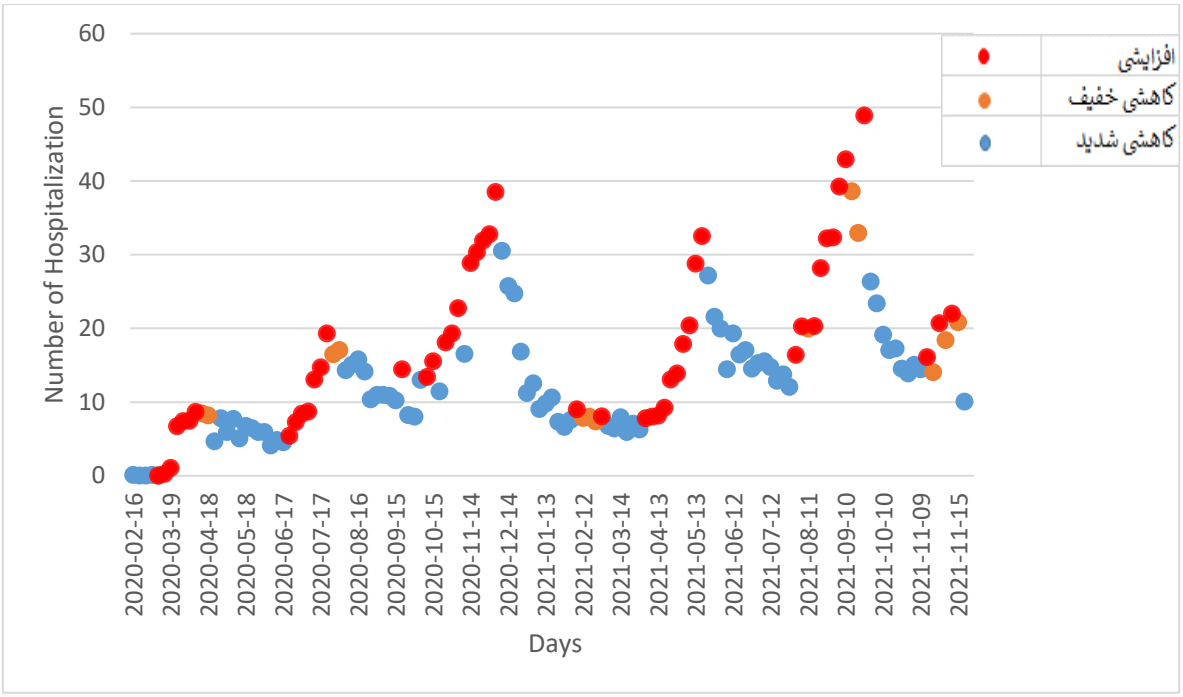
نمودار رنگ‌بندی شهر هرمز بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



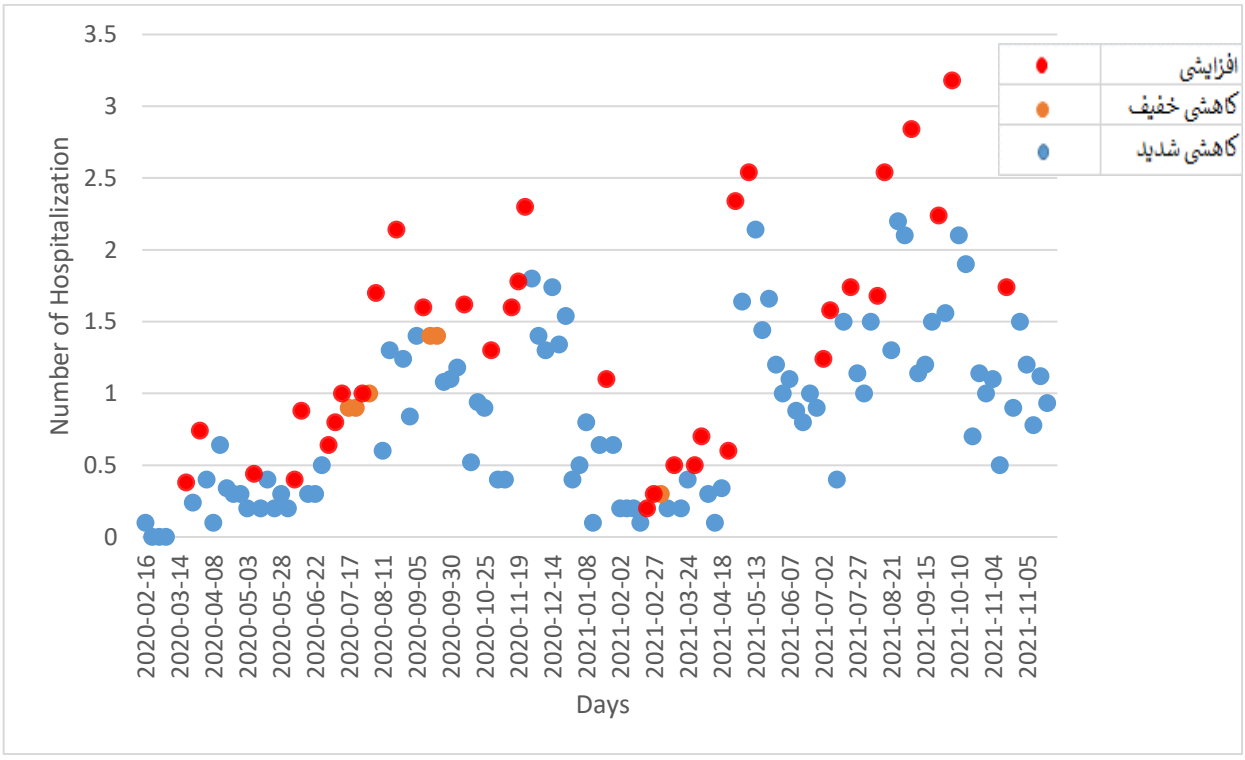
نمودار رنگ‌بندی شهر کرمانشاه بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



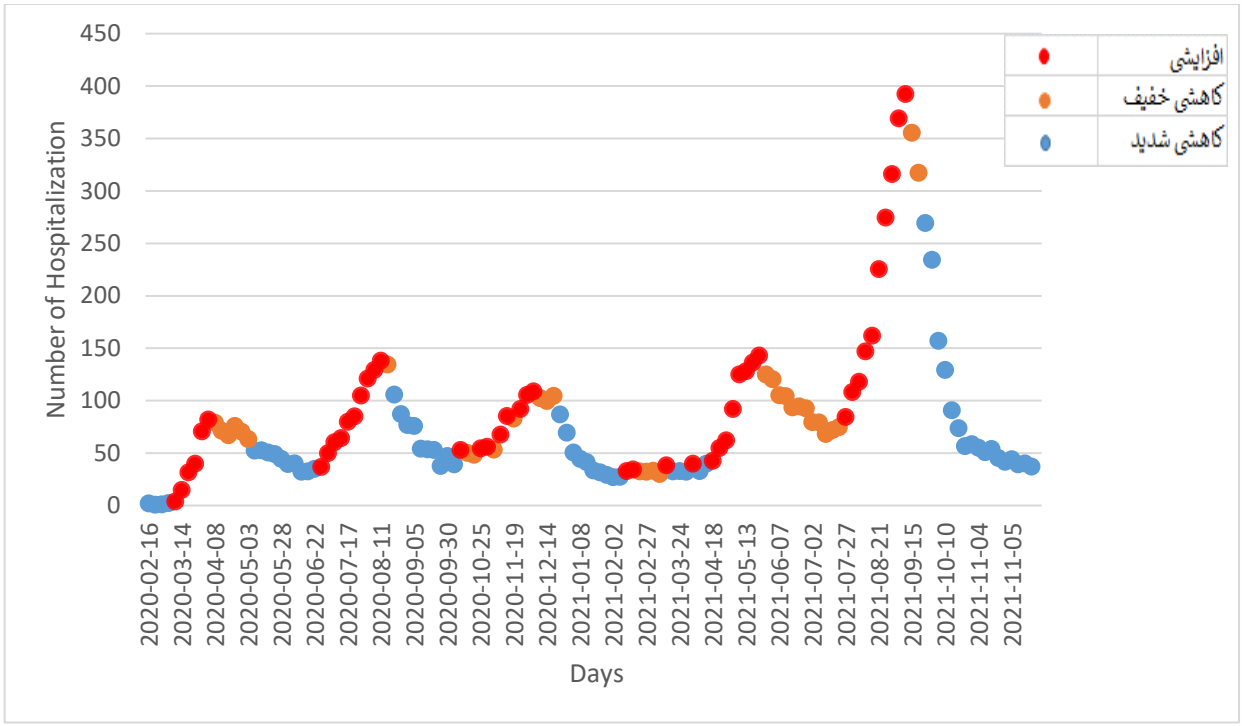
نمودار رنگ‌بندی شهر جوانرود بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



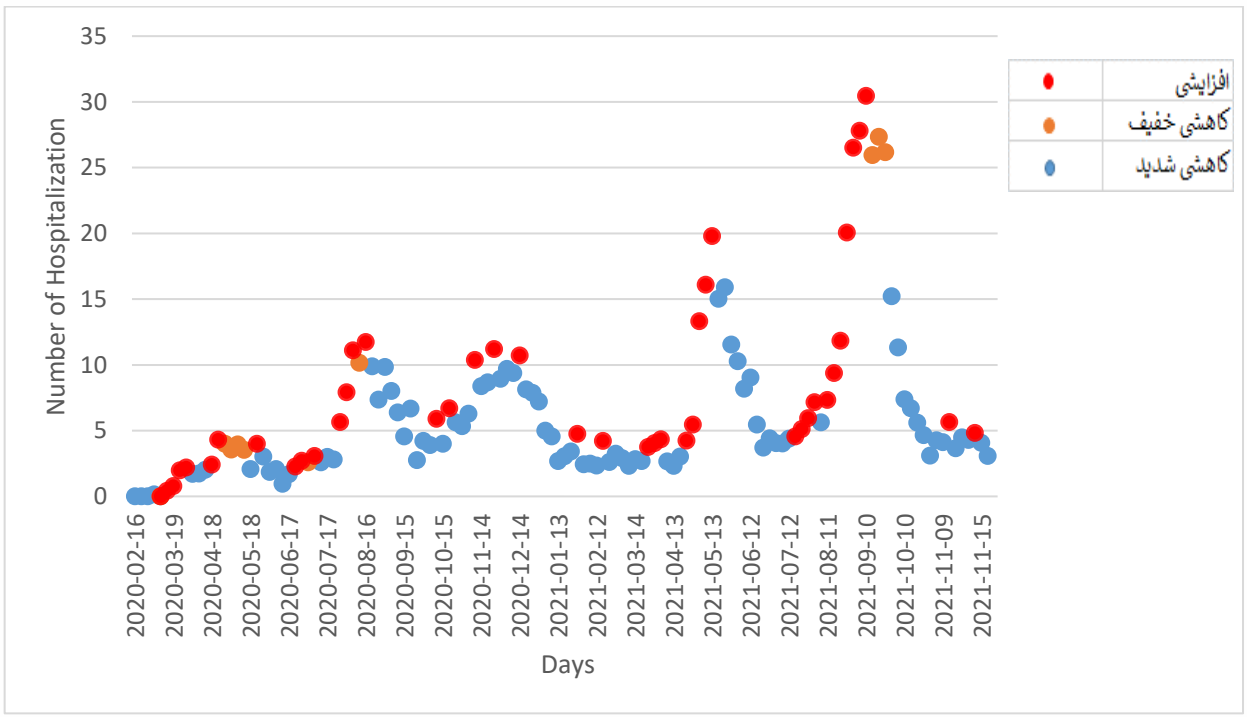
نمودار رنگ‌بندی شهر بیرجند بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



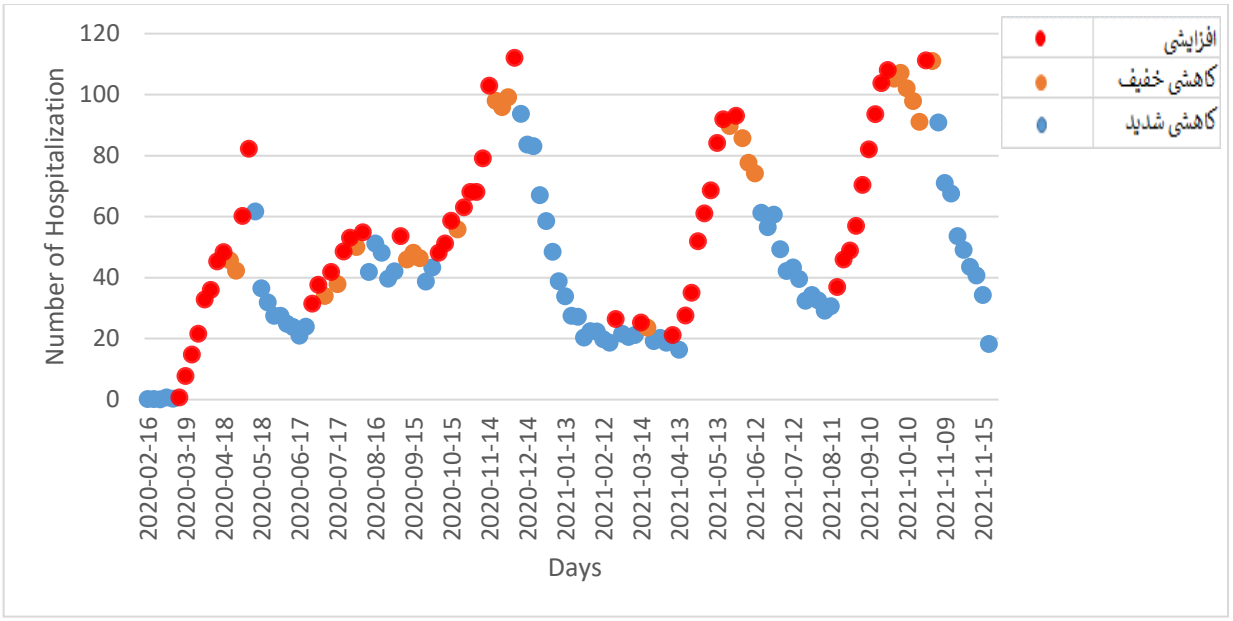
نمودار رنگ‌بندی شهر سربیشه بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



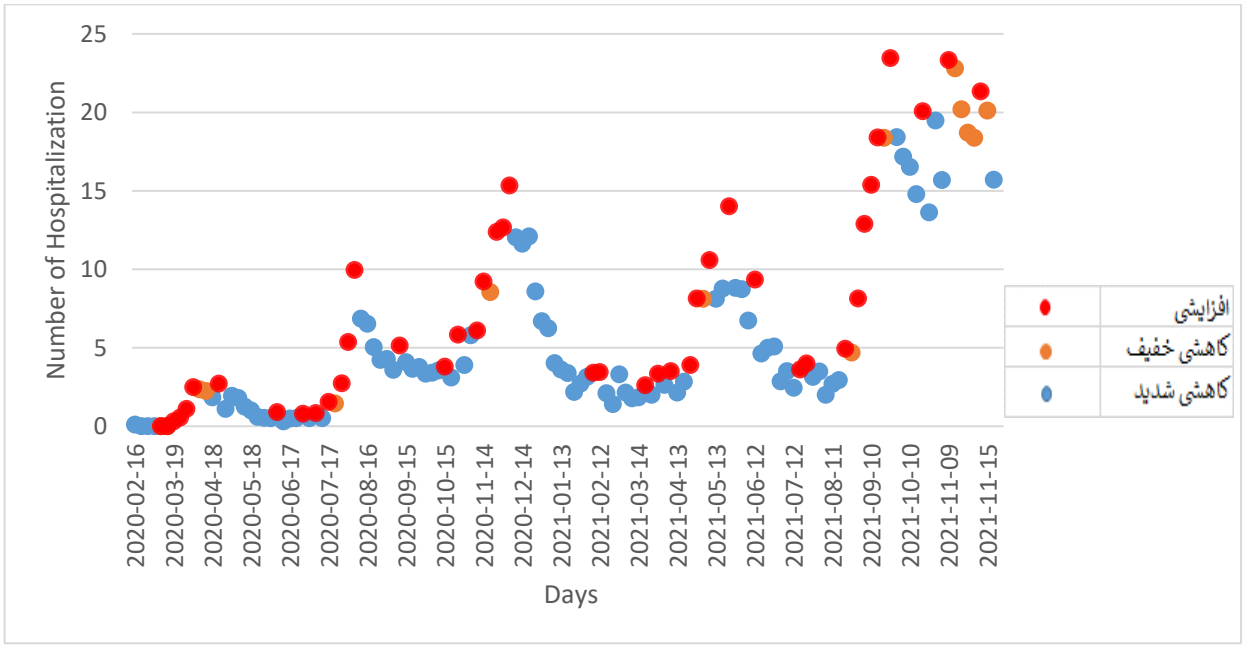
نمودار رنگ‌بندی شهر مشهد بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



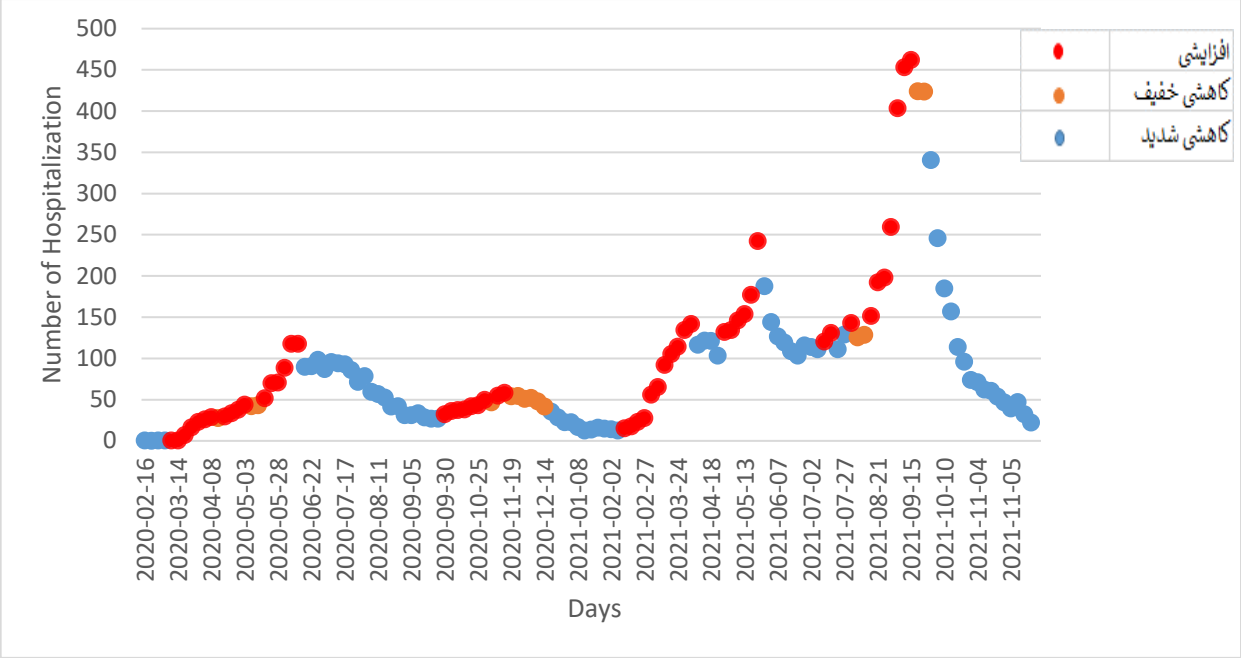
نمودار رنگ‌بندی شهر قوچان بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



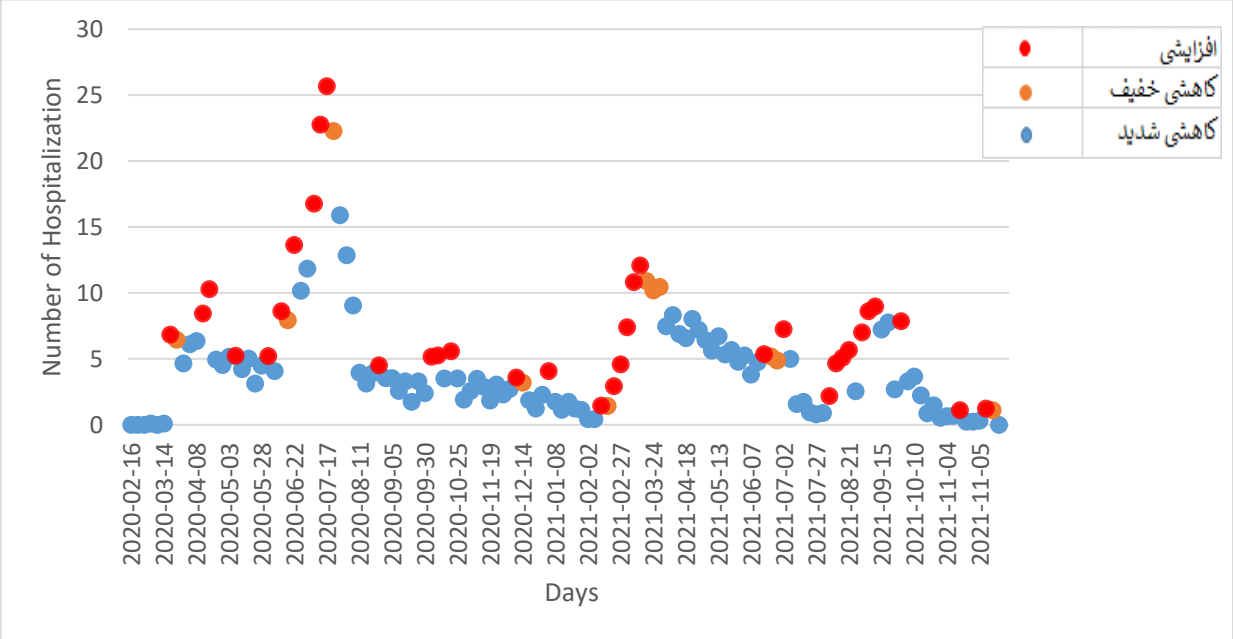
نمودار رنگ‌بندی شهر تبریز بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



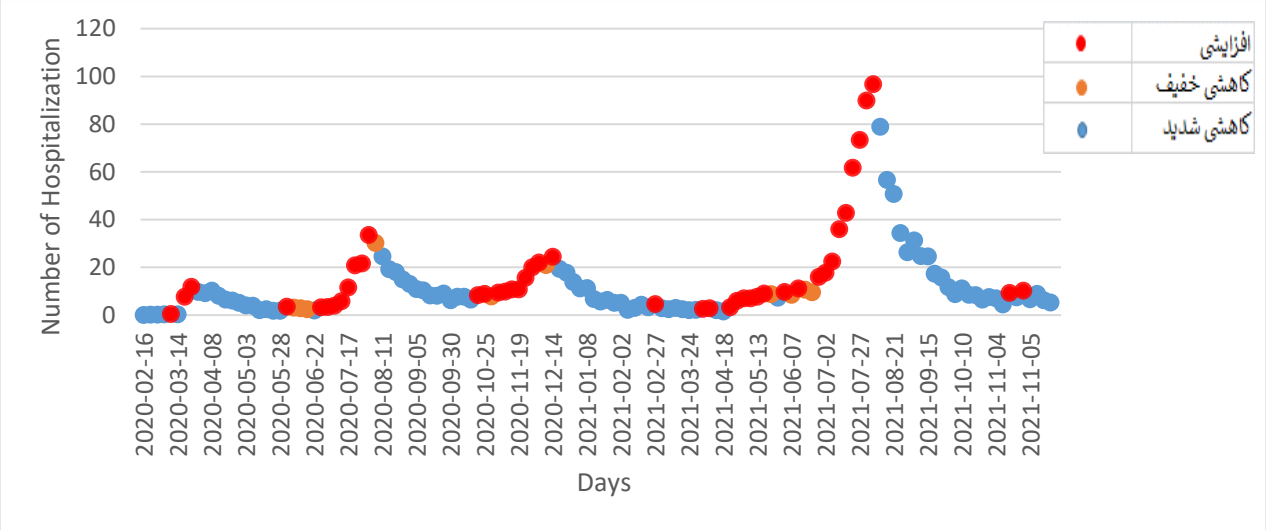
نمودار رنگ‌بندی شهر مرند بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



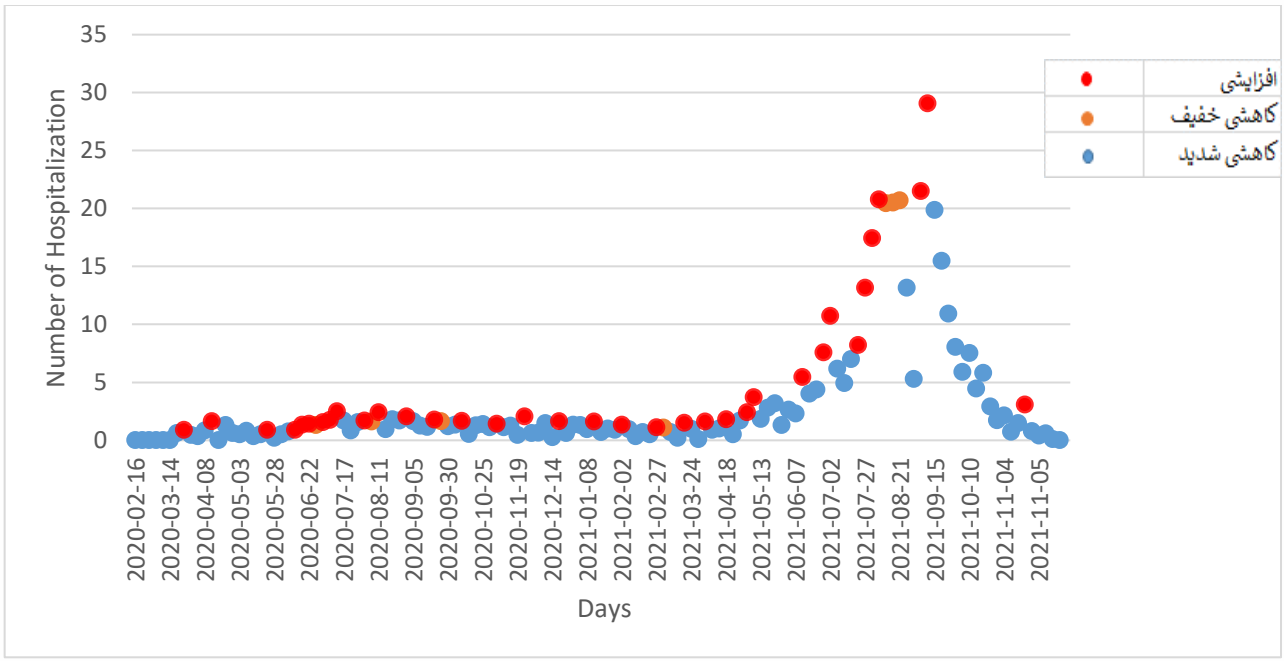
نمودار رنگ‌بندی شهر اهواز بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



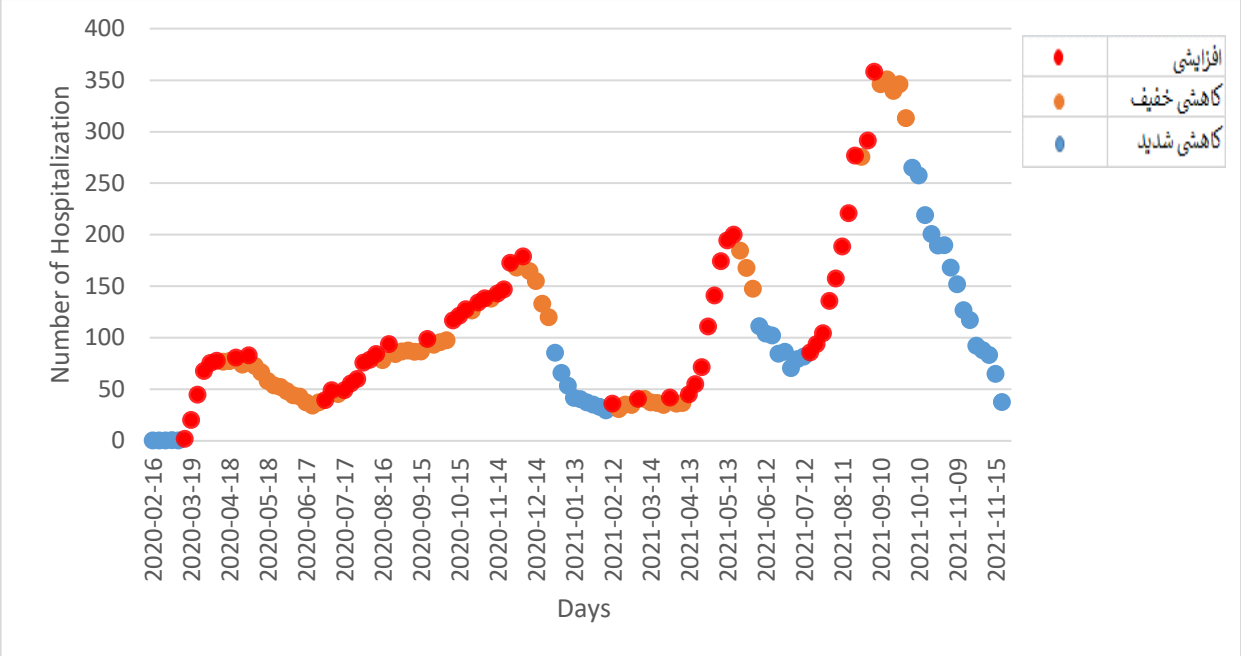
نمودار رنگ‌بندی شهر شادگان بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



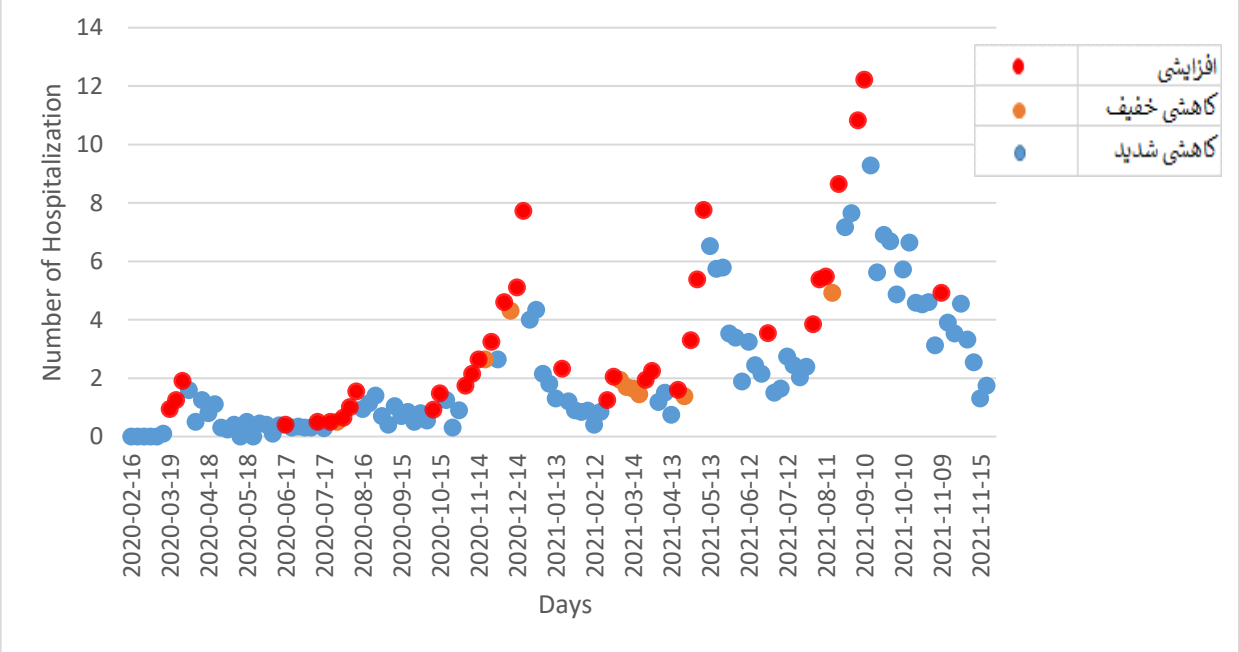
نمودار رنگ‌بندی شهر زاهدان بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



نمودار رنگ‌بندی شهر چابهار بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



نمودار رنگ‌بندی شهر اصفهان بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)



نمودار رنگ‌بندی شهر نطنز بر اساس مدل بررسی روند (مدل میلاد)

مدل ۲ : مدل فاصله اطمینان(پواسن، نرمال و ناپارامتری(میانه))

به‌منظور کنترل پراکندگی‌ها از میانگین متحرک (Moving Average) سه-روزه استفاده گردید. در ادامه، فاصله اطمینان ۷ روز گذشته با روش‌های پواسن، نرمال و ناپارامتری(میانه) برازش گردید، ذکر این نکته لازم است که در روش پواسن داده‌ها گرد شده‌اند.

نحوه اعلام هشدار مدل فاصله اطمینان به شرح زیر است:

اگر تعداد بستریان جدید در آن روز بزرگتر از کران بالای فاصله اطمینان ۷ روز گذشته باشد، آن روز به معنای هشدار افزایش بستری است. به همین ترتیب، اگر داخل فاصله اطمینان باشد، روند ثابت و اگر پایین‌تر از کران پایین باشد، هشدار کاهشی خواهد بود.

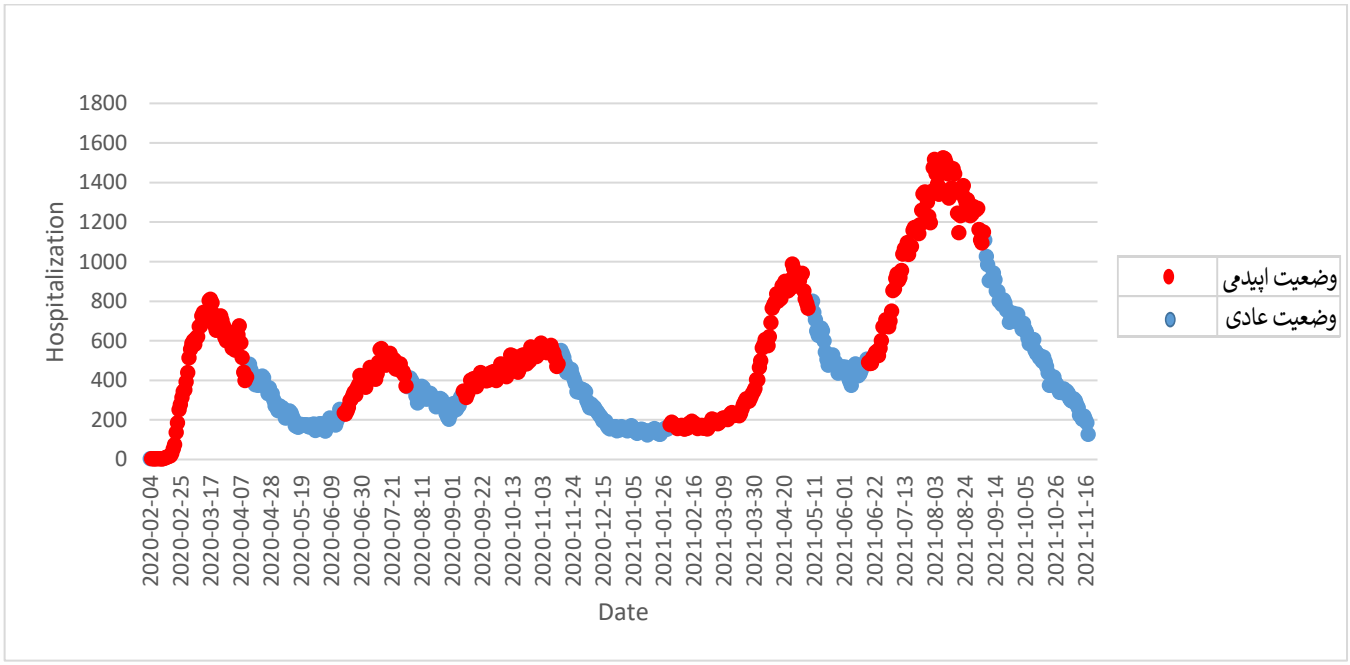
برای تشخیص وضعیت اپیدمی اگر ۵ روز متوالی هشدار افزایشی داشته باشیم، روند بستری وارد اپیدمی می‌شود و تا زمانی که پنج روز متوالی هشدار کاهشی مشاهده شود اپیدمی ادامه پیدا می‌کند و با رنگ قرمز مشخص می‌شود و برای تشخیص وضعیت عادی اگر پنج روز متوالی هشدار کاهشی وجود داشته باشد، روند بستری وارد وضعیت عادی می‌شود و تا زمانی که ۵ روز متوالی هشدار افزایشی مشاهده شود وضعیت عادی ادامه پیدا می‌کند و با رنگ آبی مشخص می‌شود.

مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی (نرمال، پواسن، ناپارامتری(میانه)) و۸۰ درصدی نرمال برای تمامی شهرستان‌های ایران با نرم‌افزار R برازش داده شد و تمامی وضعیت‌های اپیدمی و عادی شناسایی و رنگ‌بندی مشخص شد و نمودار مدل‌های فاصله اطمینان برای ۲۱ شهر ایران رسم گردید.

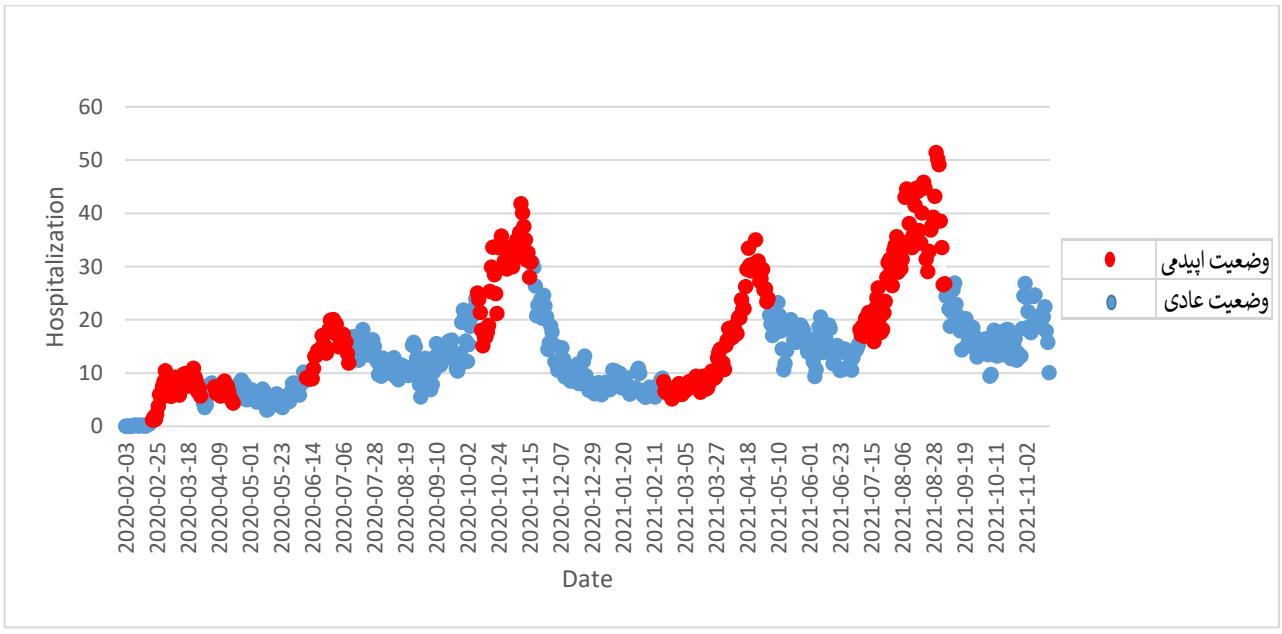
تحلیل نتایج:

نتایج به صورت نمودار برای مدل‌های فاصله‌اطمینان ۸۰ درصدی نرمال و ۹۵درصدی(نرمال، پواسن، ناپارامتری(میانه))، برازش و رسم گردید، مدل فاصله اطمینان ناپارامتری(میانه) در همگی شهرها عملکرد و بازده مناسبی نداشت و مدل در شناسایی روندهای پیک ضعیف بود. مدل فاصله اطمینان پواسن عملکردی نسبتاً بهتر به مدل میانه داشت ولی در شهرهای مانند بیرجند و مهریز پیک های روند را تشخیص نداده بود. در پایان مدل‌های فاصله اطمینان نرمال ۹۵ و ۸۰ درصدی عملکردی مناسب و مانند به هم داشتند، با این تفاوت که مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی تشخیص‌های سریع و به هنگام در روند بستریان داشت و می‌توان گفت که مدل فاصله اطمینان نرمال ۸۰ درصد قابل‌قبول است و برای تشخیص روندهای پیک و عادی مناسب است (

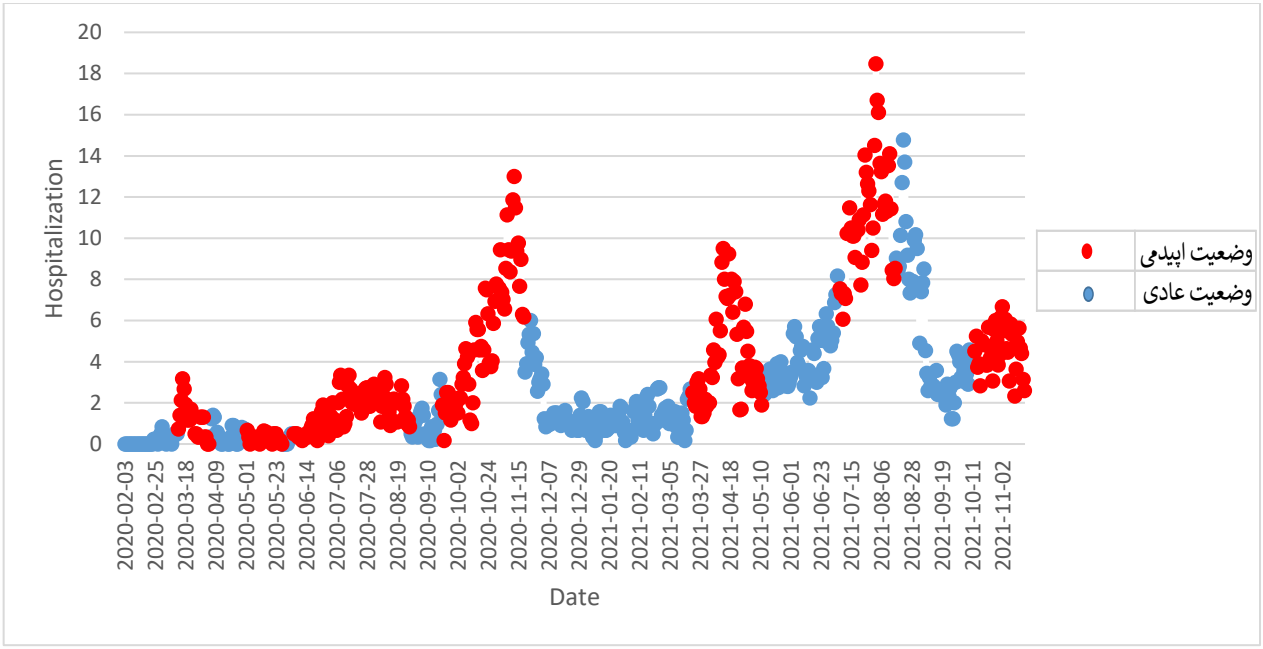
نمودار های مربوط به مدل فاصله اطمینان‌های ۹۵درصدی(نرمال، پواسن، ناپارامتری(میانه) در پیوست(الف) قرار داده شده است).



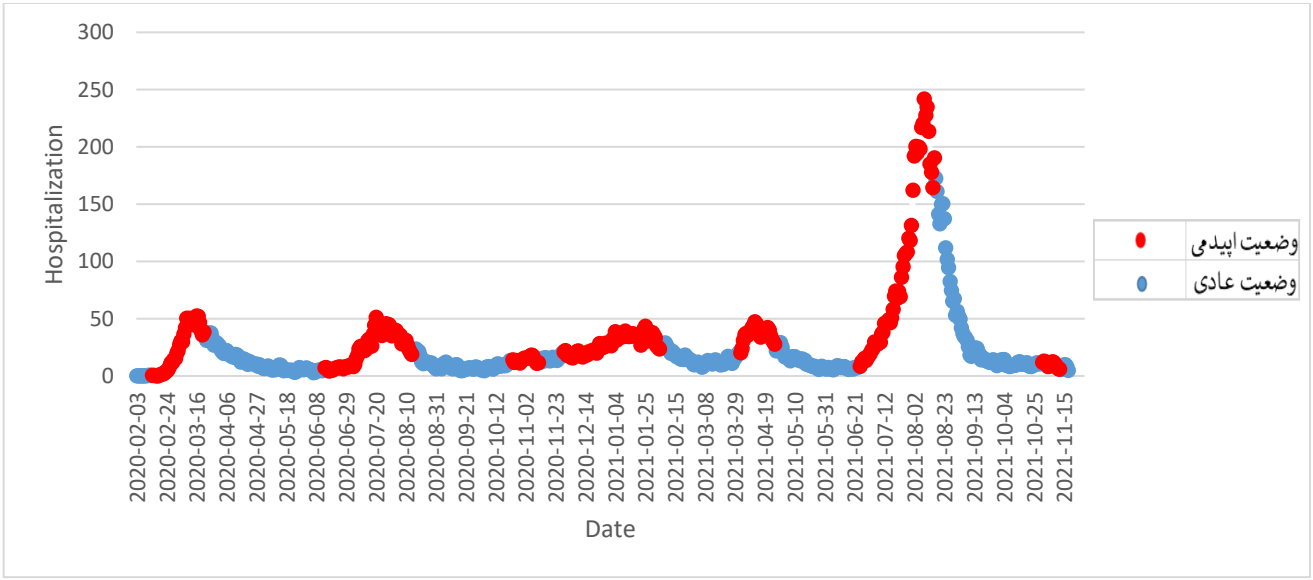
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر تهران



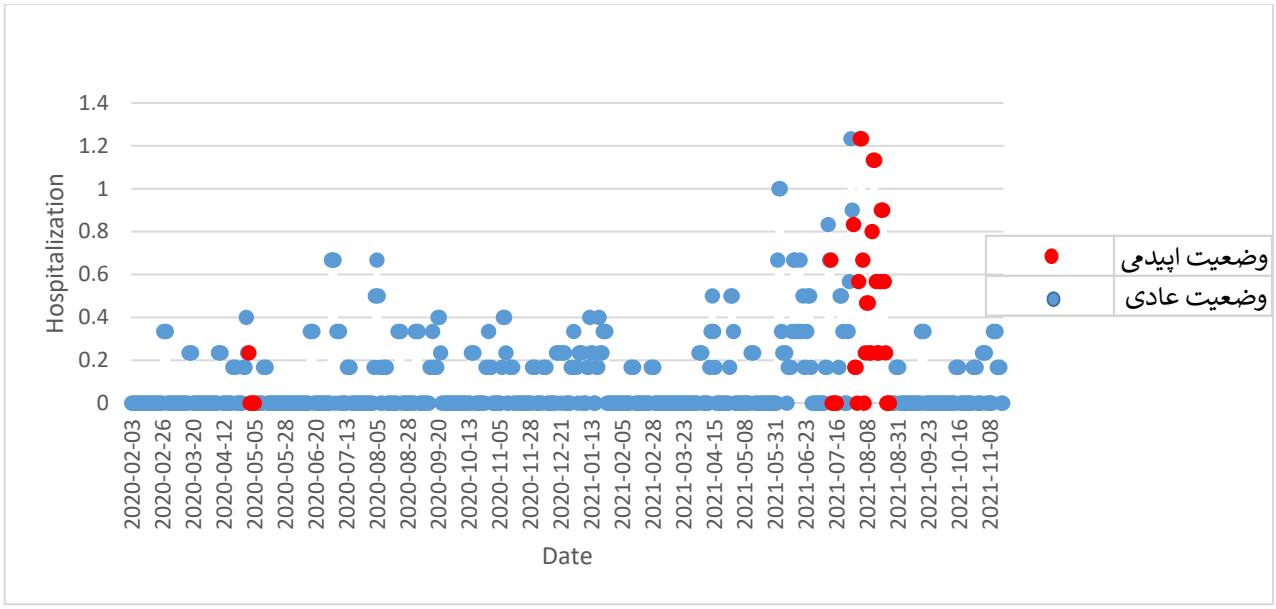
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰درصدی نرمال شهر بیرجند



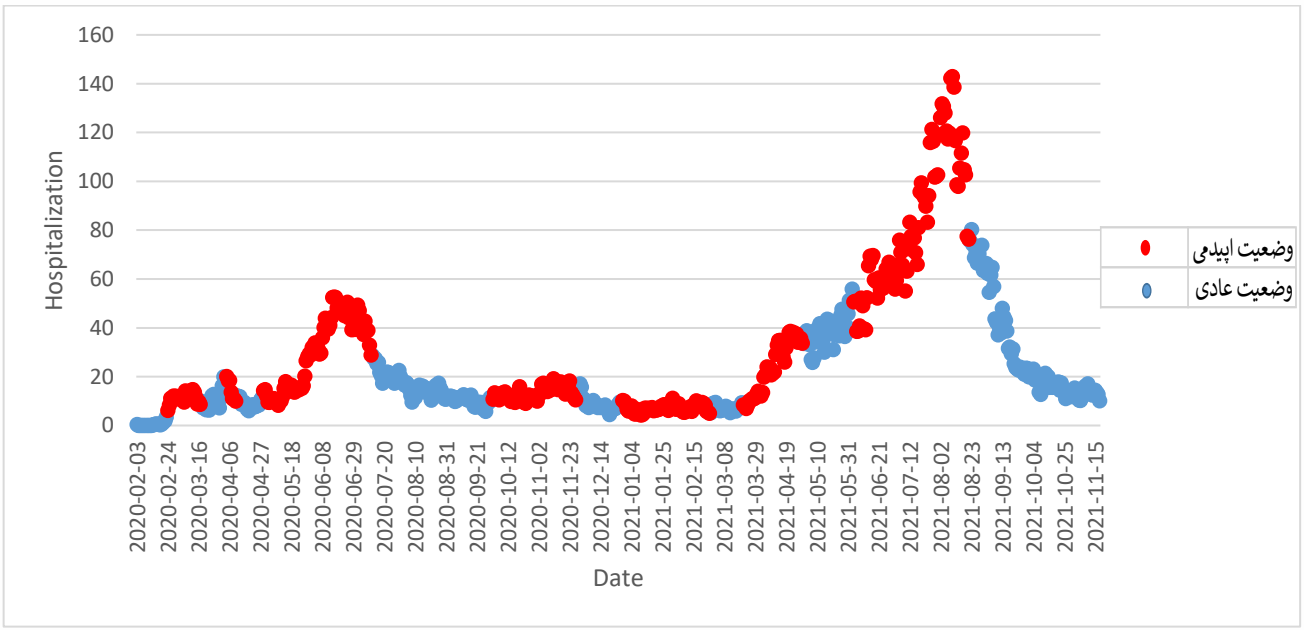
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر مهریز



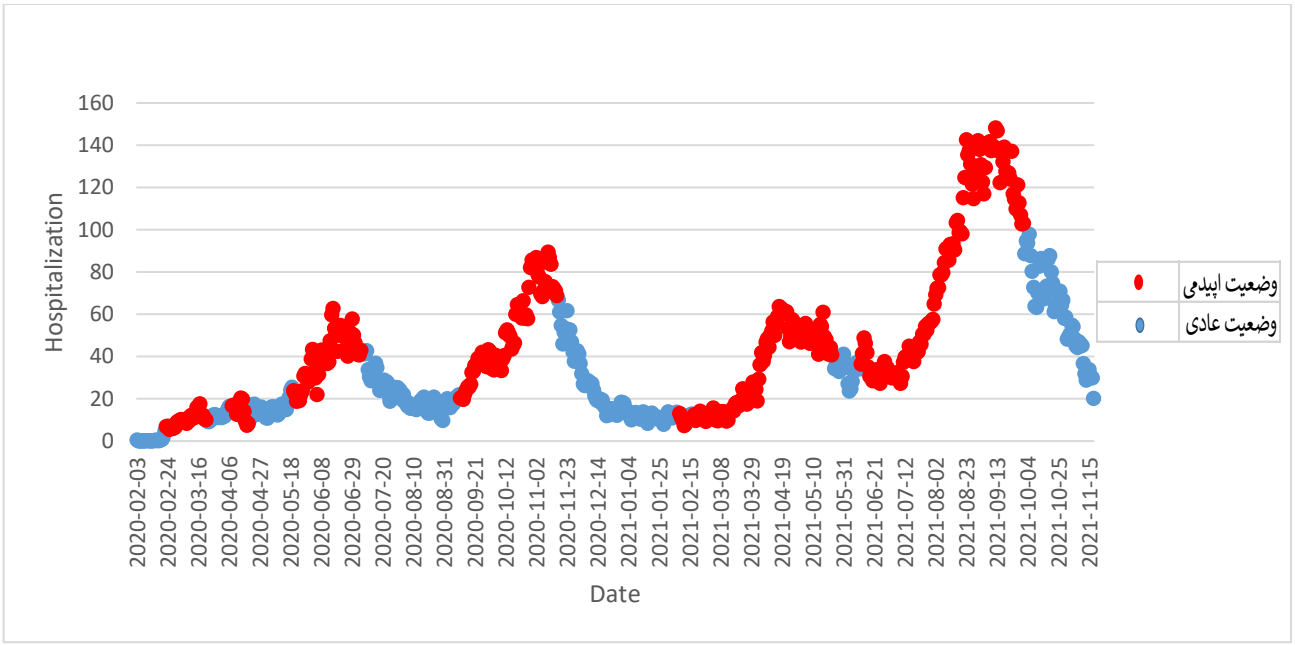
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر ساری



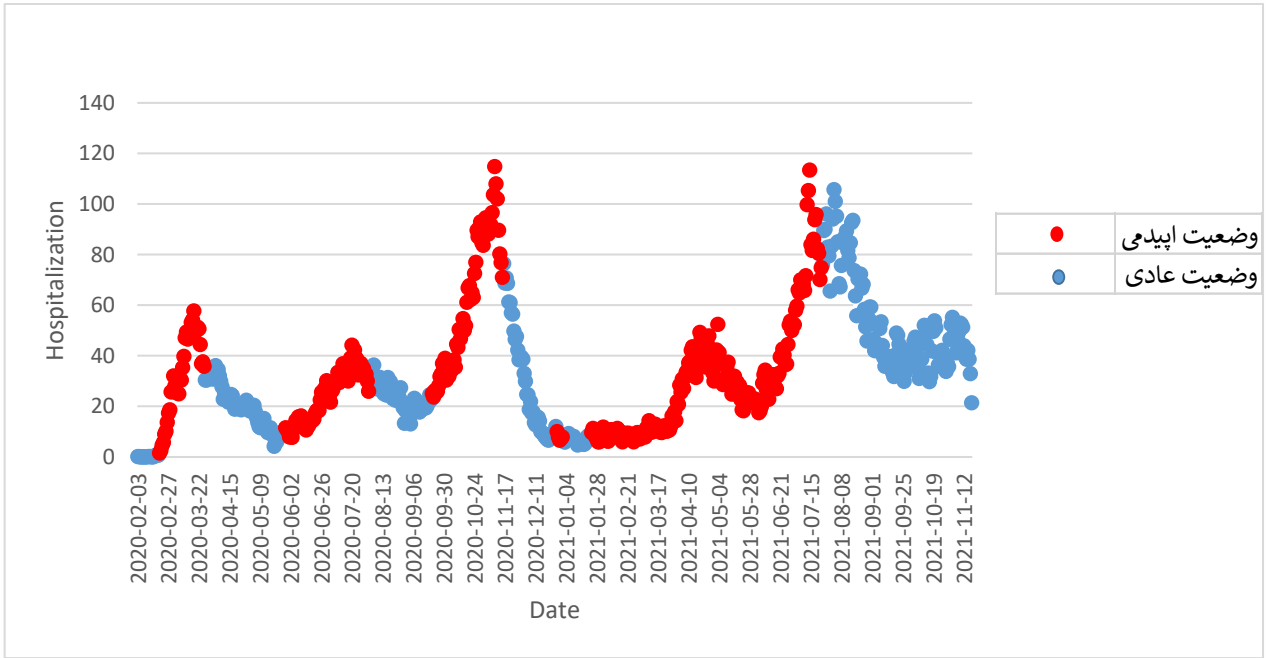
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر هرمز



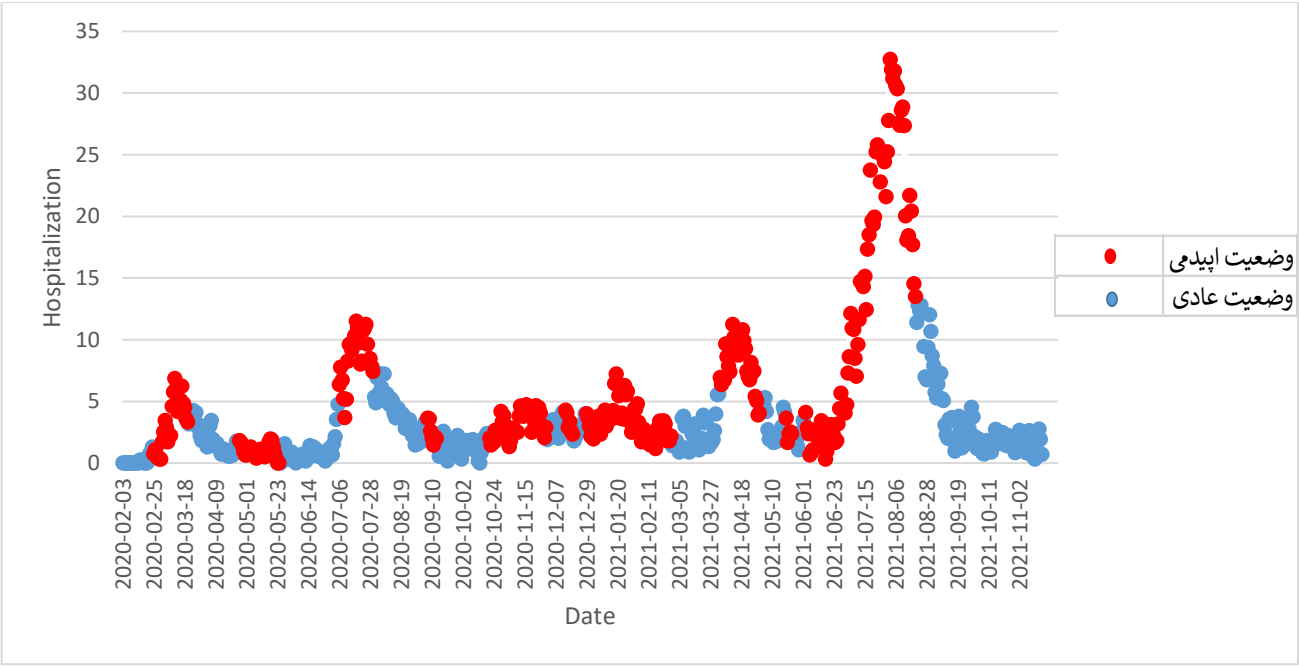
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر بندرعباس



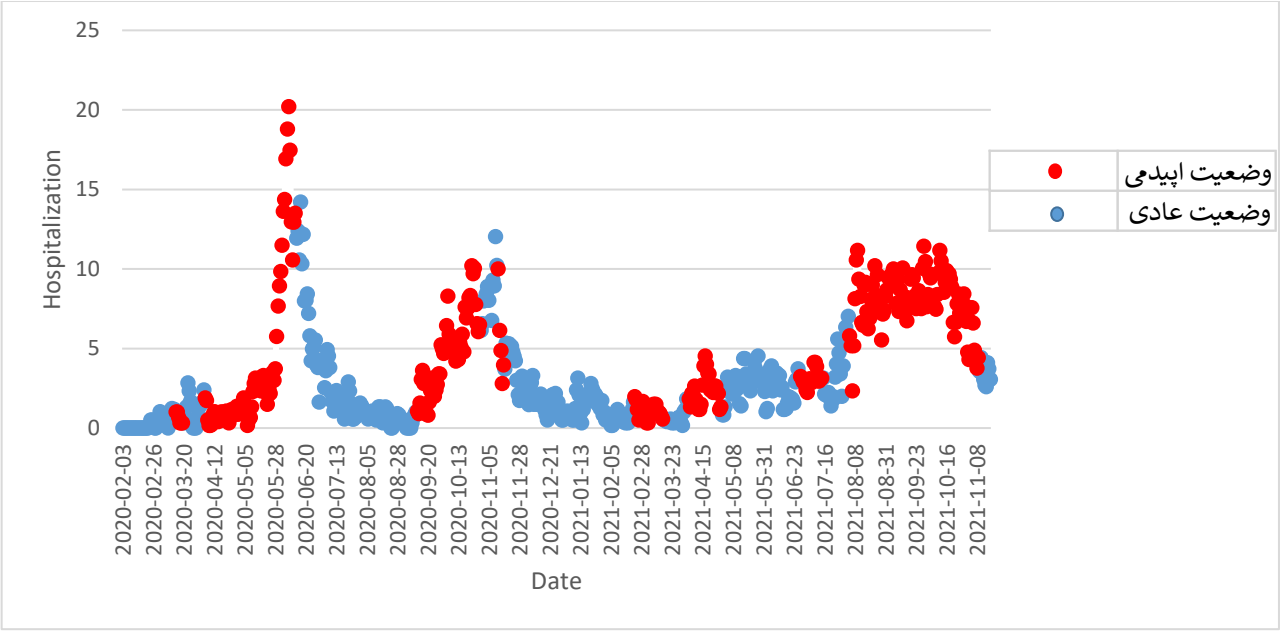
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر کرمانشاه



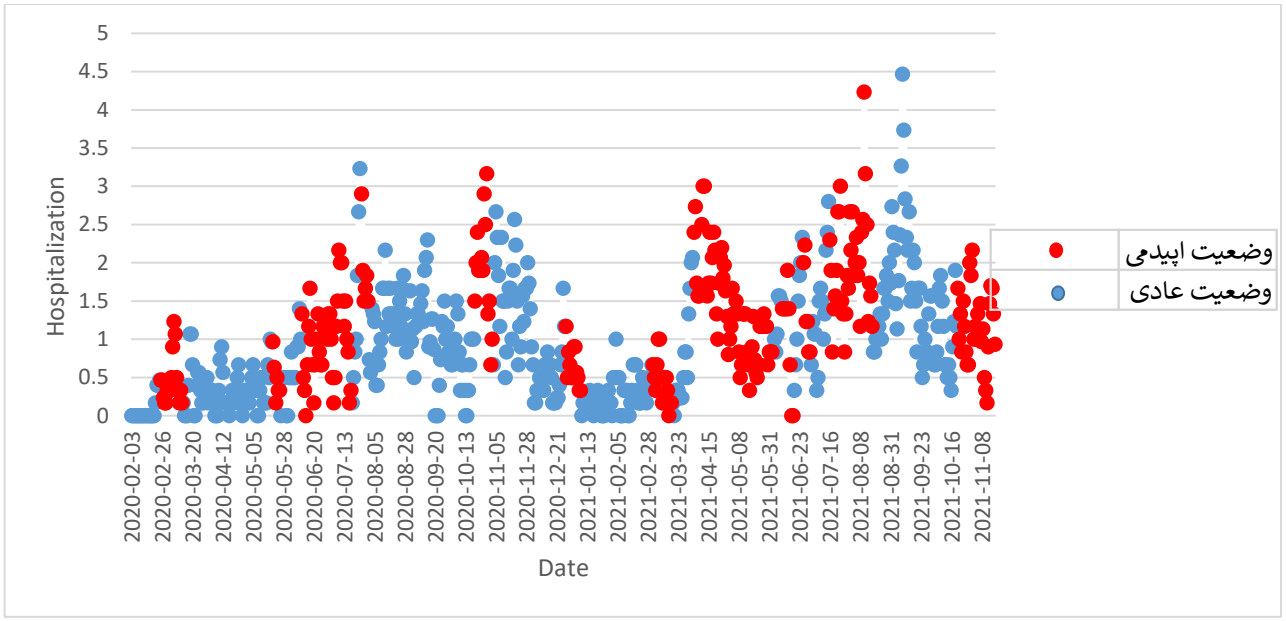
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر یزد



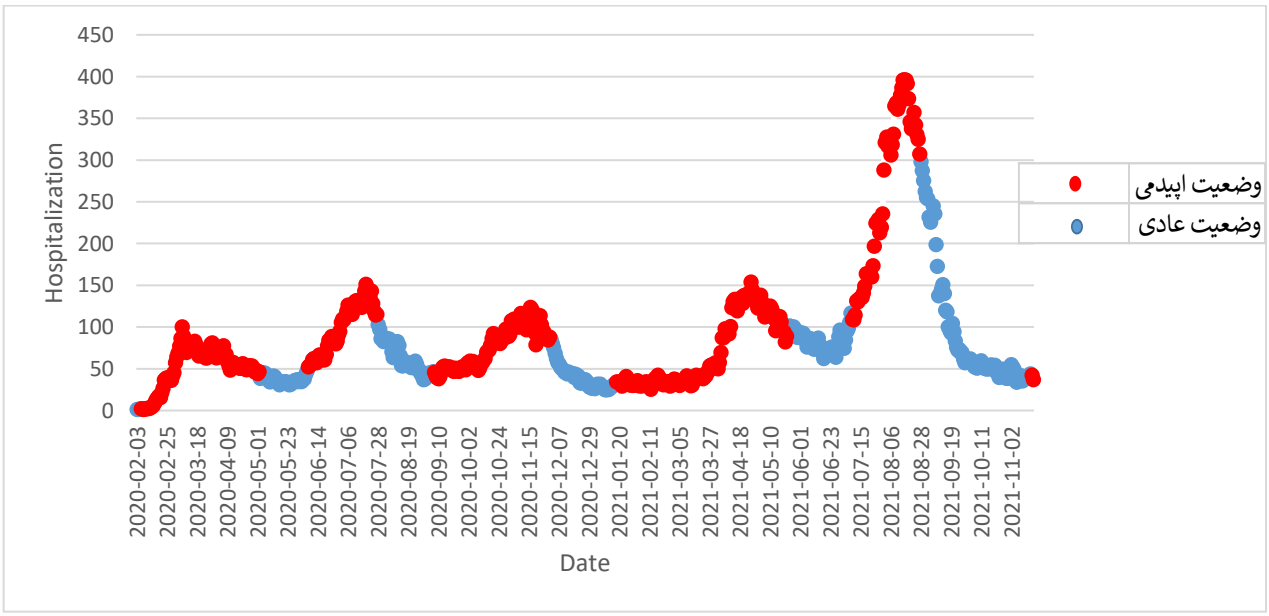
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر محمود آباد



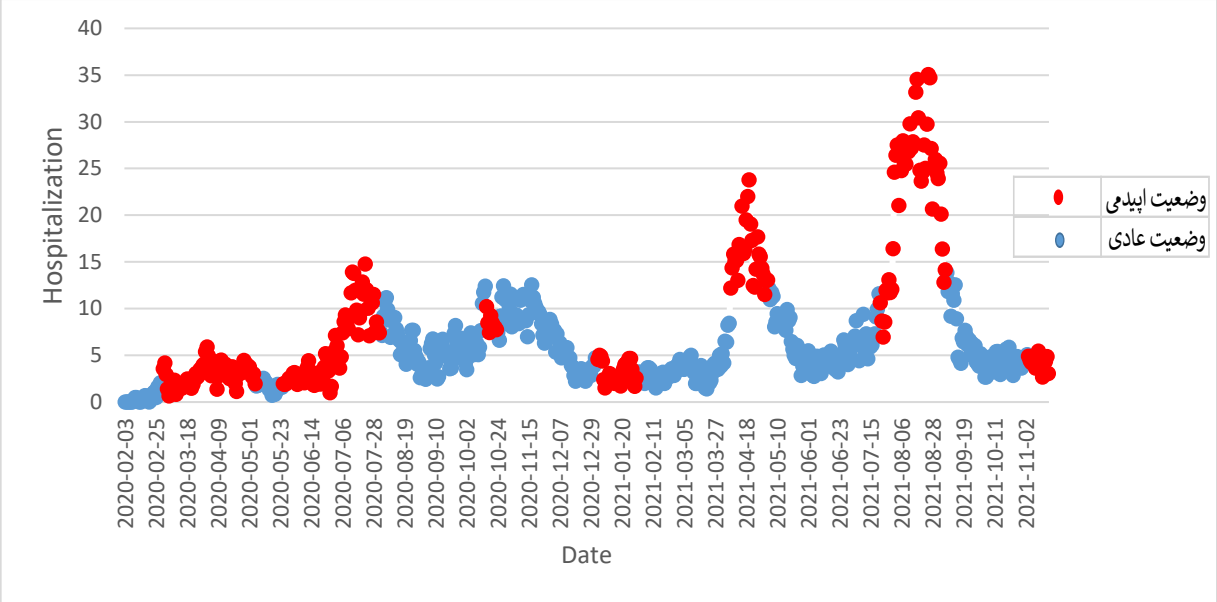
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر جوانرود



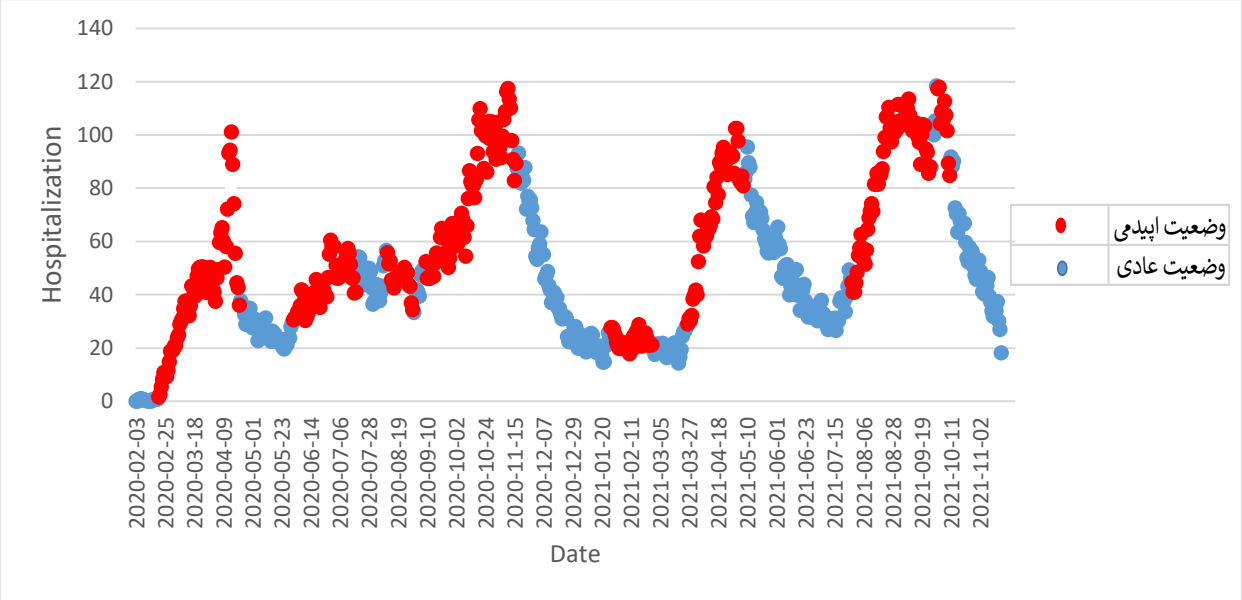
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر سربیشه



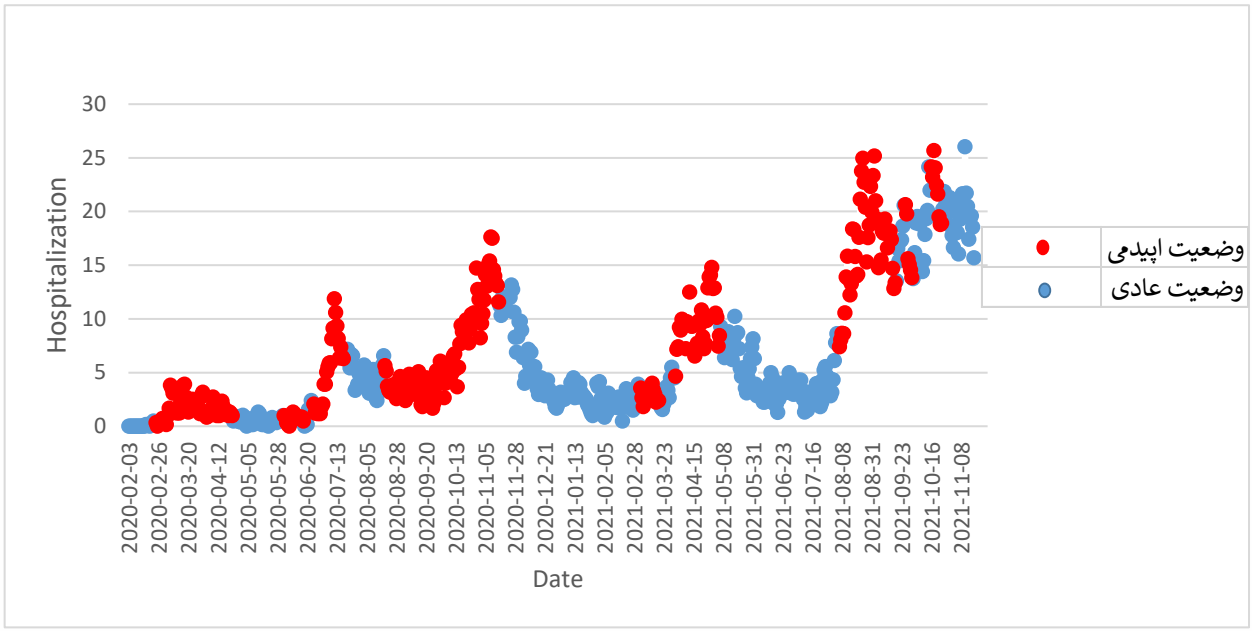
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر مشهد



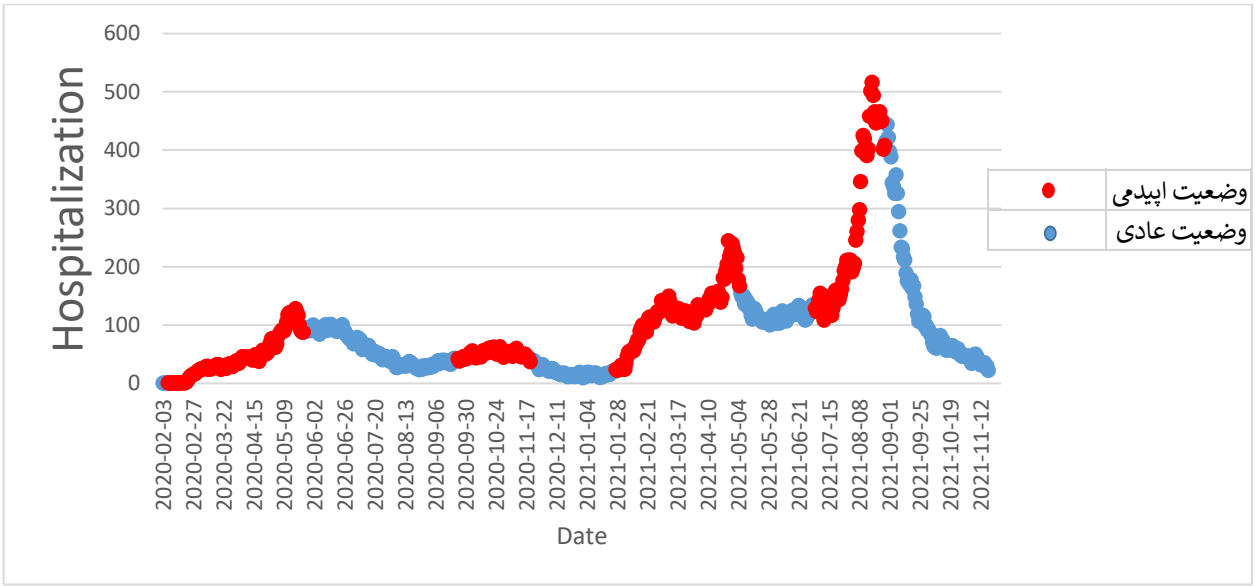
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهرقوچان



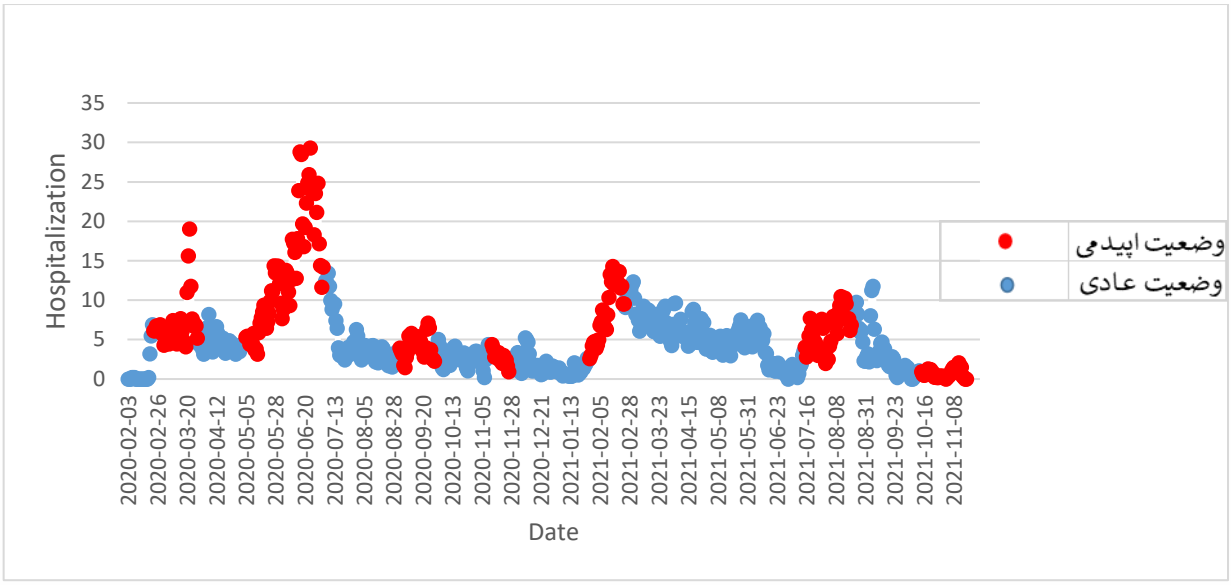
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهرتبریز



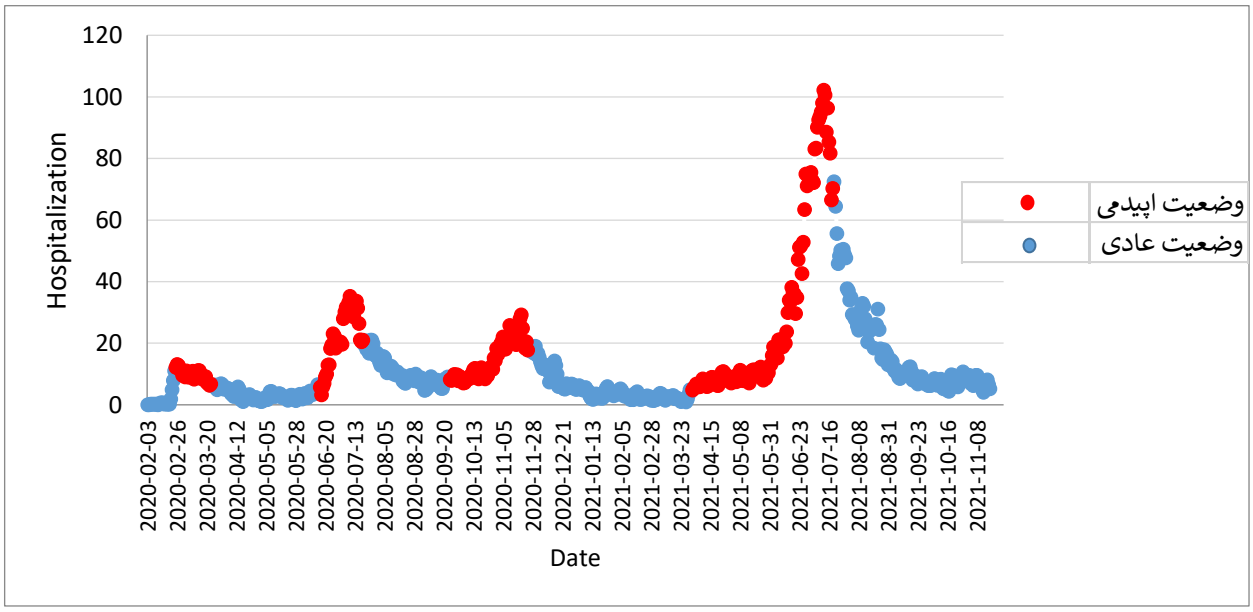
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر مرند



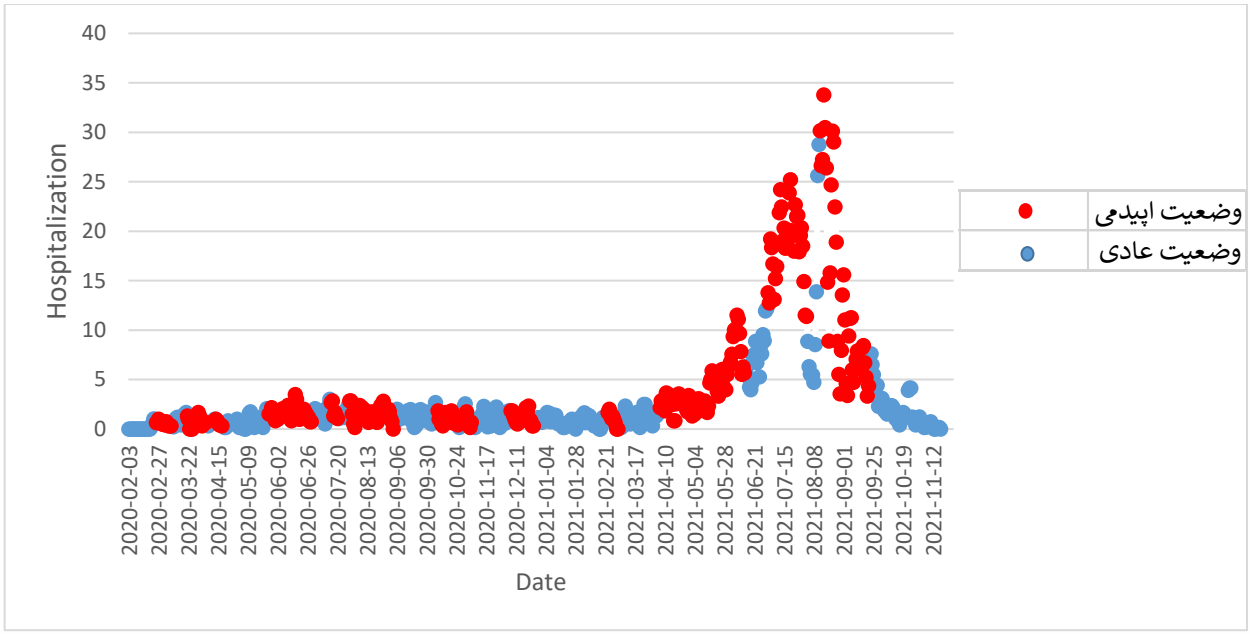
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر اهواز



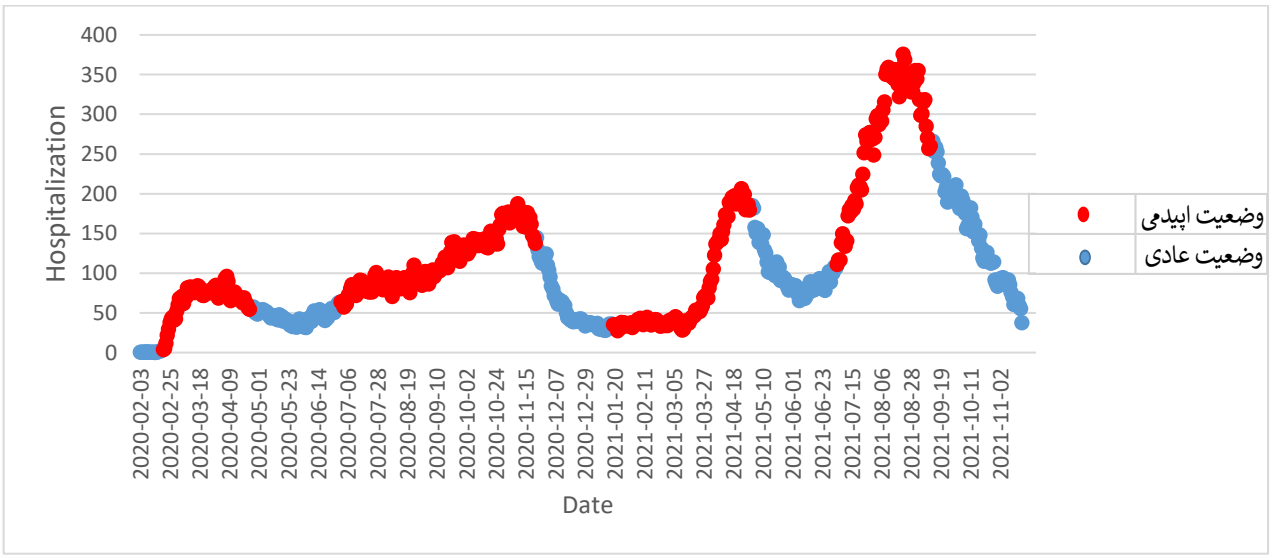
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر شادگان



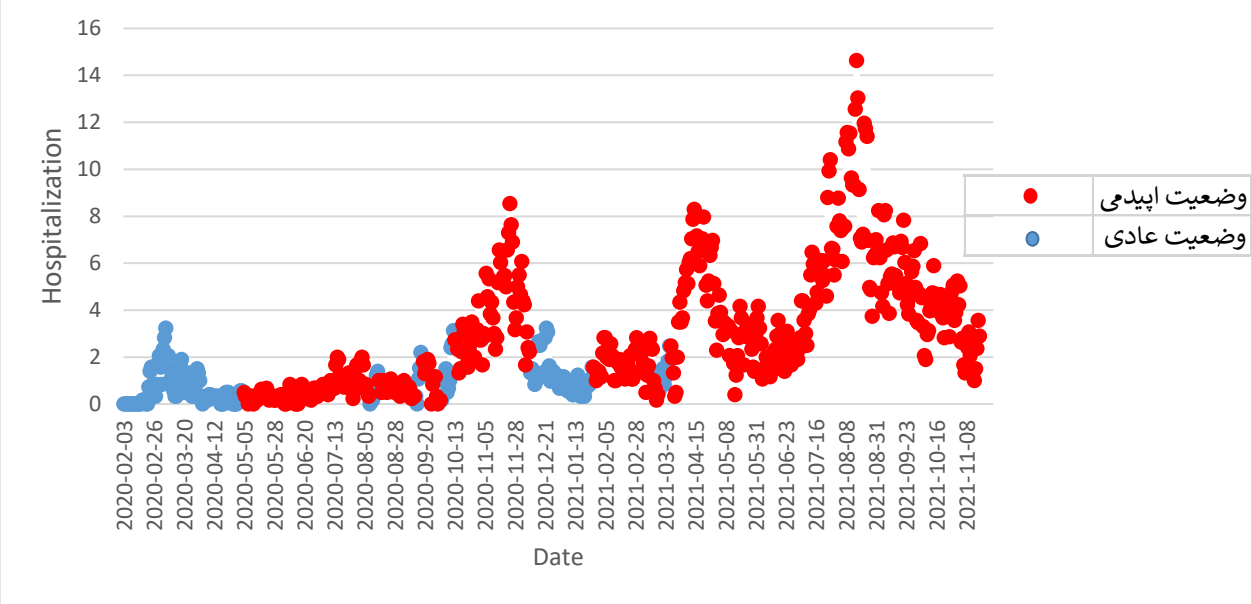
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر زاهدان



نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر چابهار



نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر اصفهان



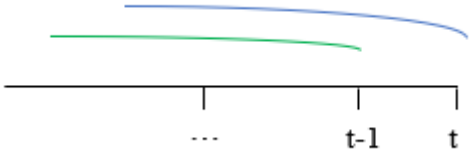
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر نطنز

مدل ۳ : مدل تشخیص نوسان (انحراف معیار و تابع خود همبستگی)

با ایده گرفتن از مقاله Duncan و همکاران شاخص‌هایی برای تعیین Early Warning به صورت زیر محاسبه گردید:

شاخص انحراف معیار استاندارد شده (SD)

- در گام اول ابتدا داده‌های تعداد موارد بستری، به صورت داده‌های ۷ روزه در نظر گرفته شد. بدین‌صورت که از زمان t تا ۶ روز قبل از آن، از زمان t-1 و ۶ روز قبل از آن و الی آخر.



				t-6	t-5	t-4	t-3	t-2	t-1	t
			t-7	t-6	t-5	t-4	t-3	t-2	t-1	
		t-8	t-7	t-6	t-5	t-4	t-3	t-2		
	t-9	t-8	t-7	t-6	t-5	t-4	t-3			
t-10	t-9	t-8	t-7	t-6	t-5	t-4				

- در گام بعد انحراف معیار داده‌های ۷ روز محاسبه شد.
- در گام بعد شاخص انحراف معیار استاندارد شده به صورت زیر محاسبه شد. اگر انحراف معیار استاندار شده بزرگ باشد نشان دهنده این است که روز جدید در تعداد بستری ها، یا خیلی بزرگتر یا خیلی کوچکتر از ۷ روز گذشته است و یک نوسان را نشان می‌دهد:

(انحراف معیار ۷ روز قبل (به جز خودش)) انحراف معیار / (انحراف معیار ۷ روز قبل (به جز خودش)) میانگین - انحراف معیار

$$(\text{انحراف معیار استاندارد شده})_i = \frac{(\text{انحراف معیار})_i - \text{میانگین}\left((\text{انحراف معیار})_{i-1}, \dots, (\text{انحراف معیار})_{i-7}\right)}{\sqrt{\text{واریانس}\left((\text{انحراف معیار})_{i-1}, \dots, (\text{انحراف معیار})_{i-7}\right)}} \quad i = t, t-1, t-2, \dots$$

- در گام بعد شاخص درصد تغییرات به صورت زیر محاسبه شد، که درصد تغییرات تعداد بستری‌ها در هر روز نسبت به روز قبل را محاسبه می‌کند که اگر مثبت باشد یعنی افزایش و اگر منفی باشد یعنی کاهش در تعداد بستری وجود دارد.

[(تعداد بستری در زمان t) - (تعداد بستری در زمان t-1)] / (تعداد بستری در زمان t-1) = درصد تغییر اول

[(تعداد بستری در زمان t-1) - (تعداد بستری در زمان t-2)] / (تعداد بستری در زمان t-2) = درصد تغییر دوم

[(تعداد بستری در زمان t-2) - (تعداد بستری در زمان t-3)] / (تعداد بستری در زمان t-3) = درصد تغییر سوم

و الی آخر

- در نهایت شاخص انحراف معیار استاندارد شده محاسبه شده برای هر روز دلخواه با عدد ۱ مقایسه شد. اگر مقدار شاخص بزرگتر از عدد ۱ و شاخص درصد تغییرات مثبت بود یک هشدار محسوب می‌شود و اعلان خطر برای شروع یک افزایش تعداد موارد بستری خواهد بود که ممکن است شروع یک اپیدمی نیز باشد.

شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده (ACF)

نحوه‌ی محاسبه این شاخص نیز مانند شاخص انحراف معیار استاندارد شده است؛ با این تفاوت که بجای انحراف معیار، تابع خود همبستگی با لگ یک محاسبه می‌شود.

خود همبستگی به معنی همبستگی سریالی یا وابستگی بین مقدار دنباله‌ای برحسب زمان است. تابع خود همبستگی (Autocorrelation Function)، خود همبستگی را برحسب یک فاصله زمانی بین مشاهدات محاسبه می‌کند و از آن برای اطلاع از رفتار فرآیند برحسب زمان یا مکان استفاده می شود. اگر دنباله یا سری زمانی با x_t نشان داده شود، مقدارهای با تاخیر k (فاصله زمانی بین مشاهدات) به صورت x_{t-k} خواهد بود. تابع خودهمبستگی برای این سری زمانی، ضرایب همبستگی بین مشاهدات x_t و x_{t-k} را براساس k = 1 , 2 , … نشان می‌دهد. بنابراین خودهمبستگی بین x_t و x_{t-k} به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_X(X_t, X_{t-k}) = \frac{Cov(X_t, X_{t-k})}{\sigma(X_t)\sigma(X_{t-k})}$$

وقتی که یک داده خیلی بزرگتر یا خیلی کوچکتر به داده ها اضافه شود (روز جدید) باعث می‌شود که ACF روز آخر کوچکتر شود و از میانگین ACF ها قبلی کمتر شود و در نتیجه تابع خودهمبستگی استاندارد شده کاهش پیدا می‌کند و منفی شود چون عدد استاندارد شده بین ۳ تا ۳- است، لذا کوچکتر بودن از عدد ۱- به عنوان یک هشدار تلقی شده است.

بنابراین در صورتی که تابع خود همبستگی منفی شود نشان دهنده ایجاد یک نوسان است یعنی یک عدد کوچک‌تر یا یک بزرگتر نسبت به روز های قبلی (۷ روزه) به داده‌ها اضافه شده است.

در نهایت شاخص تابع خودهمبستگی استاندارد شده با عدد ۱- مقایسه شد. اگر مقدار شاخص کوچکتر از مقدار ۱- و شاخص درصد تغییرات مثبت بود یک هشدار محسوب می‌شود و اعلان خطر برای شروع یک افزایش تعداد موارد بستری خواهد بود که ممکن است شروع یک اپیدمی نیز باشد.

دوره اپیدمی

دوره اپیدمی بدین صورت که، اگر ۵ روز متوالی هشدار مشاهده شود، شروع یک اپیدمی خواهد بود و تا زمانی که ۵ روز هشدار معکوس نداشته باشیم اپیدمی تمام نخواهد شد، تعیین گردید.

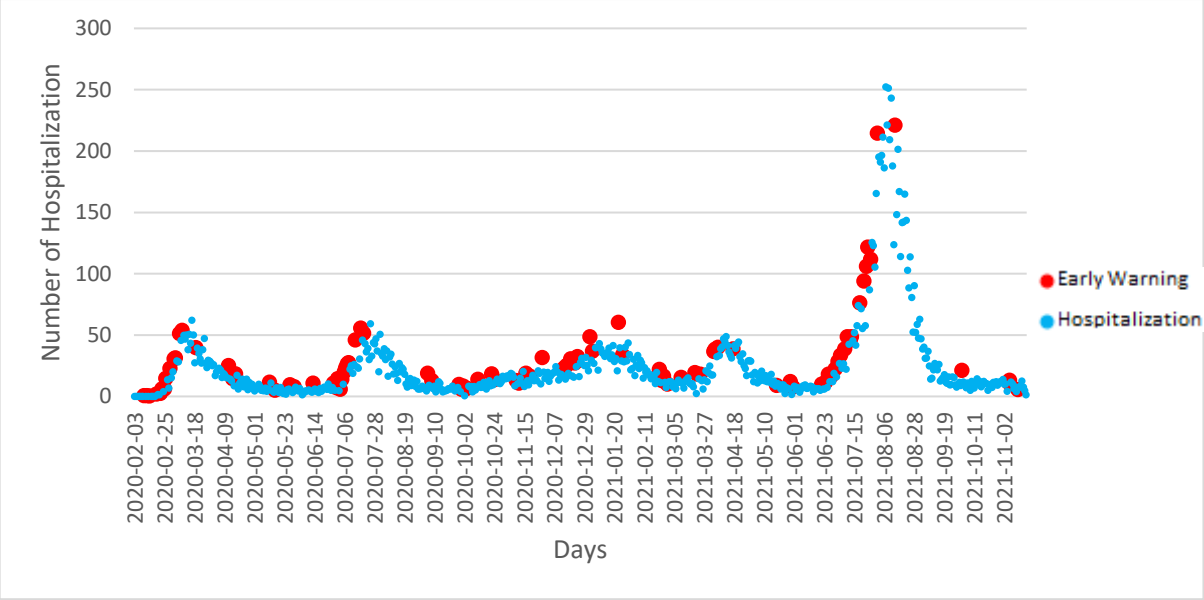
نتایج مدل‌های اجرا شده

از آنجایی که موارد بستری شامل ۳ حالت، نتیجه تست (مثبت، منفی و نامشخص) بودند، بر اساس فرمول پذیرفته شده در گذشته به صورت زیر، تعداد کل موارد بستری محاسبه شد:

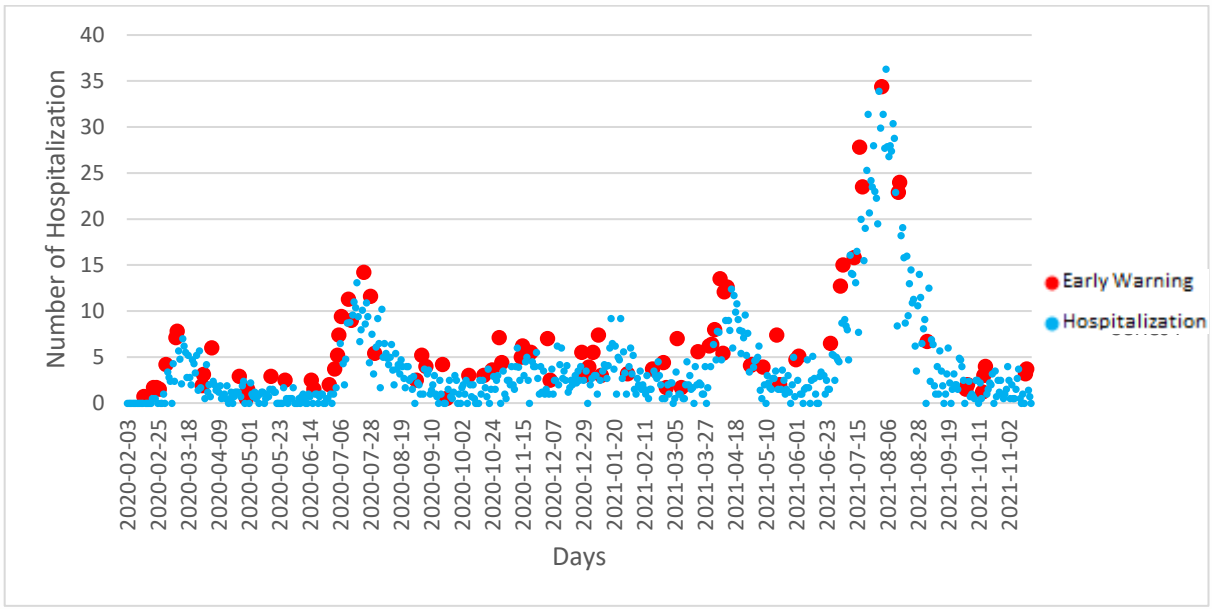
(۰/۷*تعداد موارد نامشخص) + (۰/۵*تعداد موارد منفی) + تعداد موارد مثبت = تعداد کل موارد بستری

الف) شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای تعیین اعلام هشدارهای اولیه

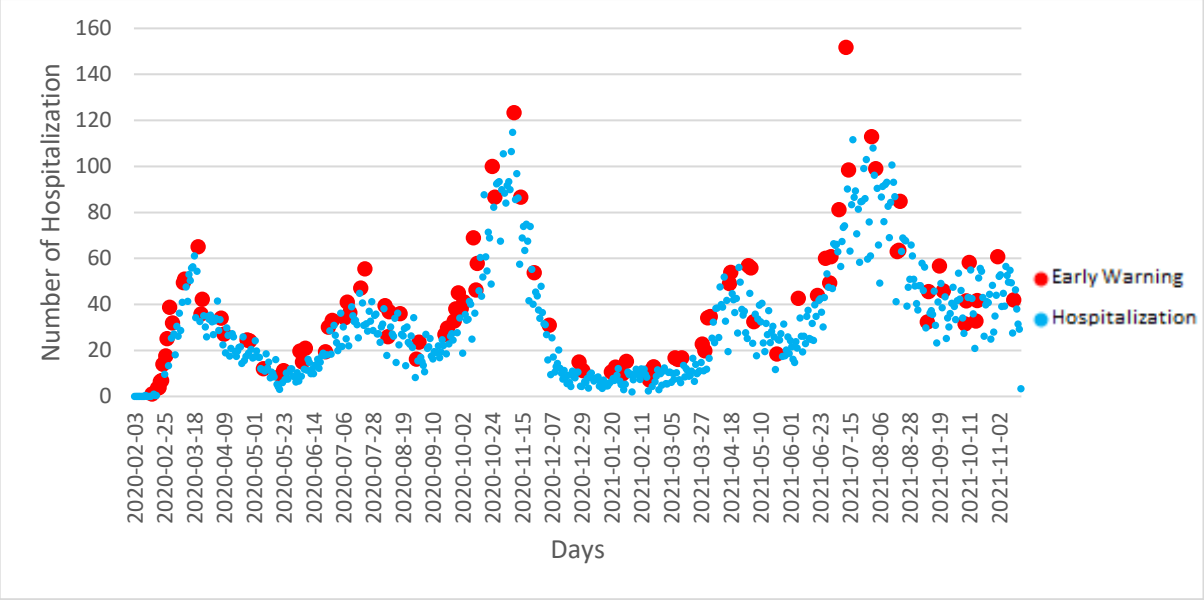
نتایج برای شهرهای ساری، محمود آباد، یزد، مهریز،کرمانشاه، جوانرود، بیرجند، سربیشه، بندر عباس، هرمز و تهران ارایه شد. نمودار آبی، تعداد موارد بستری روزانه و نمودار قرمز اعلام هشدارهای اولیه را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده، ۵ روز متوالی هشدار رخ نداد بنابراین این شاخص قادر به تعیین دوره اپیدمی نبود.



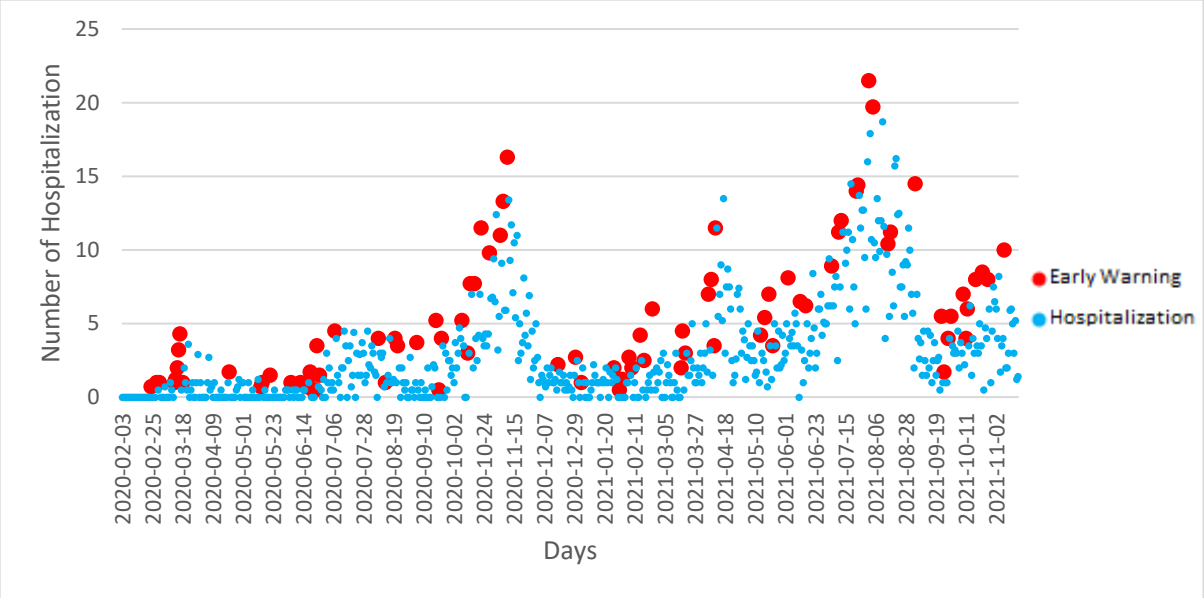
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای شهر **ساری**



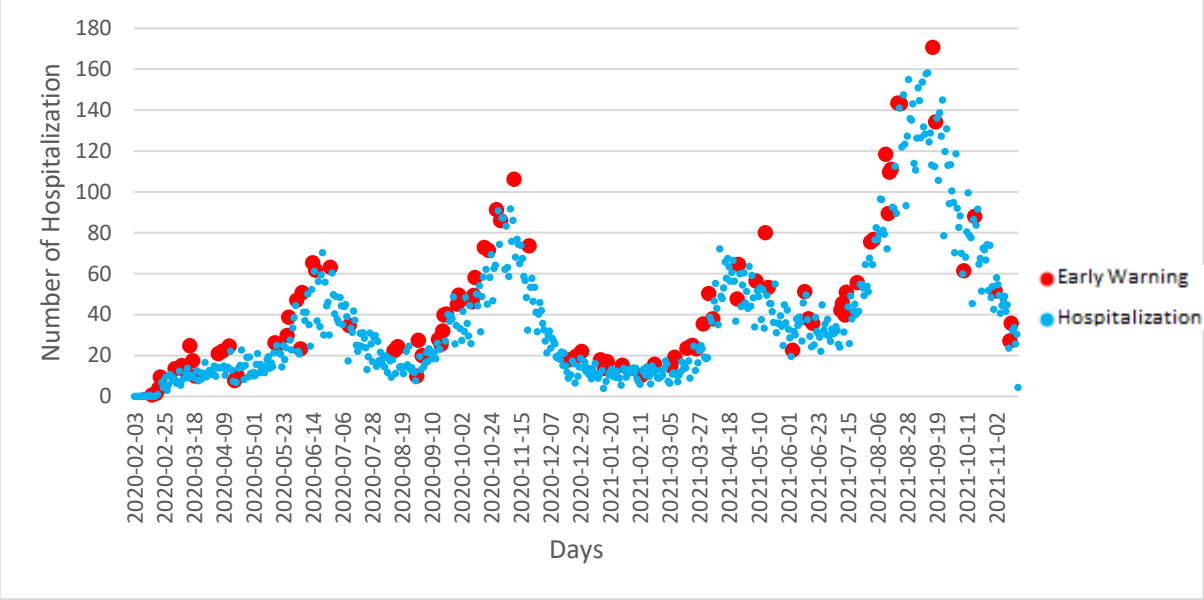
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای شهر **محمود آباد**



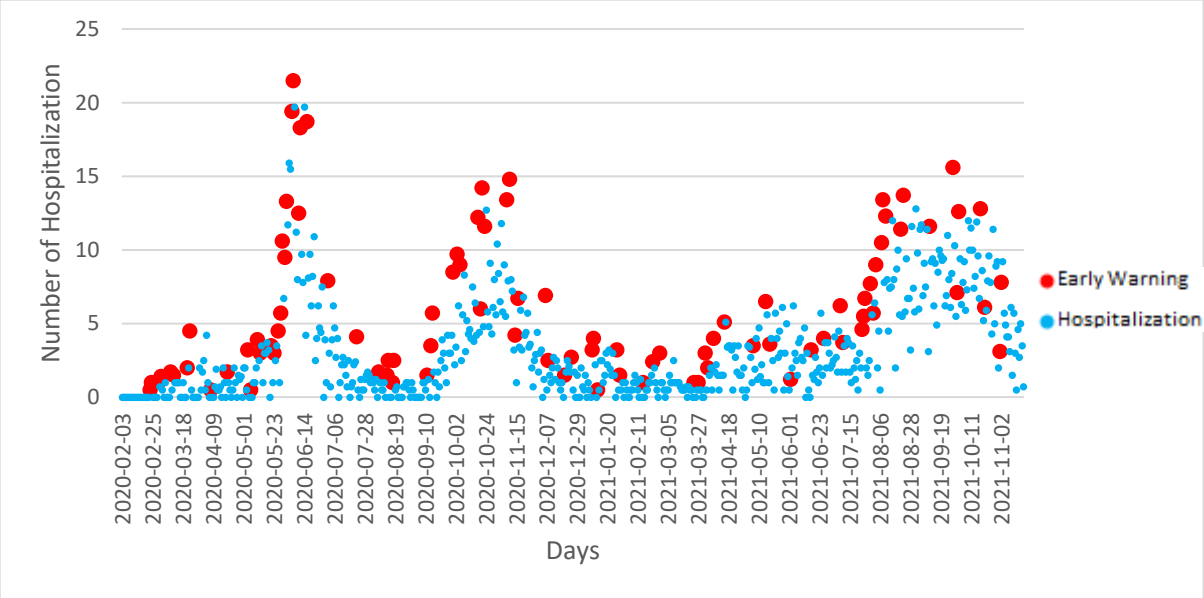
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای شهر **یزد**



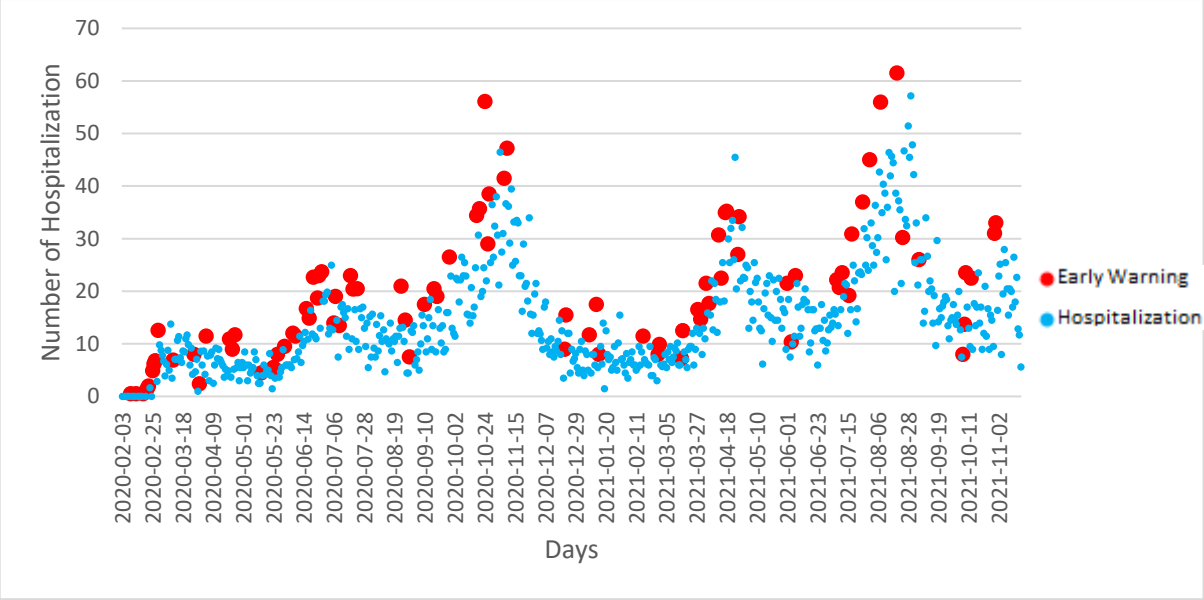
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای شهر **مهریز**



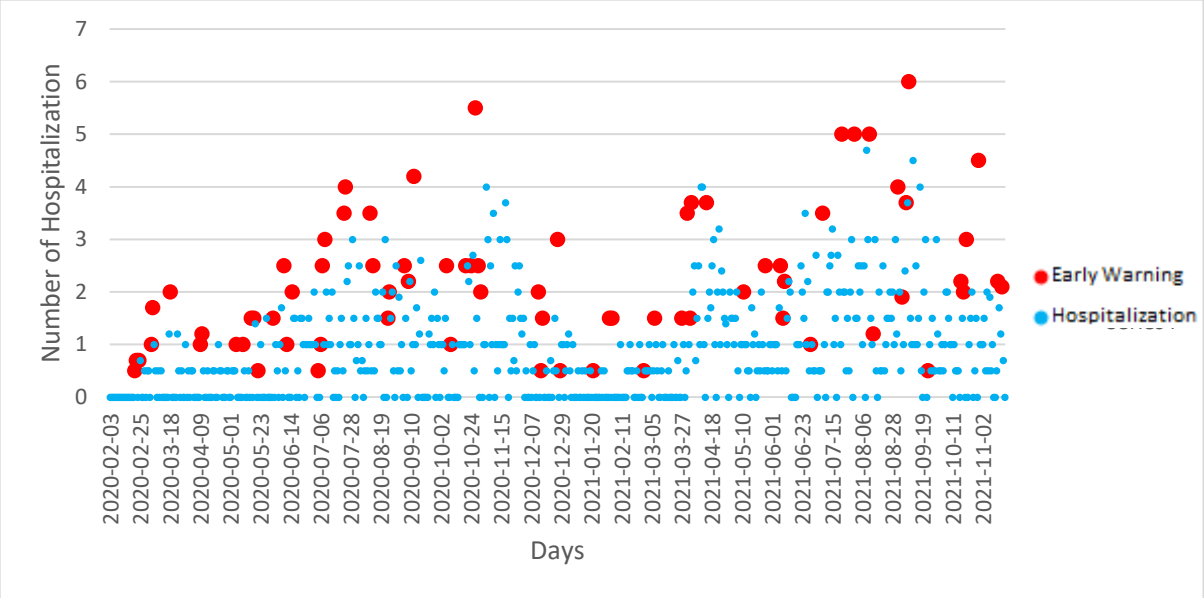
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای شهر **کرمانشاه**



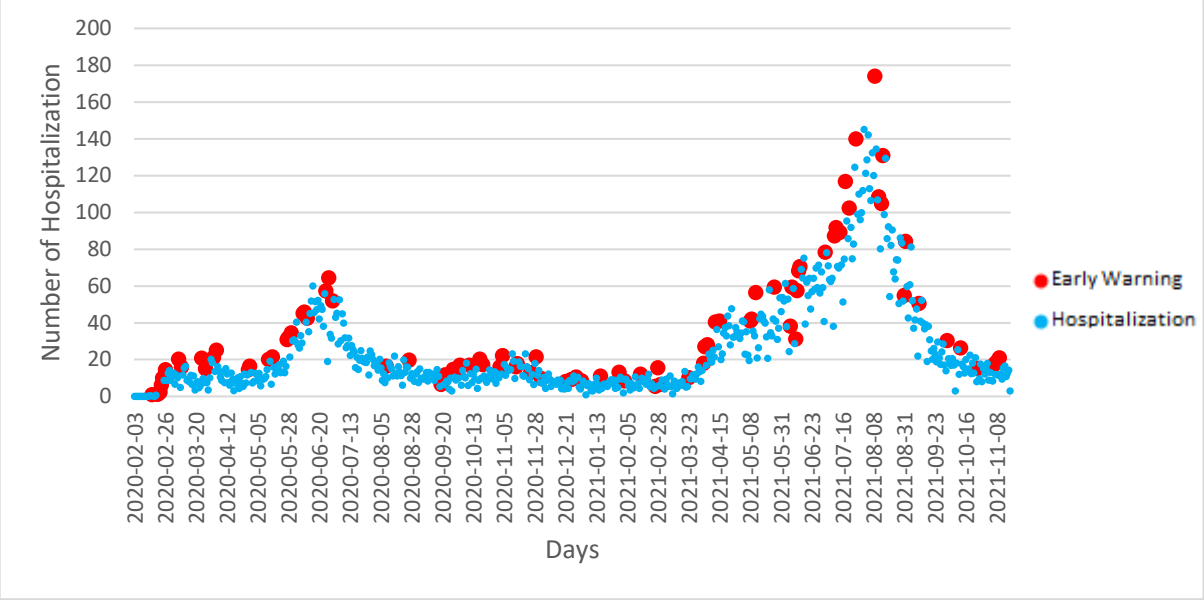
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای شهر **جوانرود**



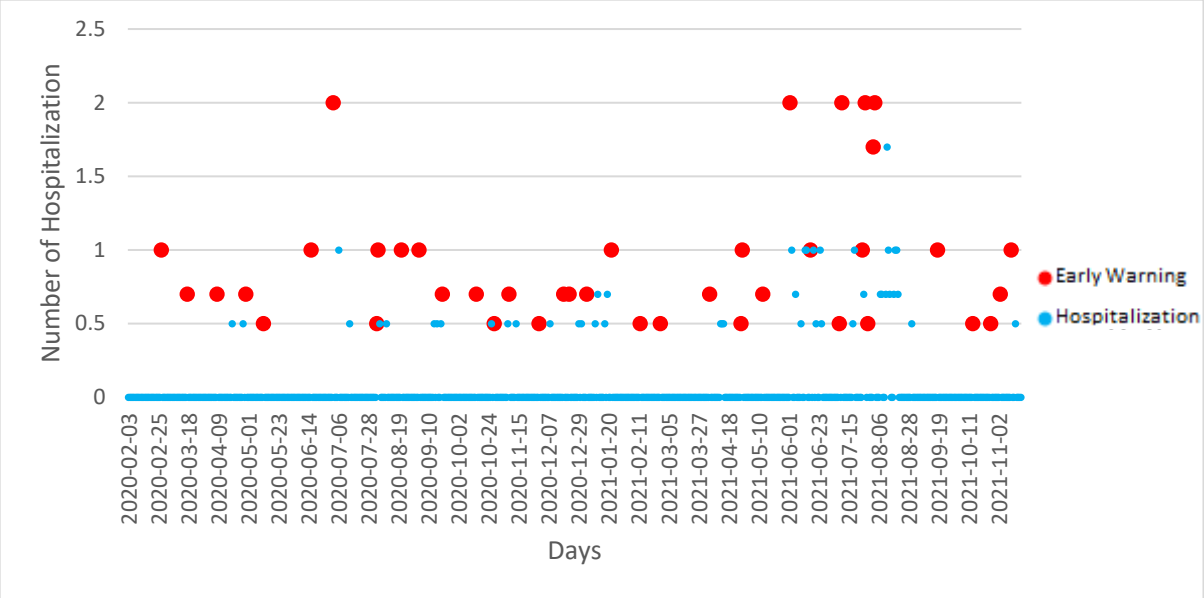
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای شهر **بیرجند**



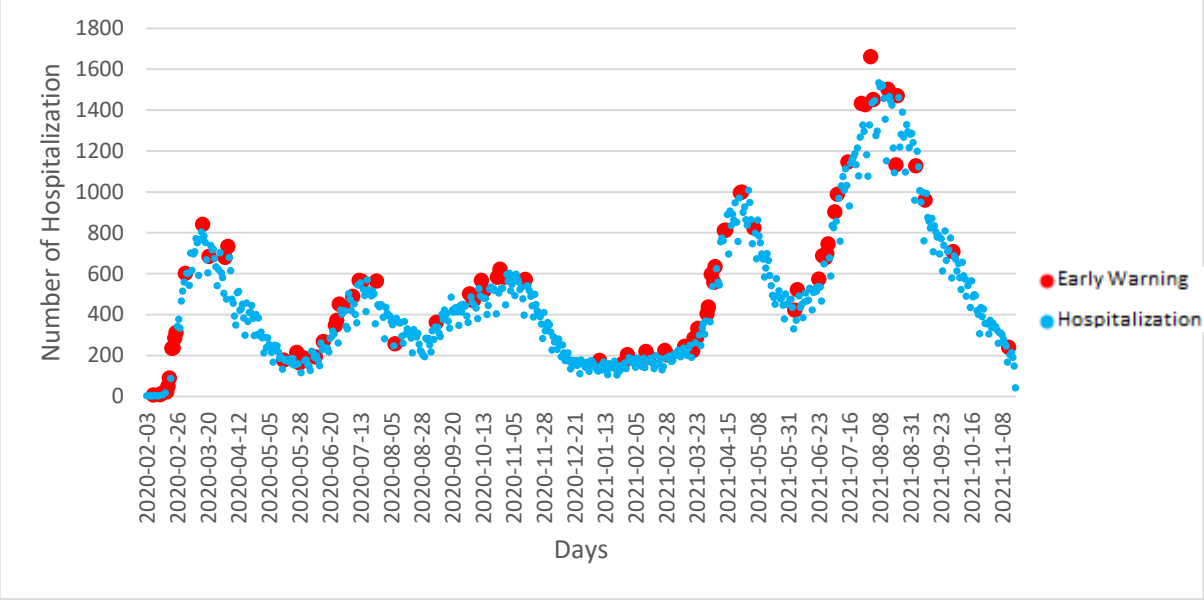
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای شهر **سربیشه**



نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای شهر **بندر عباس**



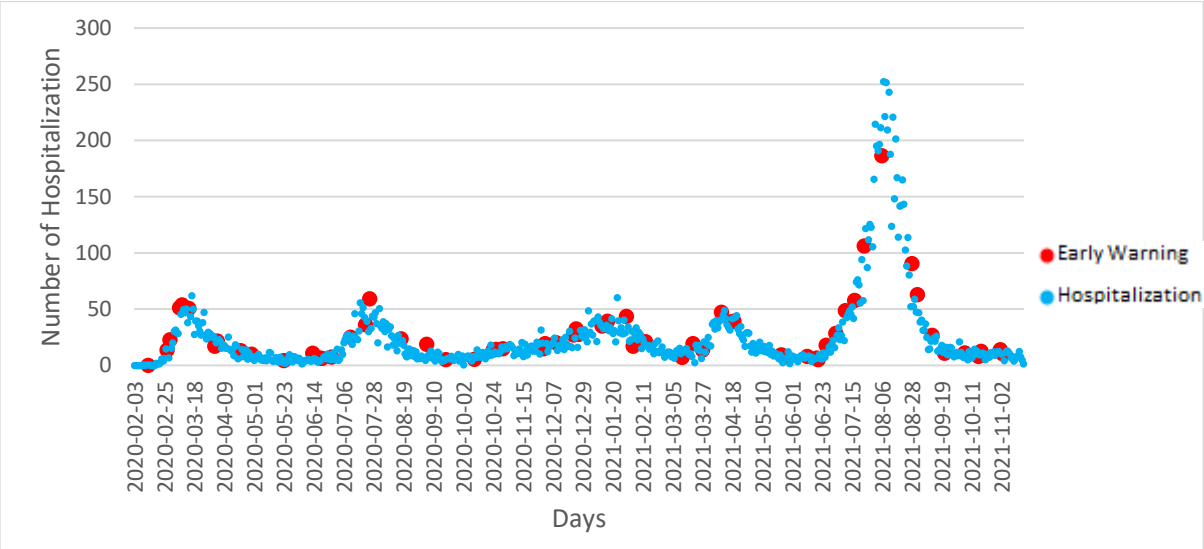
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای شهر **هرمز**



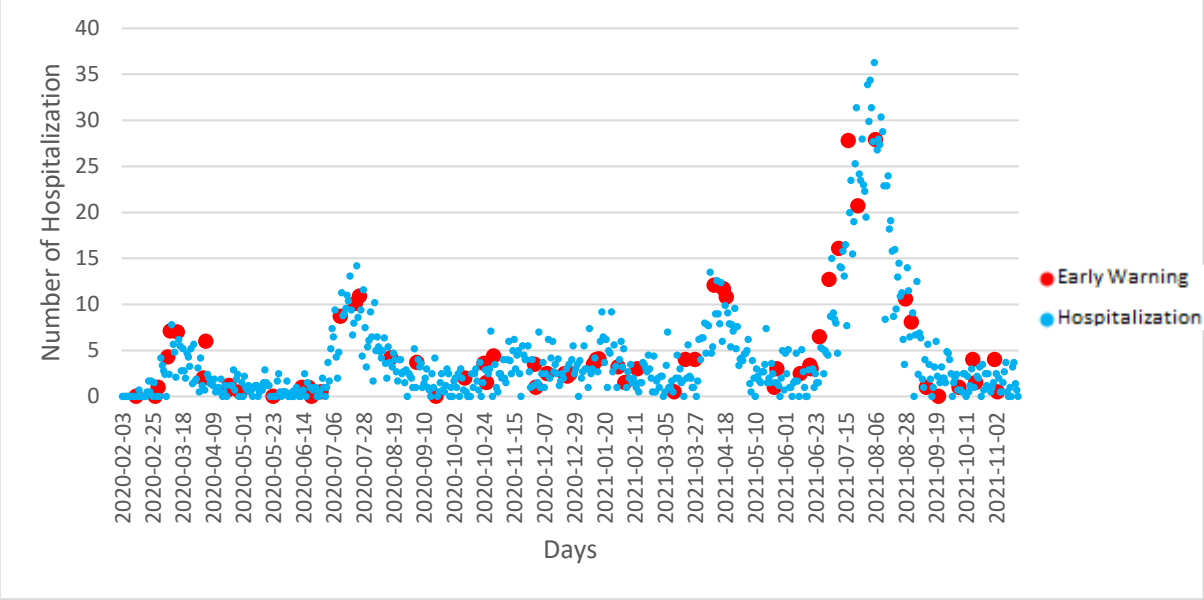
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده برای شهر **تهران**

ب) شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای تعیین اعلام هشدارهای اولیه

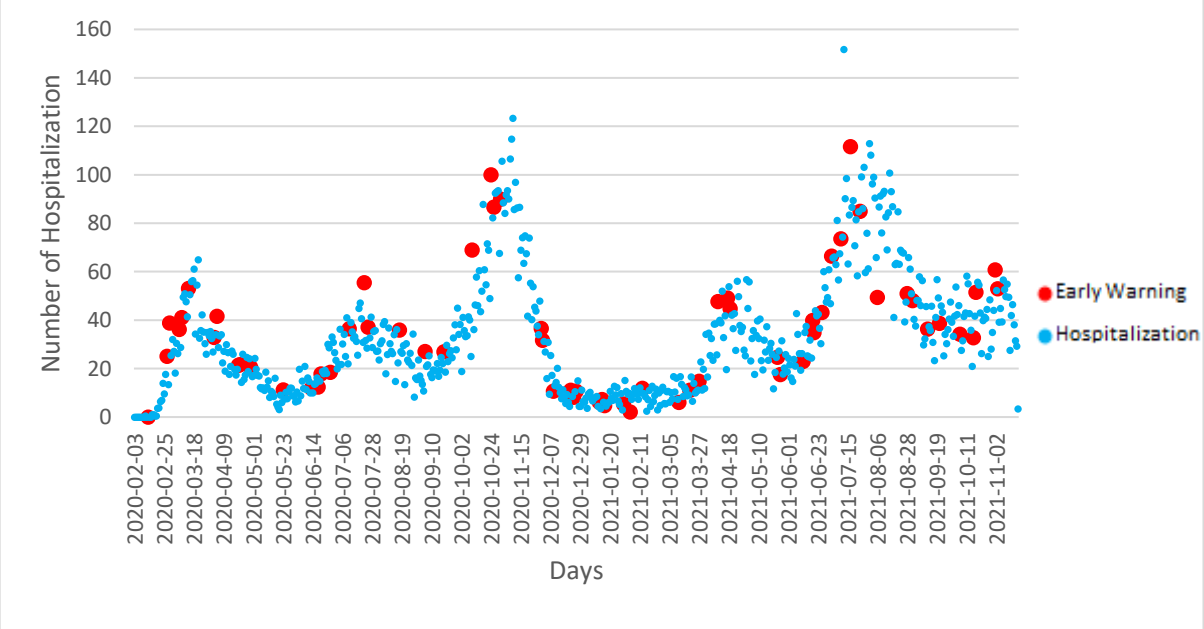
نتایج برای شهرهای ساری، محمود آباد، یزد، مهریز،کرمانشاه، جوانرود، بیرجند، سربیشه، بندر عباس، هرمز و تهران ارایه شد. نمودار آبی، تعداد موارد بستری روزانه و نمودار قرمز اعلام هشدارهای اولیه را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده، ۵ روز متوالی هشدار رخ نداد بنابراین این شاخص قادر به تعیین دوره اپیدمی نبود.



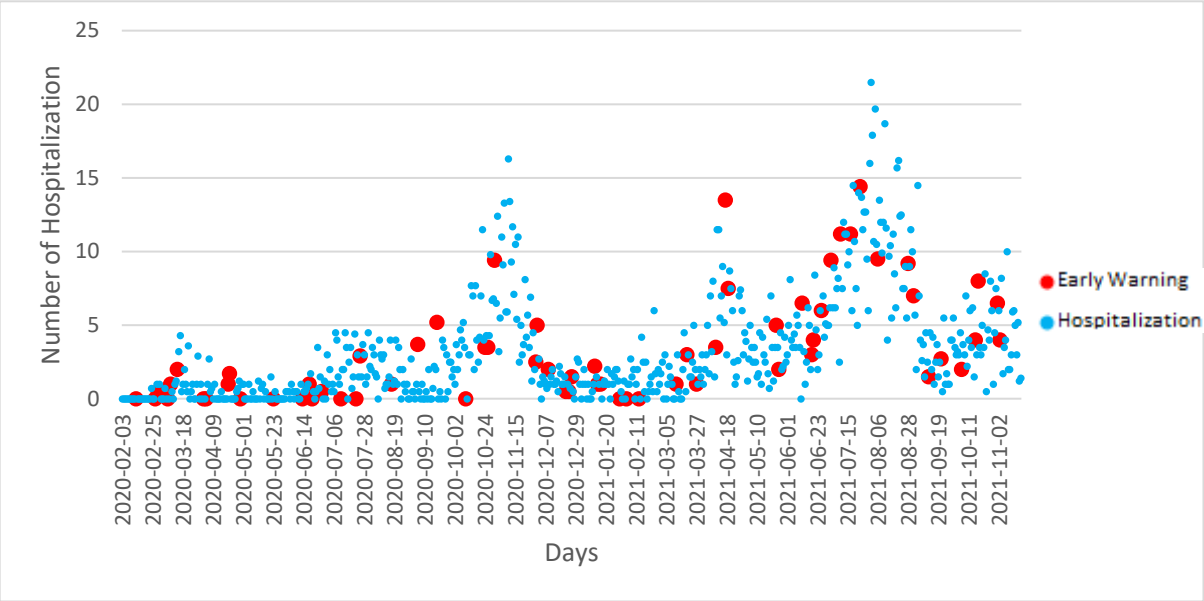
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای شهر **ساری**



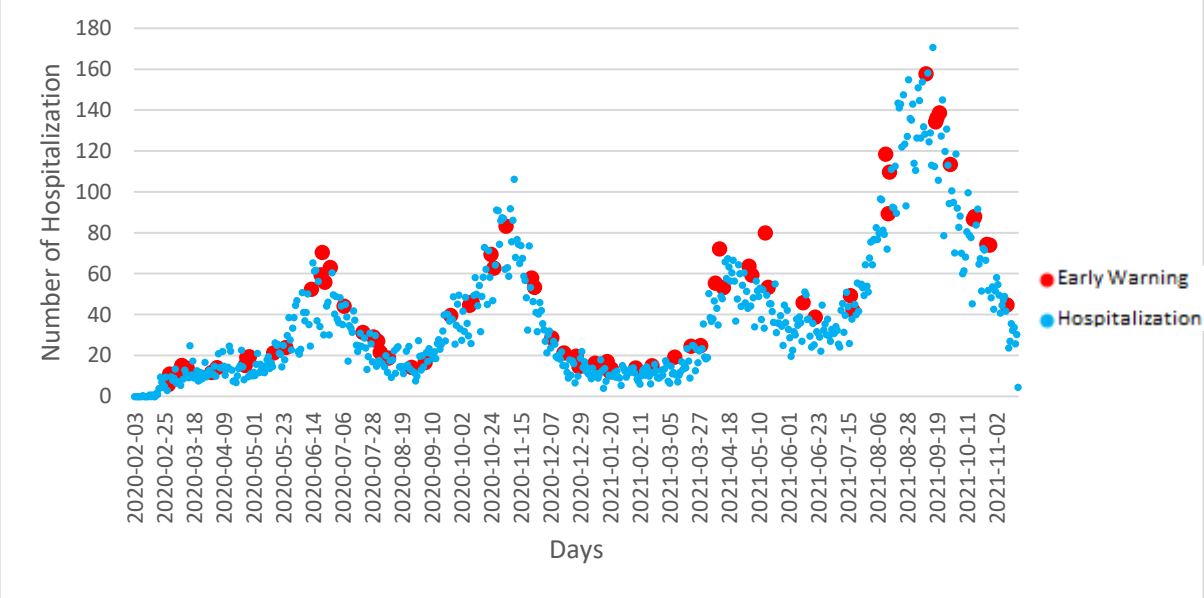
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای شهر **محمود آباد**



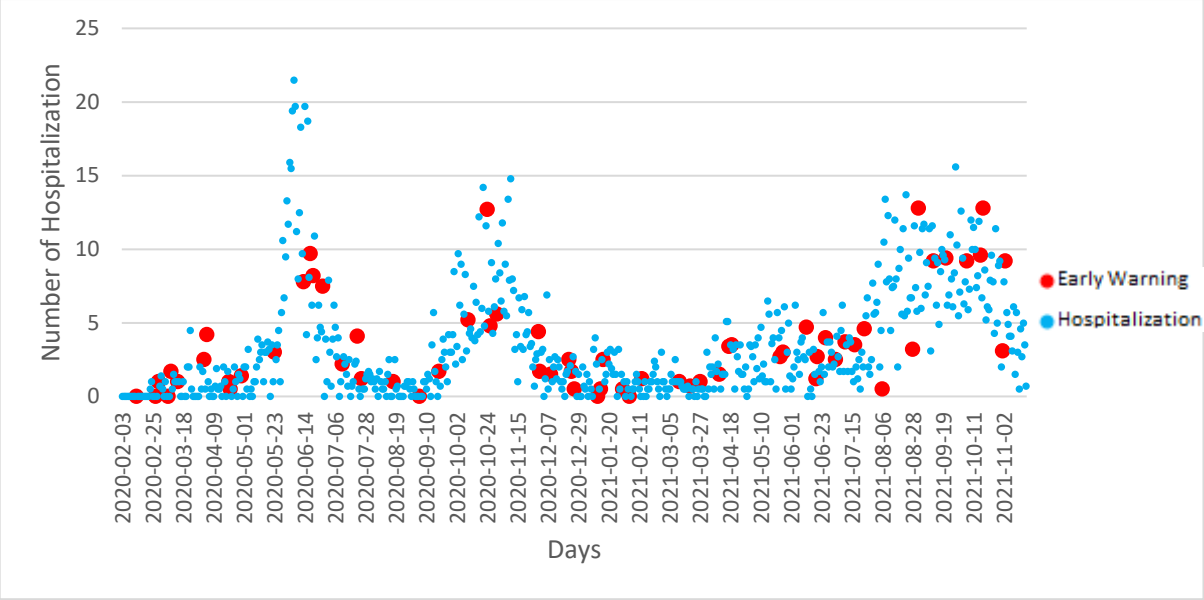
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای شهر **یزد**



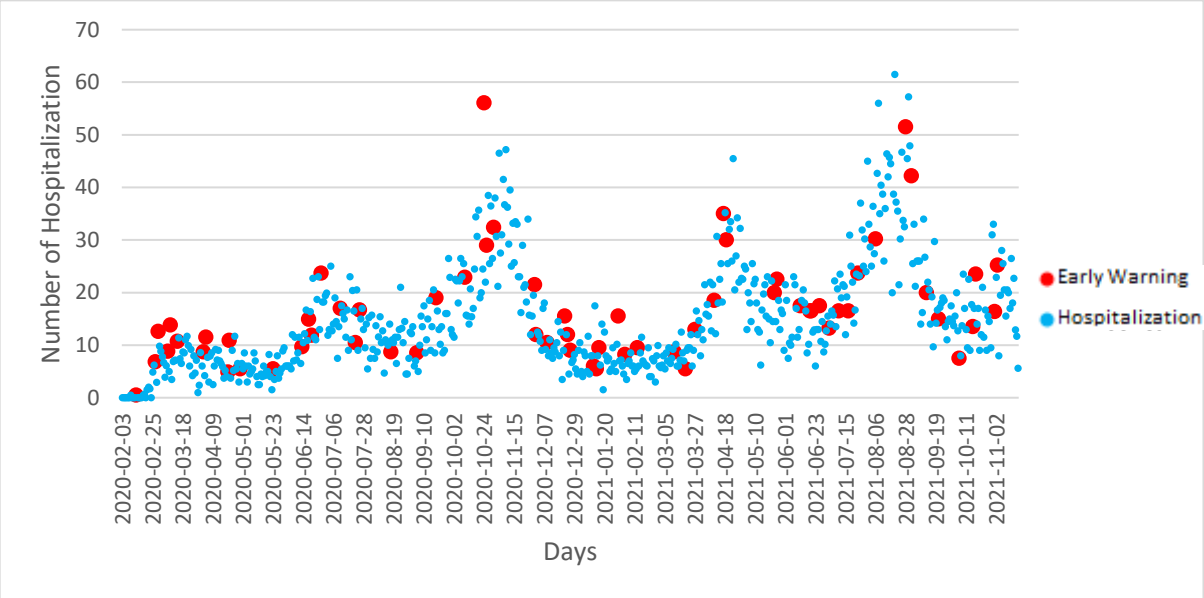
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای شهر **مهریز**



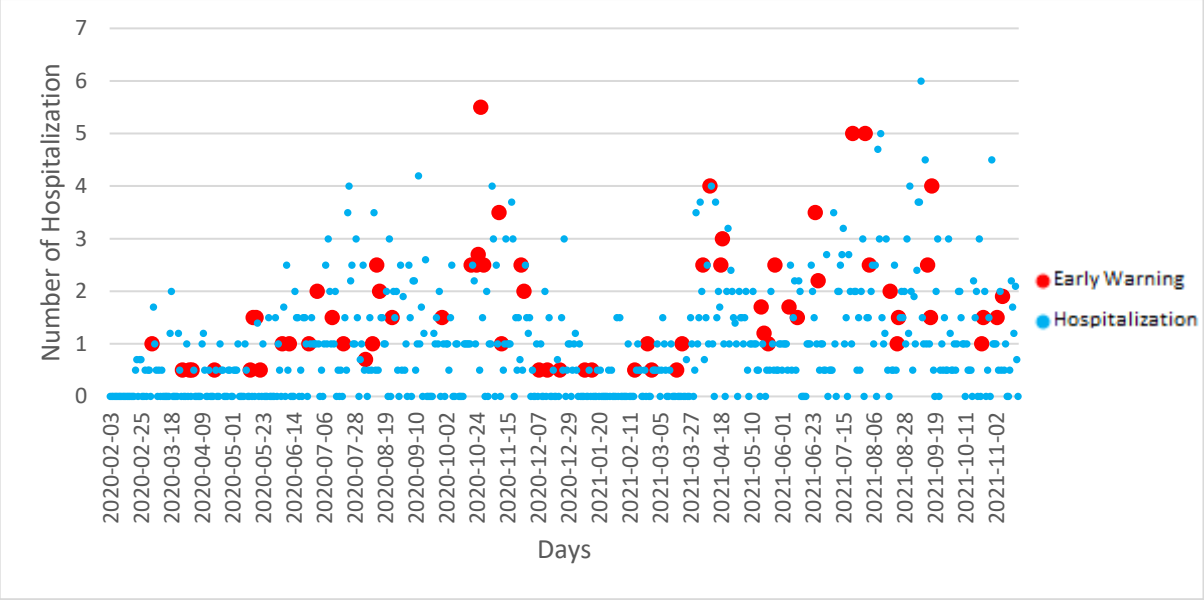
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای شهر **کرمانشاه**



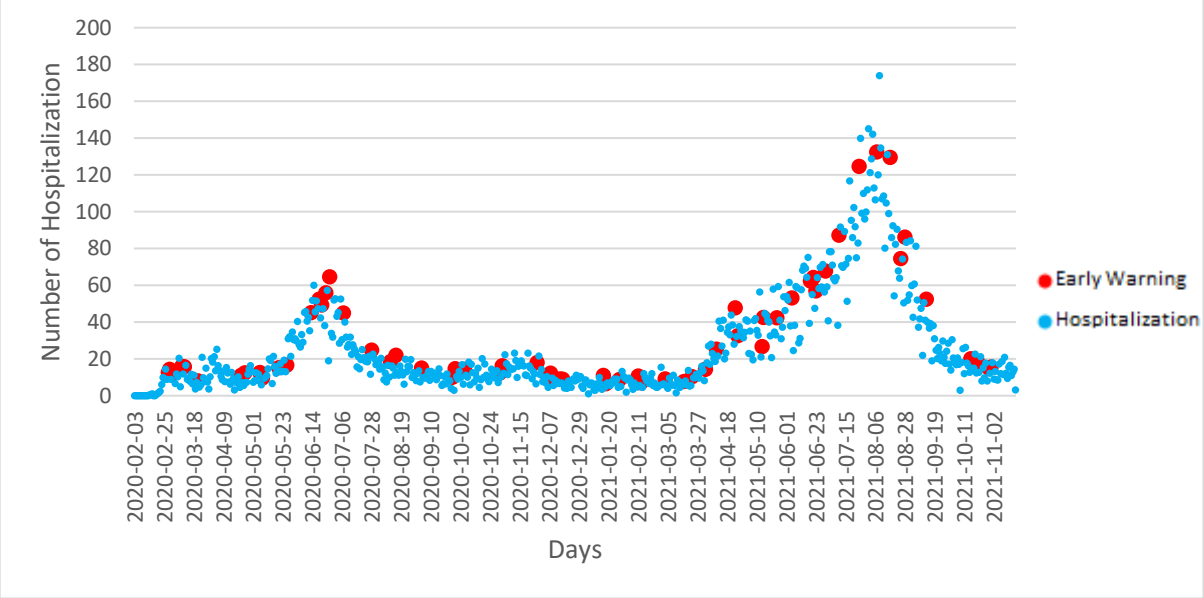
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای شهر **جوانرود**



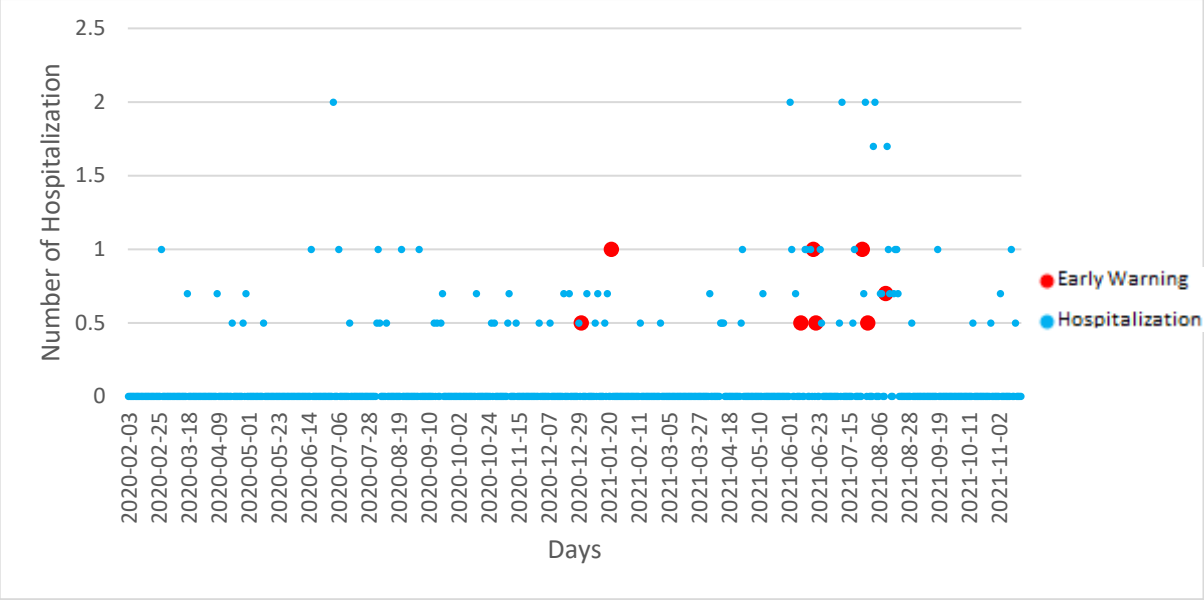
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای شهر **بیرجند**



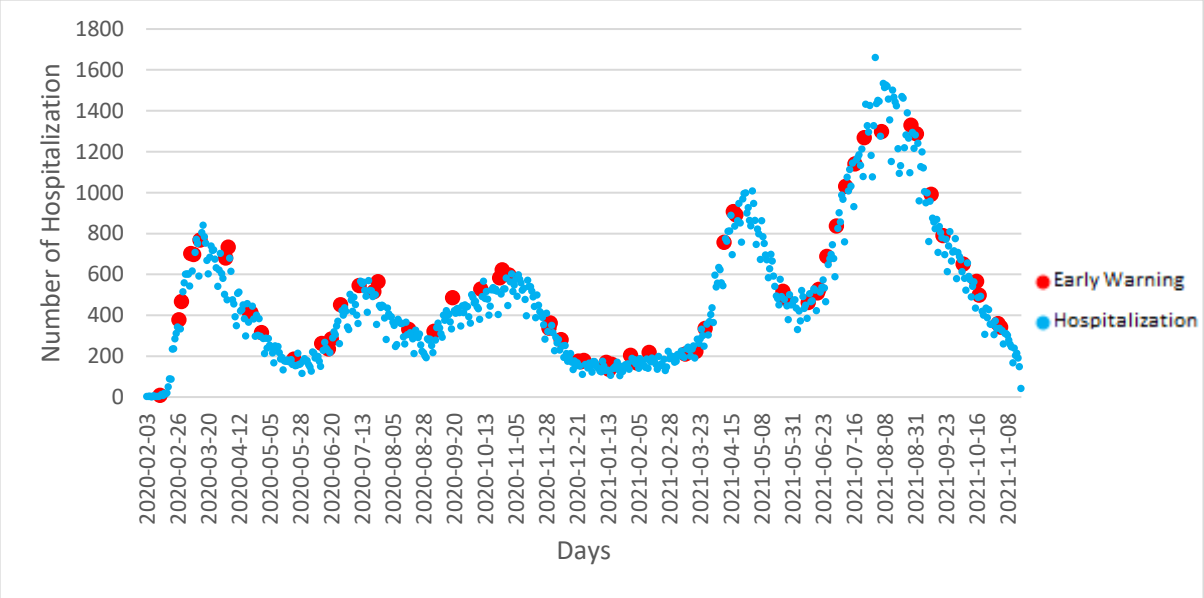
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای شهر **سربیشه**



نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای شهر **بندر عباس**



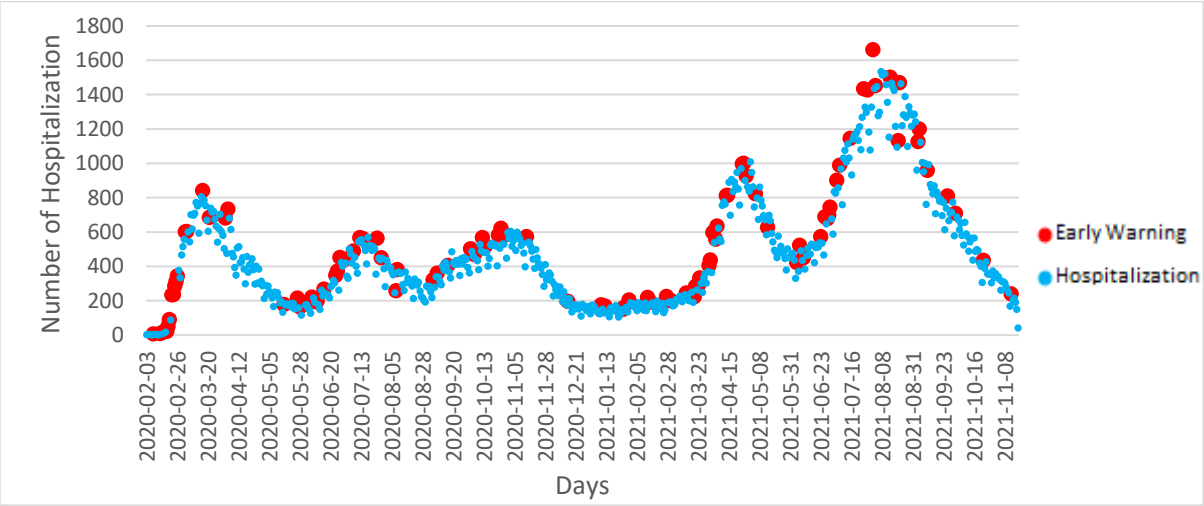
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای شهر **هرمز**



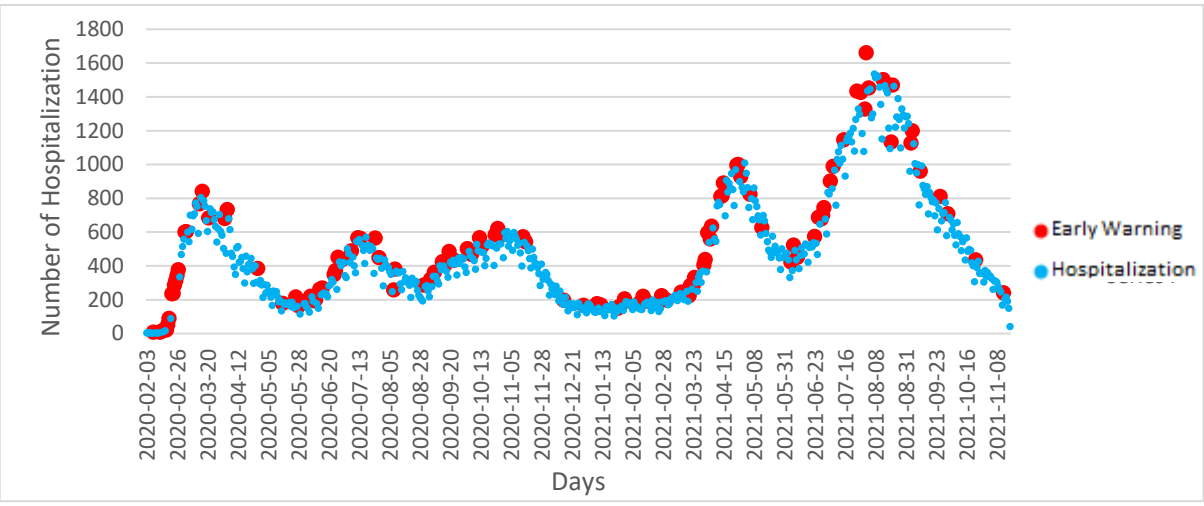
نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده برای شهر **تهران**

با توجه به اینکه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده و شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده، ۵ روز متوالی هشداری رخ نمی‌داد و در نتیجه این شاخص ها قادر به تعیین دوره اپیدمی نبودند، نقطه برش (cut point) شاخص انحراف معیار استاندارد شده از مقدار ۱ به مقادیر ۰/۷۵، ۰/۵۰ و ۰/۲۵ و شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده از مقدار ۱- به مقادیر ۰/۷۵-، ۰/۵۰- و ۰/۲۵- تغییر کرد.

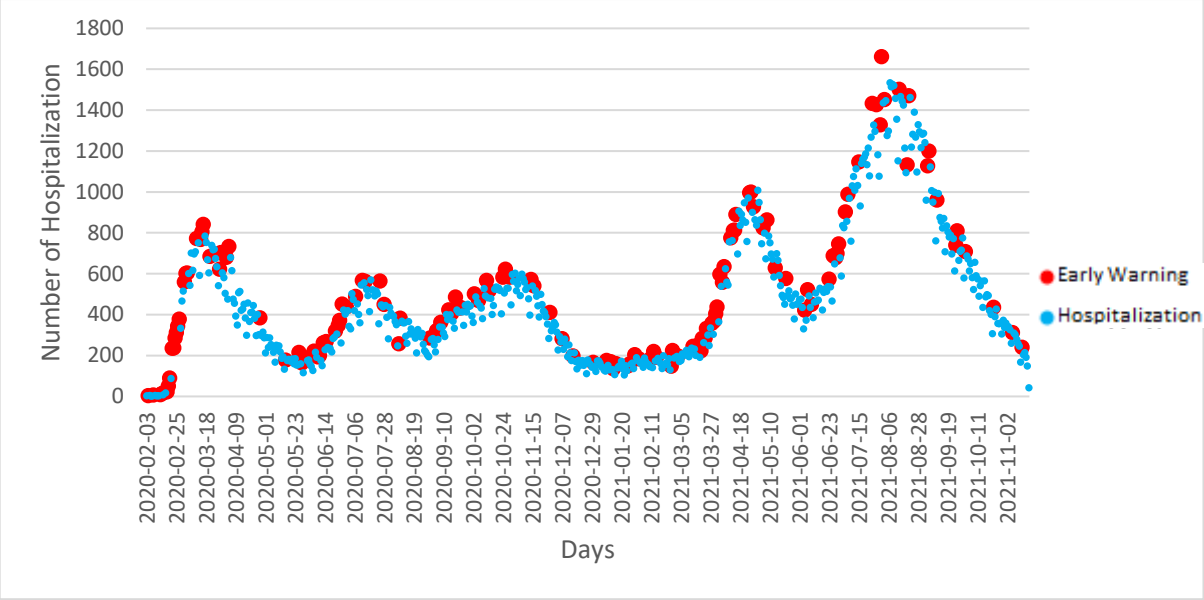
نتایج شاخص انحراف معیار استاندارد شده براساس نقطه برش (cut point)، ۰/۷۵، ۰/۵۰ و ۰/۲۵ برای شهر تهران



نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده (نقطه برش ۰/۷۵) برای شهر **تهران**

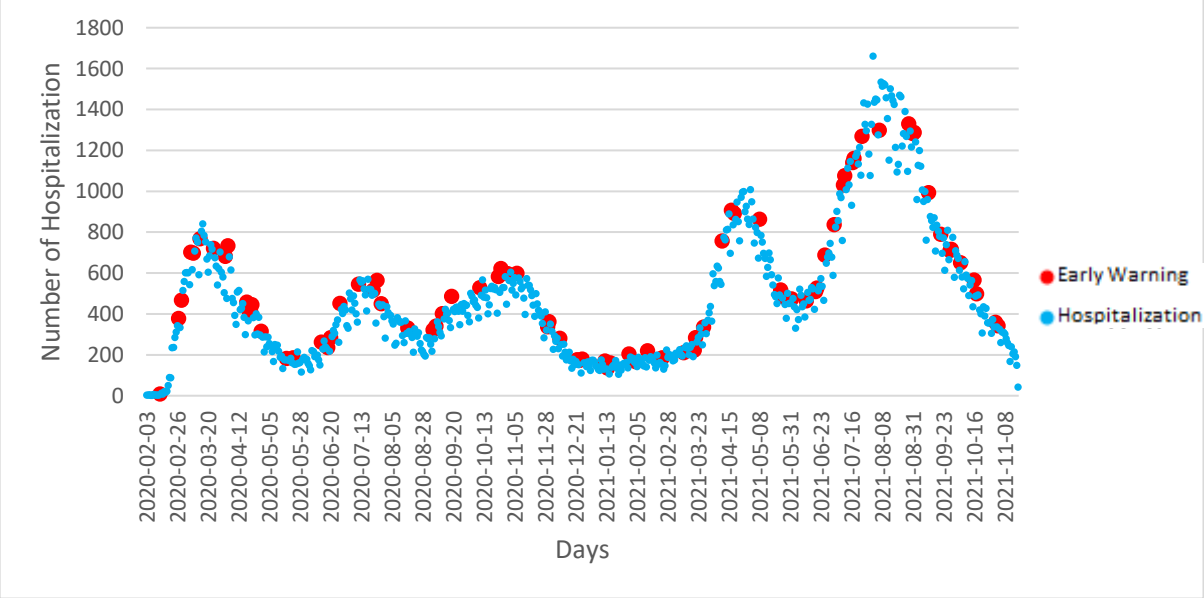


نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده (نقطه برش ۰/۵۰) برای شهر **تهران**

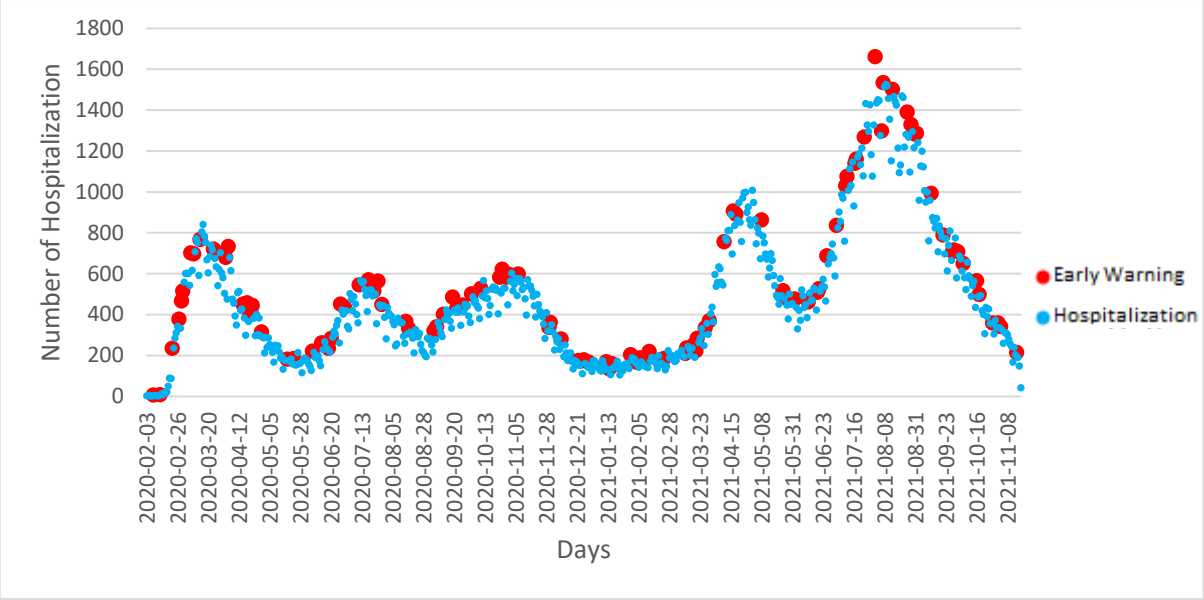


نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص انحراف معیار استاندارد شده (نقطه برش ۰/۲۵) برای شهر **تهران**

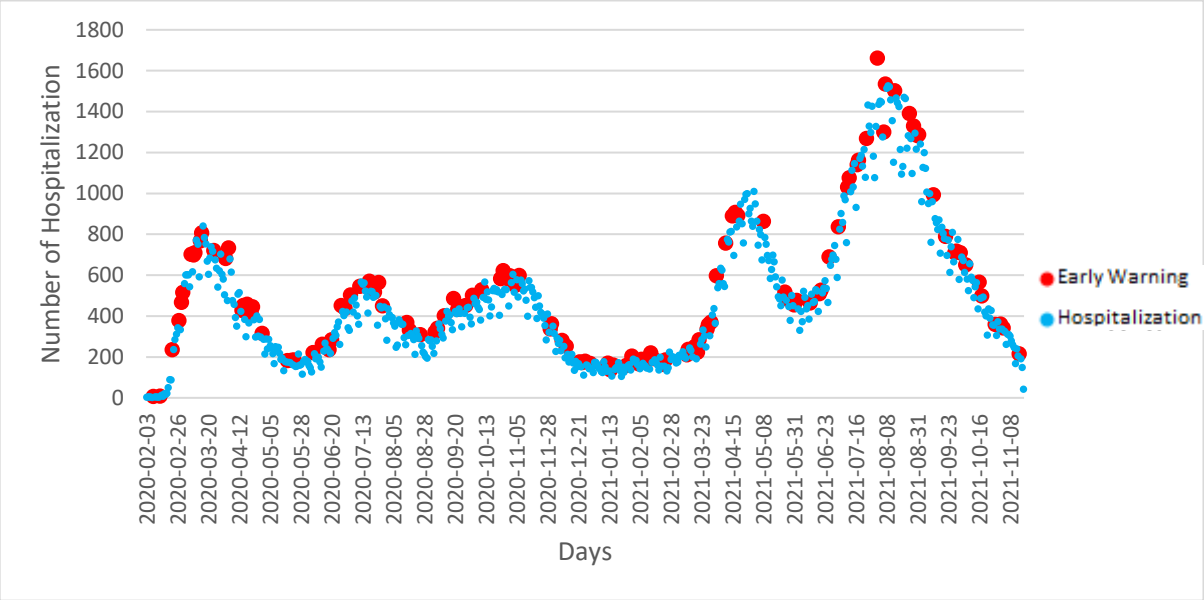
نتایج شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده براساس نقطه برش (cut point) ۰/۷۵-، ۰/۵۰- و ۰/۲۵- برای شهر تهران



نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده (نقطه برش ۰/۷۵-) برای شهر **تهران**



نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده (نقطه برش ۰/۵۰-) برای شهر **تهران**



نمودار اعلام هشدارهای اولیه براساس شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده (نقطه برش ۰/۲۵-) برای شهر **تهران**

نتیجه گیری:

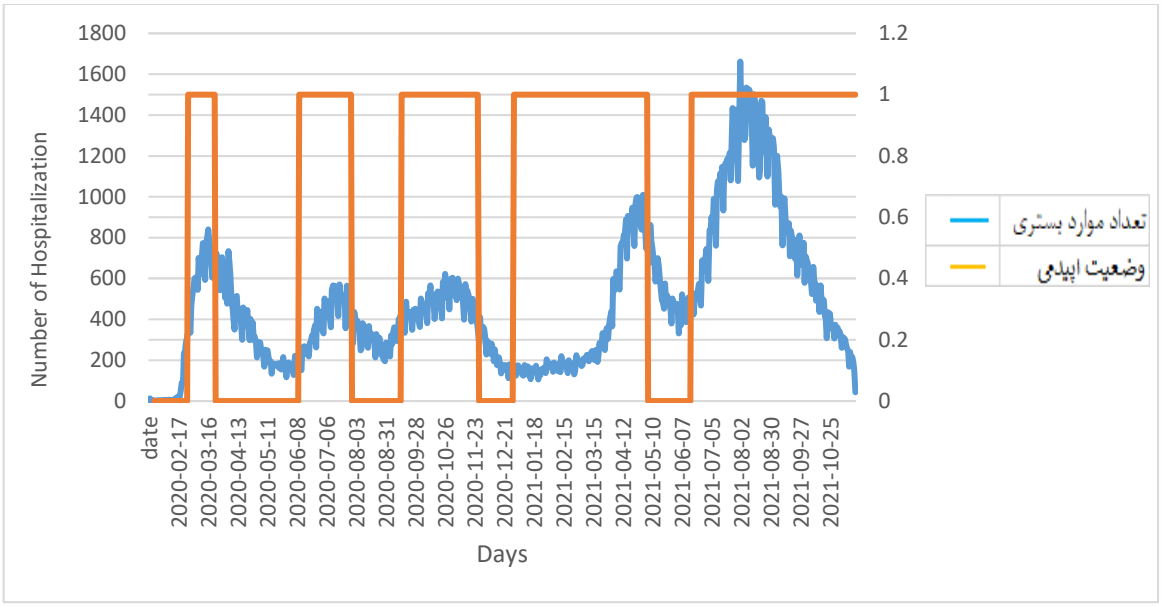
براساس نتایج به دست آمده، دو شاخص انحراف معیار استاندارد شده و شاخص تابع خود همبستگی استاندارد شده قادر به تعیین دوره اپیدمی نبودند (۵ روز متوالی هشدار)، بنابراین استفاده از این دو شاخص در تعیین دوره اپیدمی مناسب نیست لذا نتایج برای بقیه شهرها گزارش نشد

مدل۴ : مدل رگرسیون (رگرسیون خطی، پواسن و دوجمله ای منفی) :

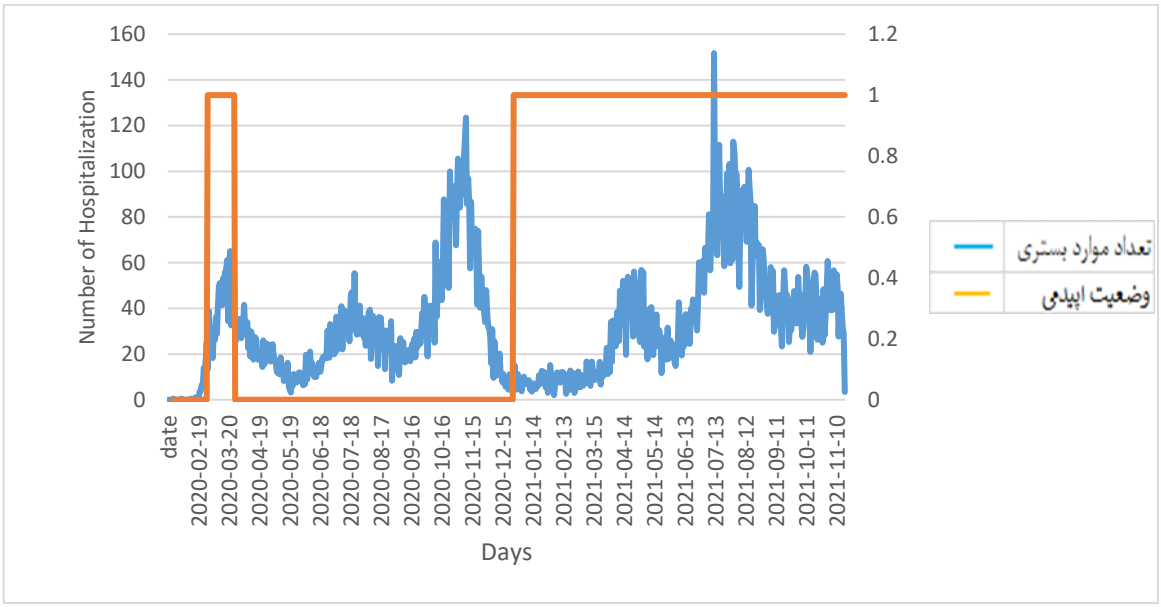
برای بررسی روند داده‌ها از مدل ASMODEE در نرم افزار R و پکیج trendbreaker استفاده شده است. در این مدل از داده‌های شش هفته گذشته به عنوان تاریخچه اپیدمی استفاده شده و مدل‌های مختلف از جمله رگرسیون خطی، پواسن و دو جمله‌ای منفی با لحاظ کردن اثر روز اپیدمی و ایام هفته به عنوان متغیر مستقل برازش داده شده است و مدلی که از لحاظ شاخص AIC برازش بهتری به داده‌ها داشته، به عنوان مدل مناسب انتخاب شده است. در این روش، بر اساس فواصل پیش‌بینی (فاصله اطمینان ۹۵ درصدی خط رگرسیونی) محاسبه شده و نقاطی که خارج از این فواصل قرار می‌گیرند به عنوان نقاط پرت (نقاط early warning) لحاظ می‌شوند. این روش برای داده‌های تمامی شهرستان‌ها اعمال شده است و زمان‌هایی که یک افزایش یا کاهش قابل توجه در موارد تشخیص داده شده، بوجود آمده، مشخص شده‌اند.

عدد یک در خطوط نارنجی نشان دهنده وضعیتی است که شروع آن بر اساس پنج early warning افزایشی متوالی و پایان آن پنج early warning کاهشی متوالی است و عدد صفر وضعیت غیر اپیدمی را نشان می‌دهد.

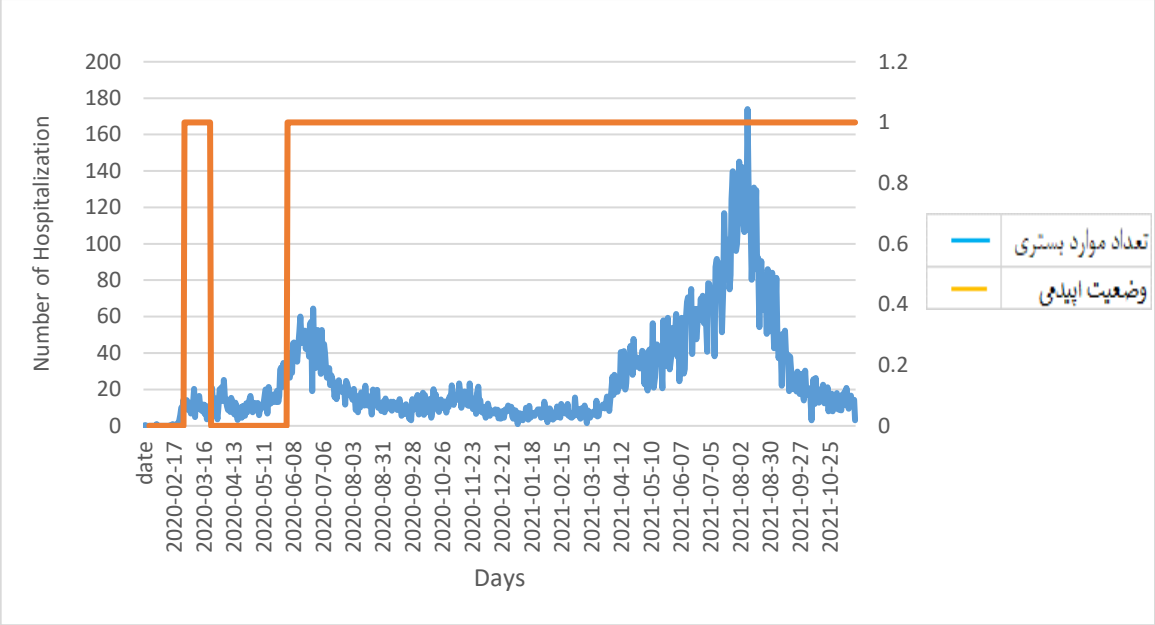
خطوط آبی نیز نشان‌دهنده تعداد موارد بستری در هر روز است. در ادامه نمودار شهرهای منتخب نمایش داده شده است و بر اساس این مشاهدات به نظر می‌رسد مدل فوق در تشخیص اپیدمی و تعیین دوره های پیک مخصوصاً در حجم نمونه کم دقت بالایی ندارد.



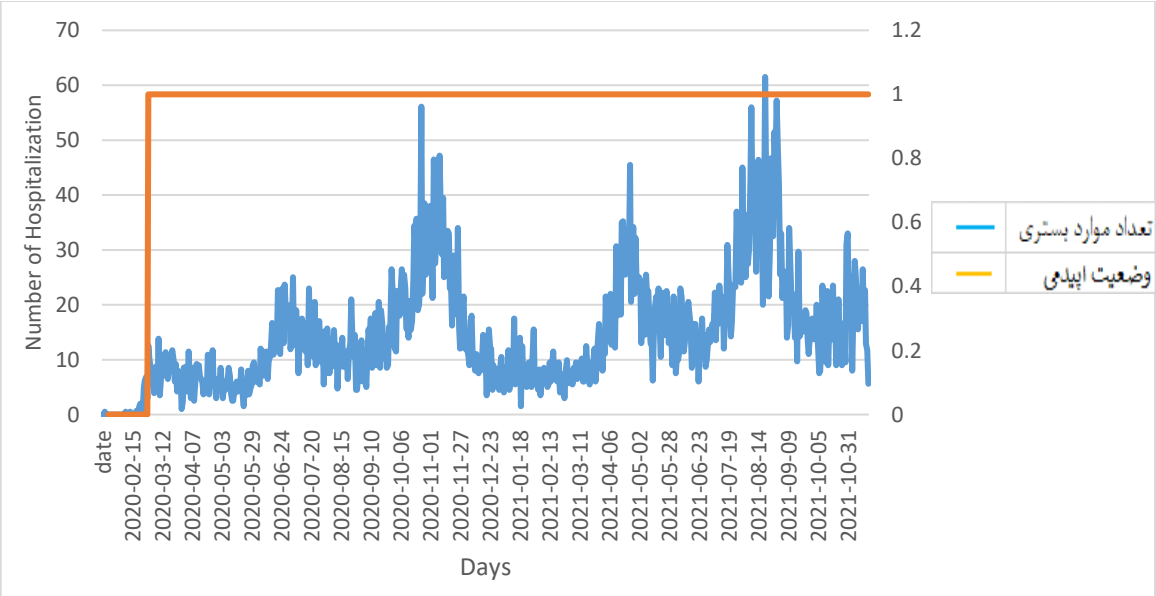
نمودار early warning شهر **تهران** براساس مدل ASMODEE



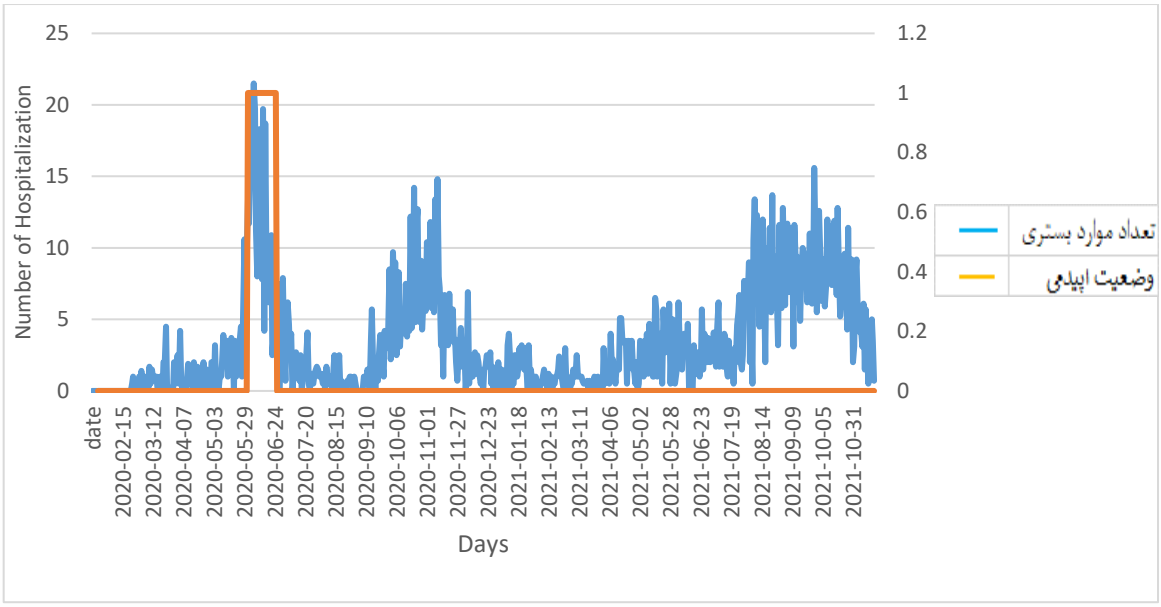
نمودار early warning شهر **یزد** براساس مدل ASMODEE



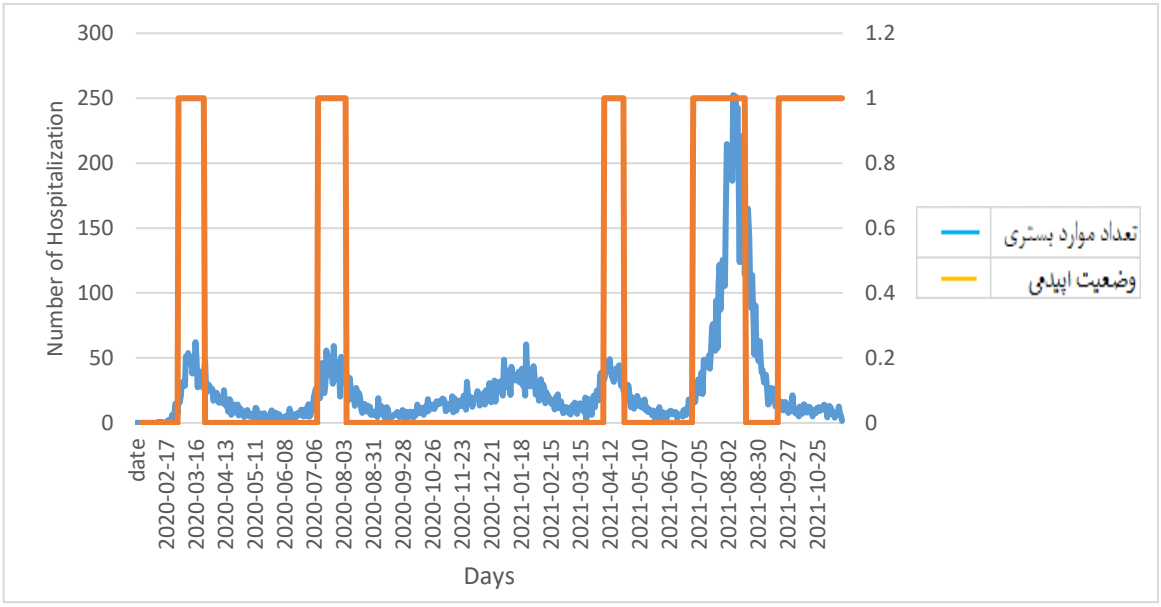
نمودار early warning شهر **بندرعباس** براساس مدل ASMODEE



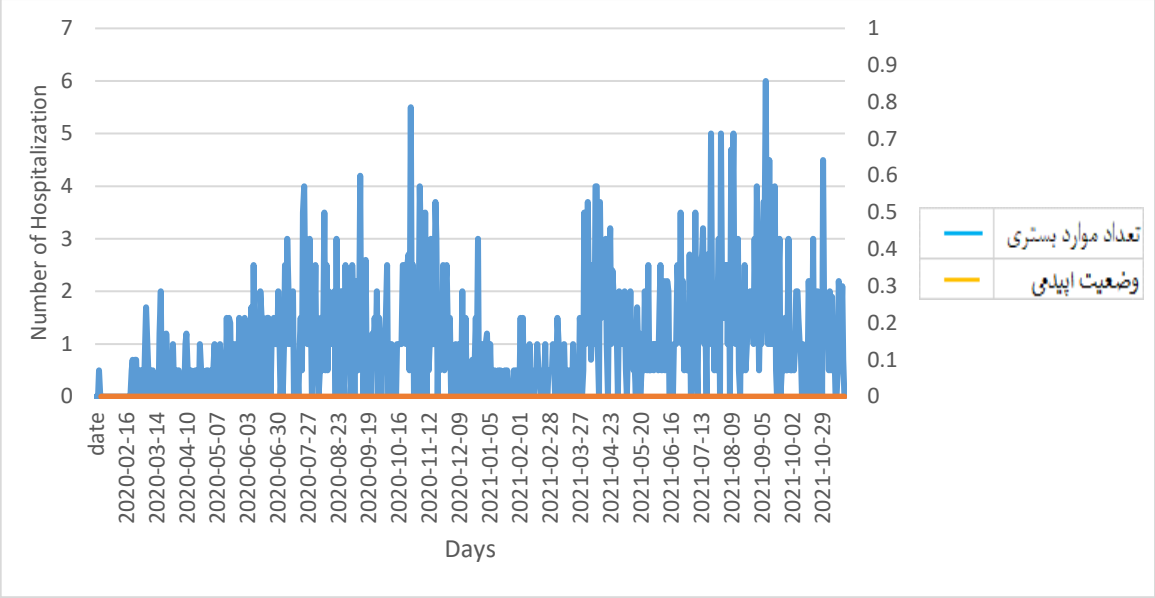
نمودار early warning شهر **بیرجند** براساس مدل ASMODEE



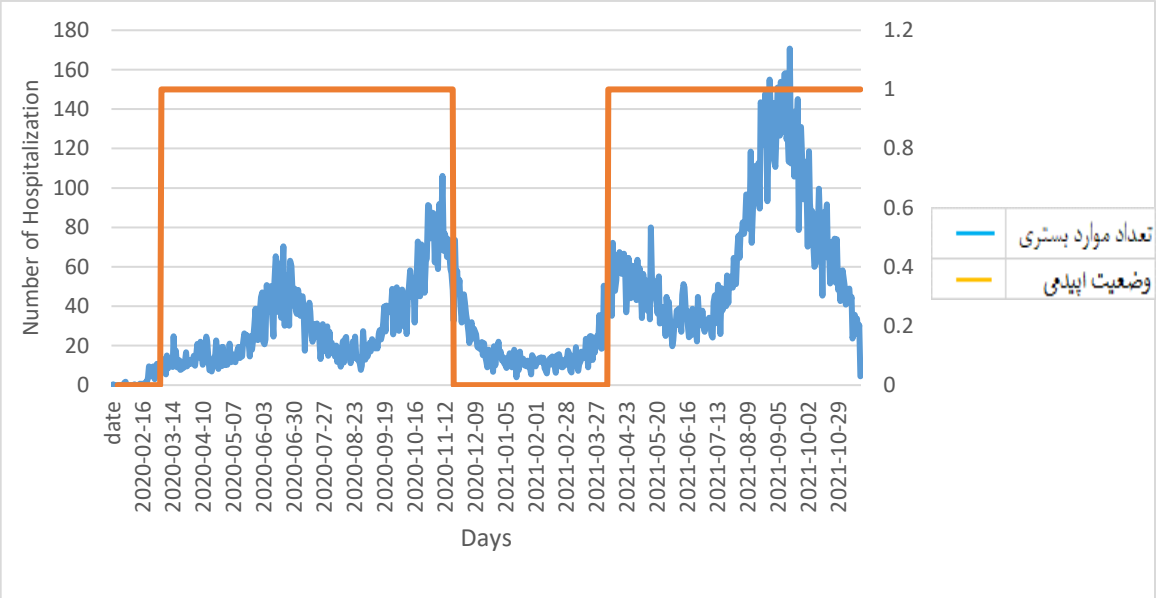
نمودار early warning شهر **جوانرود** براساس مدل ASMODEE



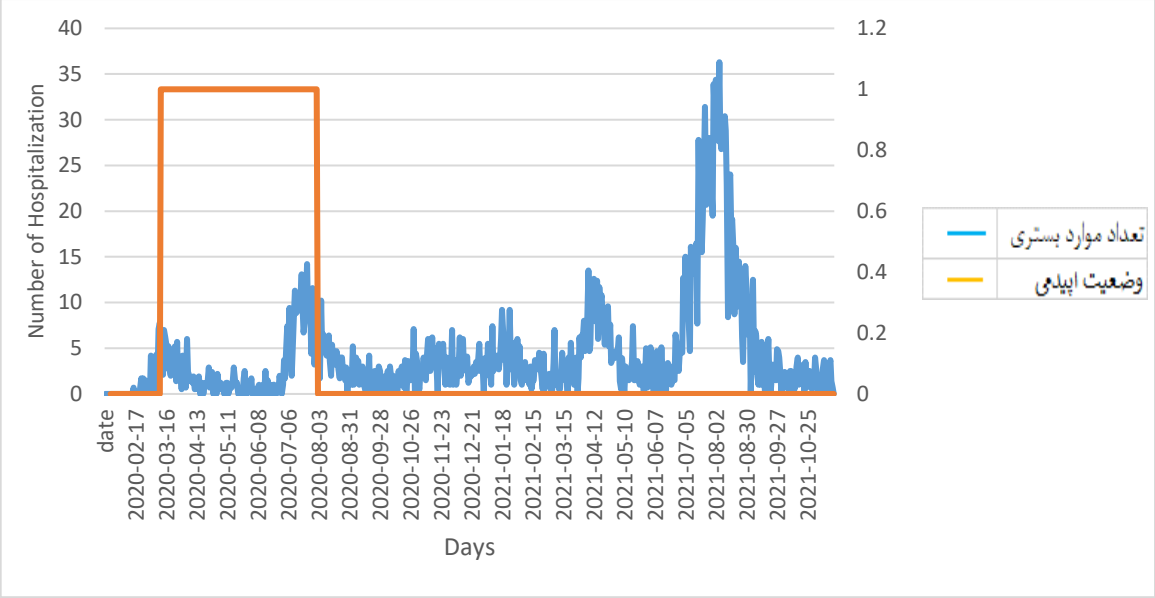
نمودار early warning شهر **ساری** براساس مدل ASMODEE



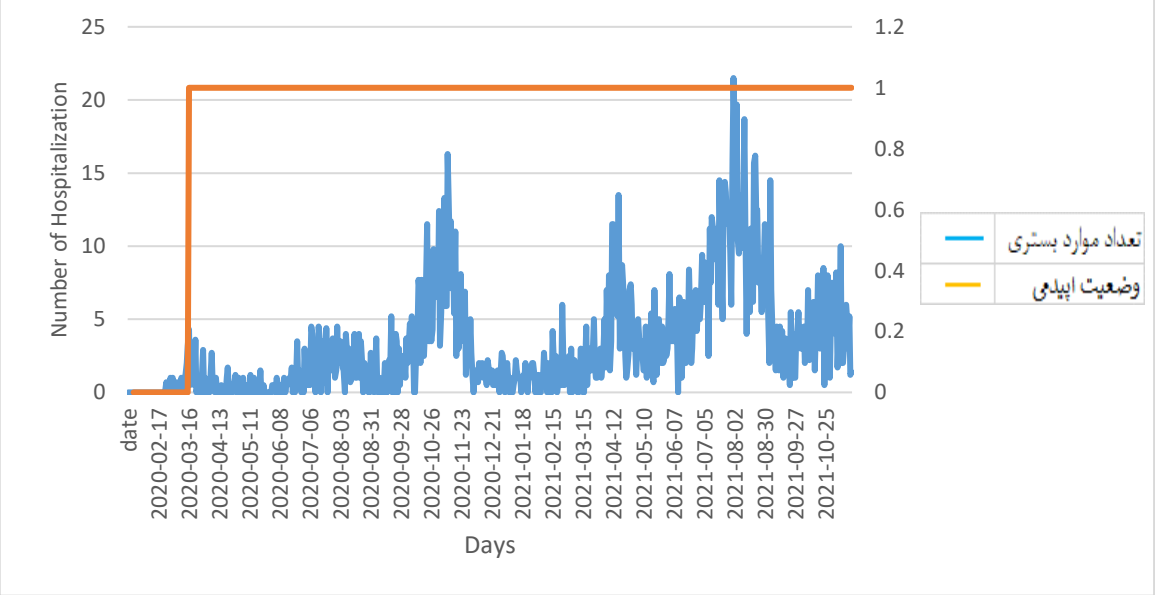
نمودار early warning شهر **سربیشه** براساس مدل ASMODEE



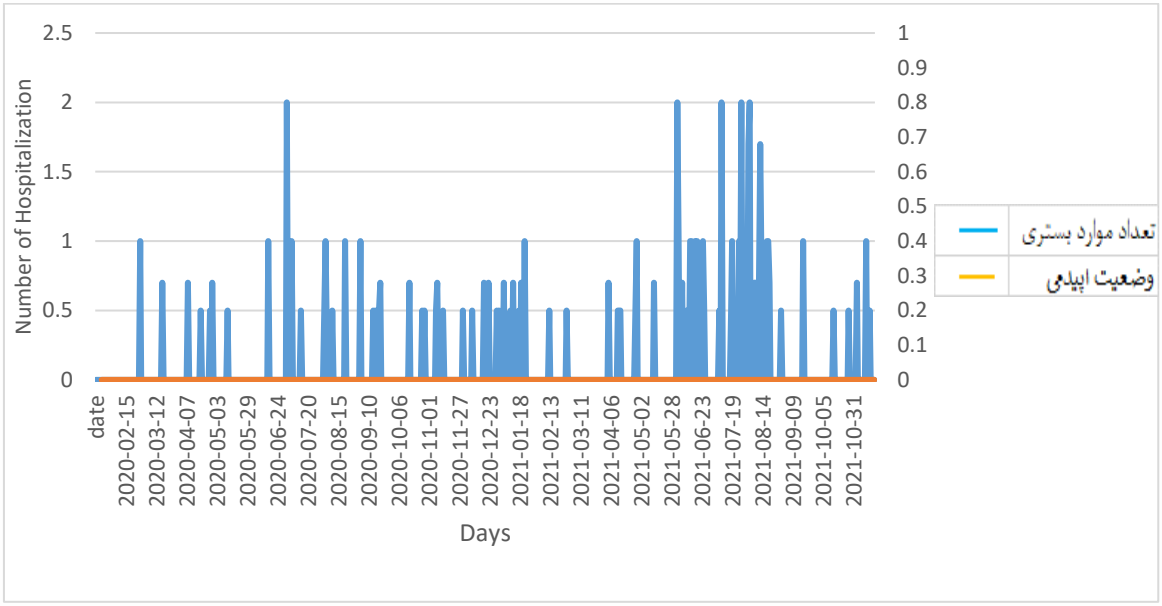
نمودار early warning شهر **کرمانشاه** براساس مدل ASMODEE



نمودار early warning شهر **محمودآباد** براساس مدل ASMODEE

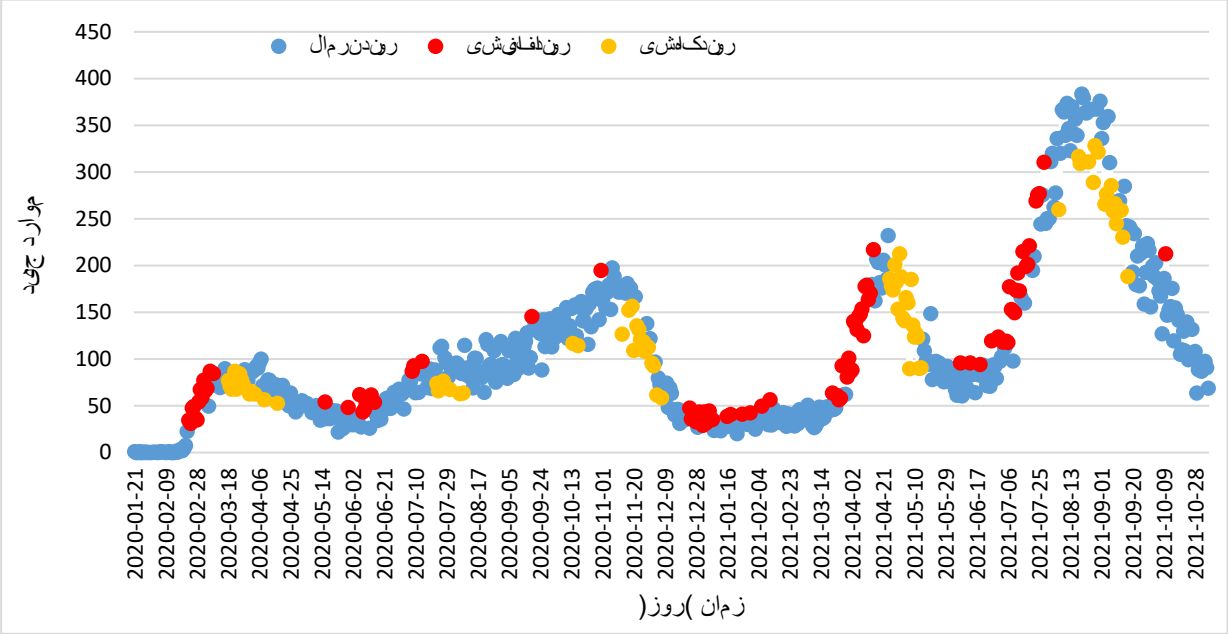


نمودار early warning شهر **مهریز** براساس مدل ASMODEE

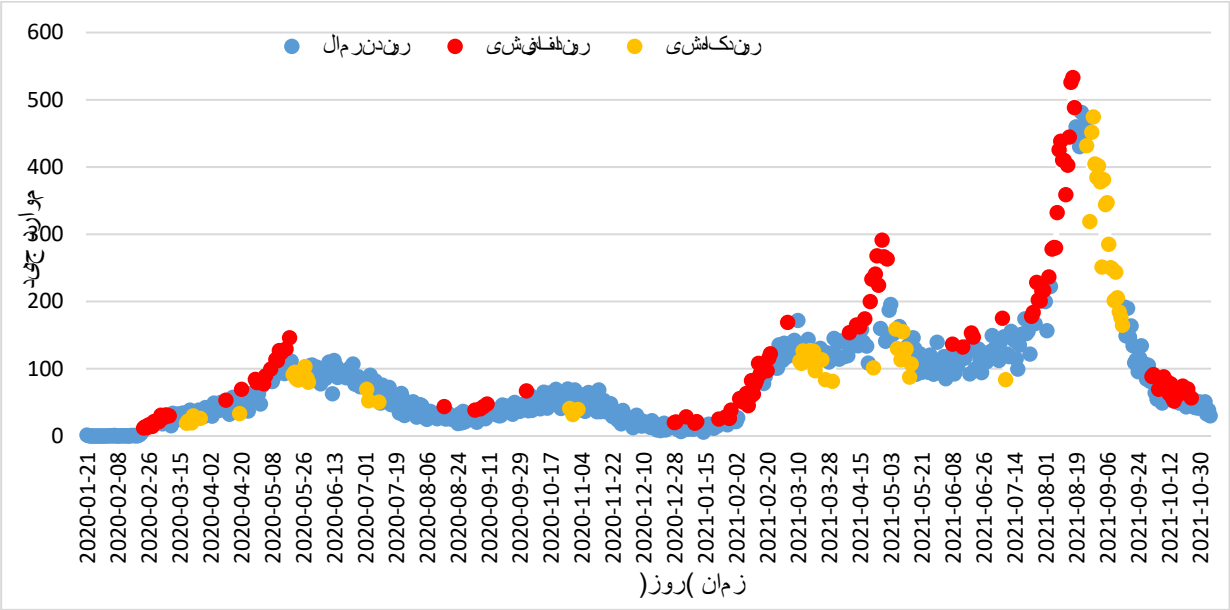


نمودار early warning شهر **هرمز** براساس مدل ASMODEE

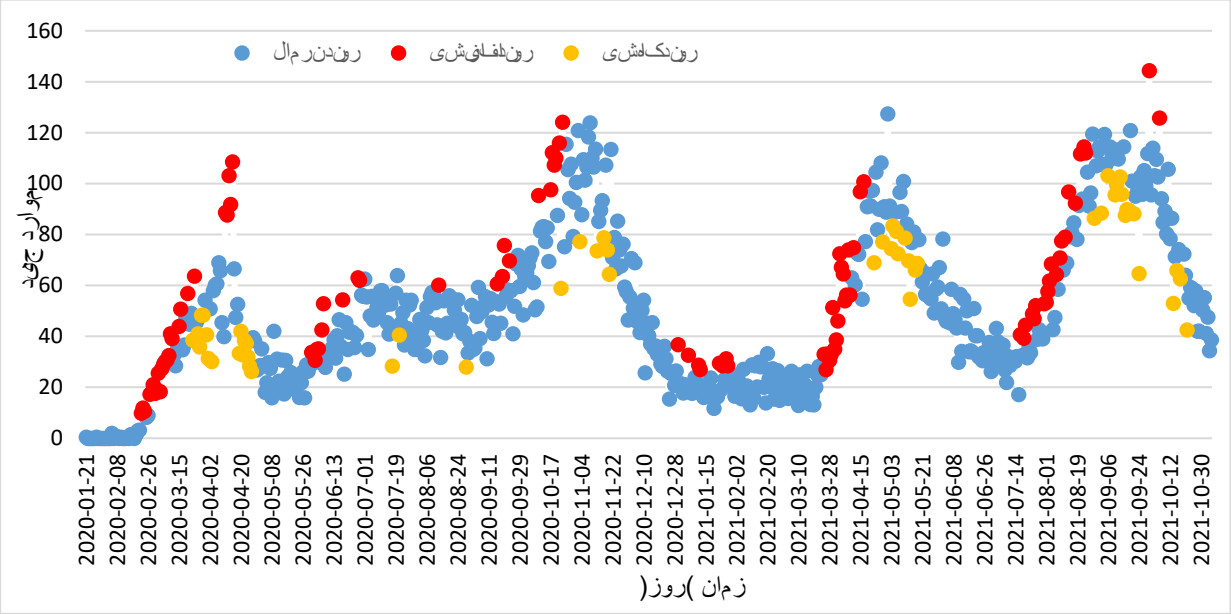
در ادامه از مدل ۴ به منظور تعیین روند استفاده شد در این نمودارها رنگ قرمز نشان‌دهنده نقاط هشدار اولیه برای روند افزایشی، نقاط زرد نشان‌دهنده نقاط هشدار اولیه برای روند کاهشی و نقاط آبی که تحت عنوان روند نرمال مشخص شده‌اند وضعیتی را بیان می‌کنند که براساس مدل برازش شده روتد افزایشی یا کاهشی تشخیص داده نشده است. در این قسمت نیز مدل ۴ علاوه تعیین پیک، به نظر می‌رسد که روند را نیز خوب تشخیص نمی‌دهد.



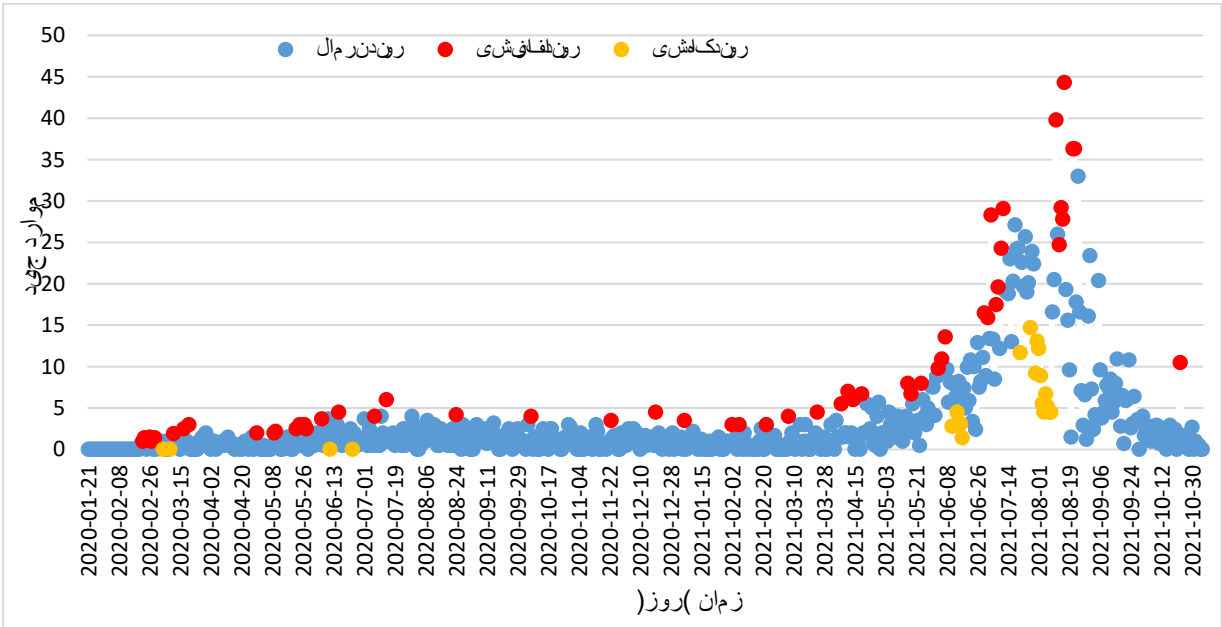
نمودار تعیین روند شهر **اصفهان** براساس مدل ASMODEE



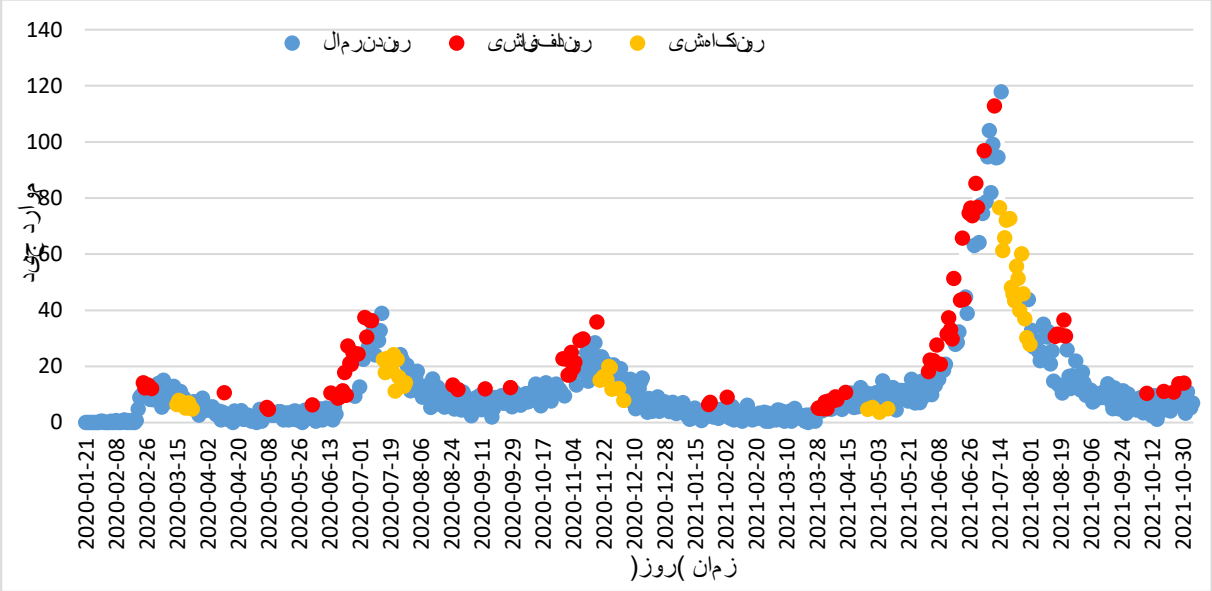
نمودار تعیین روند شهر **اهواز** براساس مدل ASMODEE



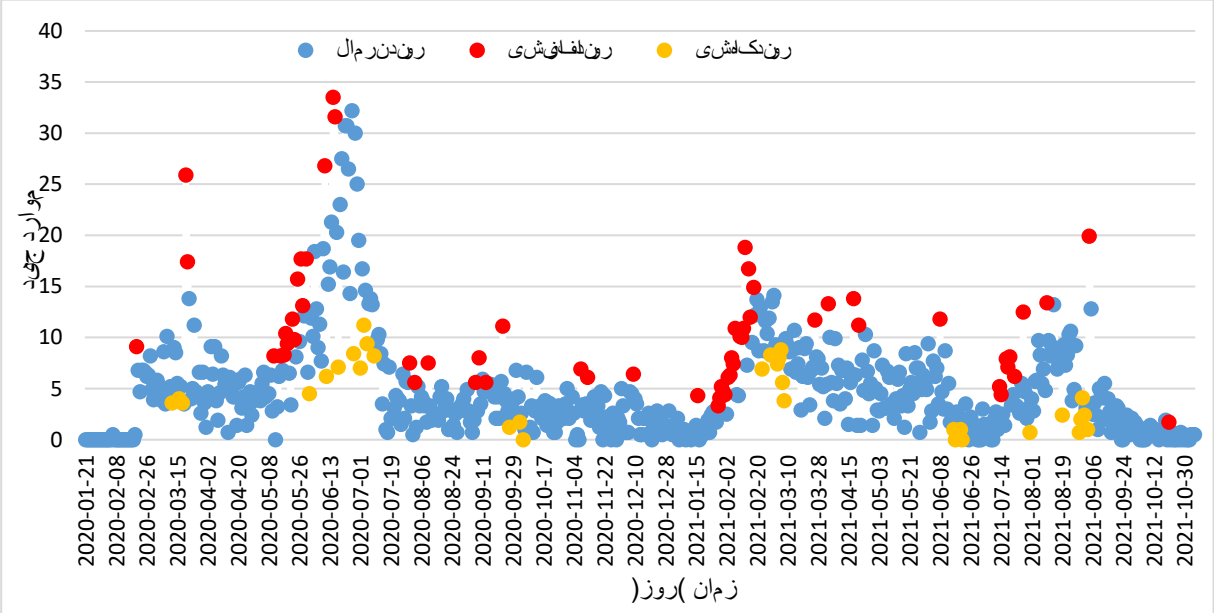
نمودار تعیین روند شهر **تبریز** براساس مدل ASMODEE



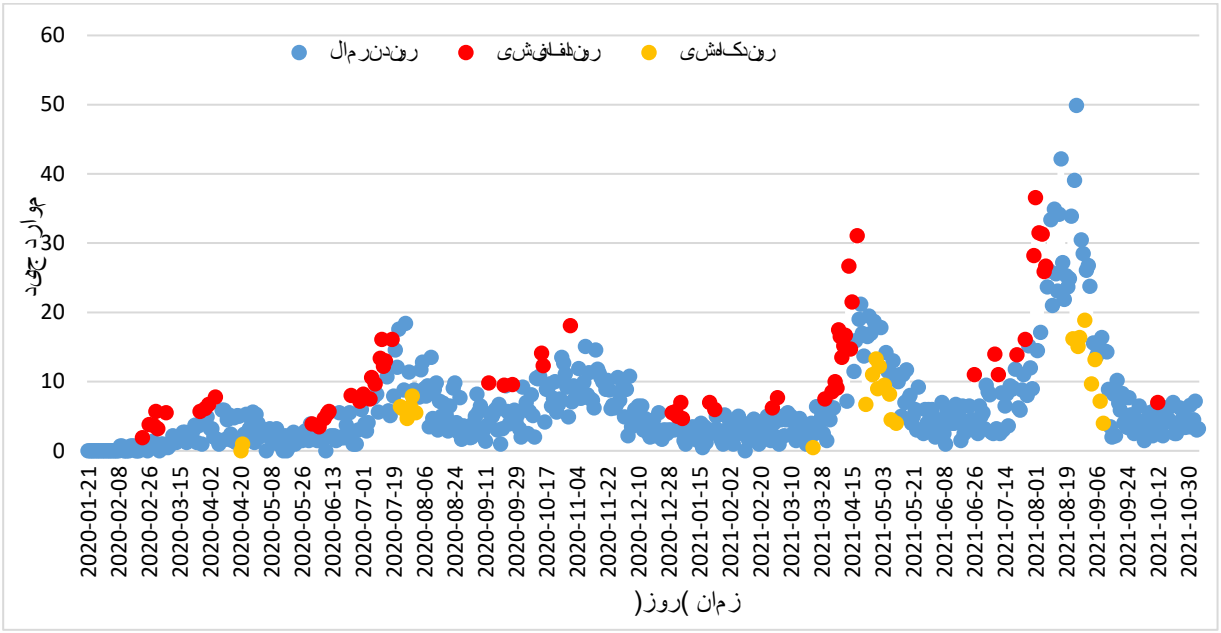
نمودار تعیین روند شهر **چابهار** براساس مدل ASMODEE



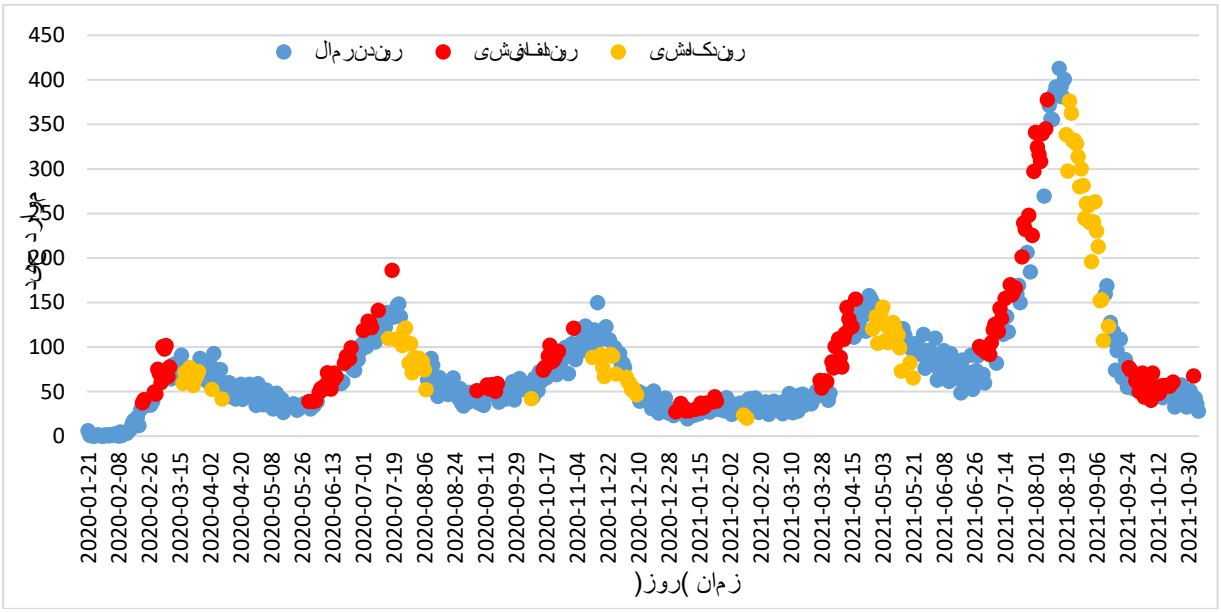
نمودار تعیین روند شهر **زاهدان** براساس مدل ASMODEE



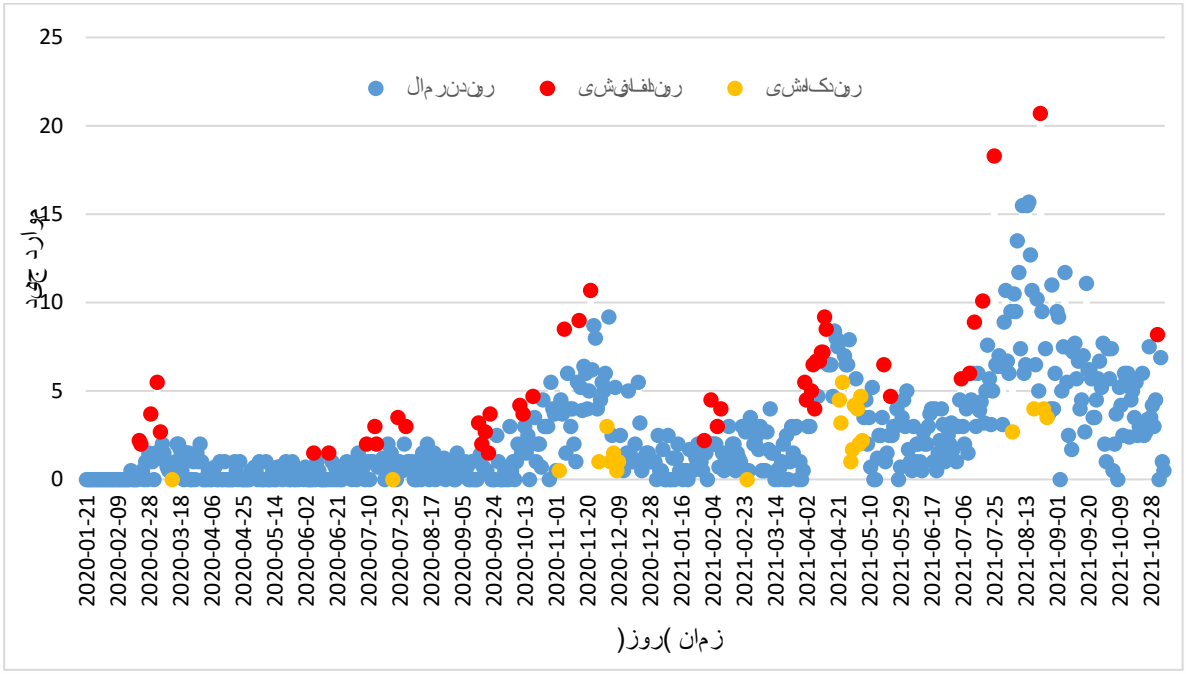
نمودار تعیین روند شهر **شادگان** براساس مدل ASMODEE



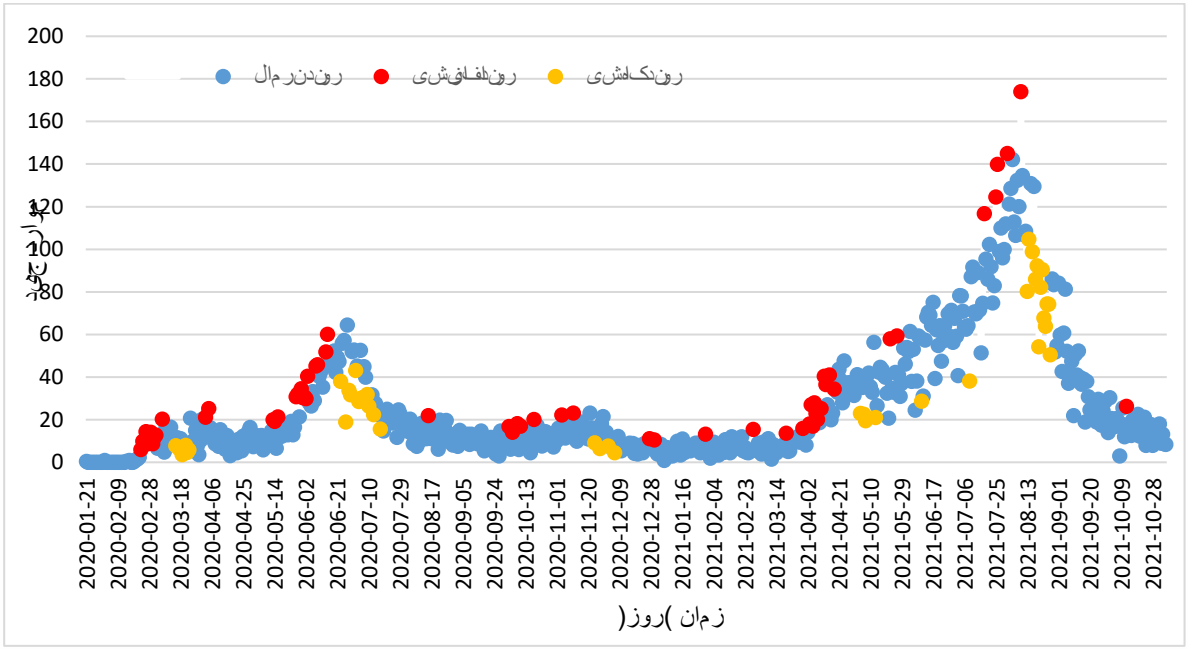
نمودار تعیین روند شهر **قوچان** براساس مدل ASMODEE



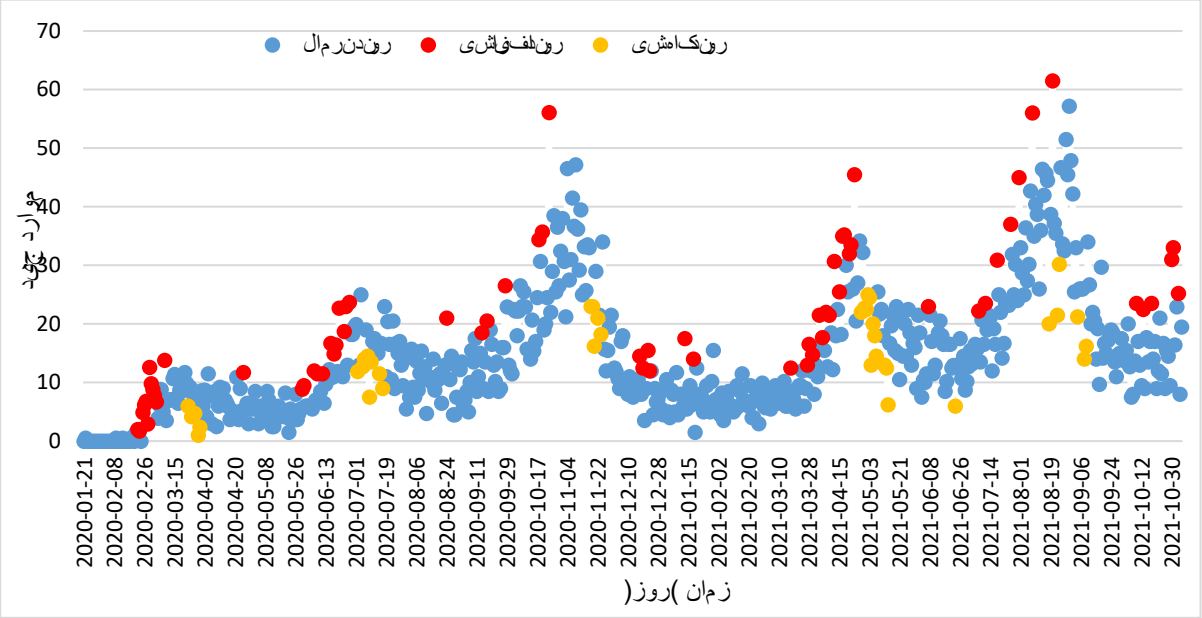
نمودار تعیین روند شهر **مشهد** براساس مدل ASMODEE



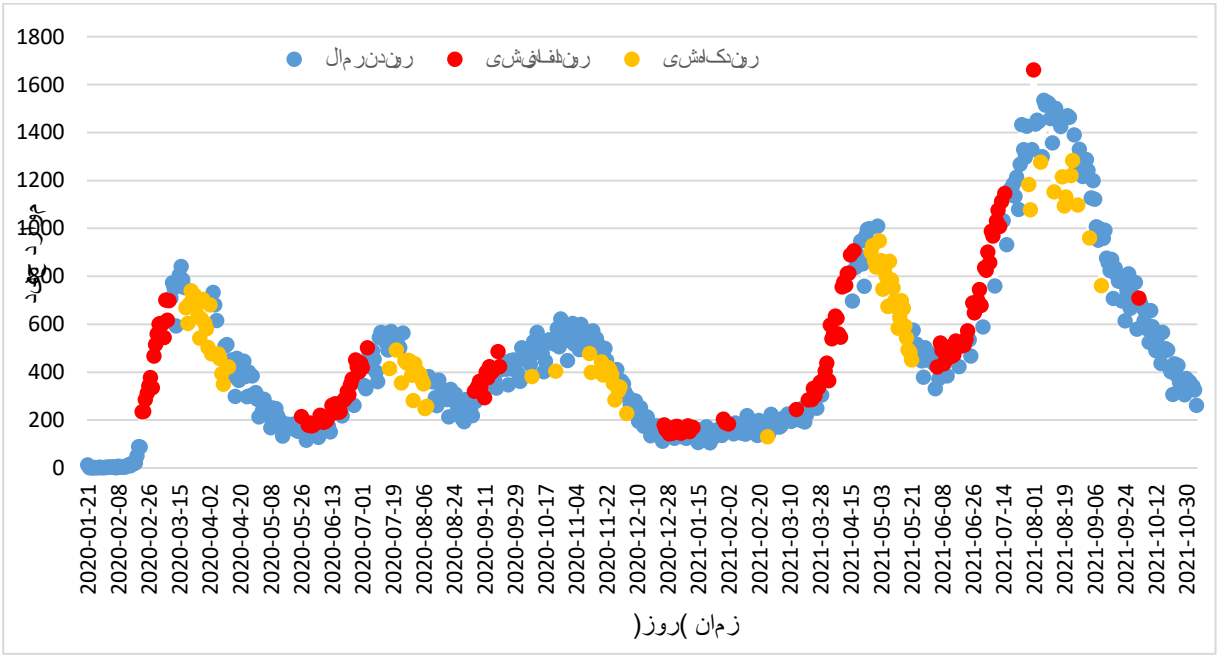
نمودار تعیین روند شهر **نطنز** براساس مدل ASMODEE



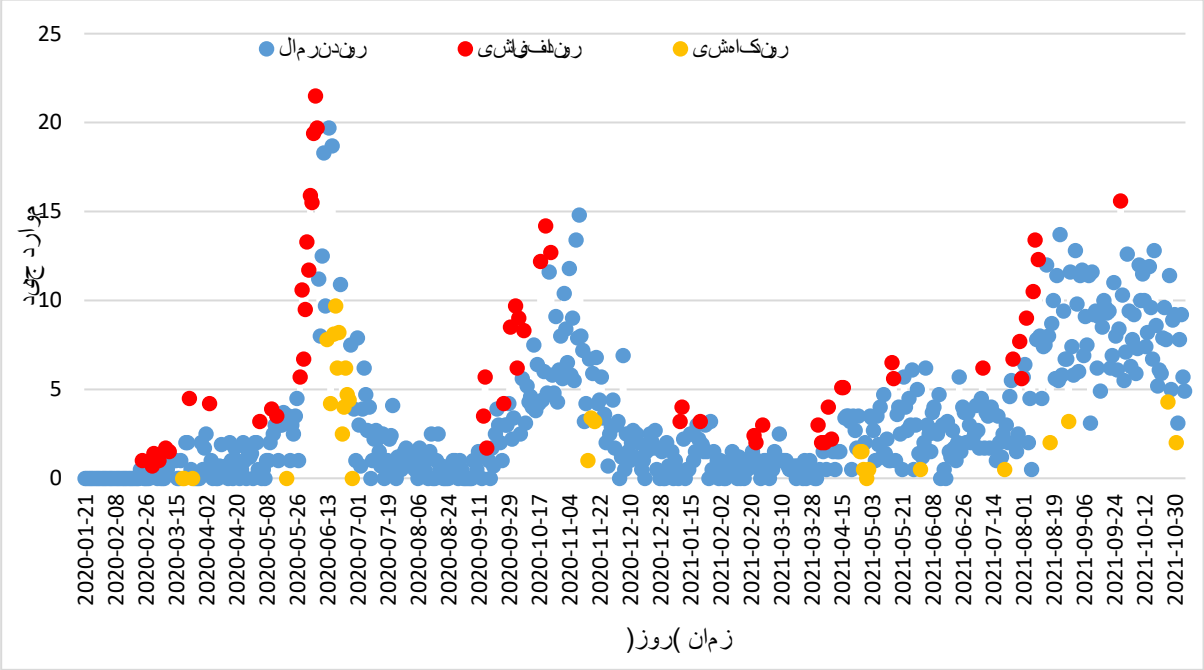
نمودار تعیین روند شهر **بندرعباس** براساس مدل ASMODEE



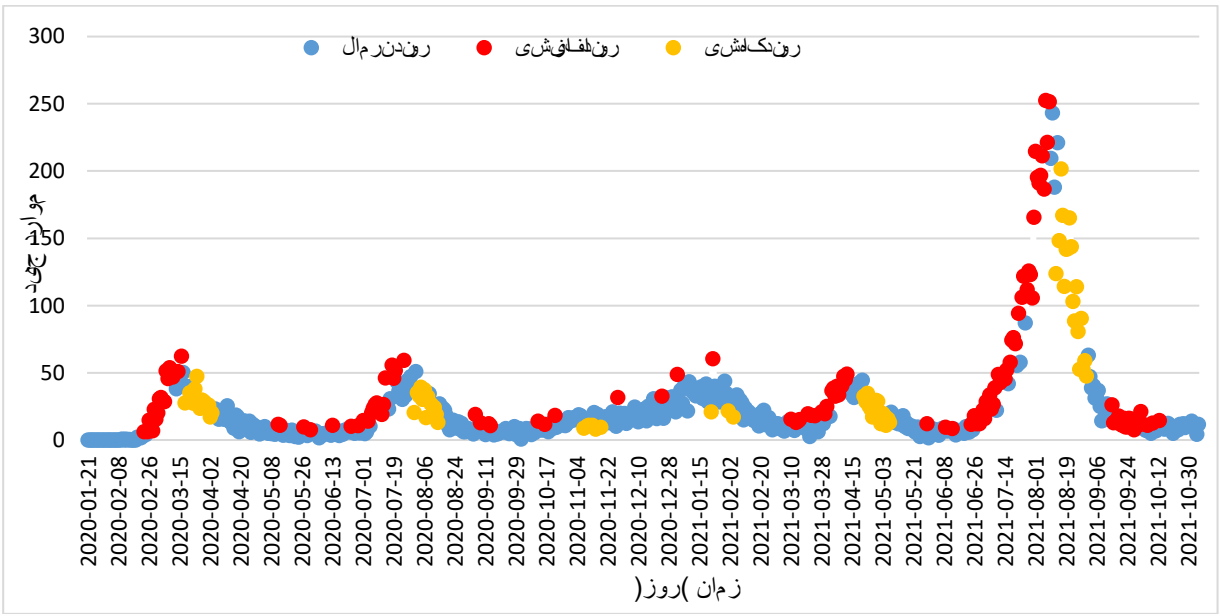
نمودار تعیین روند شهر **بیرجند** براساس مدل ASMODEE



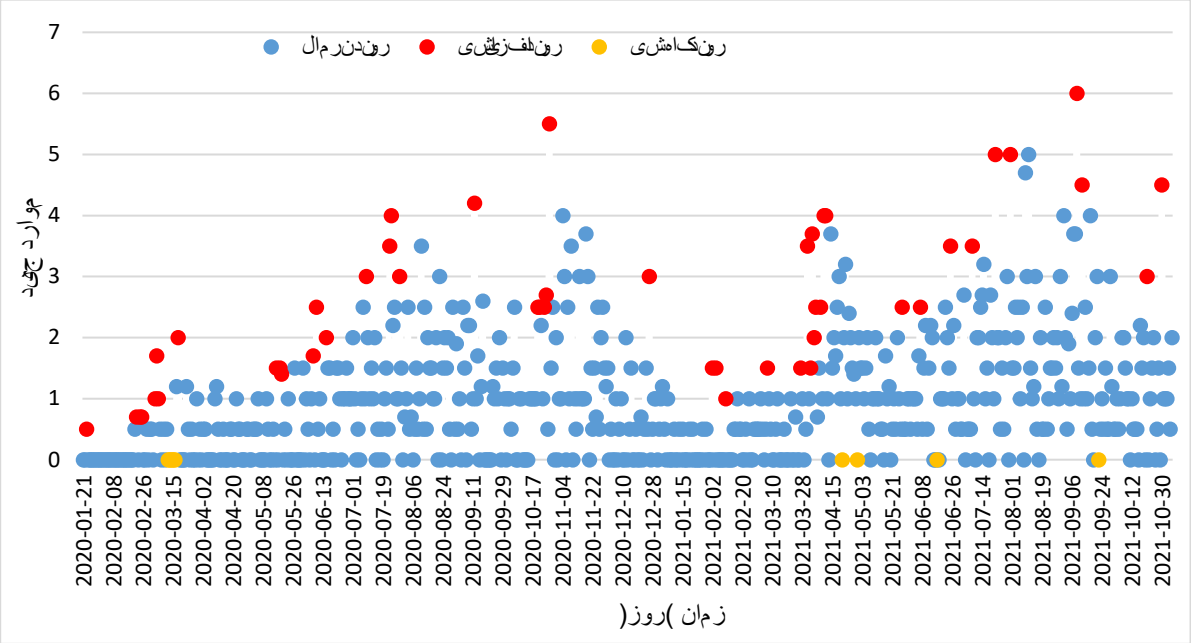
نمودار تعیین روند شهر **تهران** براساس مدل ASMODEE



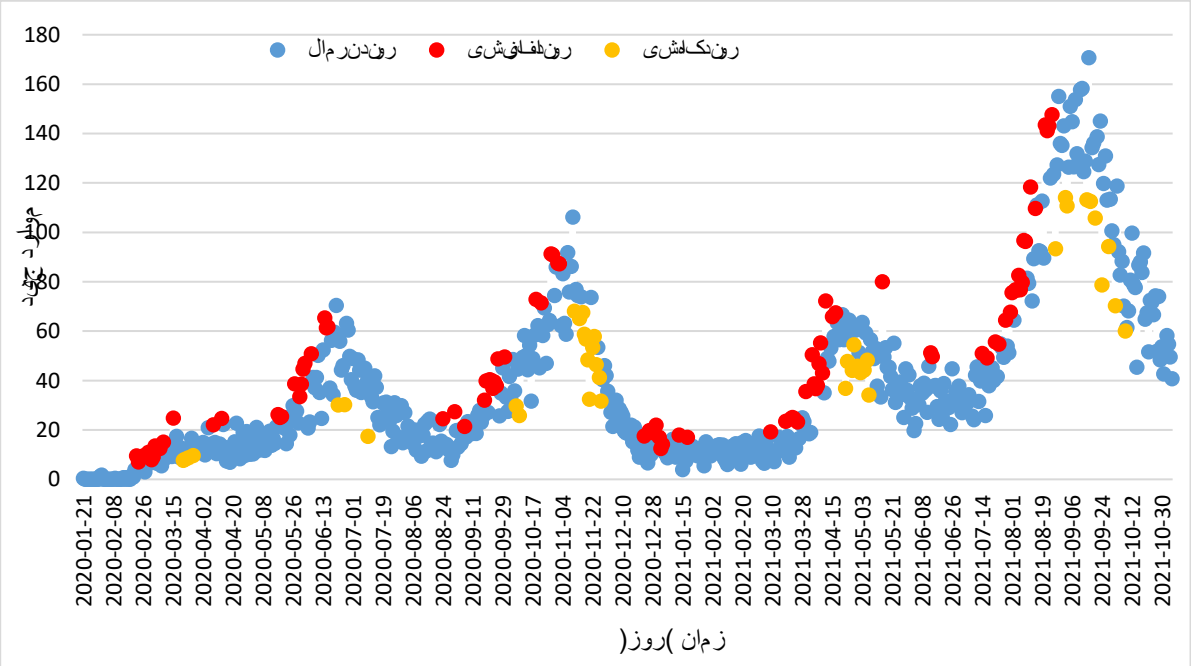
نمودار تعیین روند شهر **جوانرود** براساس مدل ASMODEE



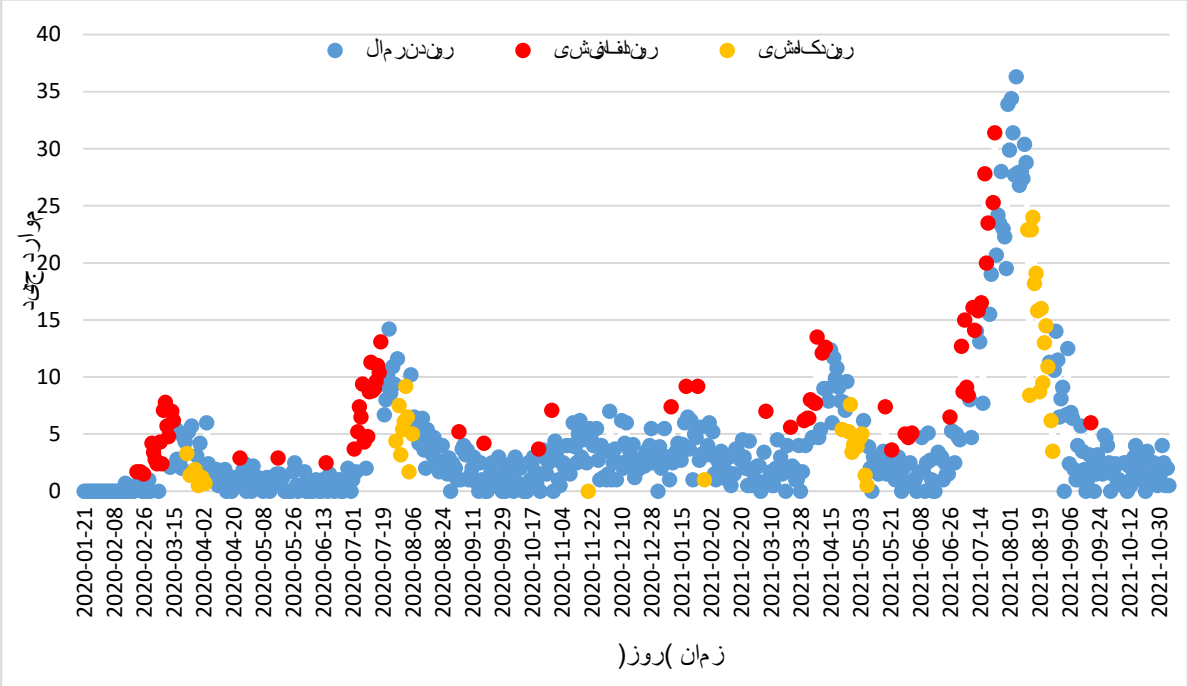
نمودار تعیین روند شهر **ساری** براساس مدل ASMODEE



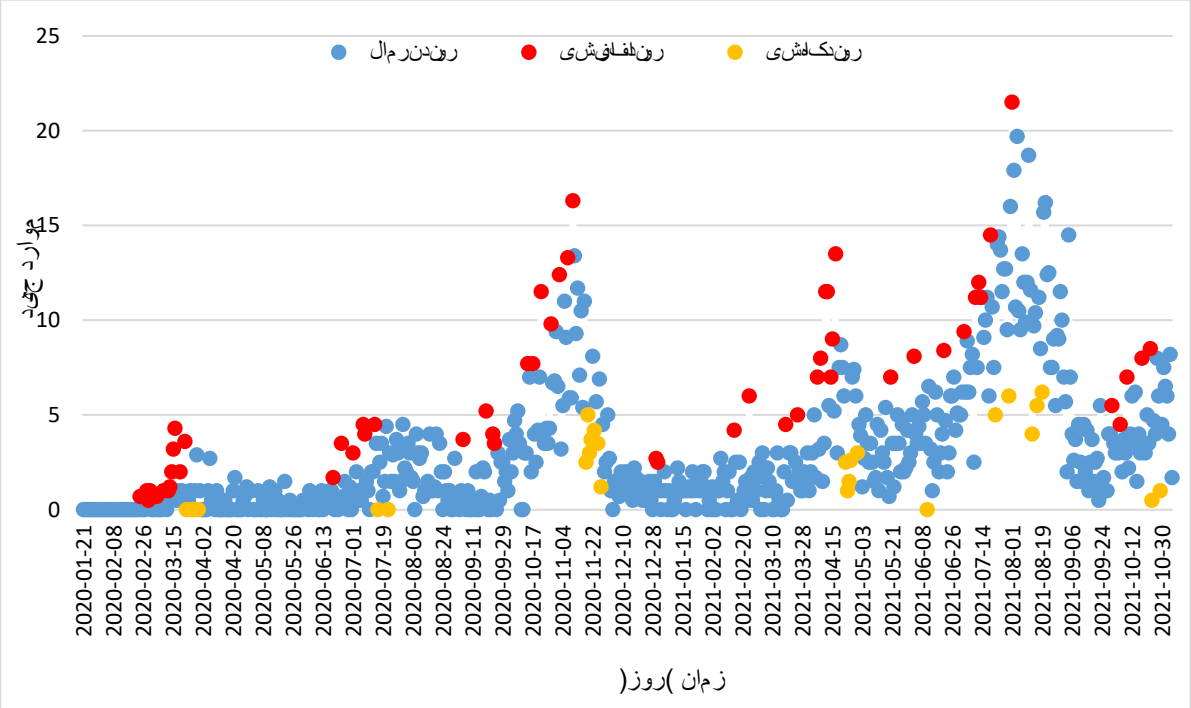
نمودار تعیین روند شهر **سربیشه** براساس مدل ASMODEE



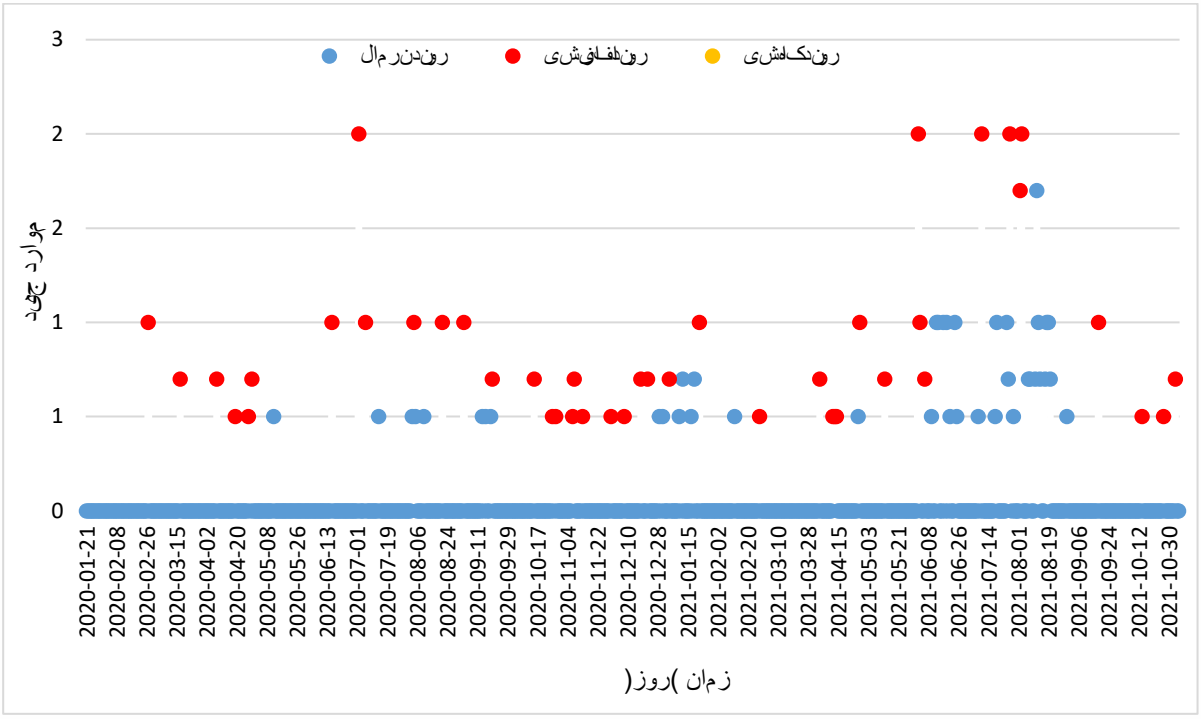
نمودار تعیین روند شهر**کرمانشاه** براساس مدل ASMODEE



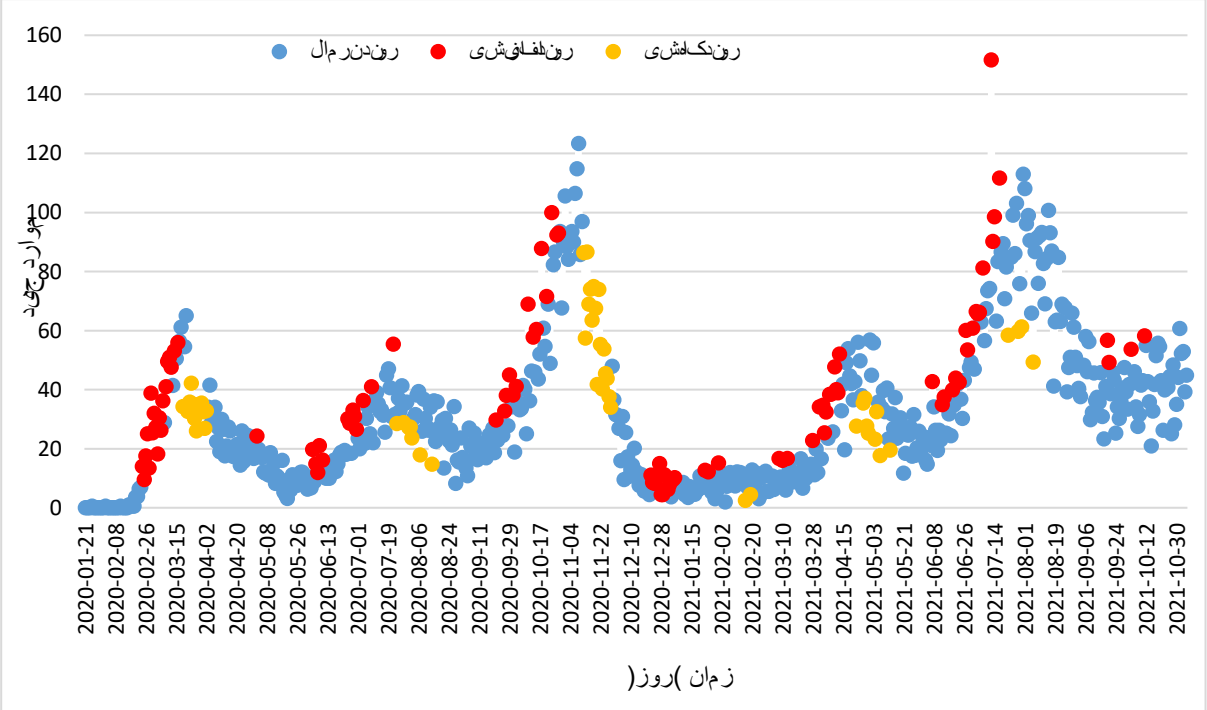
نمودار تعیین روند شهر **محمودآباد** براساس مدل ASMODEE



نمودار تعیین روند شهر **مهریز** براساس مدل ASMODEE



نمودار تعیین روند شهر **هرمز** براساس مدل ASMODEE



نمودار تعیین روند شهر **یزد** براساس مدل ASMODE

مدل ۵ : روش بیزی

در این روش، روش مورد استفاده در روش حال حاضر رنگ‌بندی کشوری ارتقا و به روز رسانی شده است. با توجه به اینکه در واقعیت ضرایب α_1 و α_2 همیشه برابر با مقادیر ثابت ۰,۴ و ۰,۶ نیستند و ممکن است با توجه به شرایط موجود، مقادیر مختلفی را اختیار کنند، بهتر است که این دو ضریب به صورت تصادفی و بر اساس توزیع‌های آماری مناسب و شناخته شده تعیین شوند. برای این منظور از روش بیزی استفاده شد تا با استفاده از توزیع‌های آماری دقیق، مقادیر تصادفی برای این ضرائب تولید شود و با بکارگیری آن‌ها در رابطه AIR مقدار دقیق‌تری برای این شاخص به‌دست آید. در فرمول رایجی که مورد استفاده قرار گرفته است، α_1 و α_2 به ترتیب برابر با ۰,۴ و ۰,۶ در نظر گرفته شده است. ولی در روش بیزی پیشنهادی، از توزیع بتا برای هر دو ضریب استفاده شد، بطوریکه با توجه به مقادیر ثابت برای این ضرائب و همچنین داده‌های موجود و با استفاده از نرم افزار EasyFit، توزیع $Beta(5.055,5.055)$ به عنوان مناسب ترین توزیع برای α_1 و توزیع $Beta(5.844,2.513)$ به عنوان مناسب‌ترین توزیع برای α_2 شناخته شده است. برای این منظور ابتدا بر اساس توزیع‌های پیشنهادی، نمونه ای ۱۰۰۰ تایی برای هر کدام از ضرائب تولید و در رابطه AIR قرار دادیم. با انجام این کار 1000 شاخص AIR برآورد شد که هر کدام از آن‌ها بر اساس ضرائب تولید شده از توزیعبتا و همچنین تعداد موارد مثبت، منفی و نامشخص محاسبه شده‌اند. در سناریو اول از این ۱۰۰۰ شاخص AIR میانگین گرفته شد تا به عنوان شاخص مورد نظر گزارش شود، همچنین با استفاده از صدک ۲,۵ و ۹۷,۵ فاصله احتمالی ۹۵ درصدی برای این شاخص گزارش شد تا بر اساس آن بتوان در مورد وضعیت هشدار یا رنگ‌بندی وضعیت کرونا به طور دقیق‌تر صحبت کرد. البته در این روش به جای گزارش AIR روزانه با الگو گرفتن از رابطه Score این شاخص بر اساس داده‌های سه روز محاسبه شده است تا علاوه بر امروز، دو روز قبل نیز در تعیین وضعیت امروز نقش داشته باشند.

در سناریوی دیگر از اطلاعات هفتگی مانند روش کشوری استفاده گردید که علاوه بر هفته جاری از اطلاعات دو هفته قبل نیز به منظور بررسی وضعیت این هفته استفاده شد. فرمول AIR در ذیل آمده است.

$$AIR = \frac{N_p + \alpha_1 N_n + \alpha_2 N_u}{Pop \times t} \times 100000$$

$$Score = AIR_{w_1} + \delta \times Max\{0\ , AIR_{w_1} - \frac{AIR_{w_2} + AIR_{w_3}}{2}\}$$

حد آستانه رنگبندی

شاخص مخاطره زیر ۱: آبی

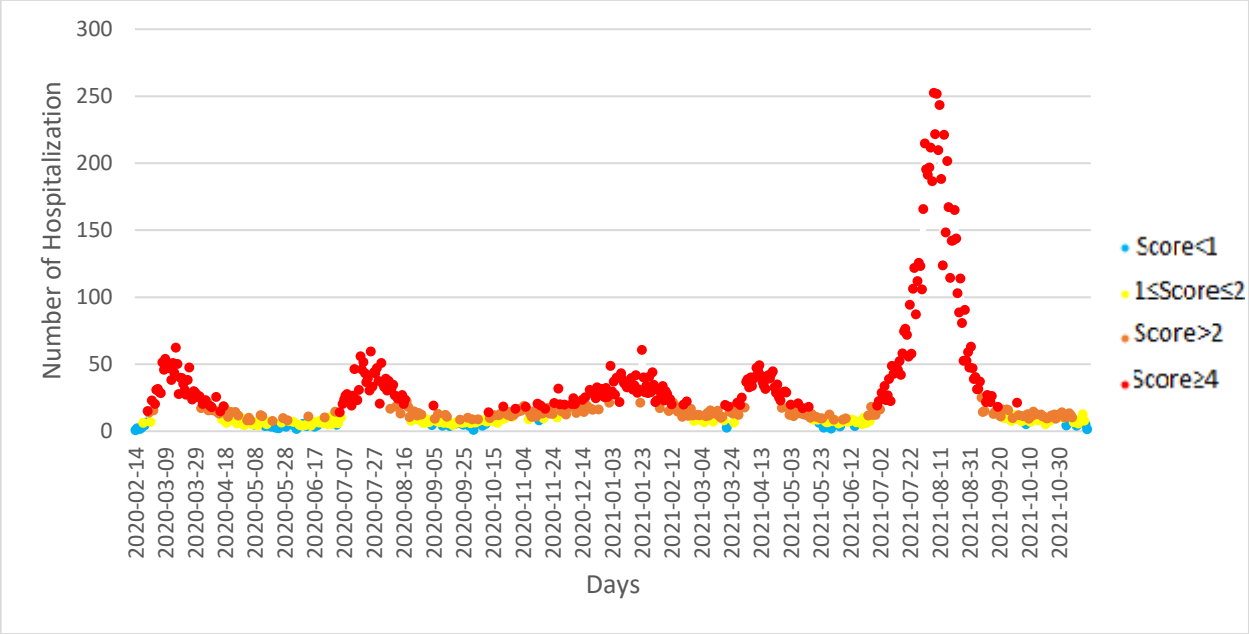
شاخص مخاطره بین ۱ تا ۲: زرد

شاخص مخاطره بالای ۲: نارنجی

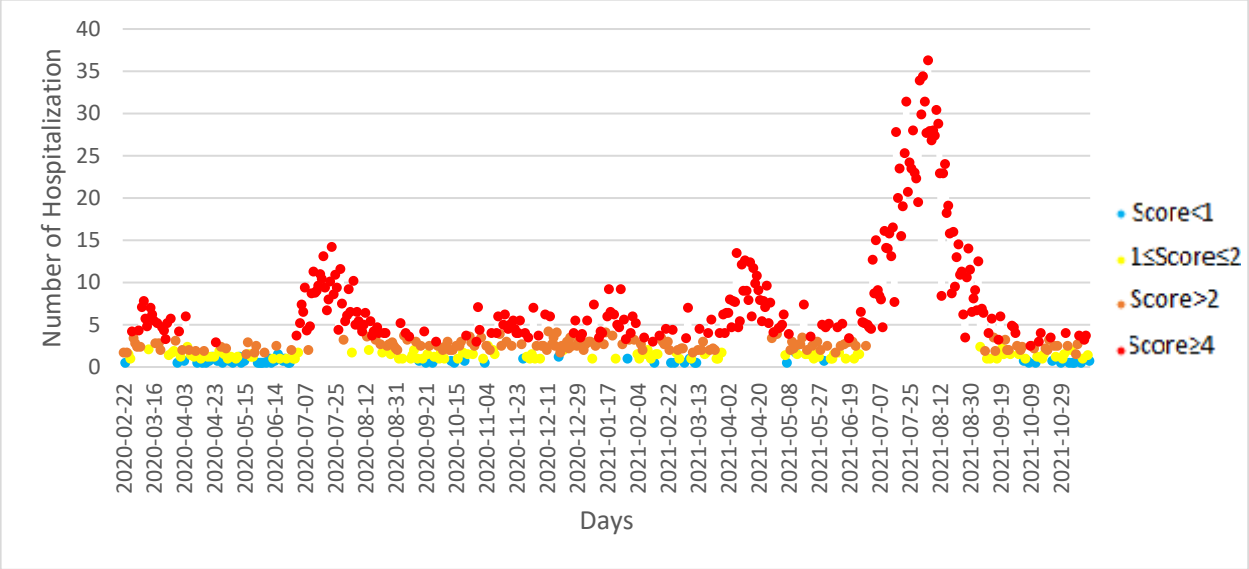
شاخص مخاطره بالای ۴ و همچنین روند افزایشی: قرمز

نمودارهای AIR_Daily شهرها

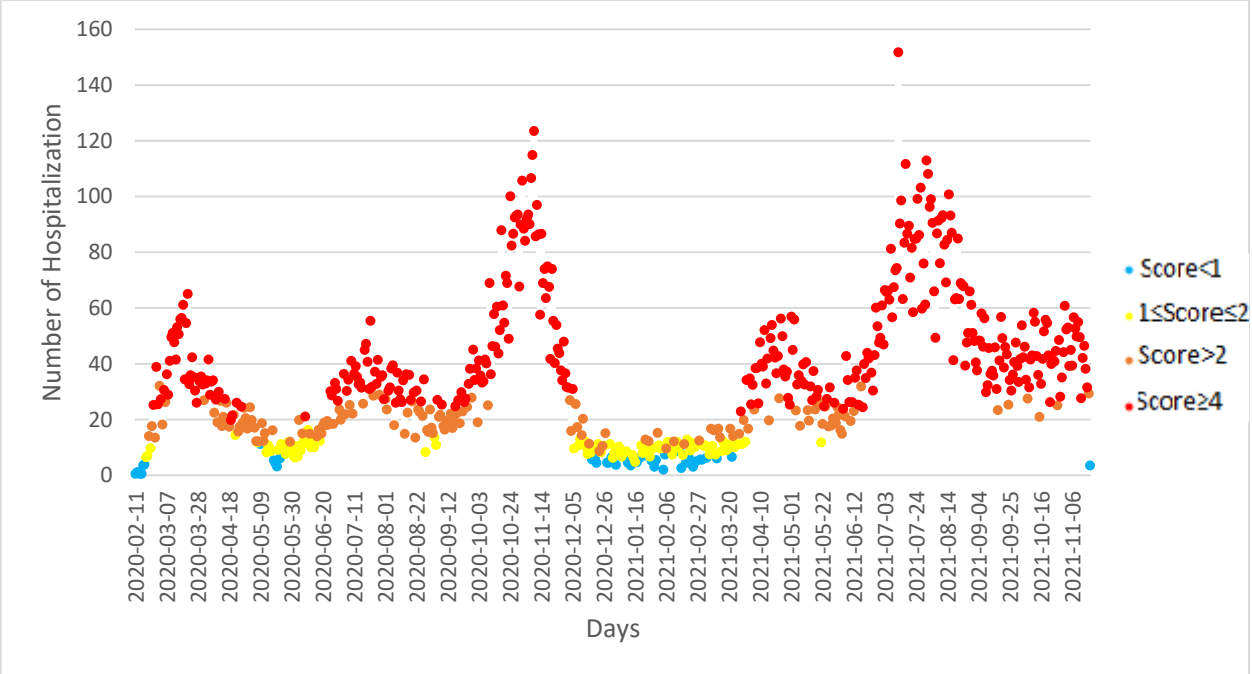
در این قسمت در فرمول از شاخص به صورت روزانه استفاده می‌شود و روزانه نیز رنگ‌بندی صورت می‌گیرد. همانطور که در نمودارها مشاهده می‌شود رنگ‌بندی منطقی به نظر می‌رسد و زمانی که میزان بستری زیاد است رنگ قرمز و زمانی که میزان بستری کم است رنگ آبی است.



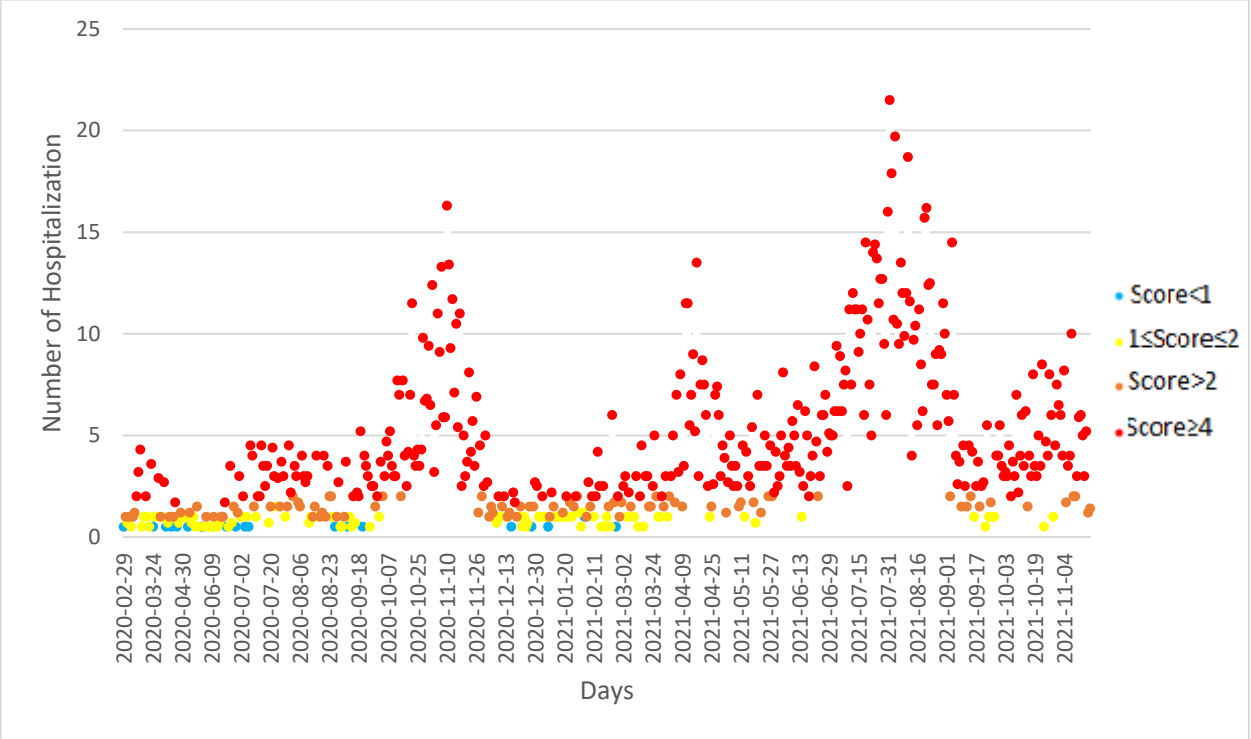
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **ساری**



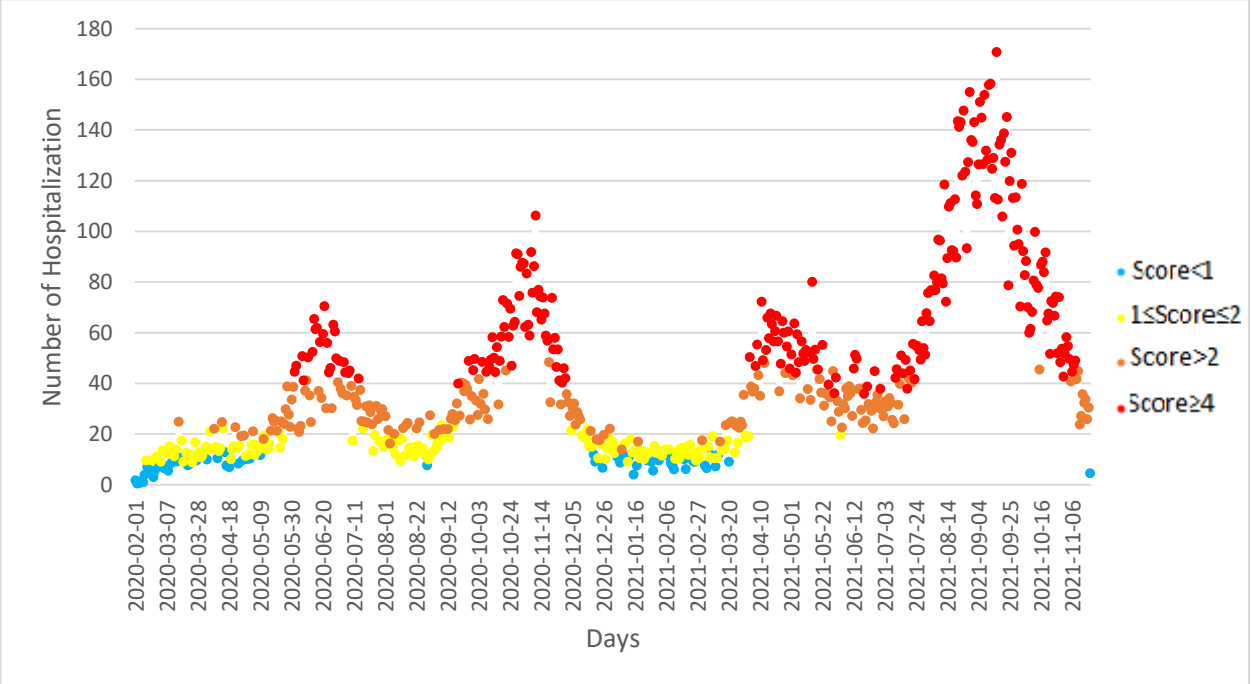
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **محمودآباد**



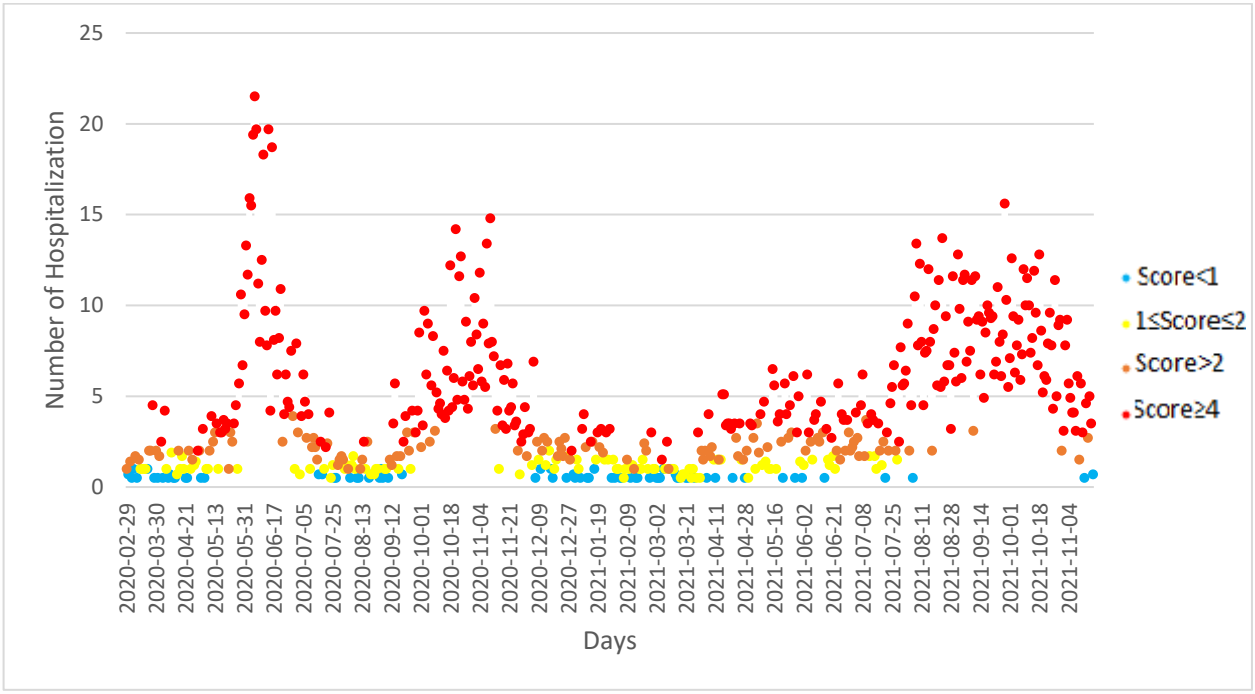
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **یزد**



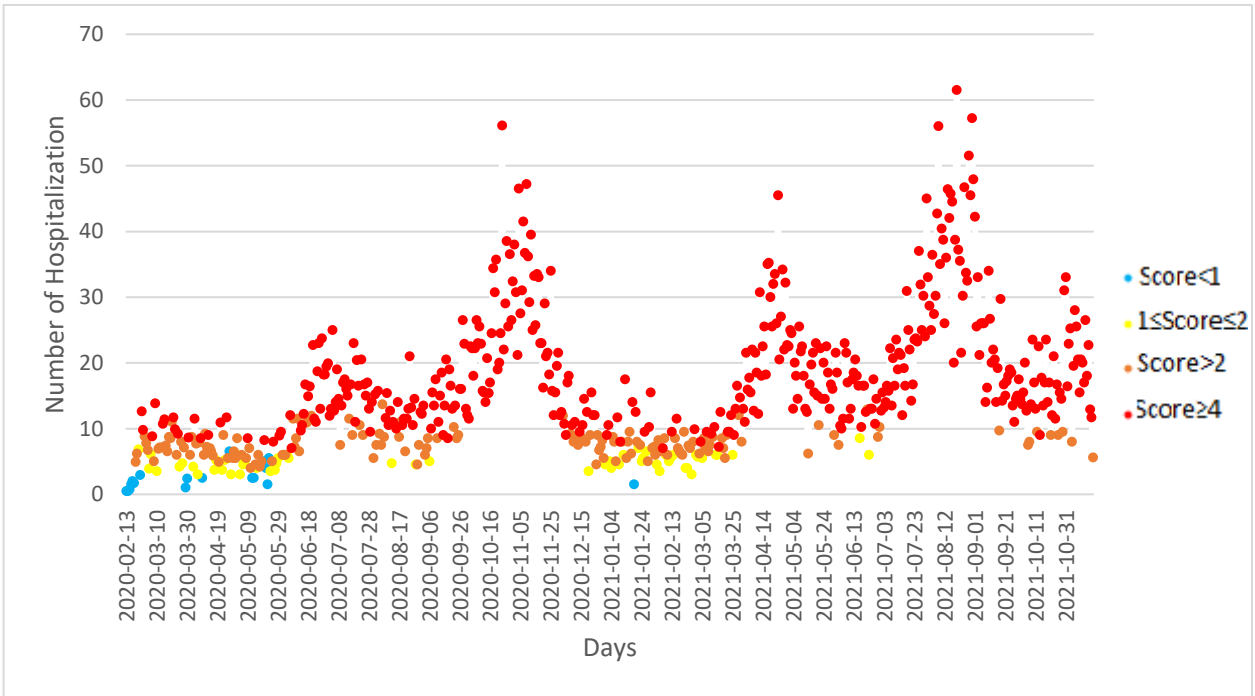
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **مهریز**



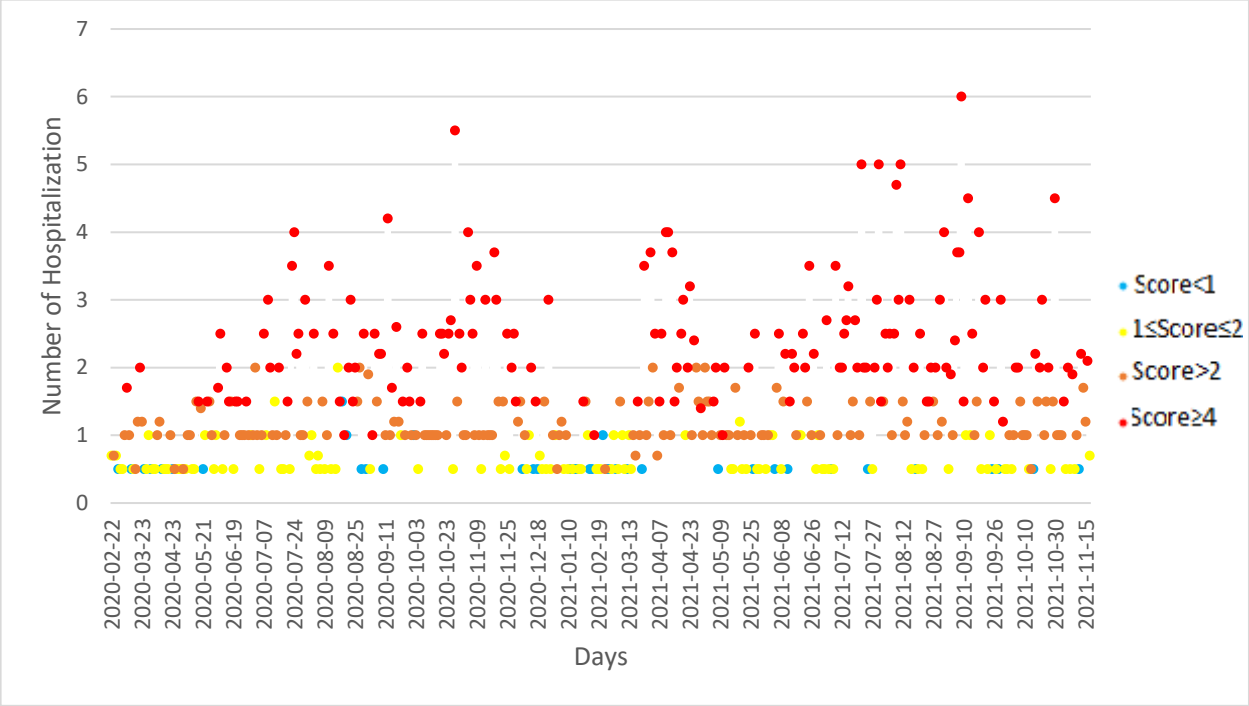
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **کرمانشاه**



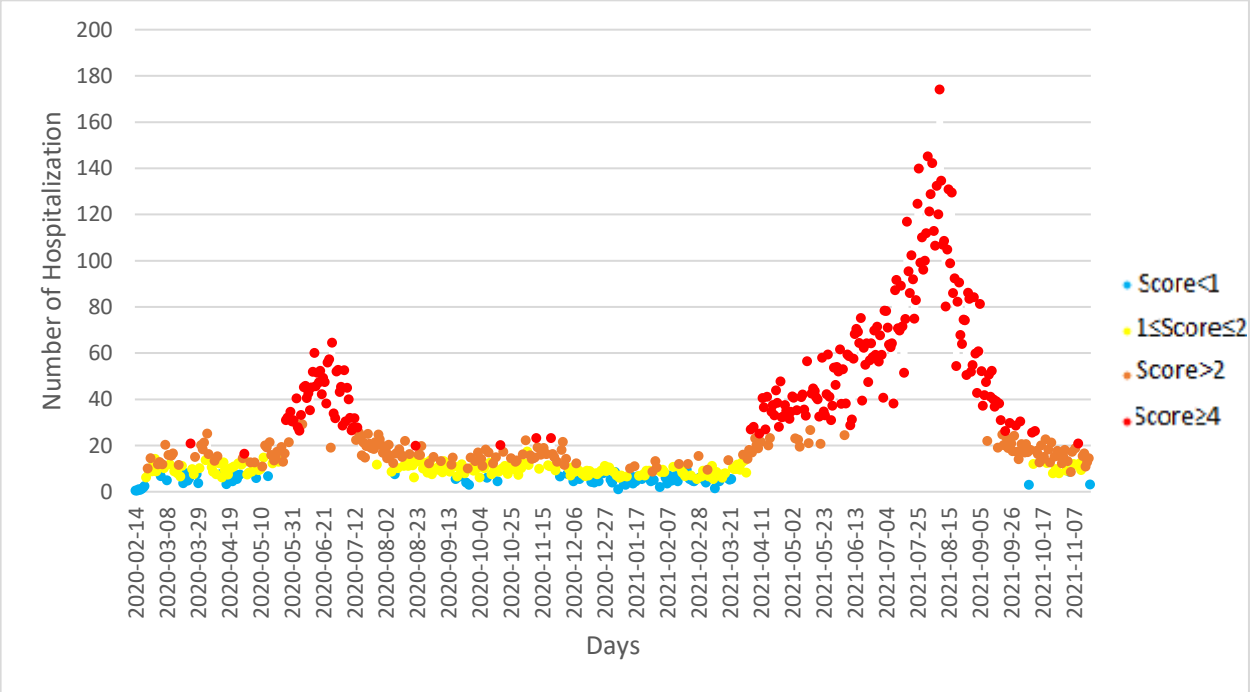
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **جوانرود**



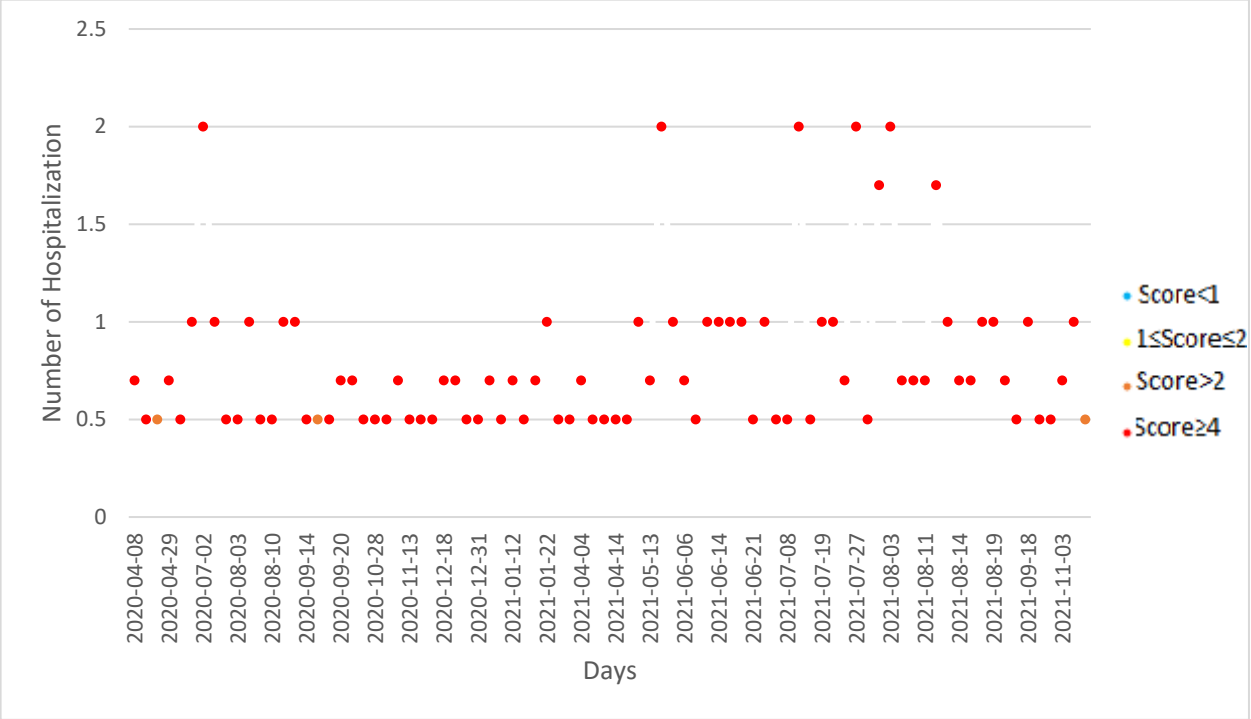
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **بیرجند**



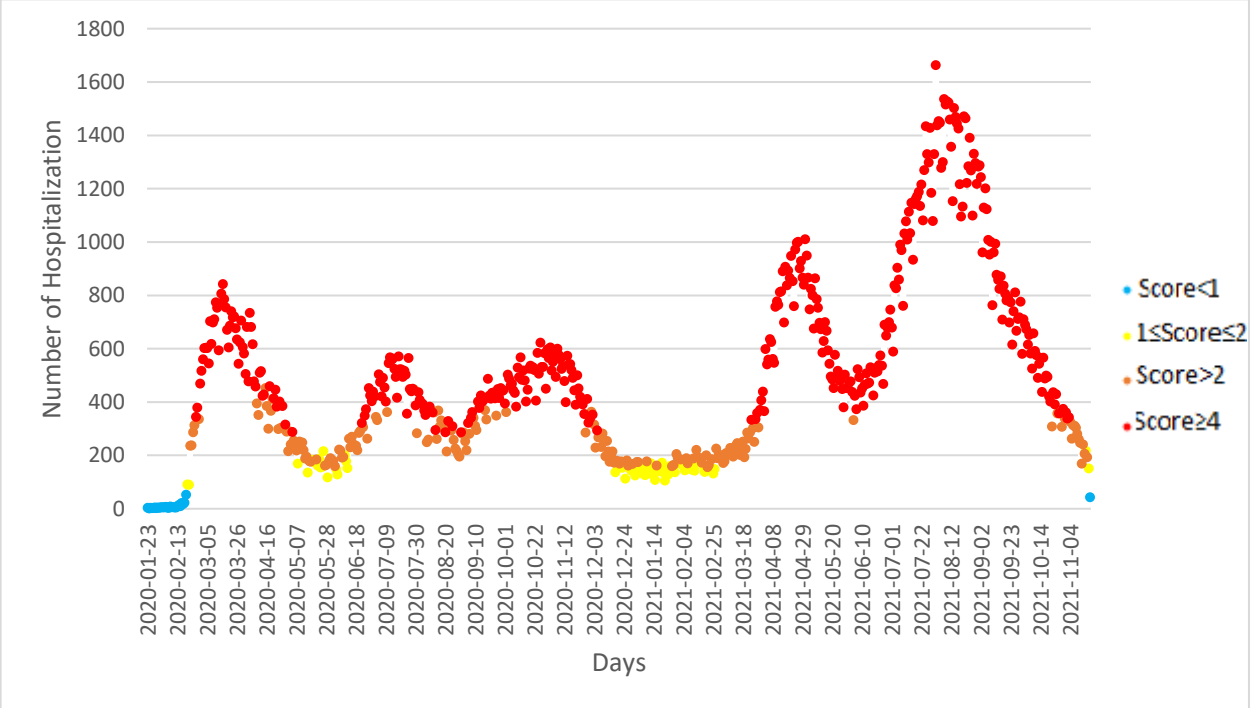
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **سربیشه**



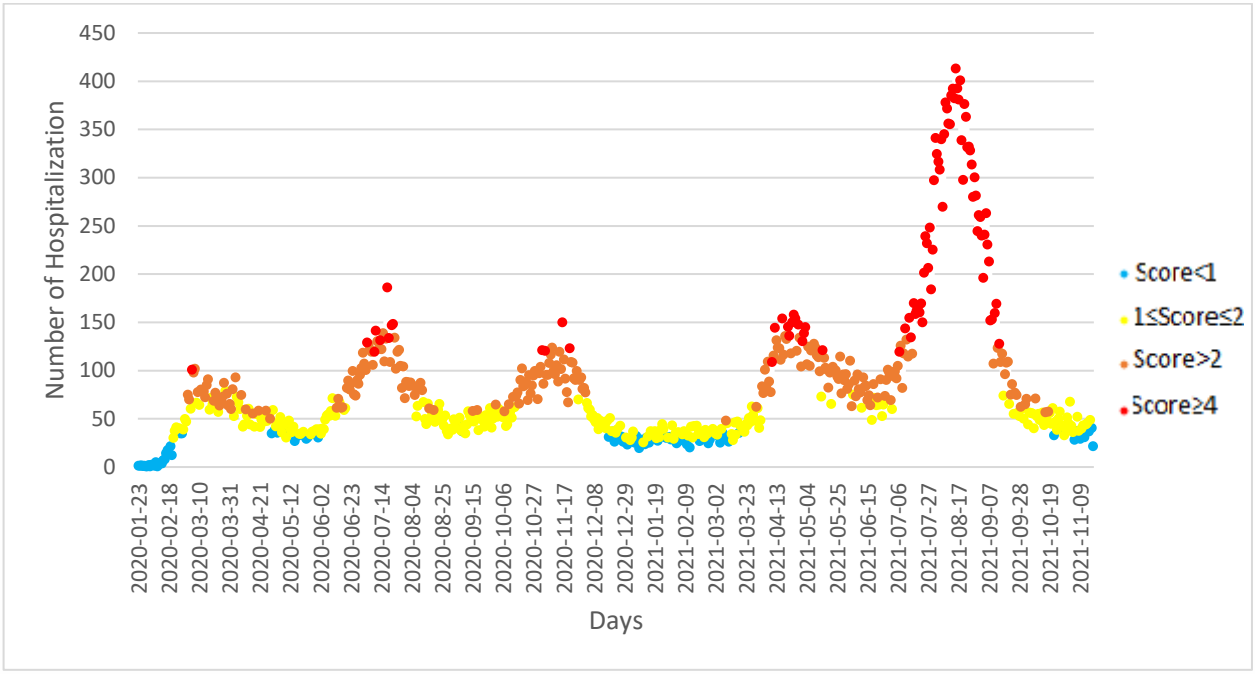
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **بندرعباس**



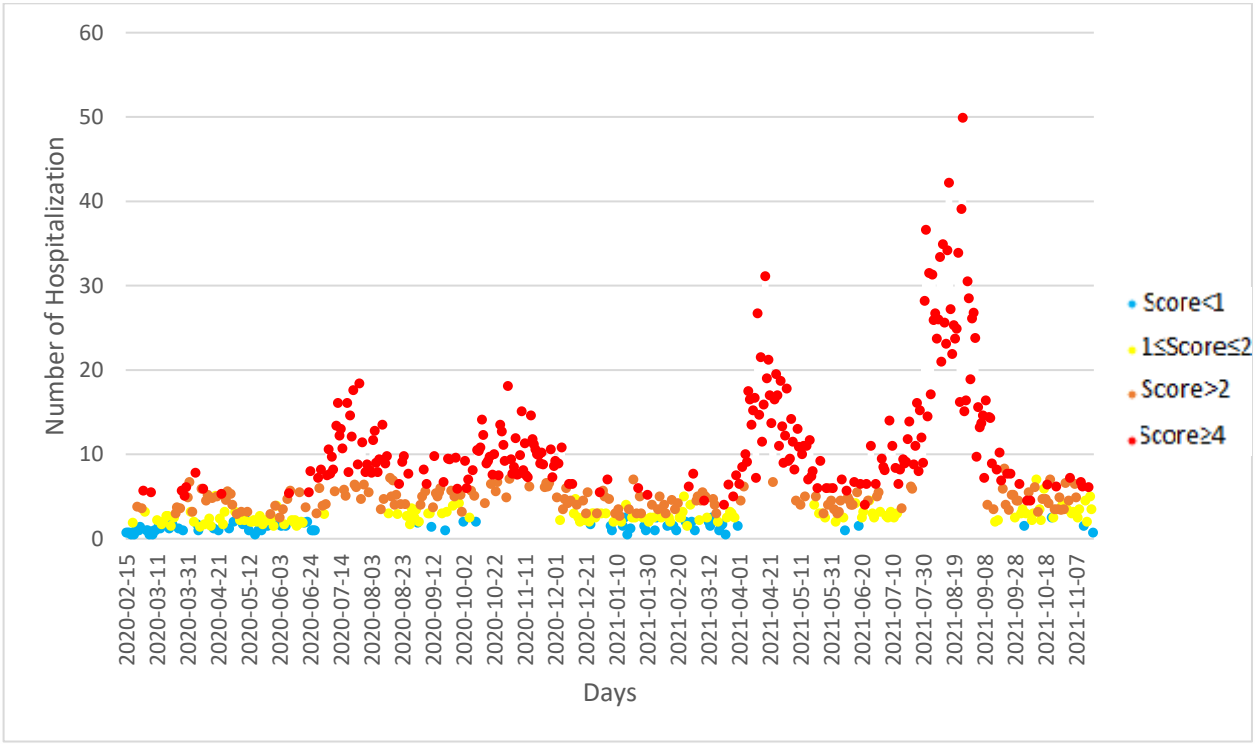
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **هرمز**



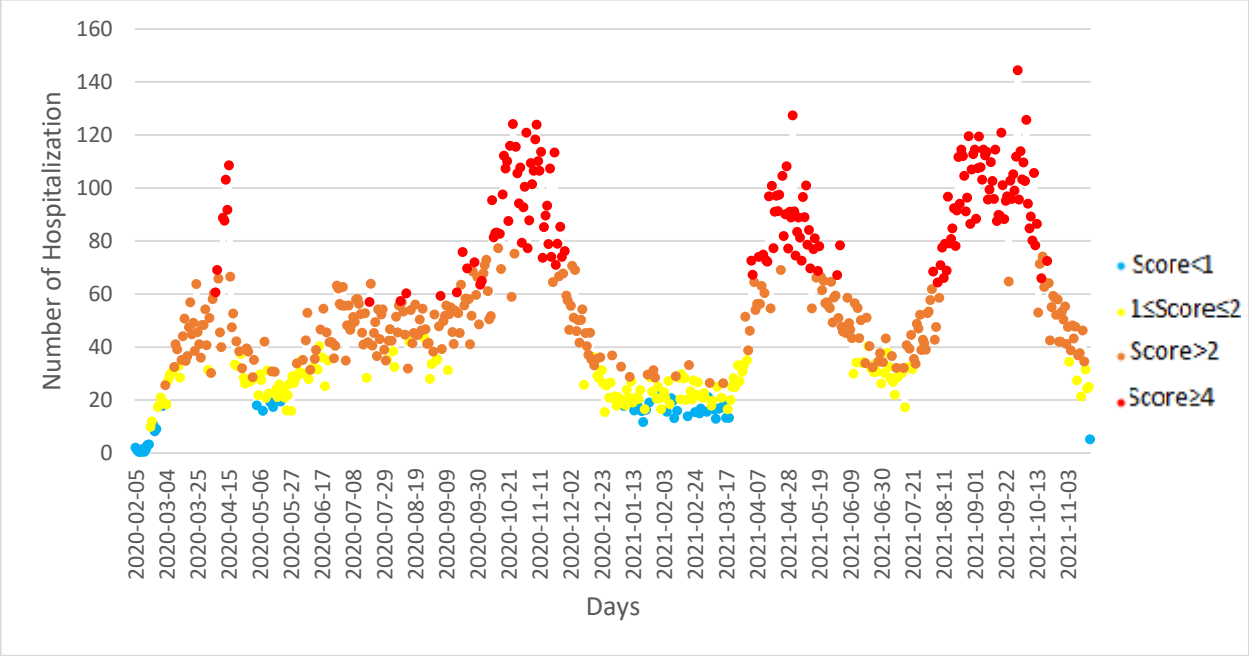
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **تهران**



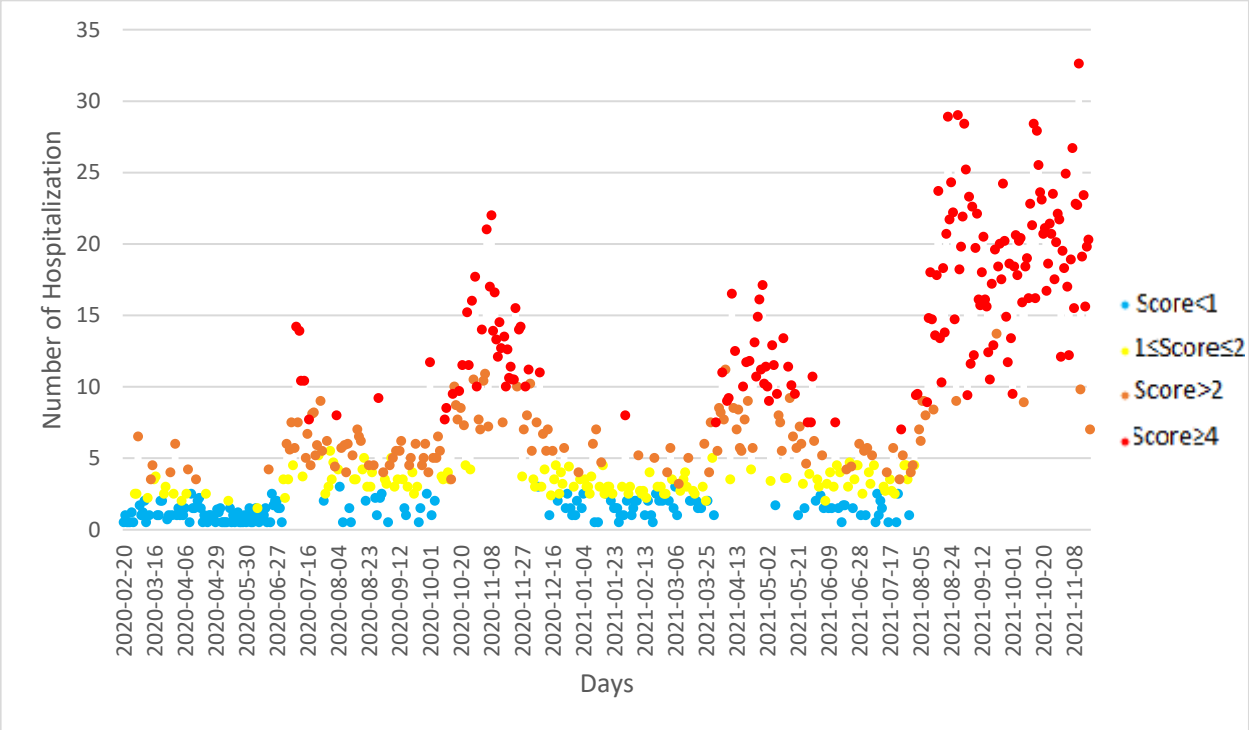
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **مشهد**



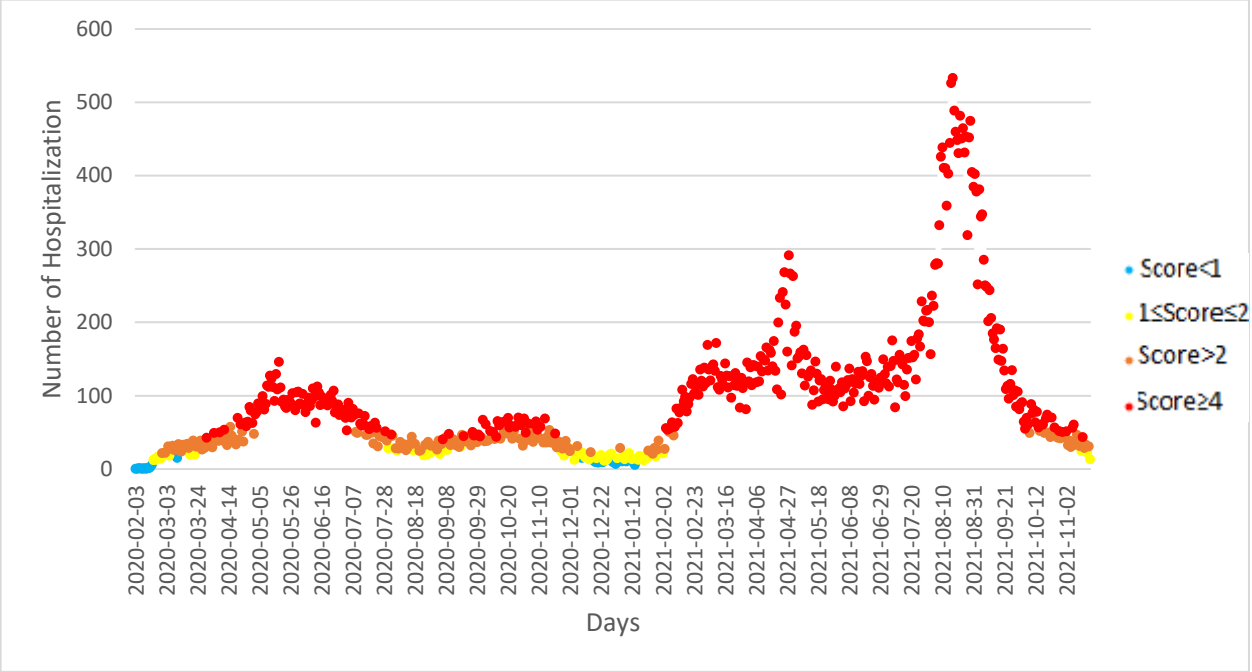
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **قوچان**



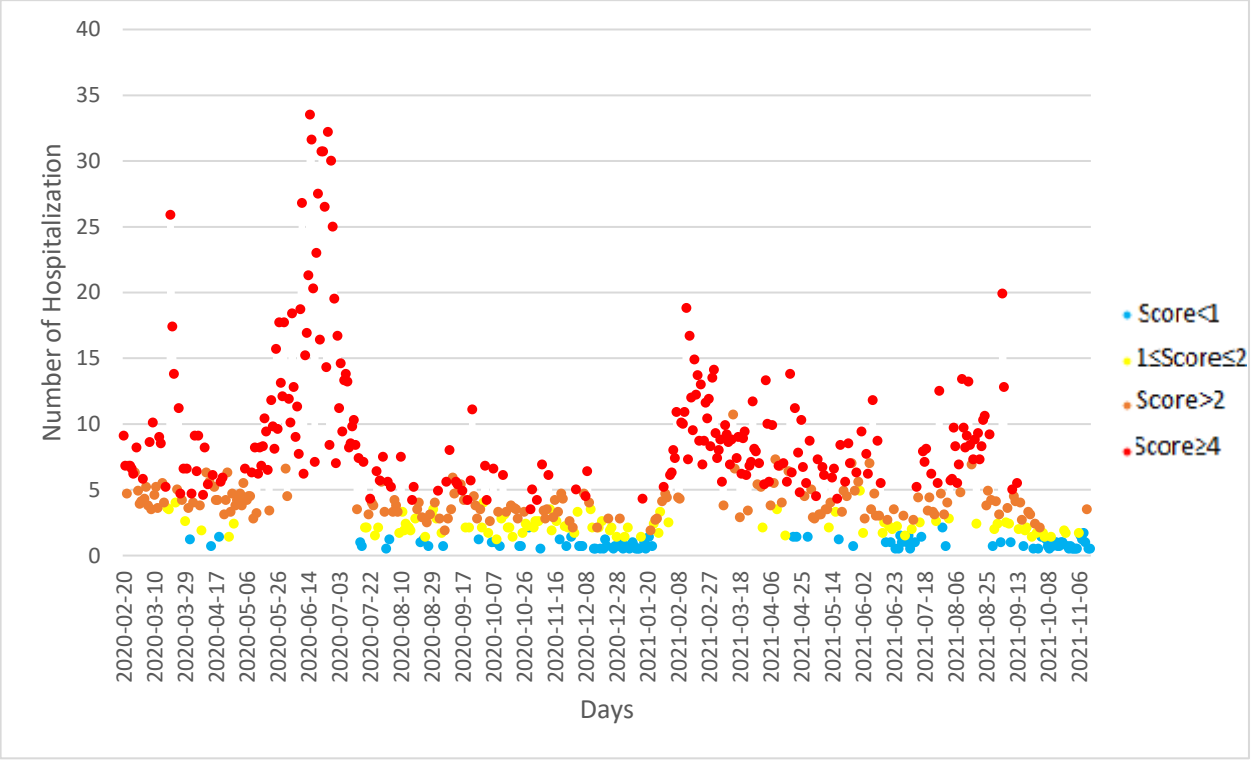
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **تبریز**



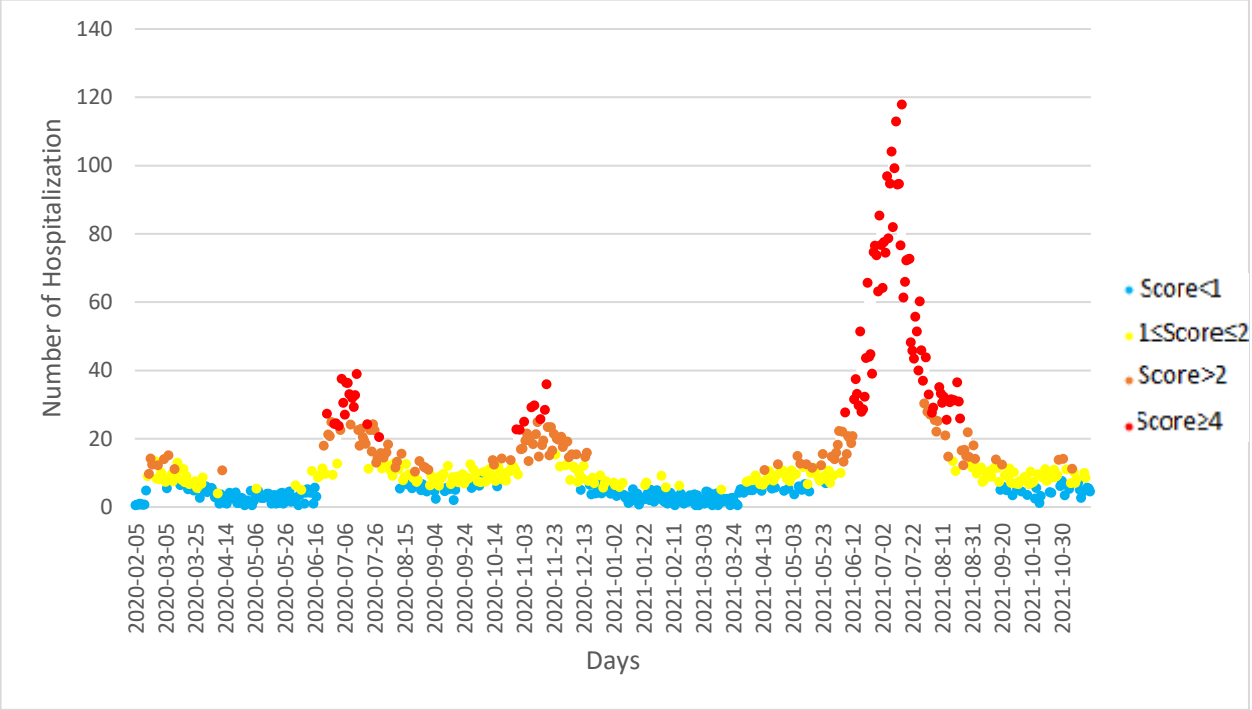
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **مرند**



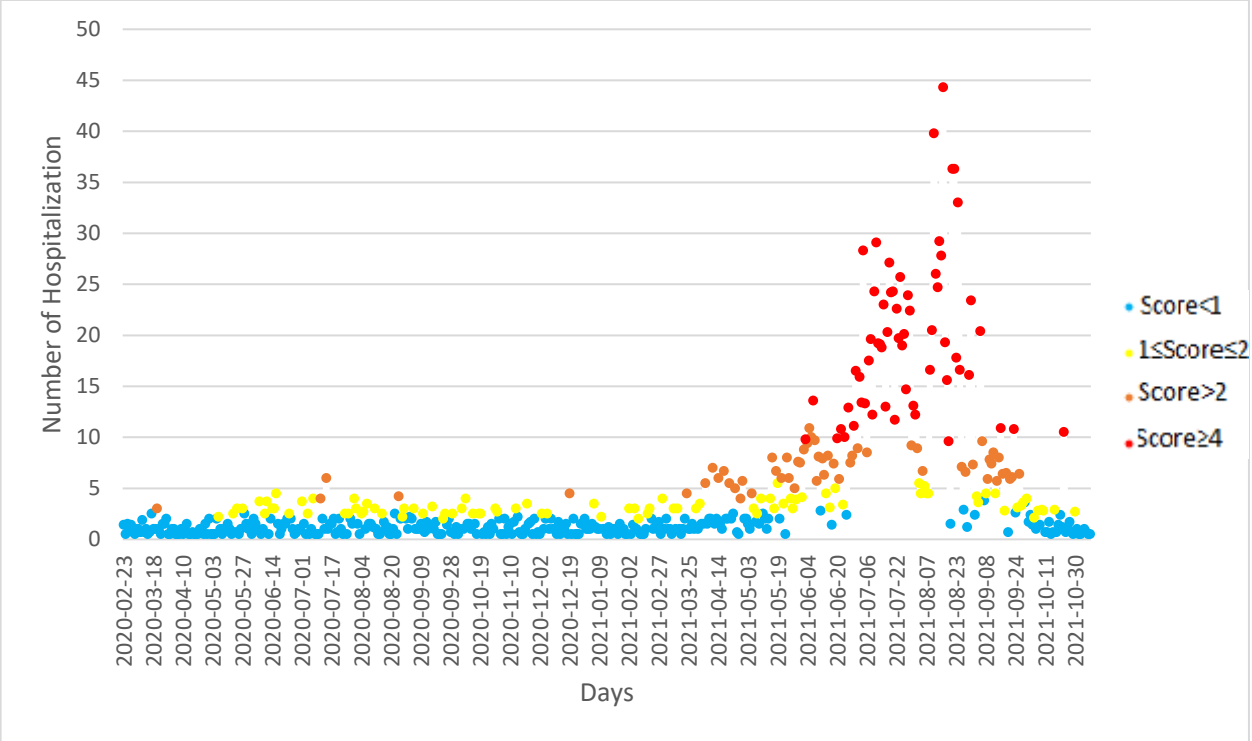
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **اهواز**



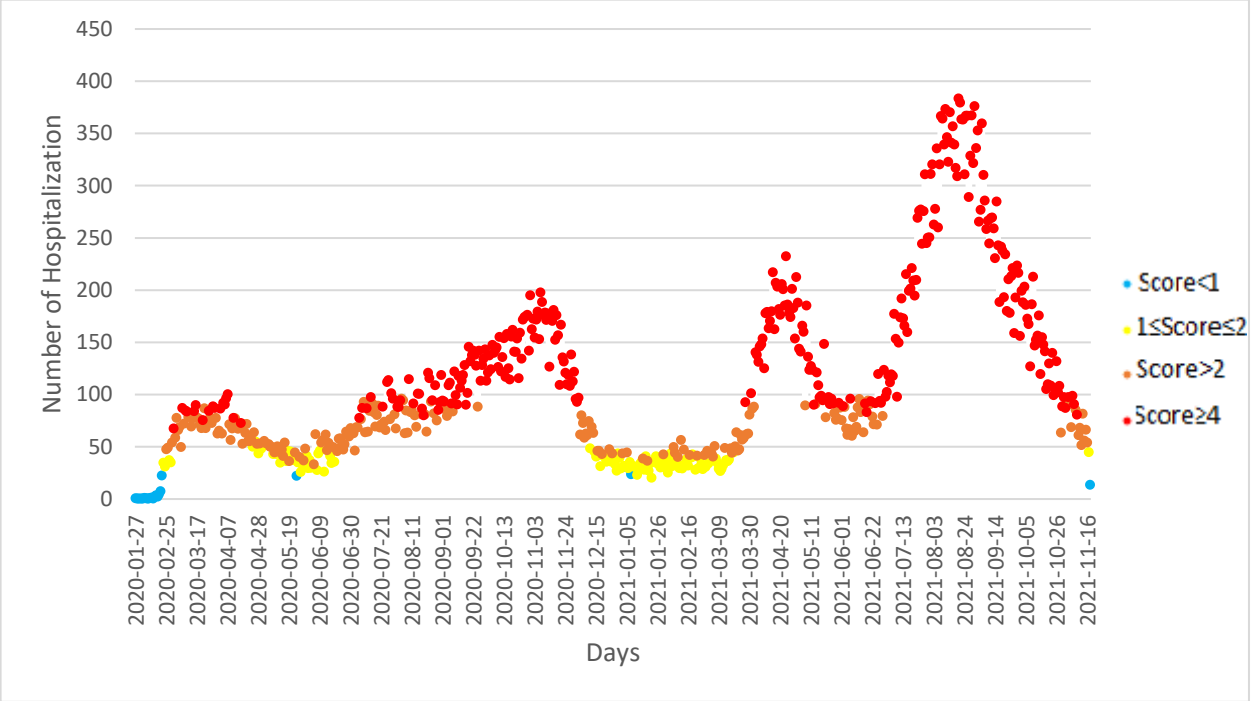
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **شادگان**



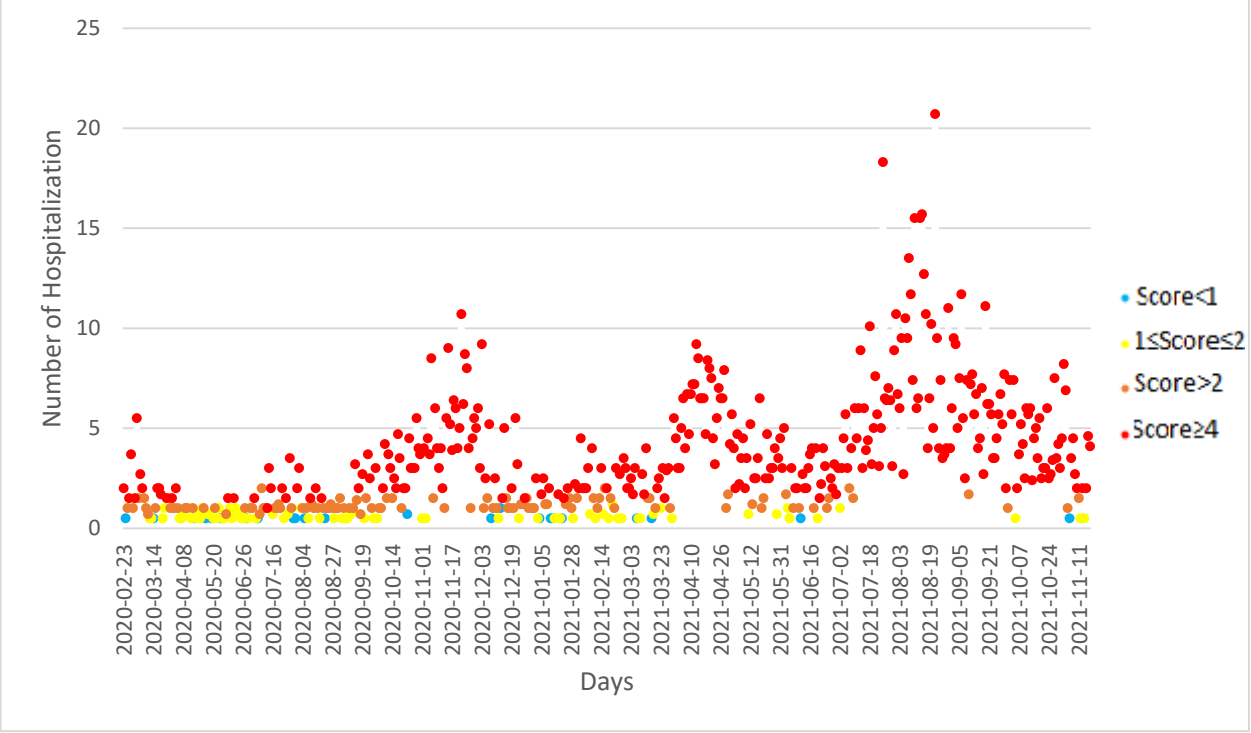
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **زاهدان**



نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **چابهار**



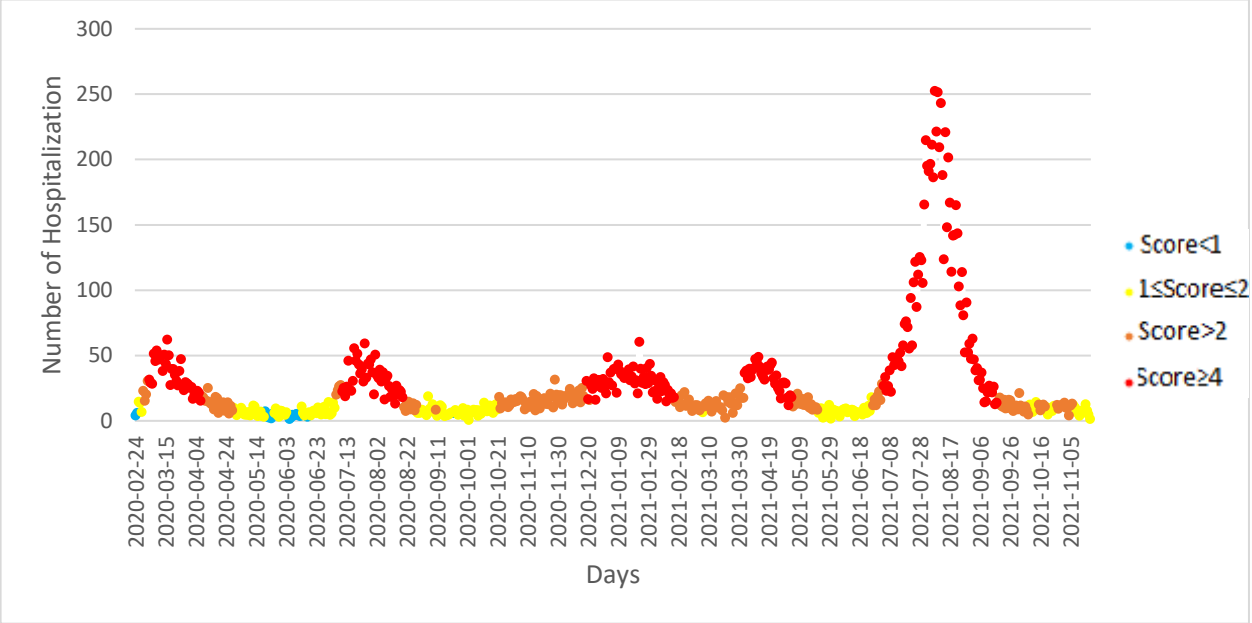
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **اصفهان**



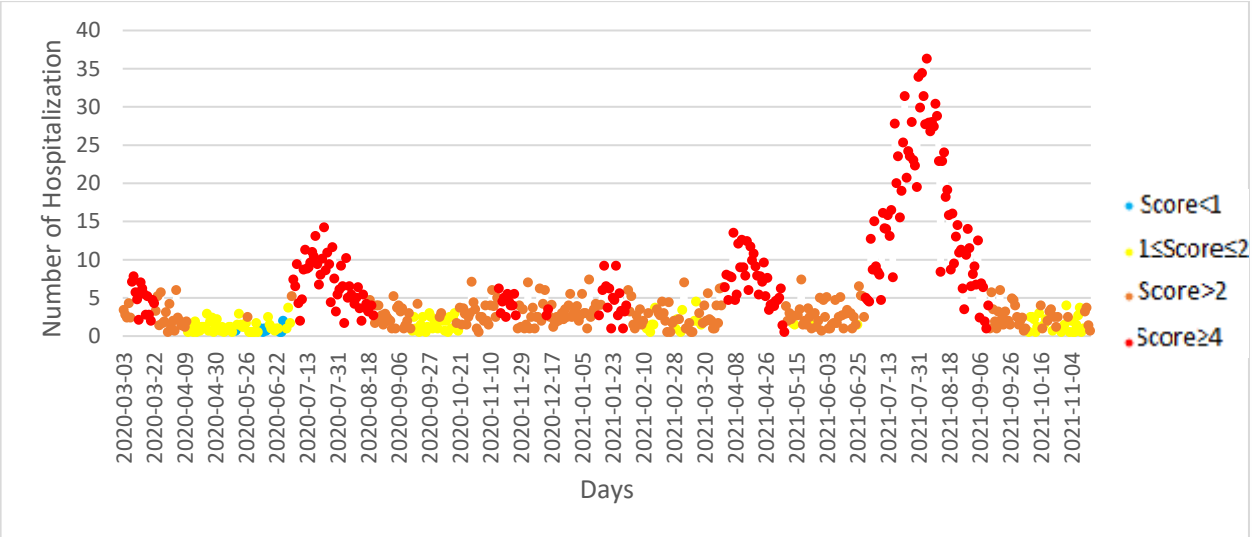
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت روزانه برای شهر **نطنز**

نمودارهای AIR_Weekly شهرها

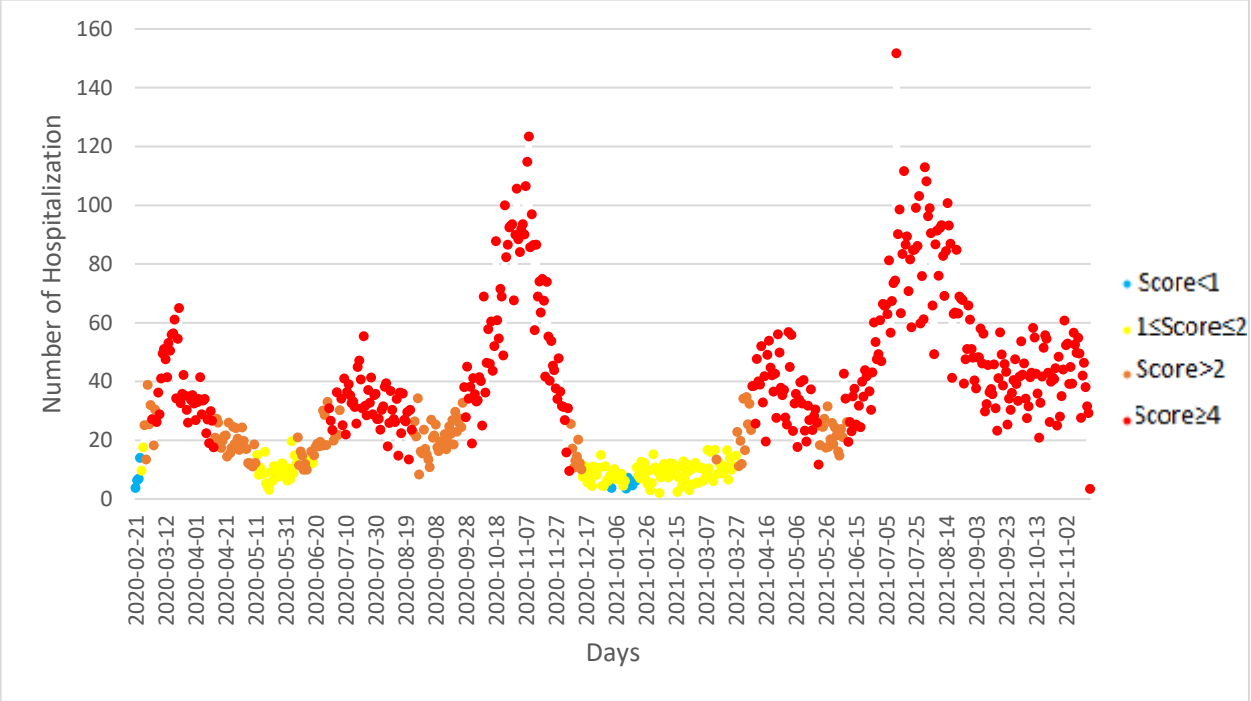
در این قسمت در فرمول از شاخص به صورت هفتگی استفاده می شود و هفتگی نیز رنگ‌بندی صورت می گیرد. همانطور که در نمودار ها مشاهده می شود رنگ‌بندی منطقی به نظر می رسد و زمانی که میزان بستری زیاد است رنگ قرمز و زمانی که میزان بستری کم است رنگ آبی است.



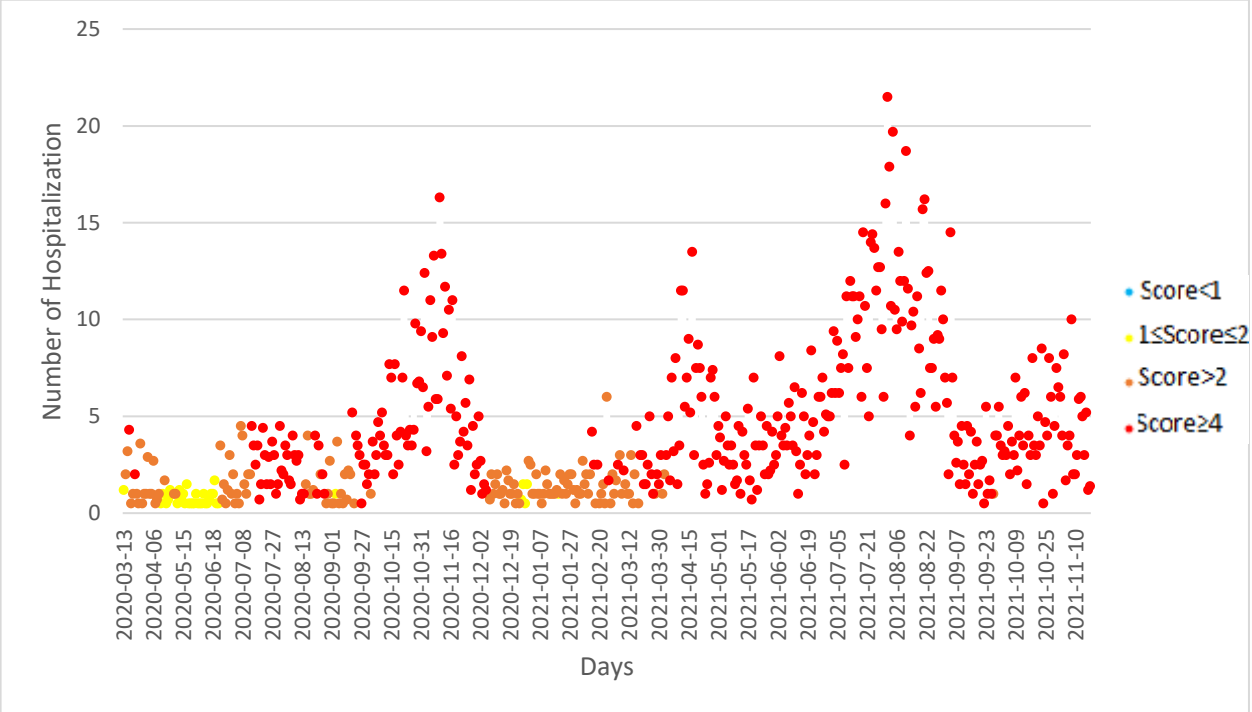
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **ساری**



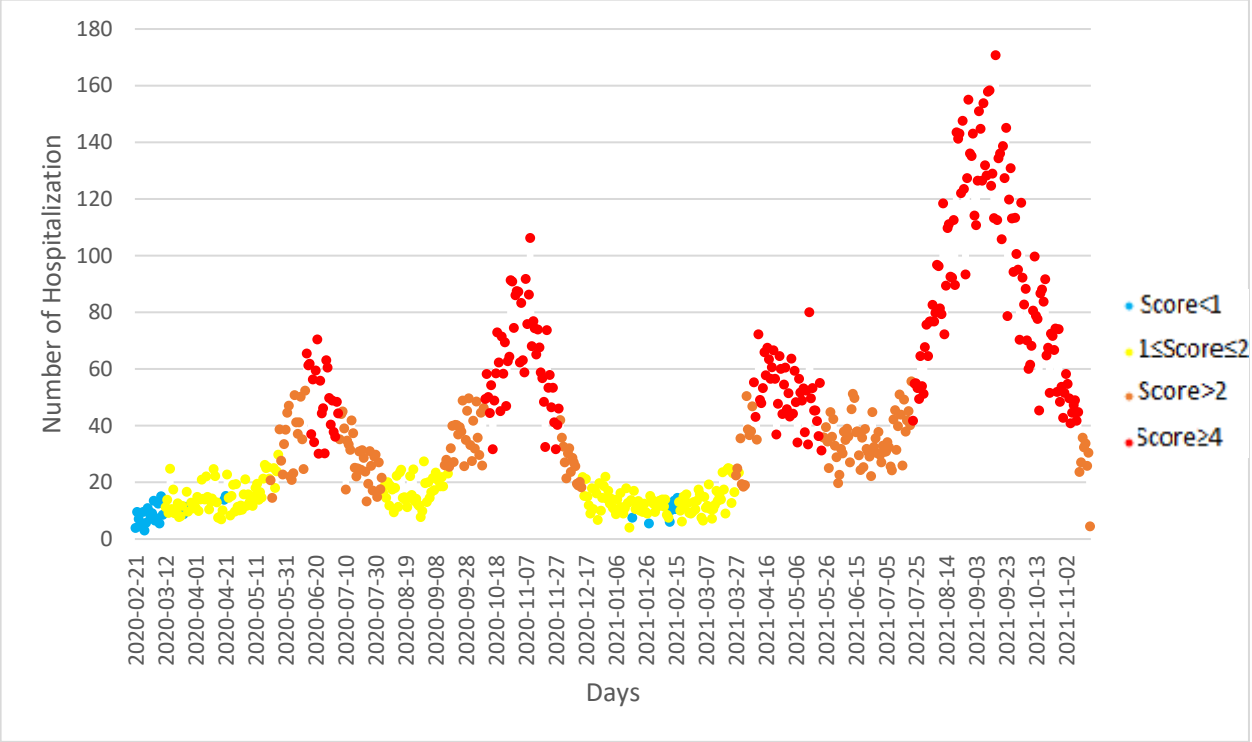
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **محمودآباد**



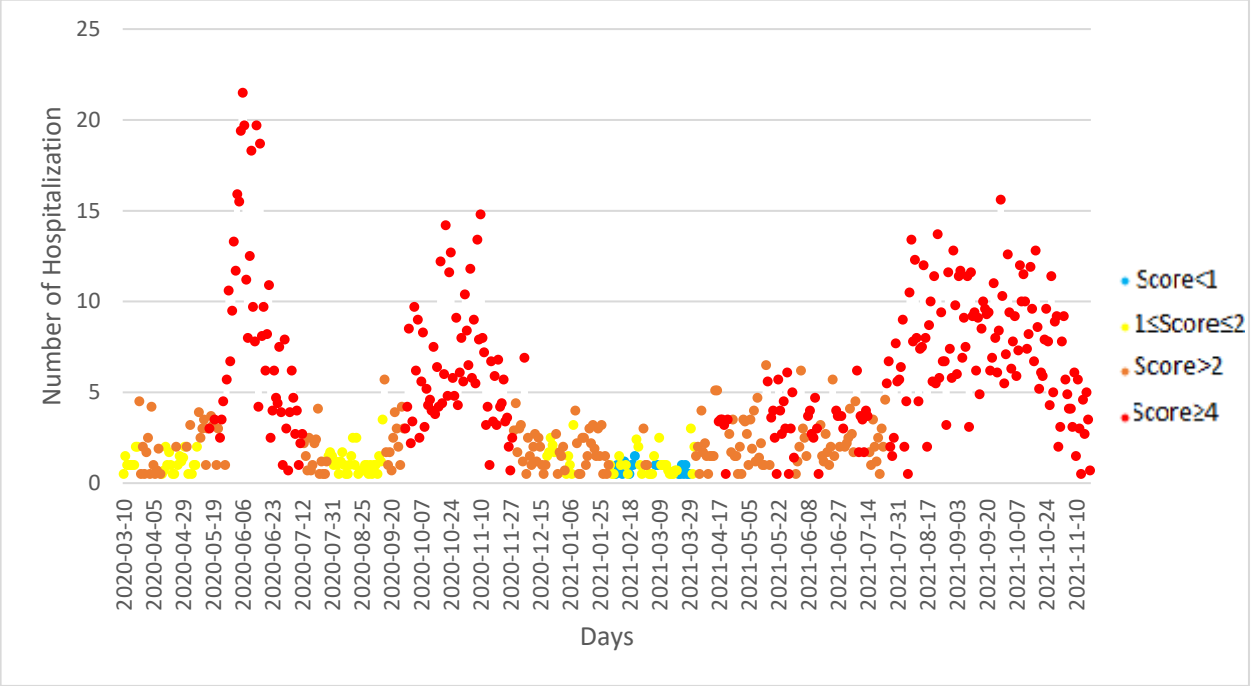
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **یزد**



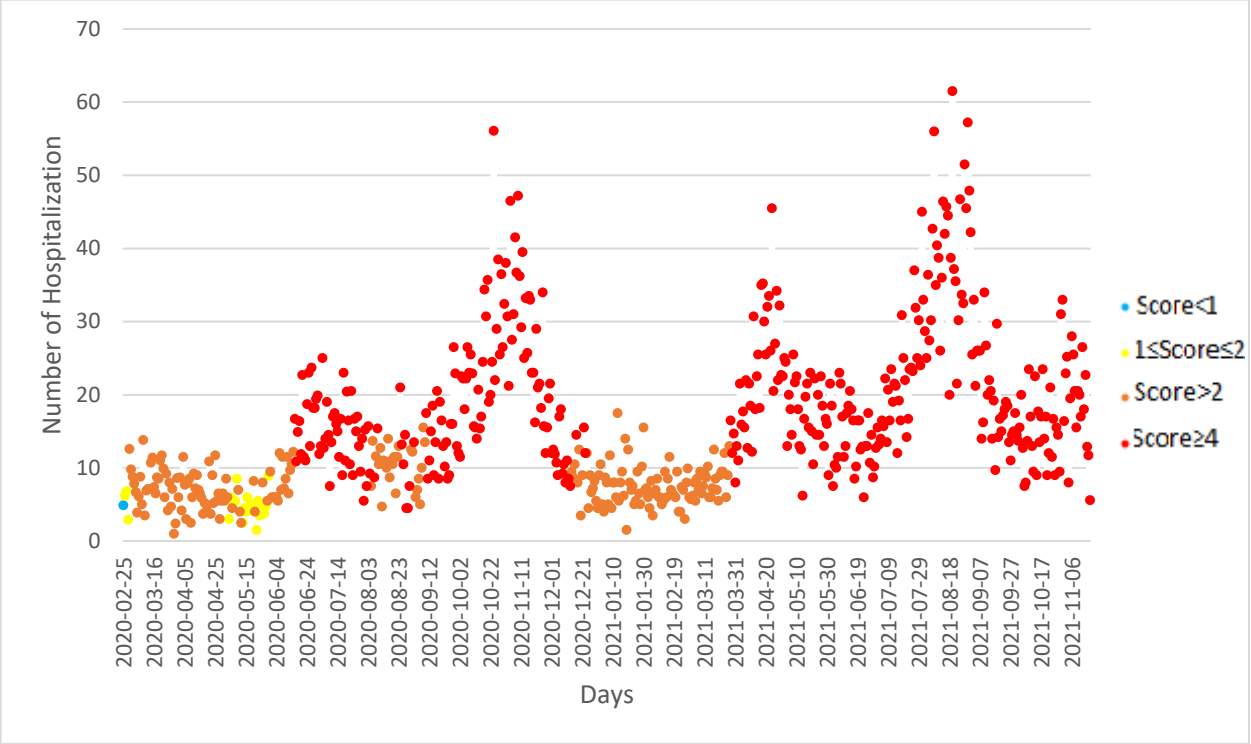
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **مهریز**



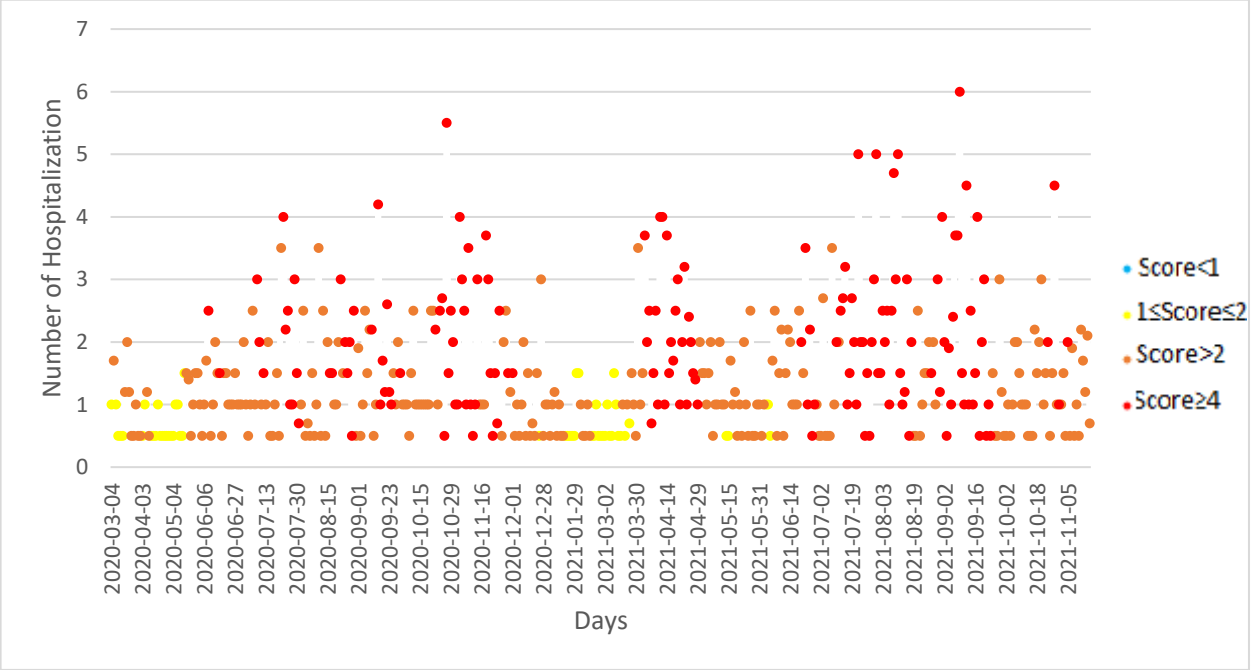
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **کرمانشاه**



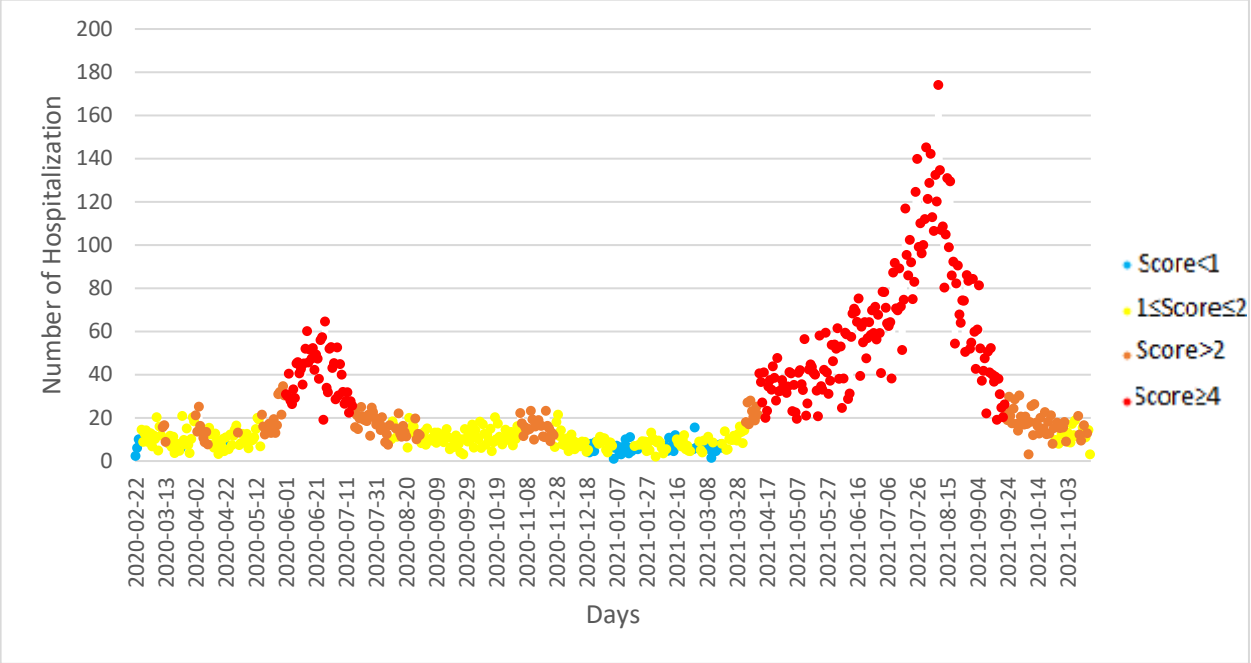
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **جوانرود**



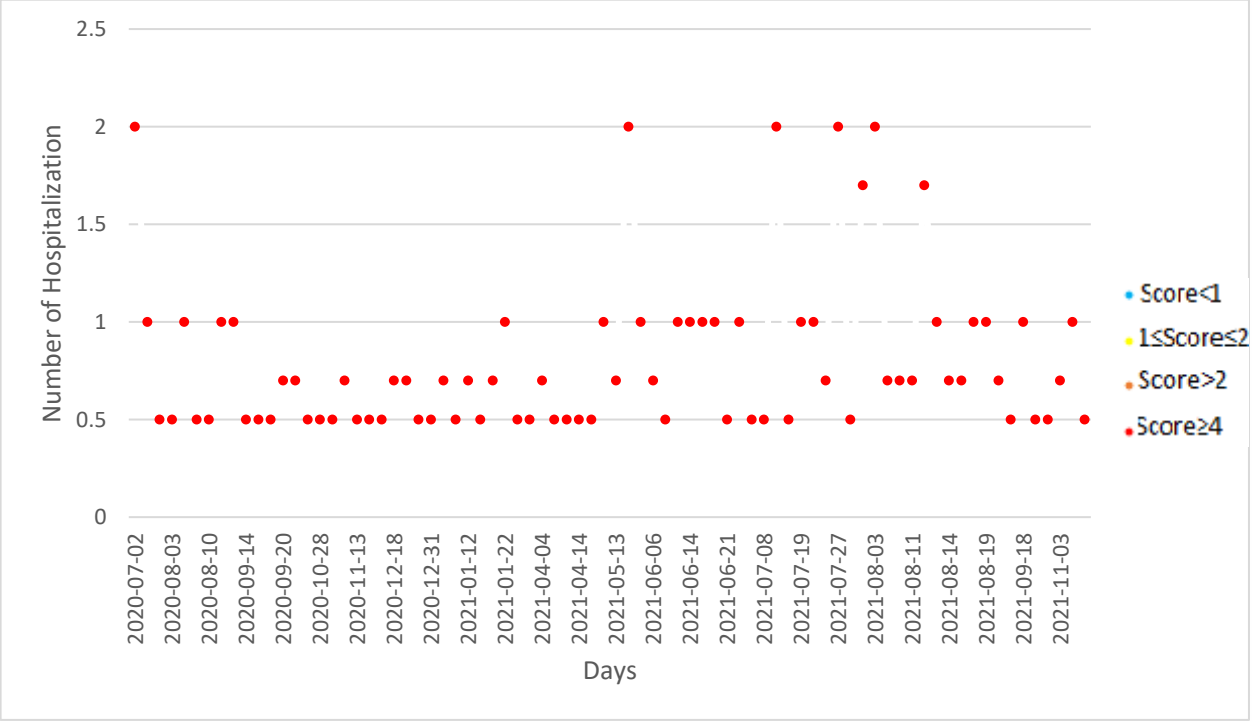
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **بیرجند**



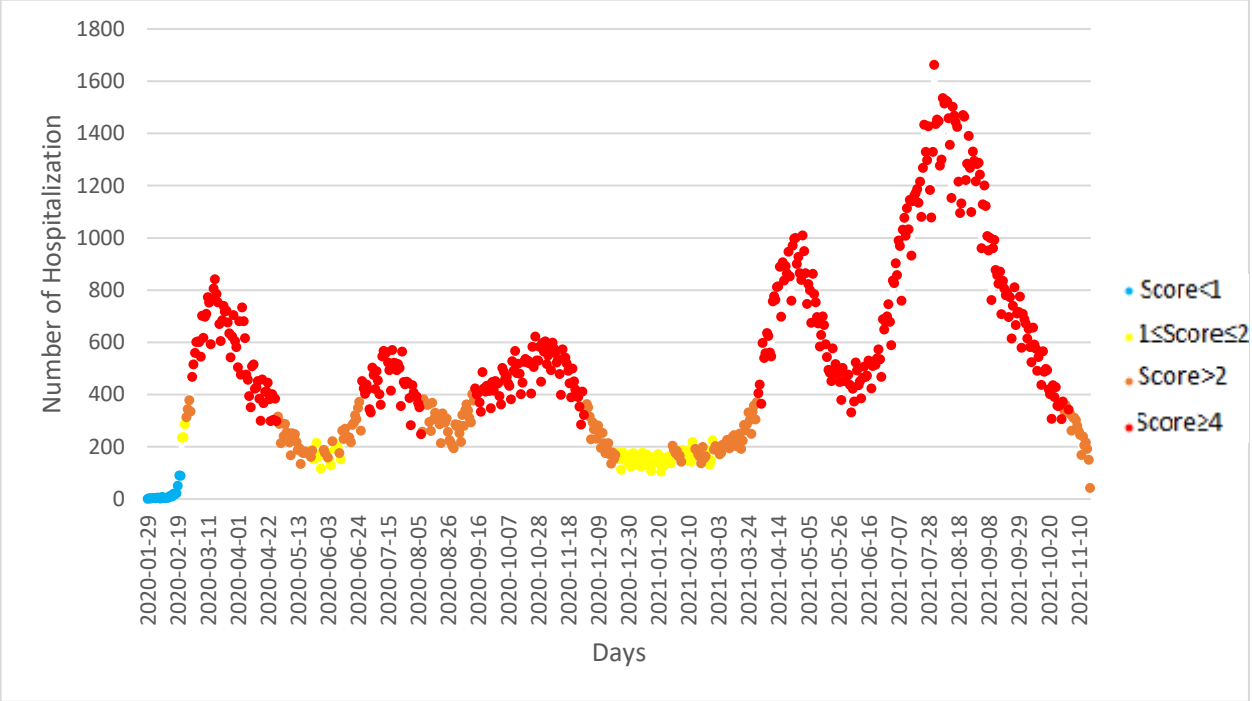
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **سربیشه**



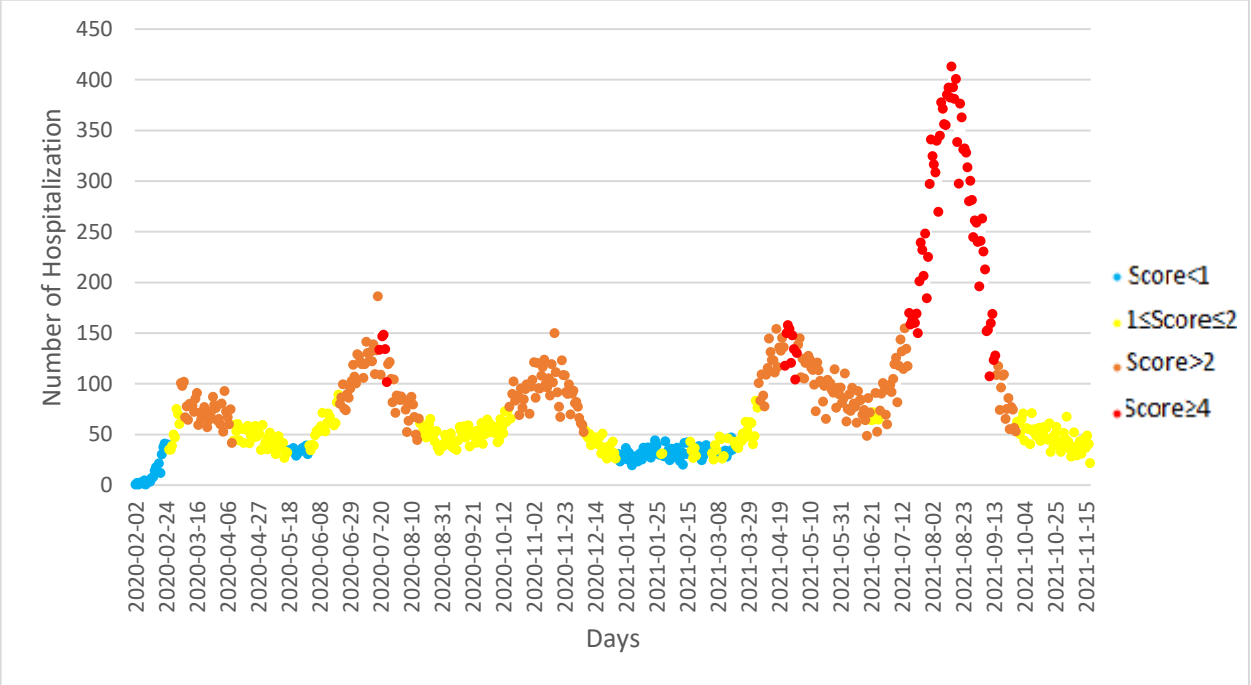
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **بندرعباس**



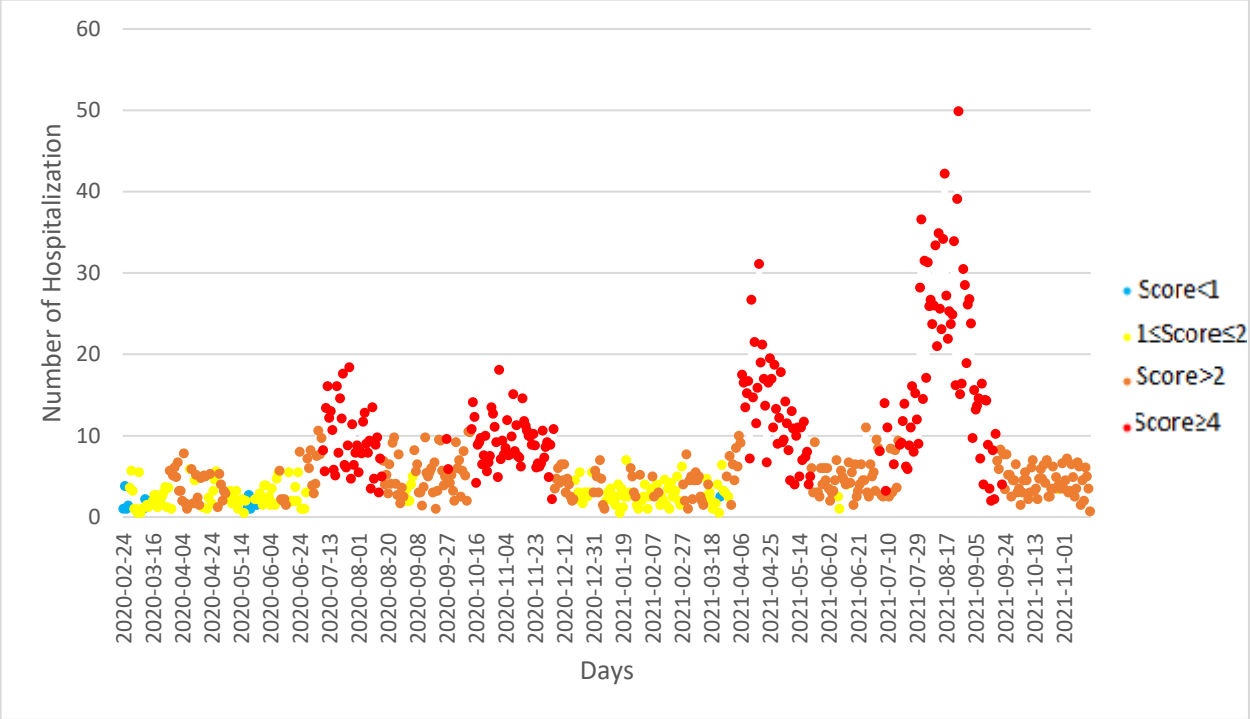
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **هرمز**



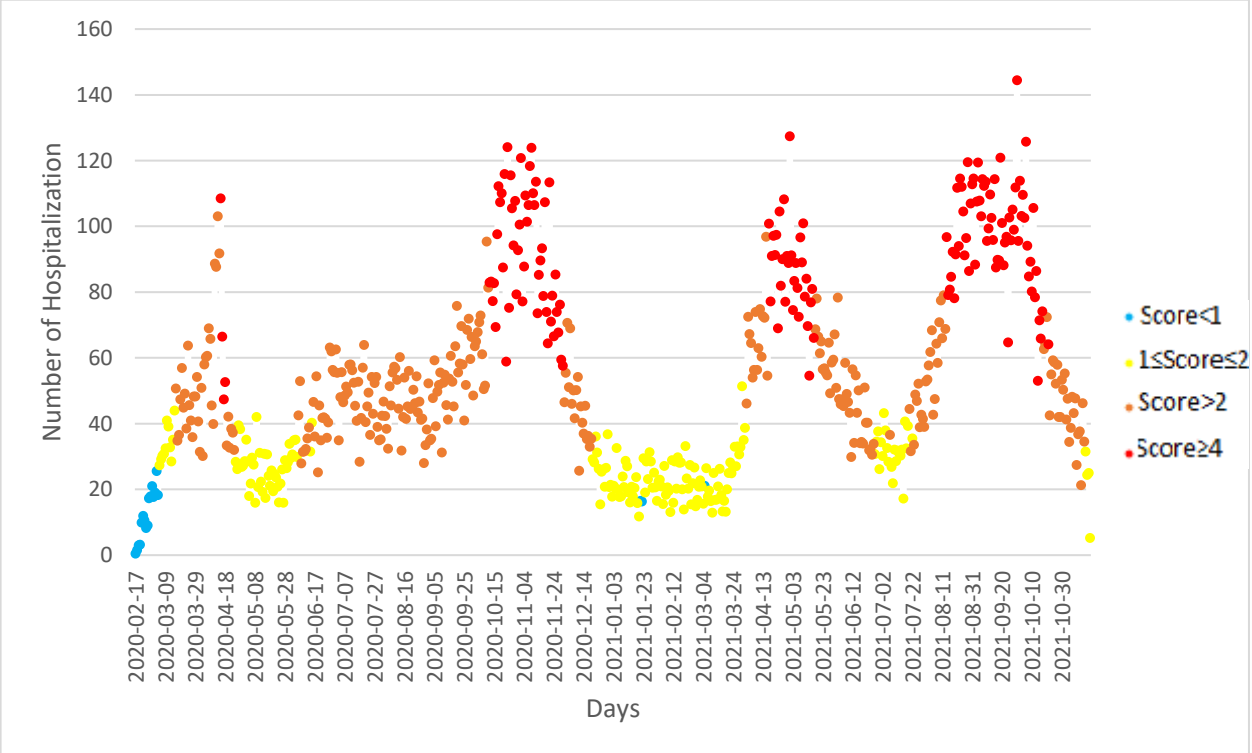
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **تهران**



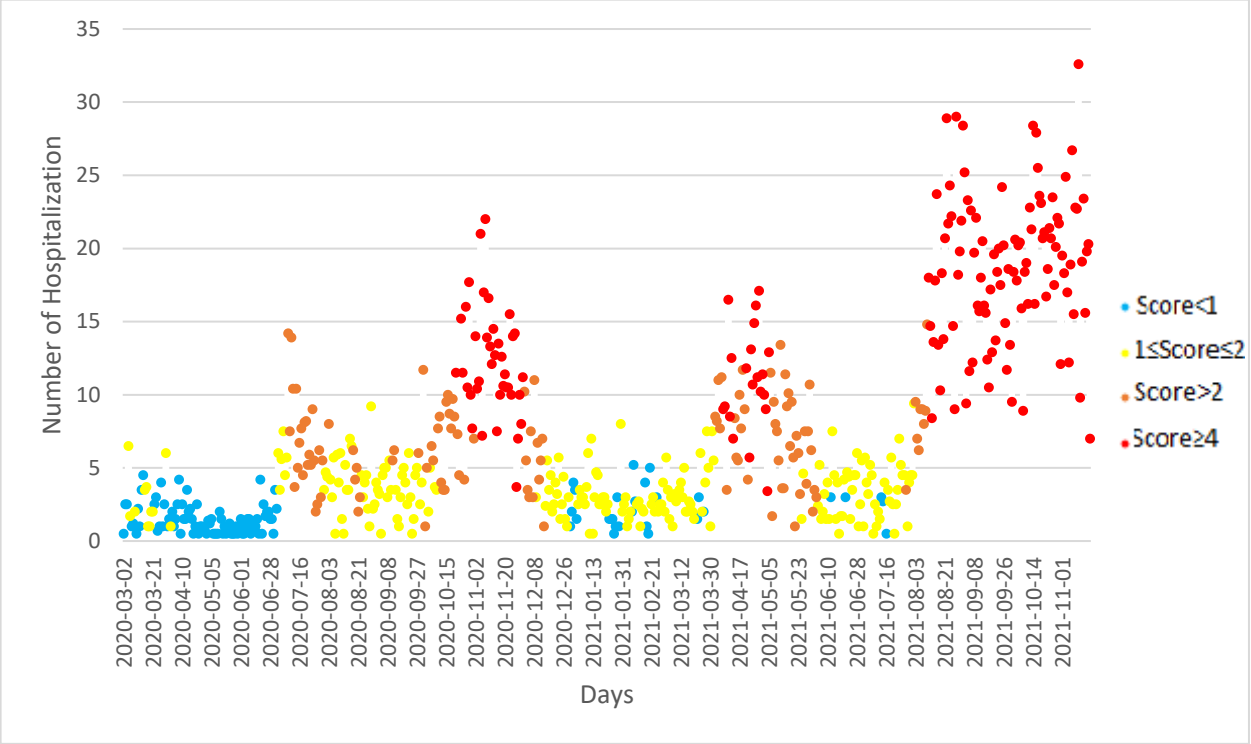
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **مشهد**



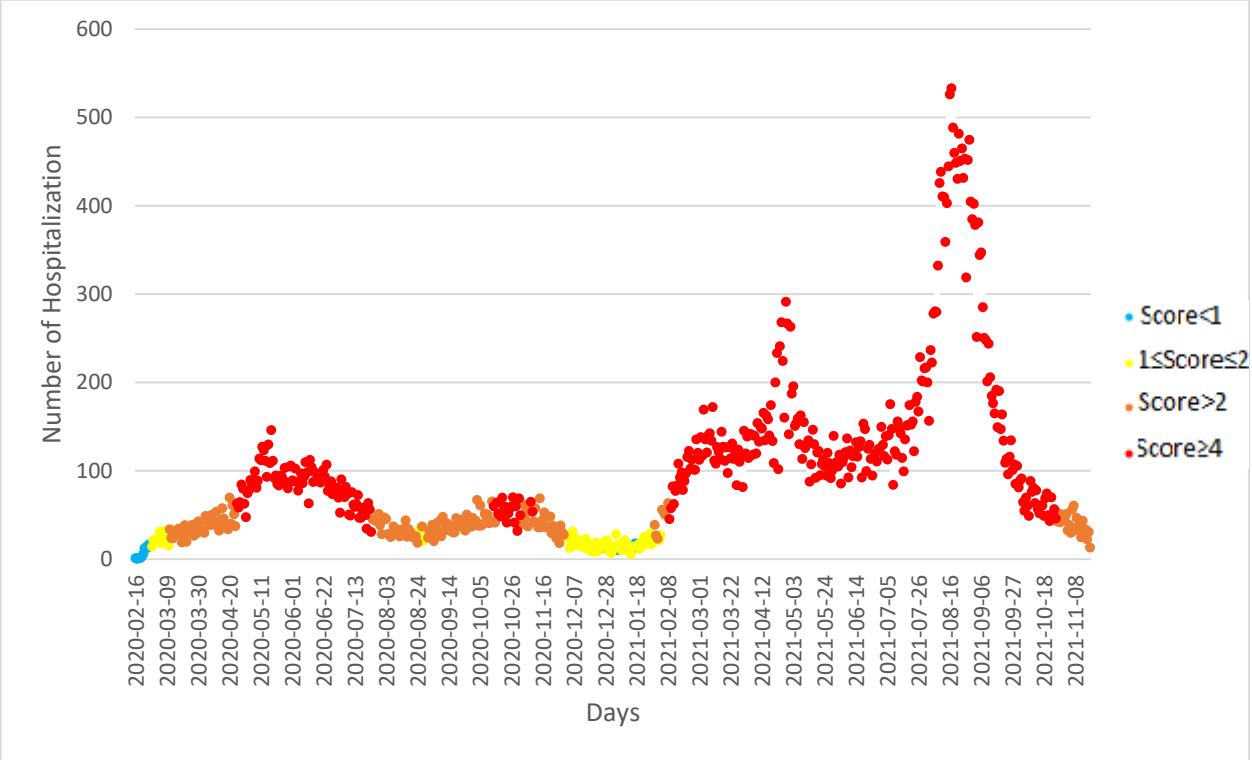
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **قوچان**



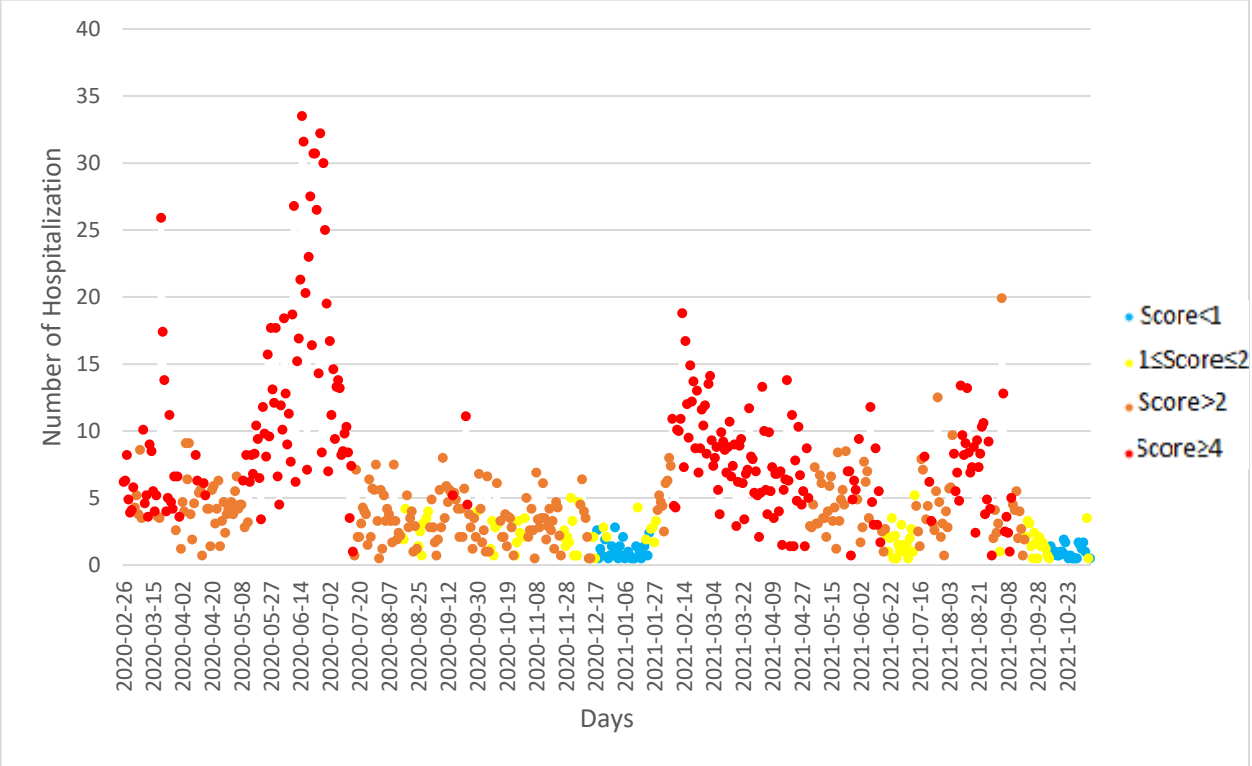
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **تبریز**



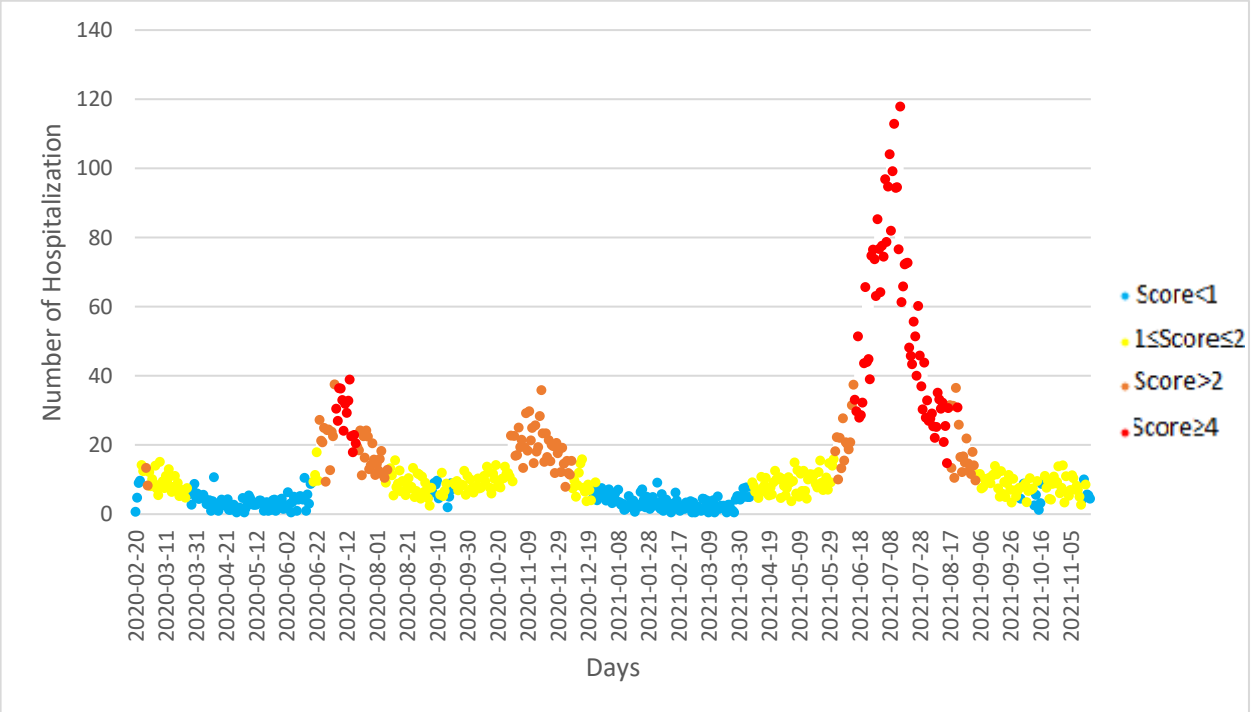
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **مرند**



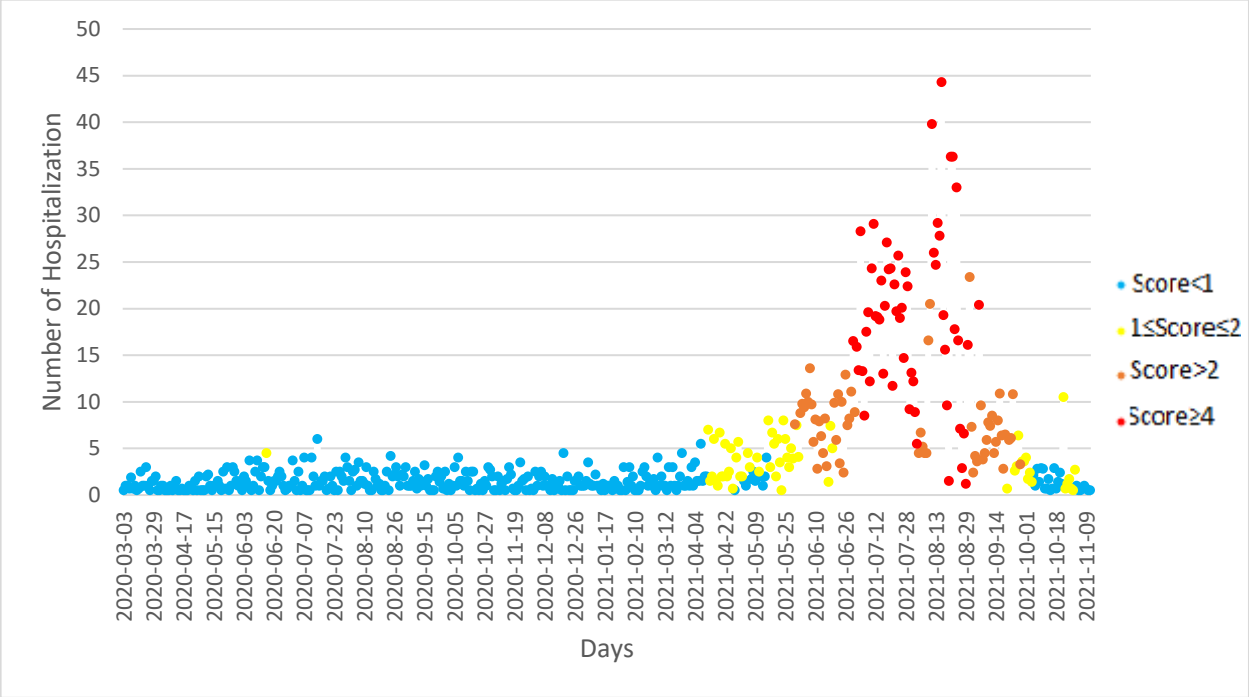
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **اهواز**



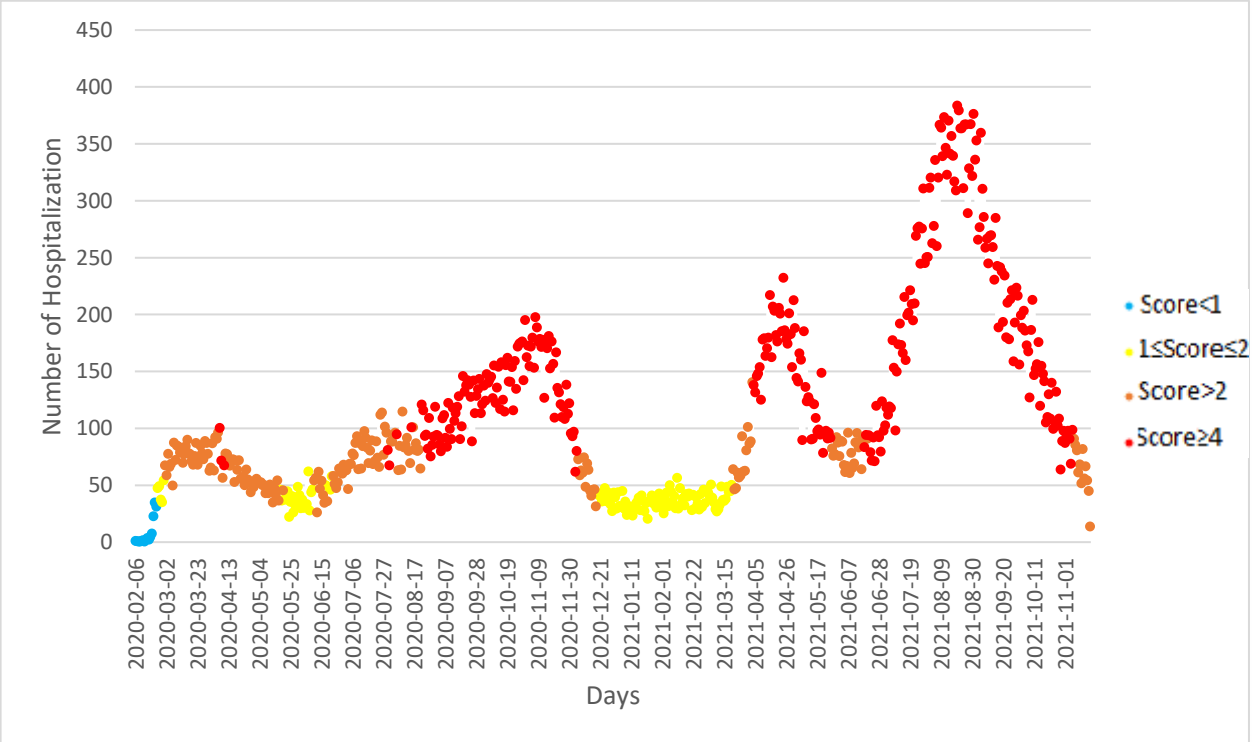
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **شادگان**



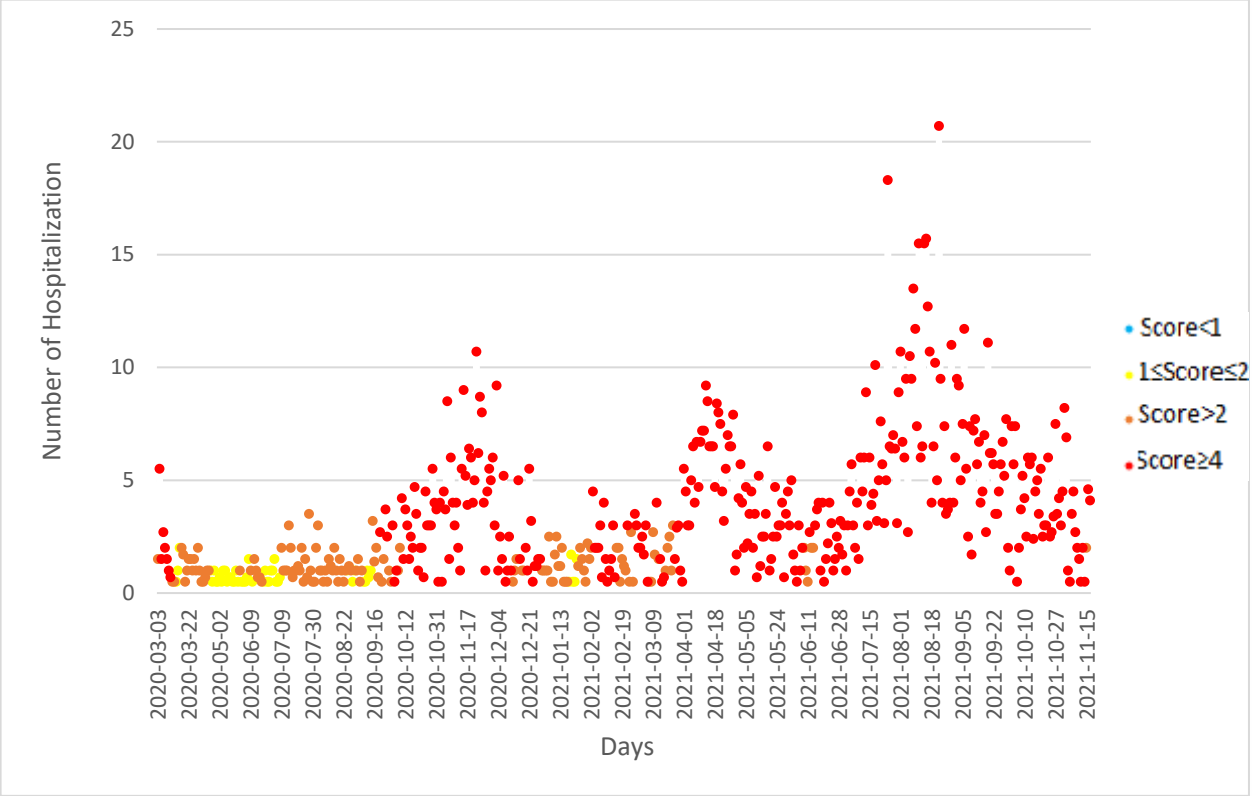
نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **زاهدان**



نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **چابهار**



نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **اصفهان**



نمودار رنگ‌بندی براساس روش بیزی به صورت هفتگی برای شهر **نطنز**

نتیجه‌گیری

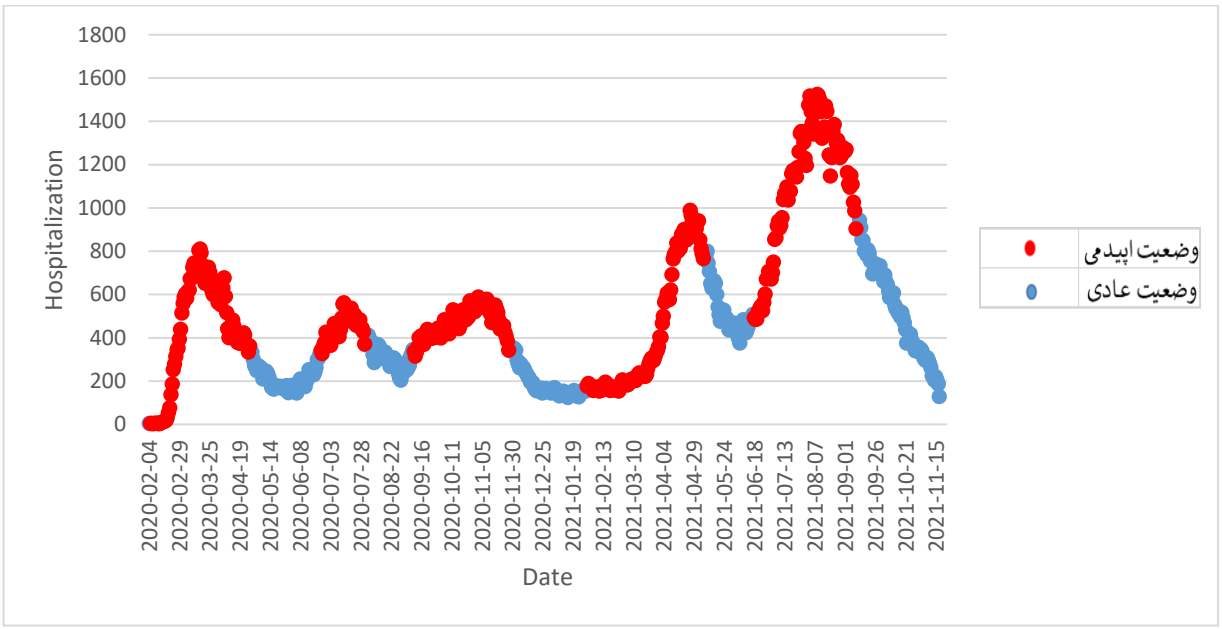
در بین روشهای پیشنهادی، مدل‌های ۲،۱ و ۵ به عنوان مدل‌های مناسب برای تعیین رنگ‌بندی و هشدار اولیه و تعیین پیک اپیدمی توصیه می‌گردد. در اکثر کارهای دنیا در این زمینه ، بیشتر از هشدار اولیه استفاده می شود و از رنگ‌بندی خیلی استفاده نمی شود. لذا توصیه می شود که در ایران علاوه بر رنگ‌بندی، از مدل‌های هشدار اولیه و تعیین روند نیز استفاده شود. مدل ۵ که ارتقا یافته مدل کشوری است را می توان به عنوان مدل رنگ‌بندی استفاده کرد و در کنار آن از مدل‌های ۱ یا ۲ که هر دو مدل‌های مناسبی هستند، برای تعیین هشدار شروع اپیدمی و تعیین روند افزایشی یا کاهشی اپیدمی استفاده کرد. در صورت تشخیص به موقع شروع اپیدمی و تشخیص روند افزایشی تعداد مبتلایان به کرونا، سیاستگذاران و مسئولان امر، به موقع می‌توانند با تصمیم‌گیری‌های مناسب و ایجاد راهکارهای مناسب ، موفق به کنترل اپیدمی شده و در نتیجه می‌تواند باعث کاهش تعداد مبتلایان، تعداد بستری‌ها و تعداد مرگ‌ها شوند. لذا به نظر می‌رسد که تشخیص به موقع یک اپیدمی و هشدار اولیه و تعیین روند صعودی و افزایشی بیماری از اهمیت و جایگاه خاصی در کنار رنگ‌بندی می‌تواند داشته باشد.

لازم به ذکر است که در این تحقیق و گزارش فقط از موارد بستری در بیمارستان استفاده شده است و از داده‌های سرپایی استفاده نشده است لذا هشدار اولیه و رنگ‌بندی با تأخیر تشخیص داده می‌شود.

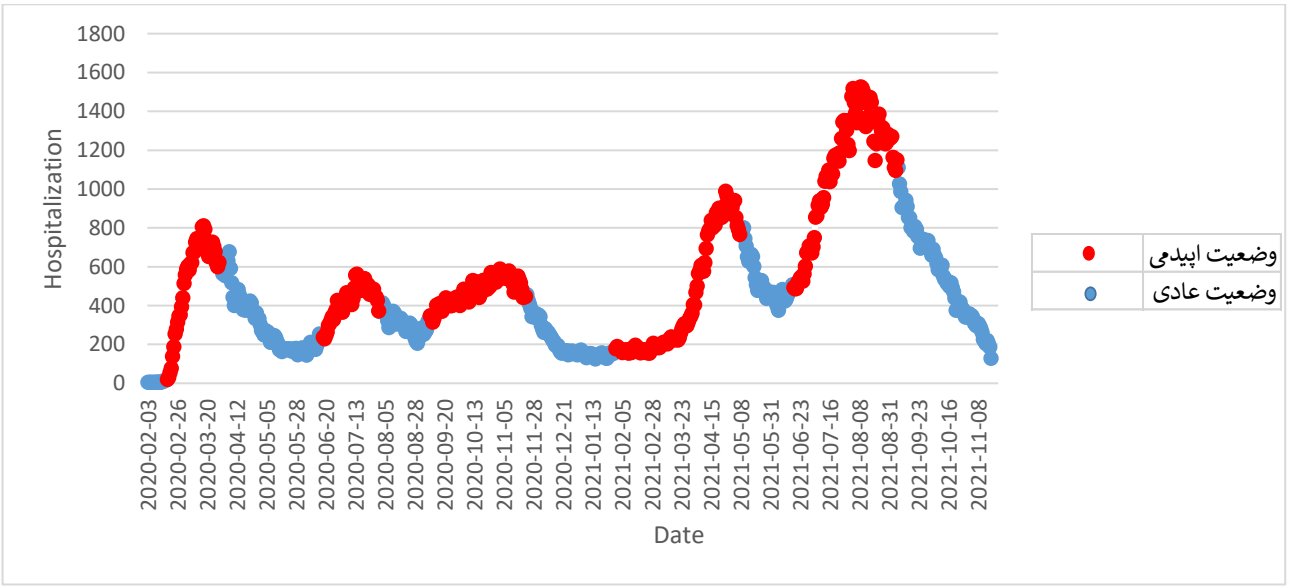
پیوست:

پیوست (الف): مدل فاصله اطمینان (پواسن، نرمال و ناپارامتری(میانه))

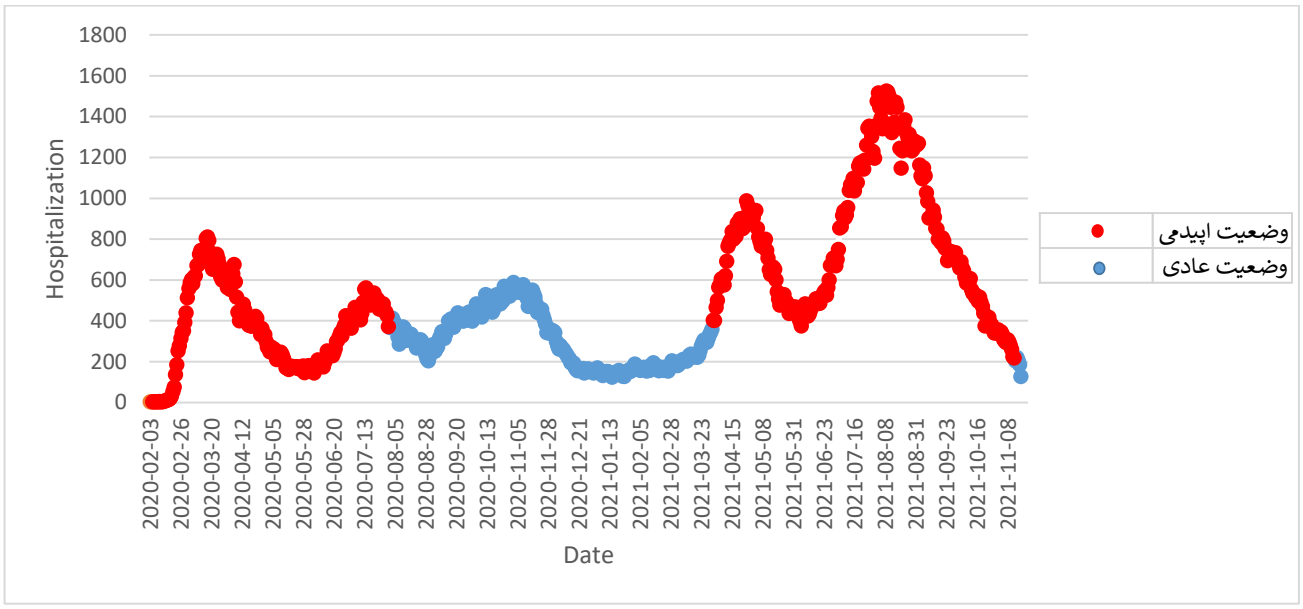
تشخیص اپیدمی روند بستری شهر تهران با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی نرمال شهر تهران

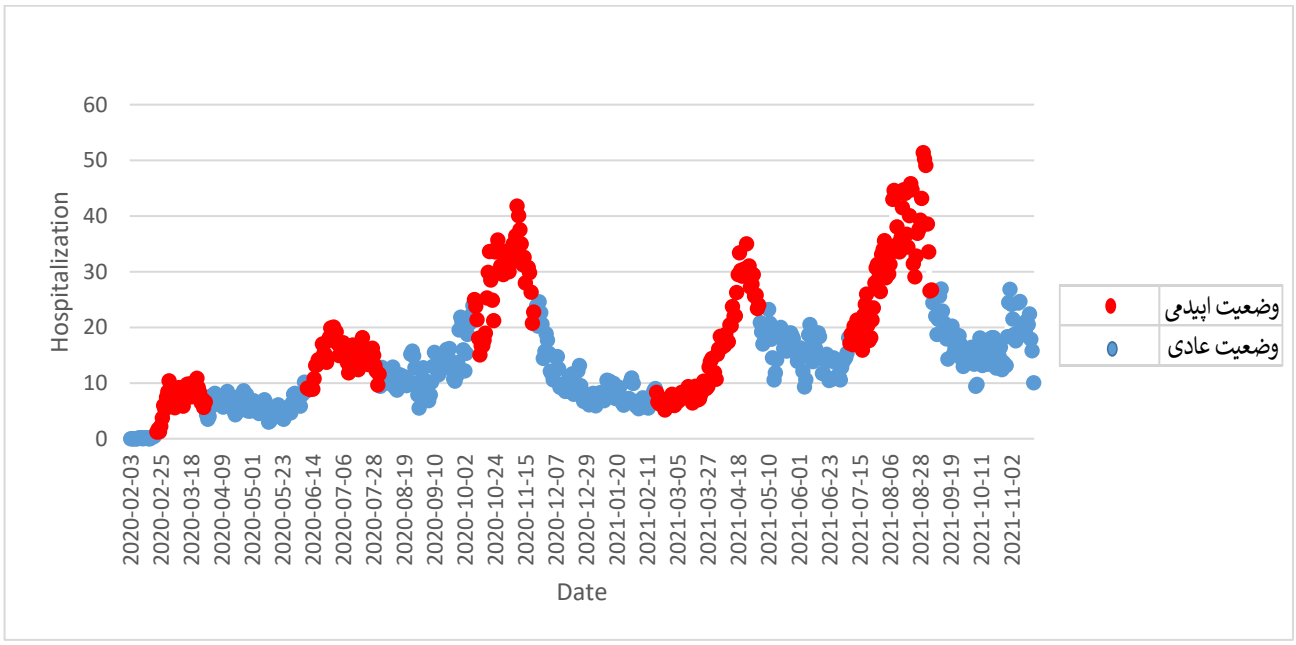


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی پواسن شهر تهران

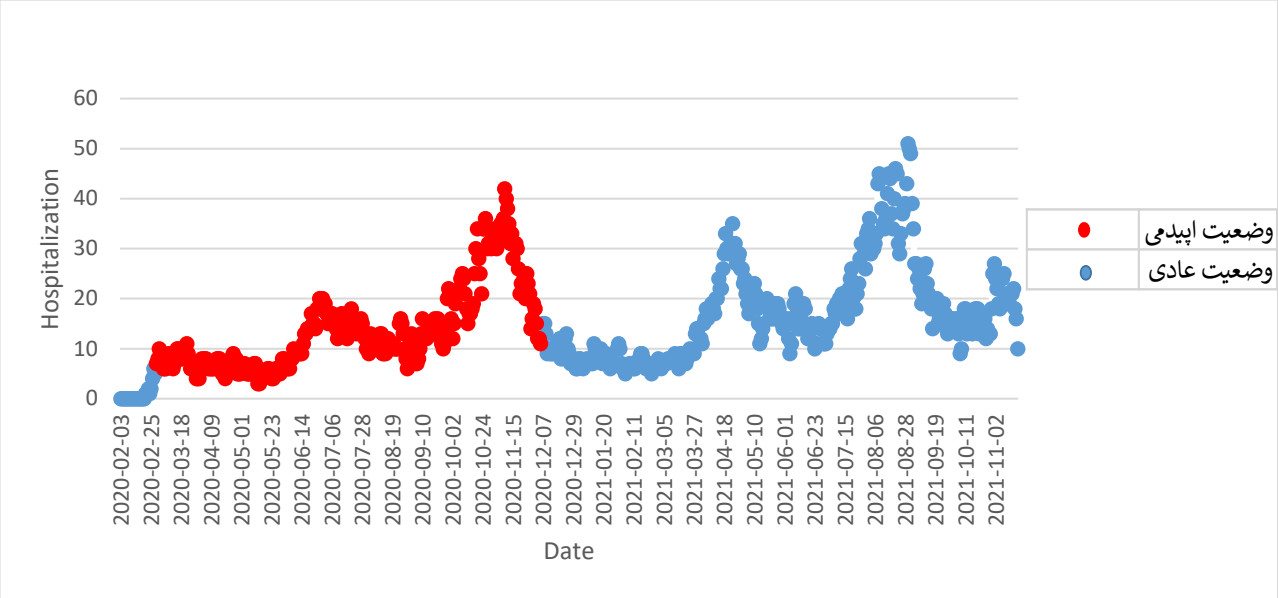


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی ناپارامتری(میانه) شهر تهران

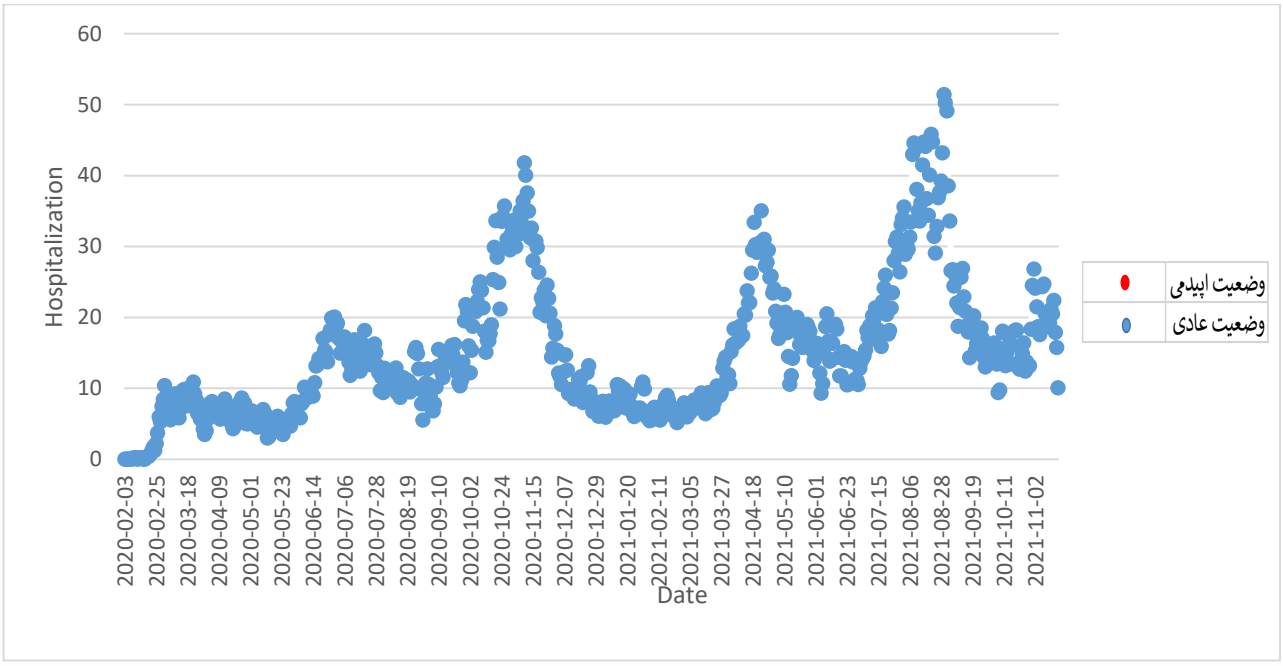
تشخیص اپیدمی روند بستری شهر بیرجند با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی نرمال شهر بیرجند

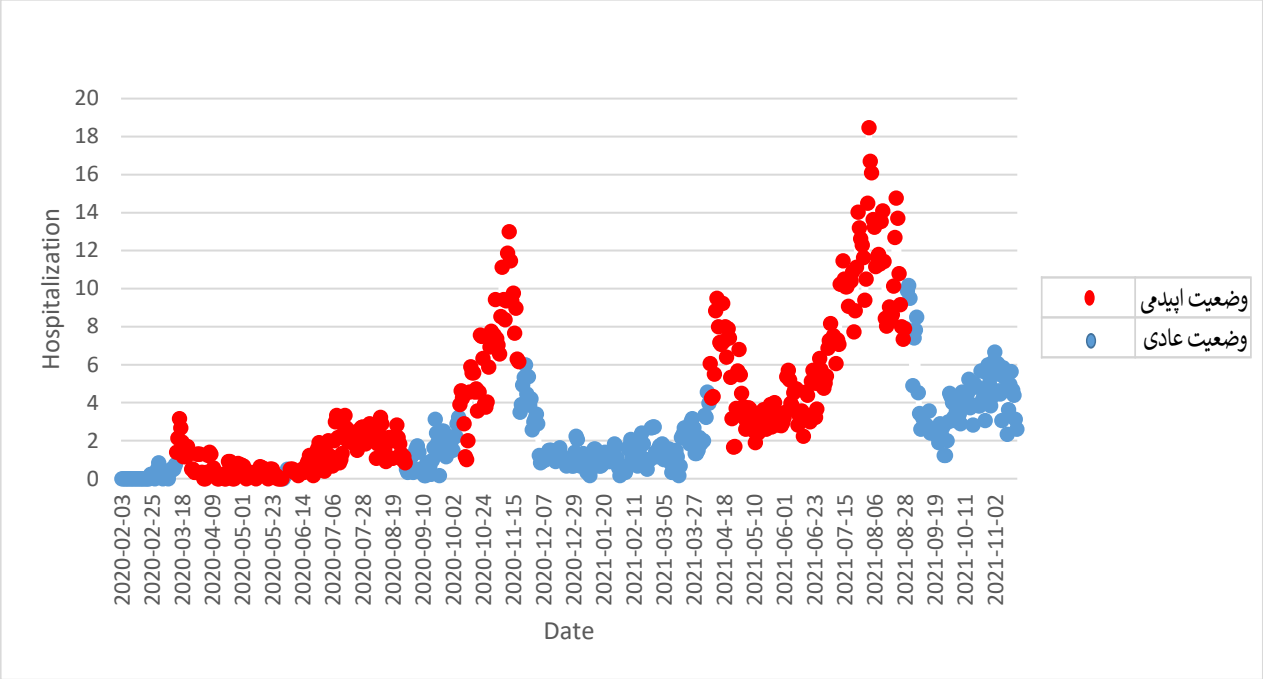


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی پواسن شهر بیرجند

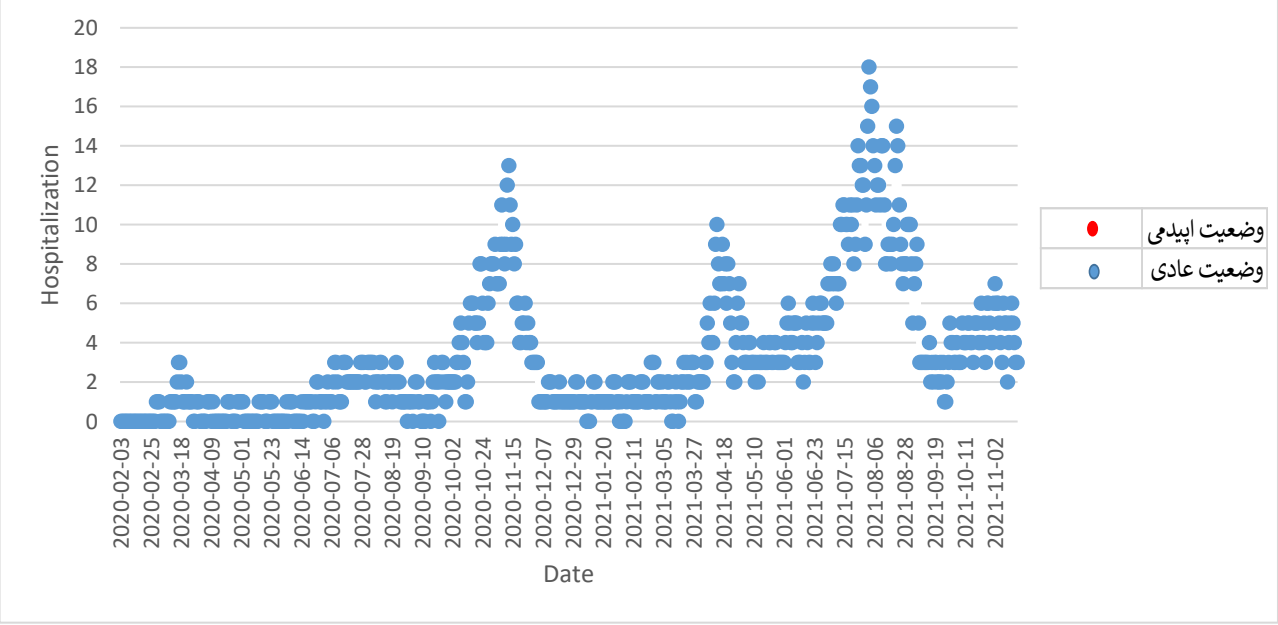


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی ناپارامتری(میانه) شهر بیرجند

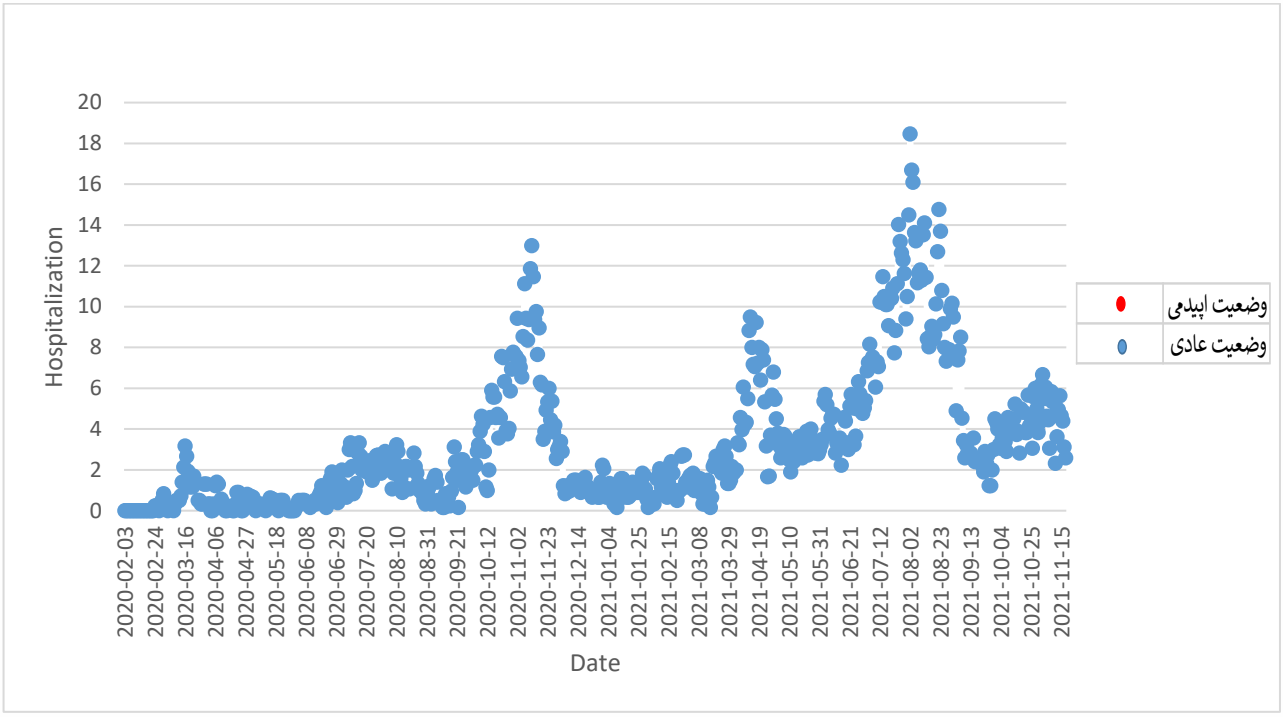
تشخیص اپیدمی روند بستری شهر مهریز با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهر مهریز

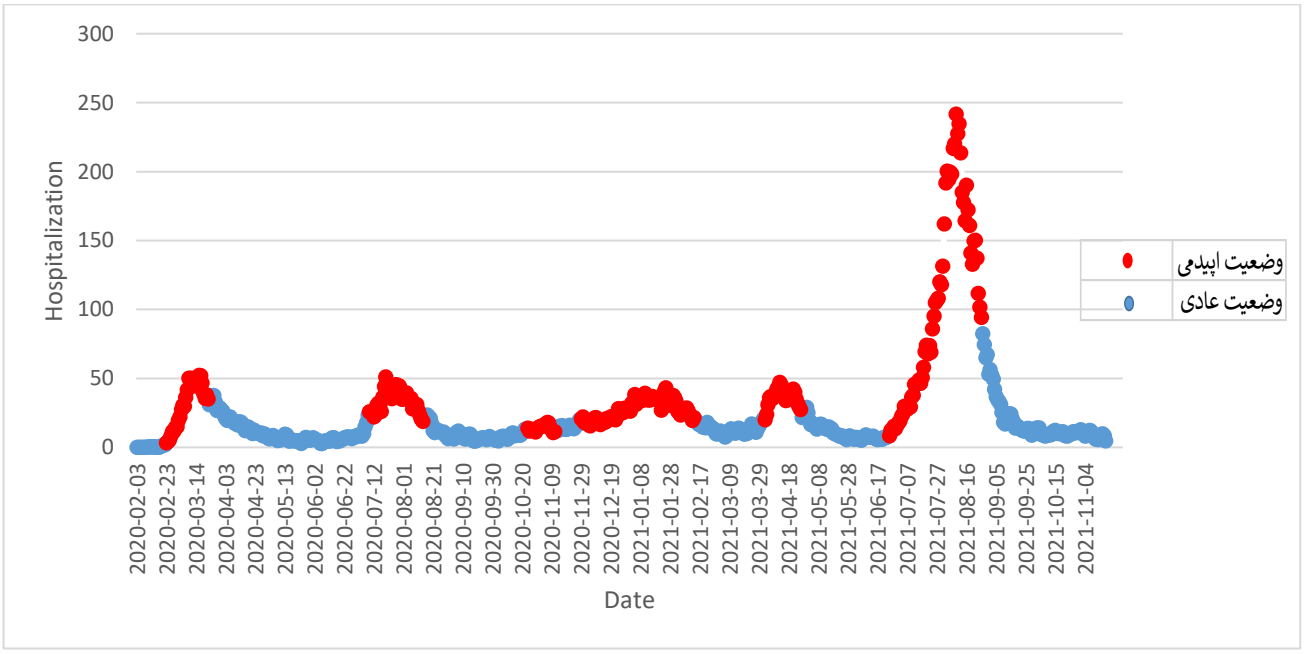


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی پواسن شهر مهریز

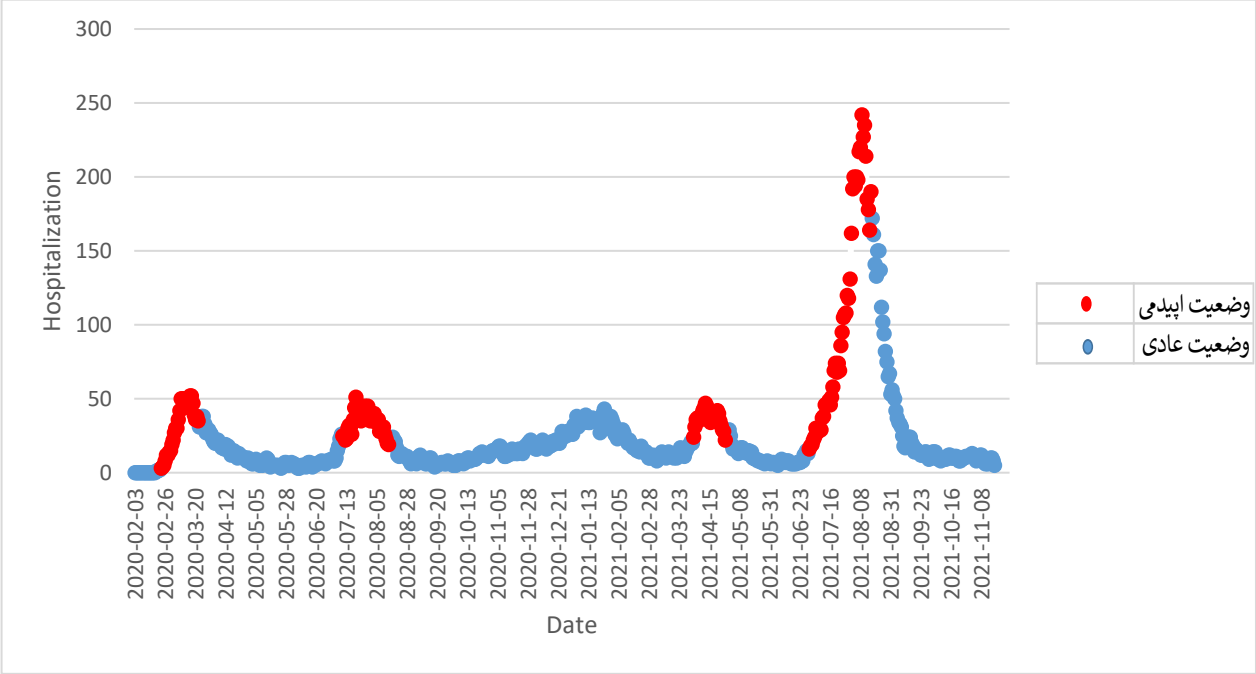


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی ناپارامتری(میانه) شهر مهریز

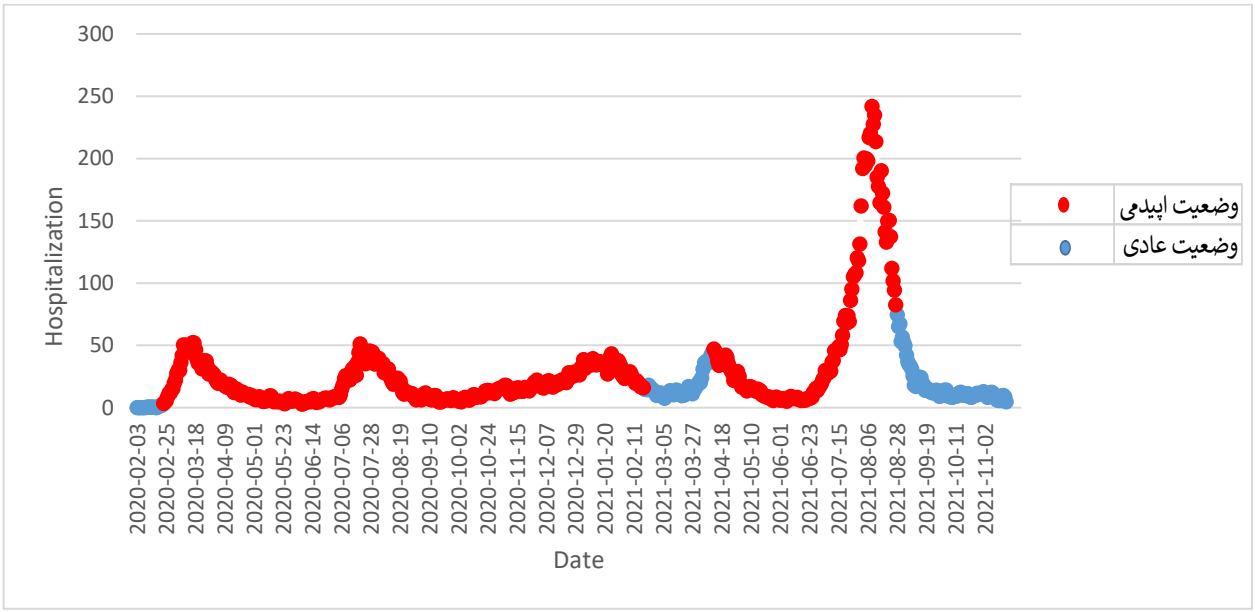
تشخیص اپیدمی روند بستری شهر ساری با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی نرمال شهر ساری

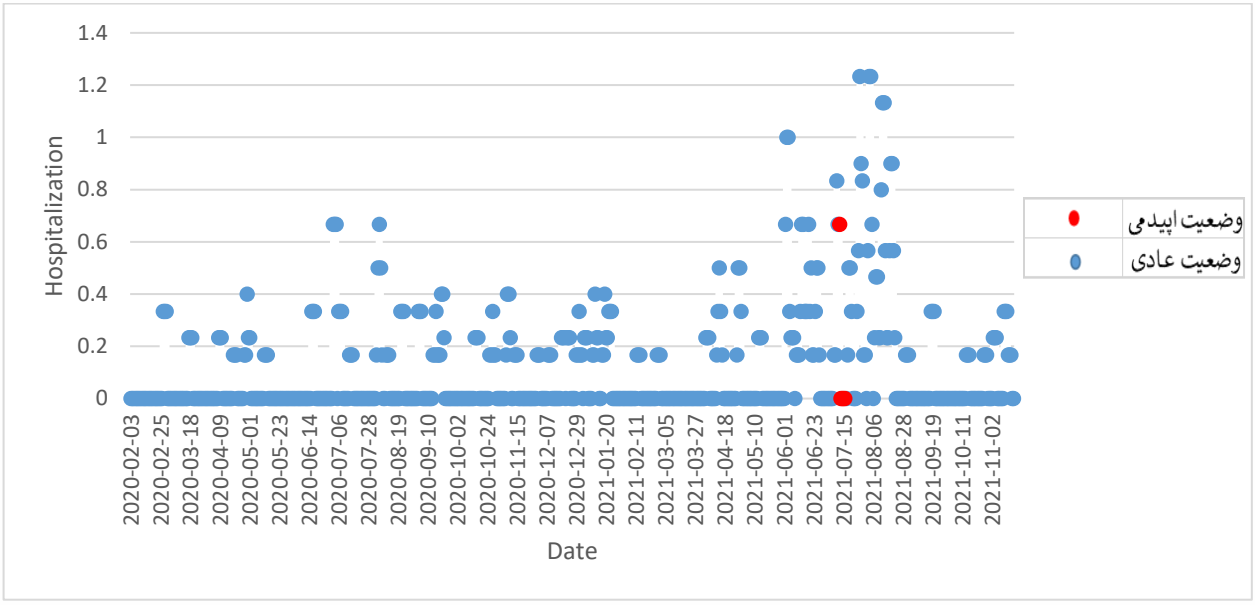


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی پواسن شهر ساری

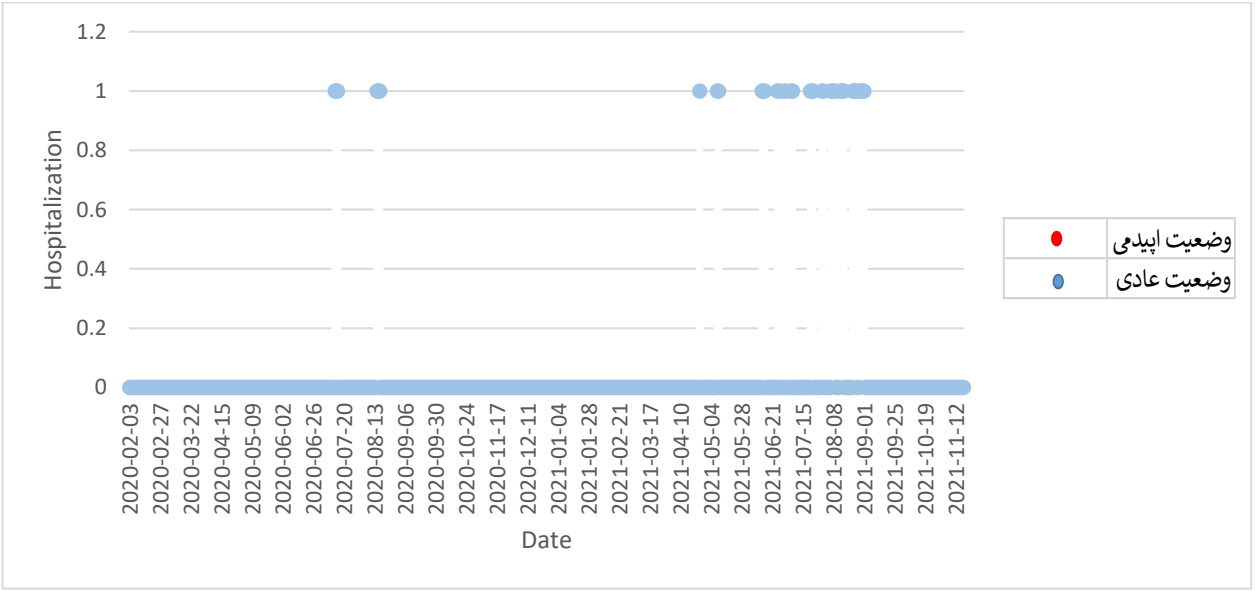


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی ناپارامتری(میانه) شهر ساری

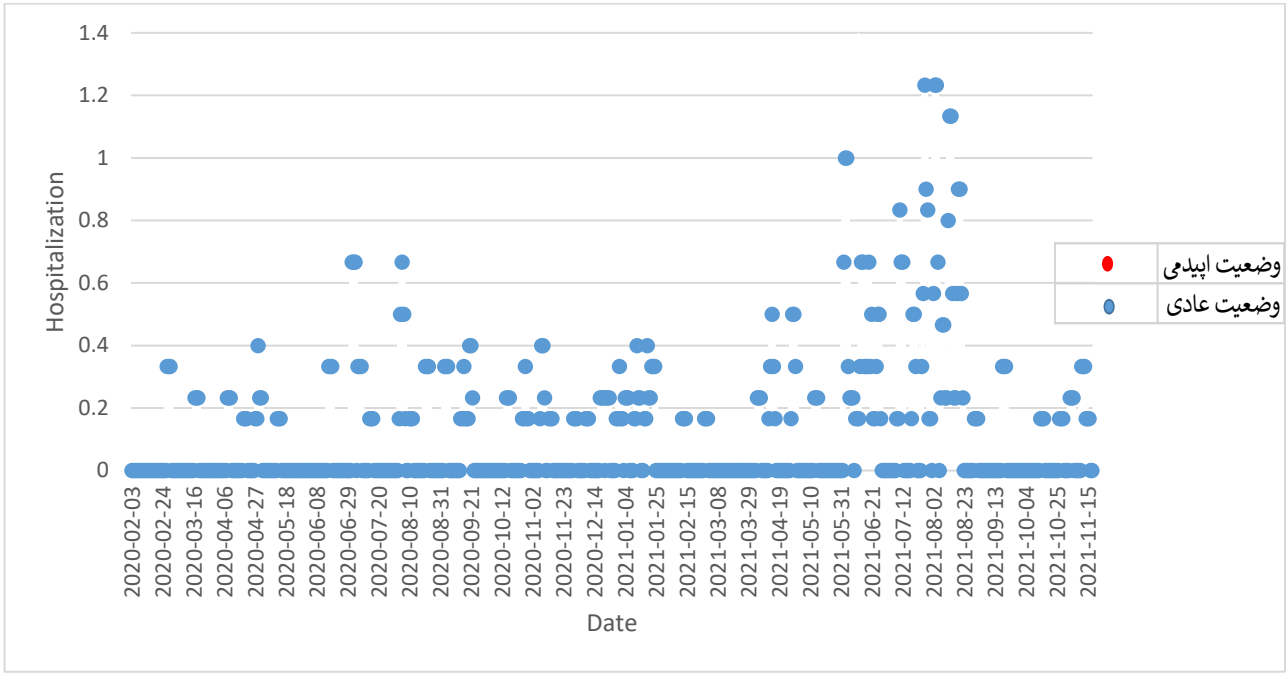
تشخیص اپیدمی روند بستری شهر هرمز با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی نرمال شهر هرمز

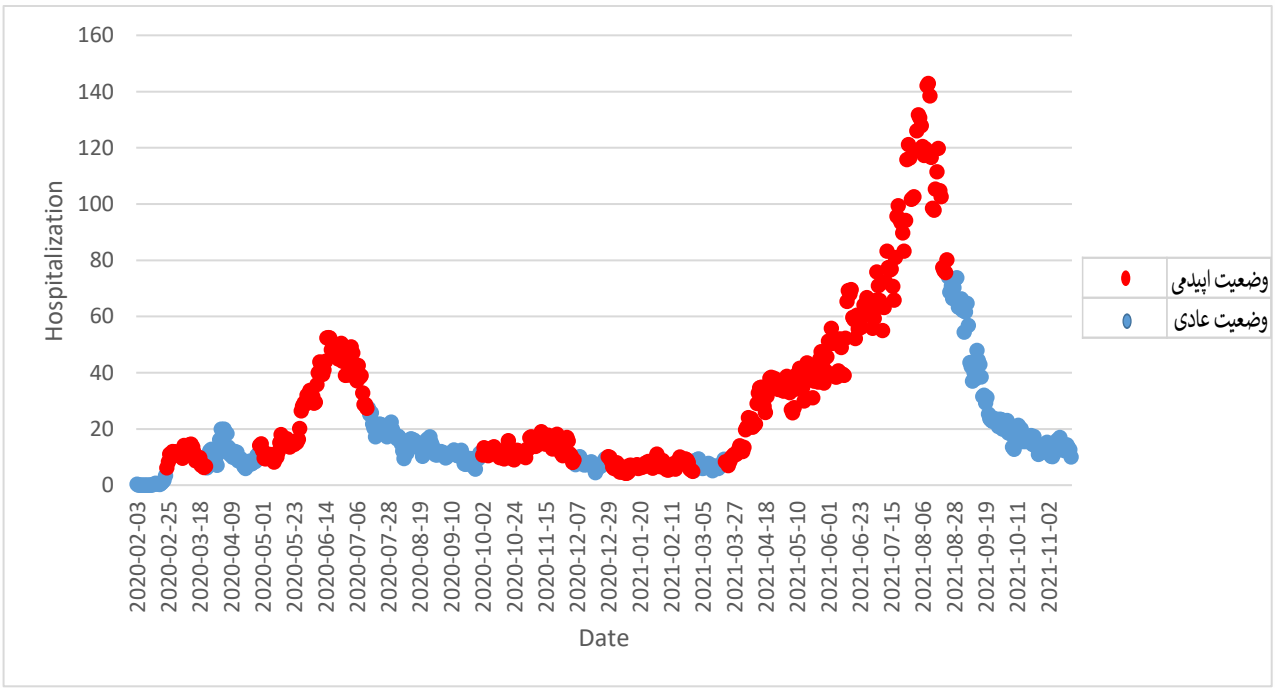


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی پواسن شهر هرمز

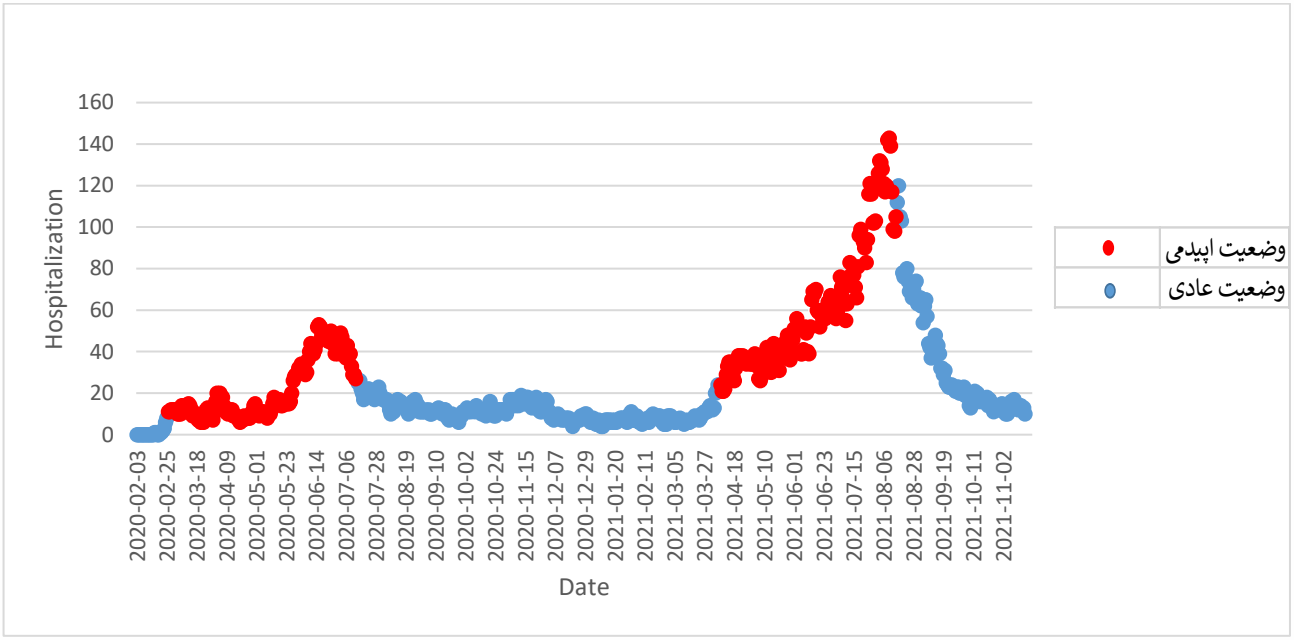


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی ناپارامتری(میانه) شهر هرمز

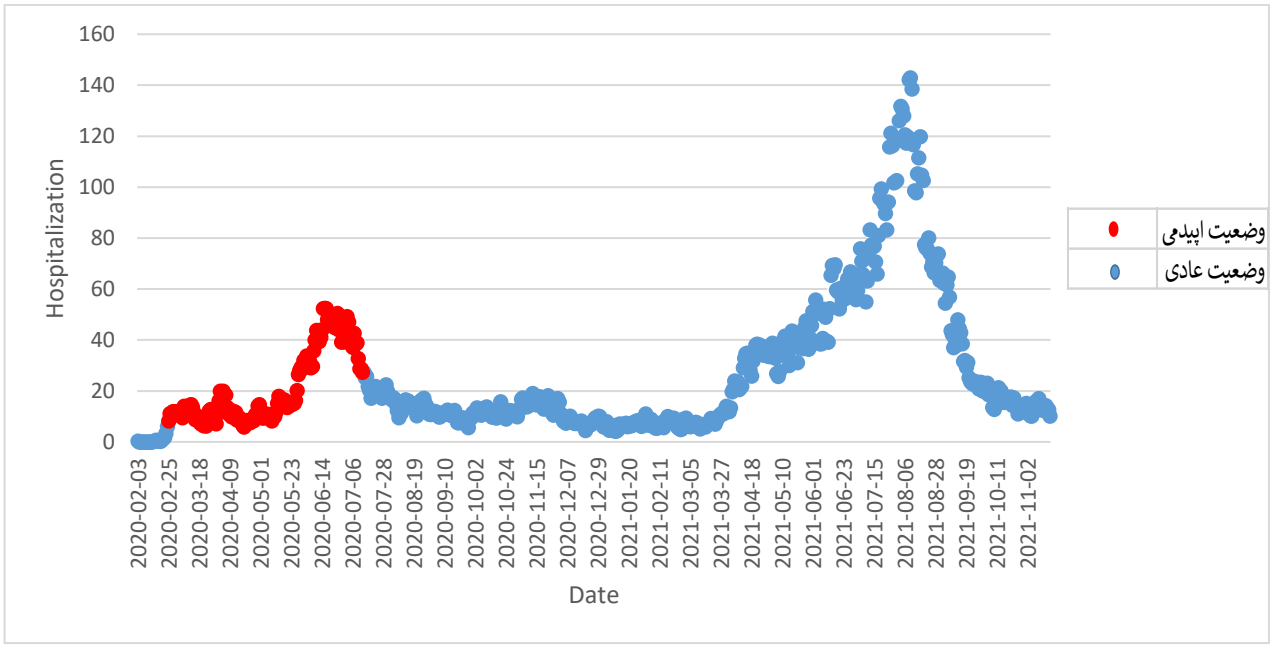
تشخیص اپیدمی روند بستری شهر بندرعباس با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهر بندرعباس

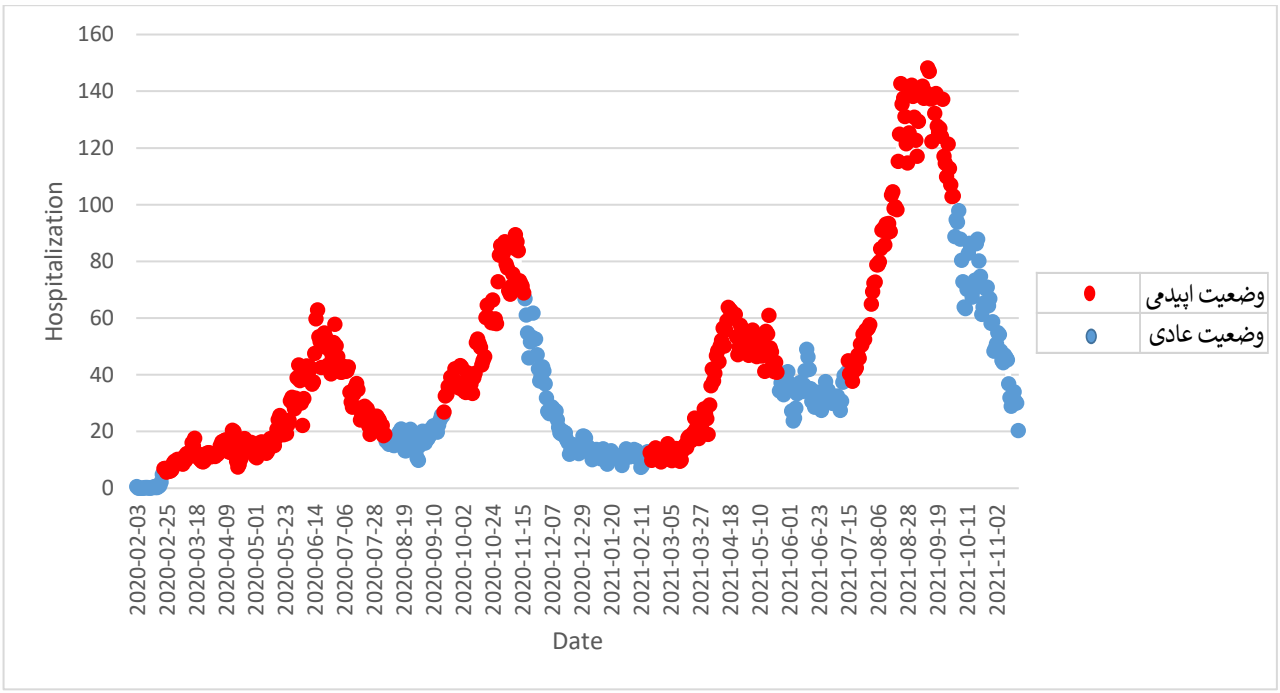


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی پواسن شهر بندرعباس

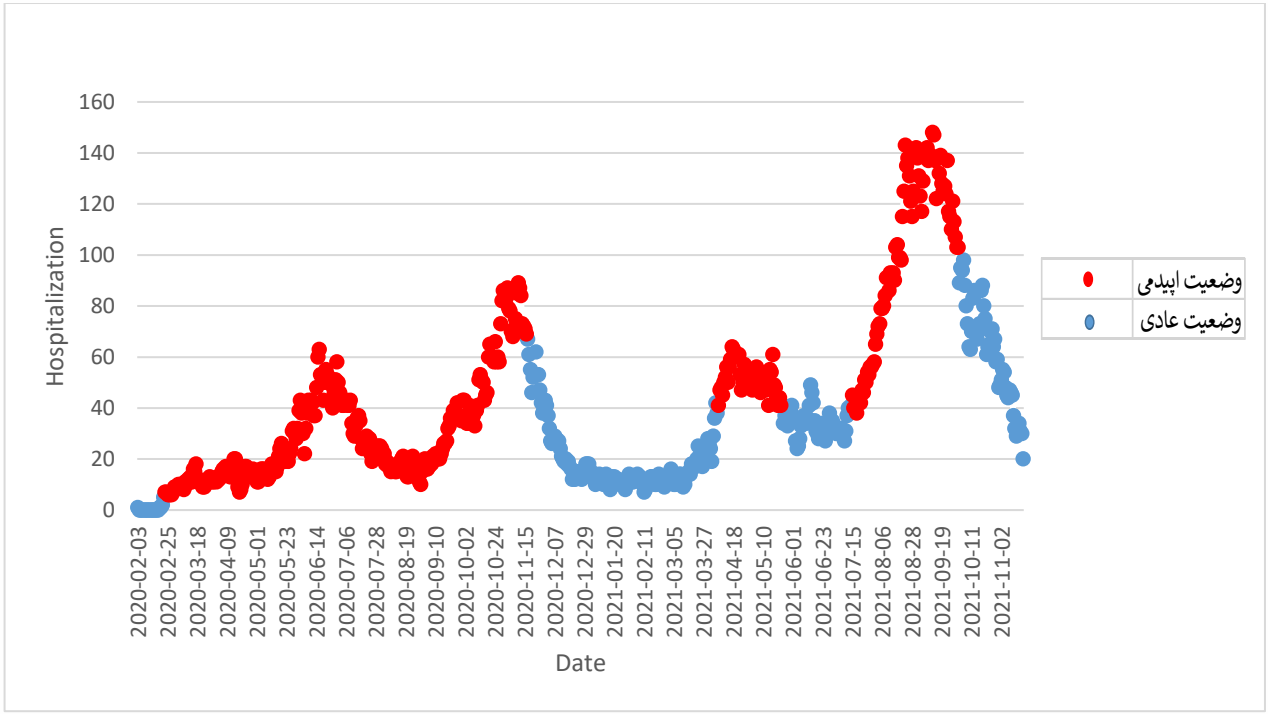


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی ناپارامتری(میانه) شهر بندرعباس

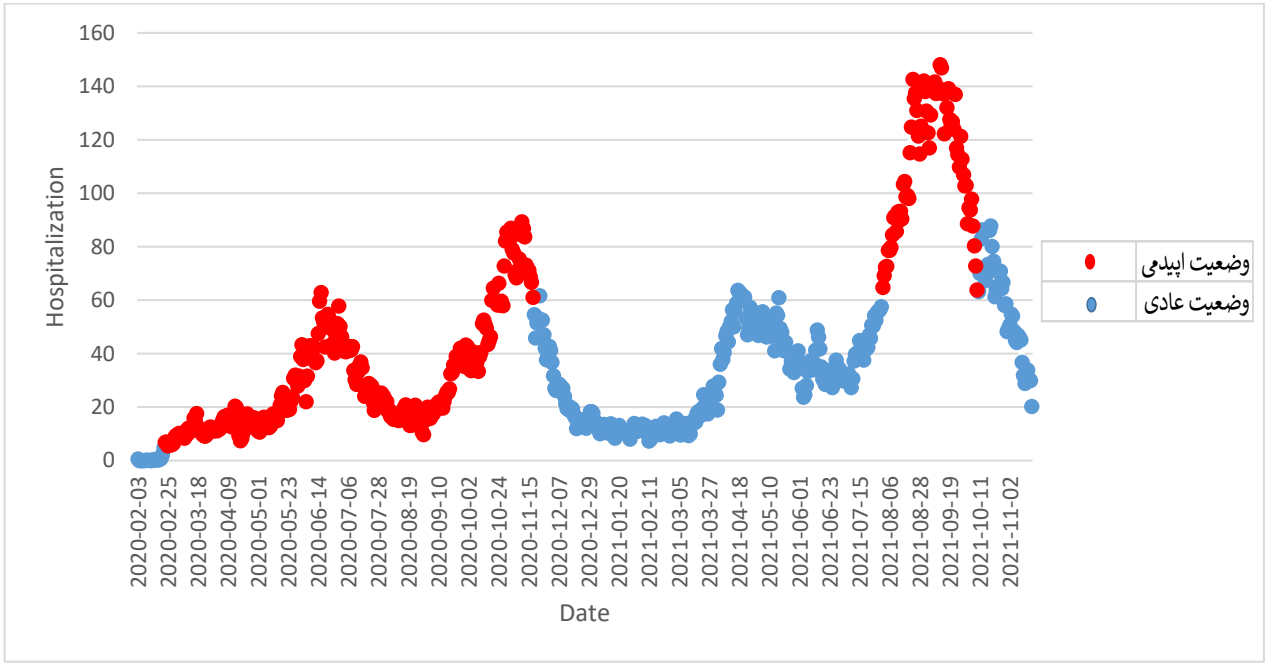
تشخیص اپیدمی روند بستری شهر کرمانشاه با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی نرمال شهر کرمانشاه

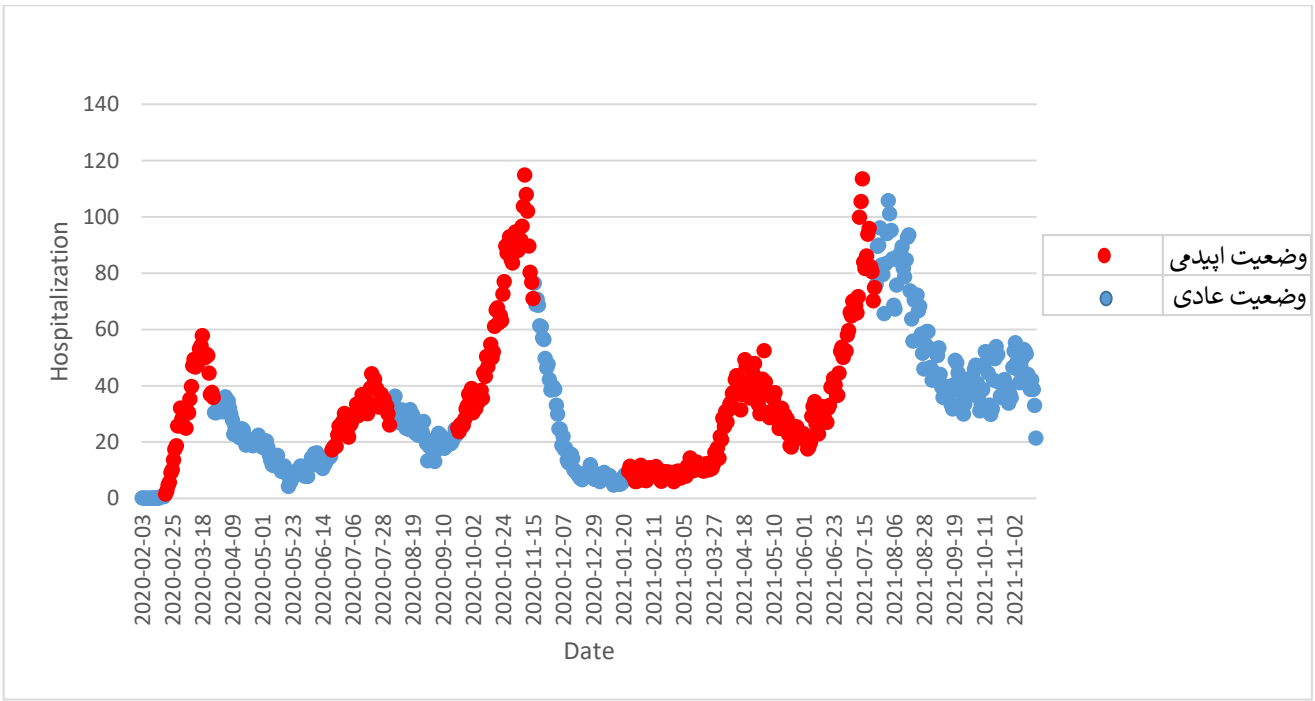


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی پواسن شهر کرمانشاه

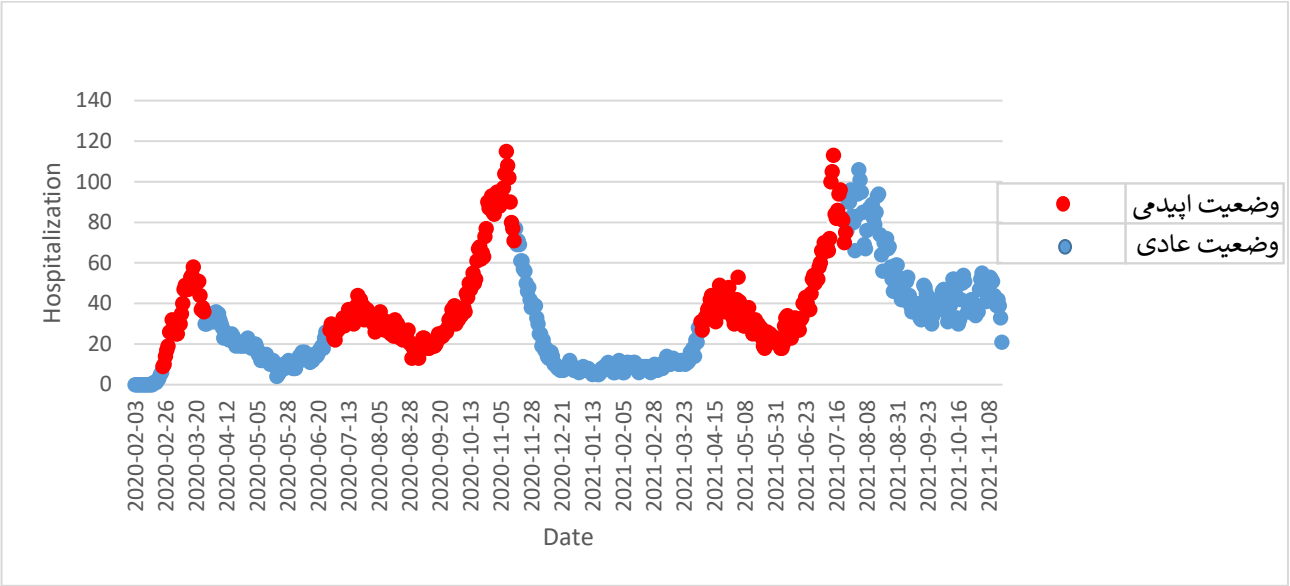


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی ناپارامتری(میانه) شهر کرمانشاه

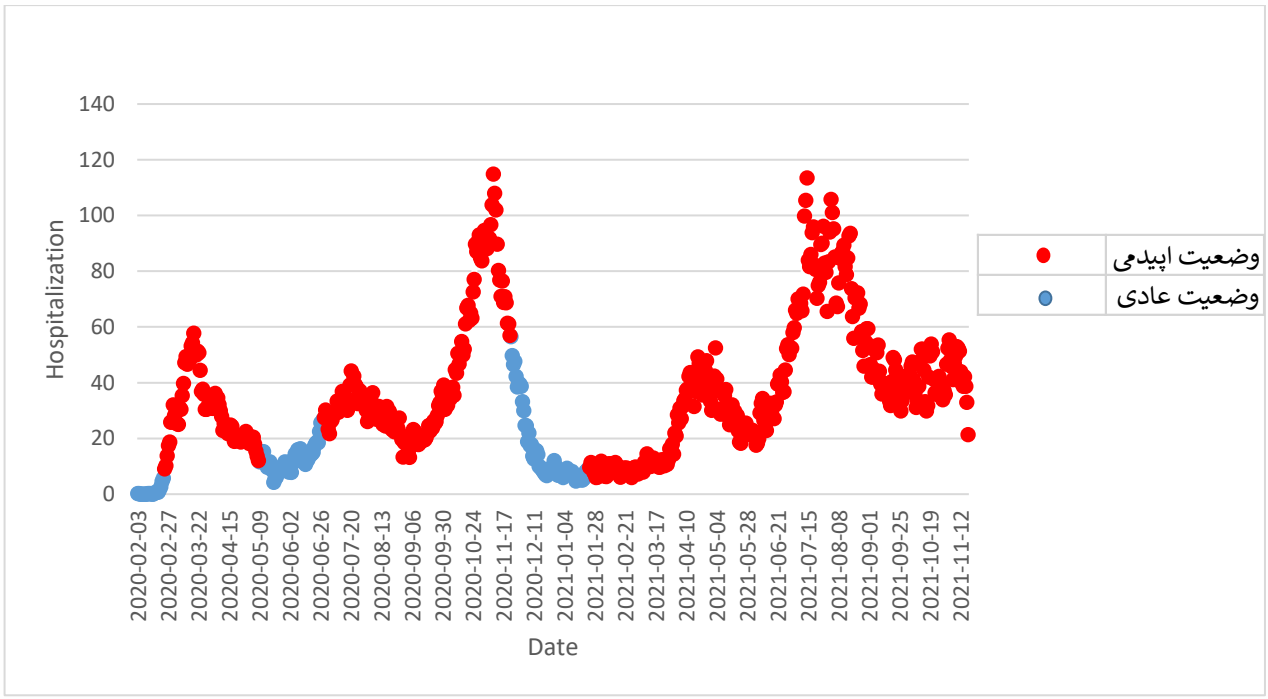
تشخیص اپیدمی روند بستری شهر یزد با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهر یزد

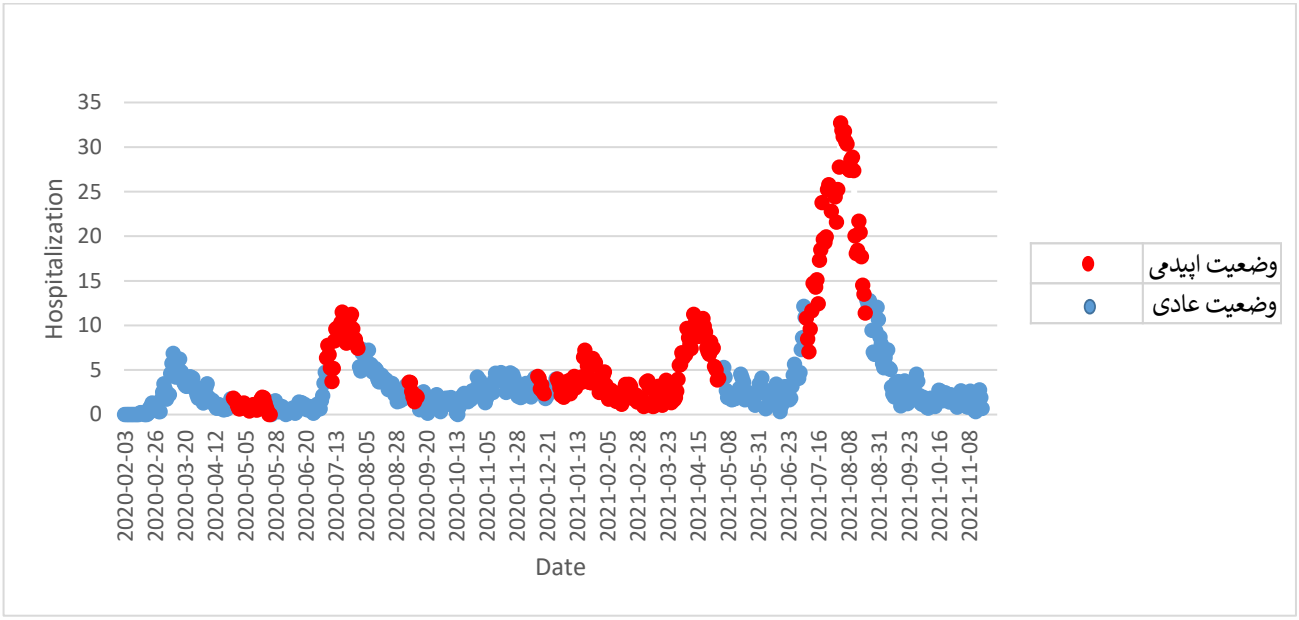


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی پواسن شهر یزد

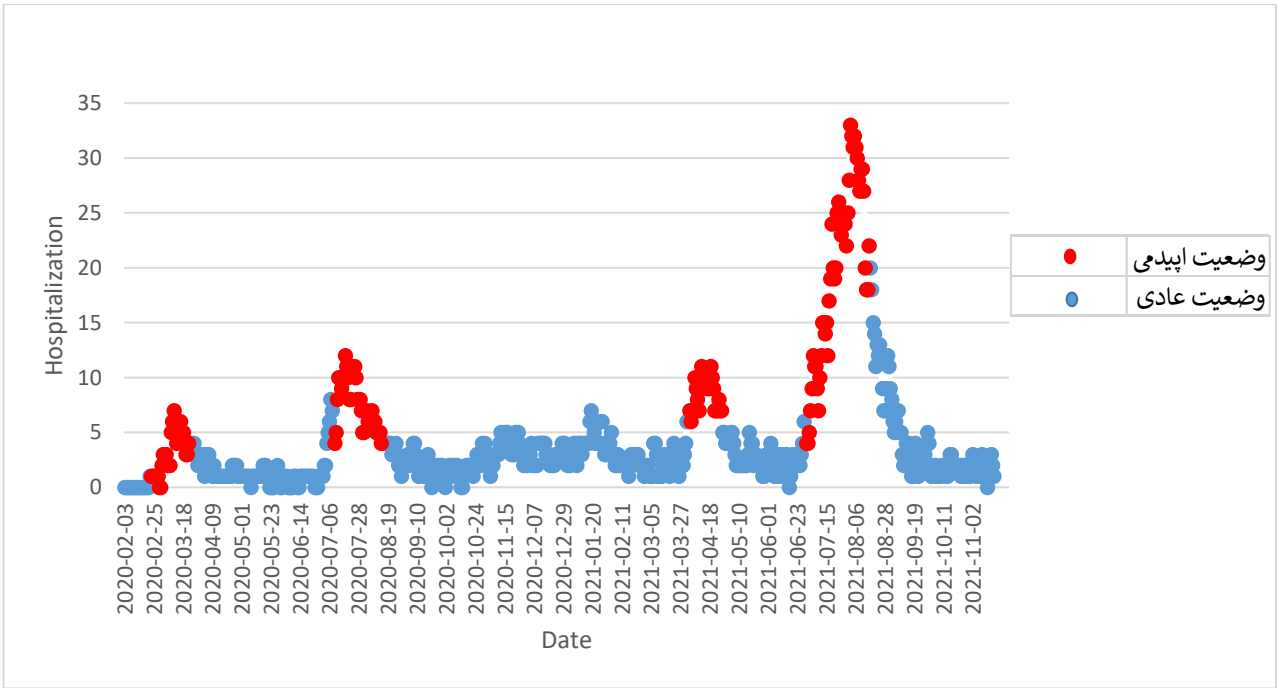


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی ناپارامتری(میانه) شهر یزد

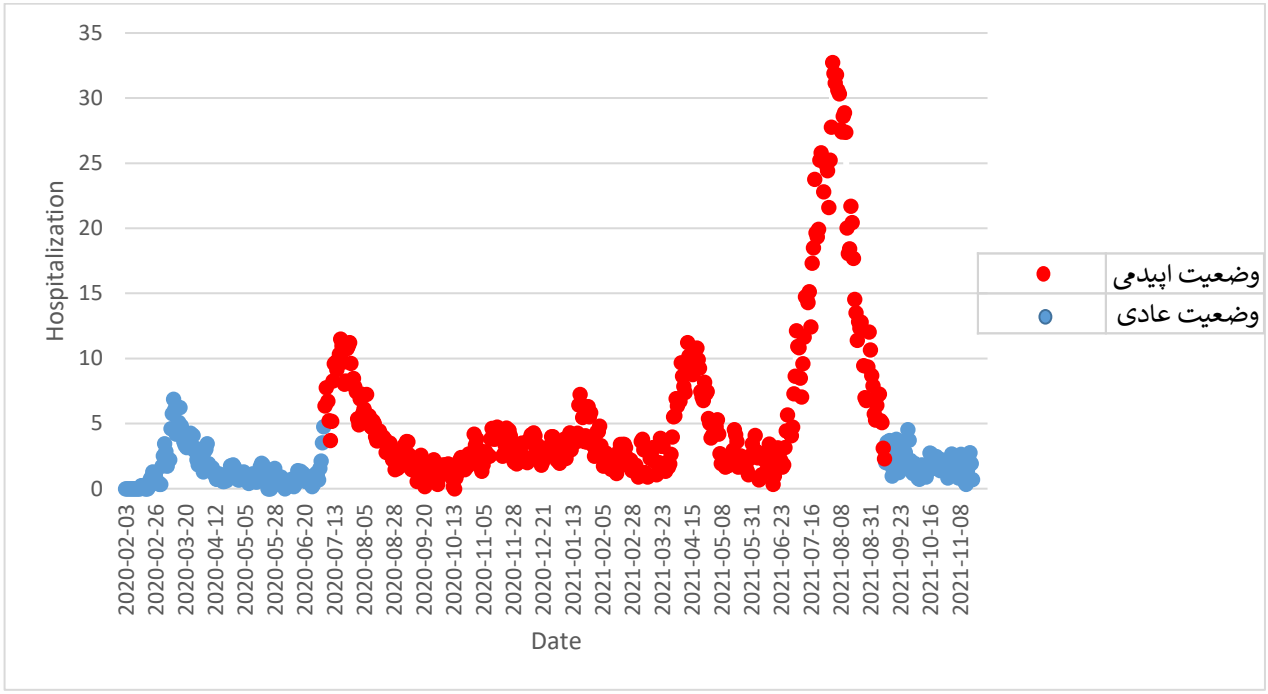
تشخیص اپیدمی روند بستری شهر محمودآباد با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهر محمود آباد

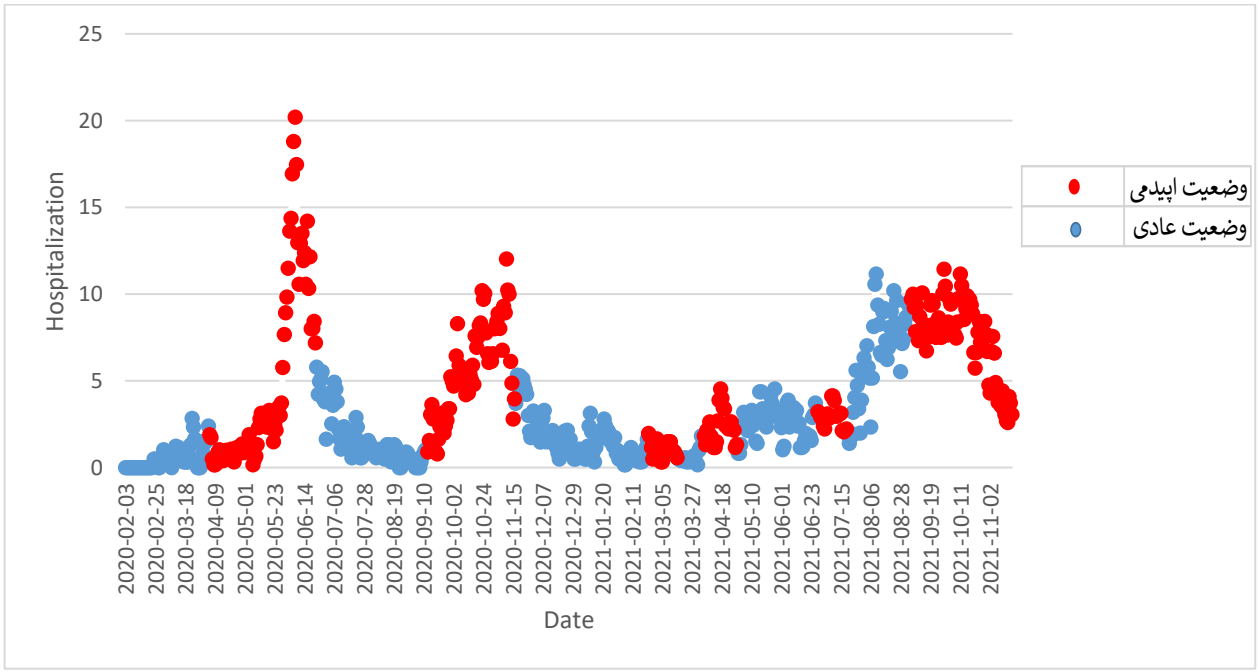


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی پواسن شهر محمود آباد

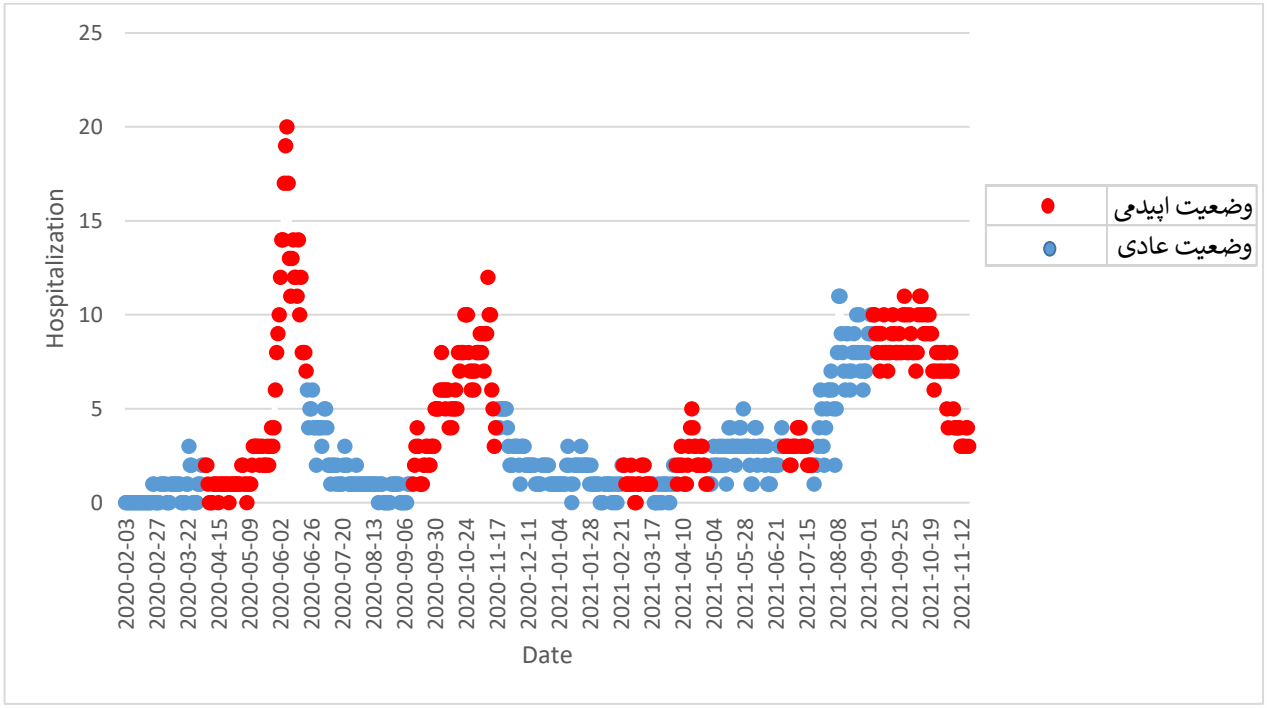


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی ناپارامتری(میانه) شهر محمود آباد

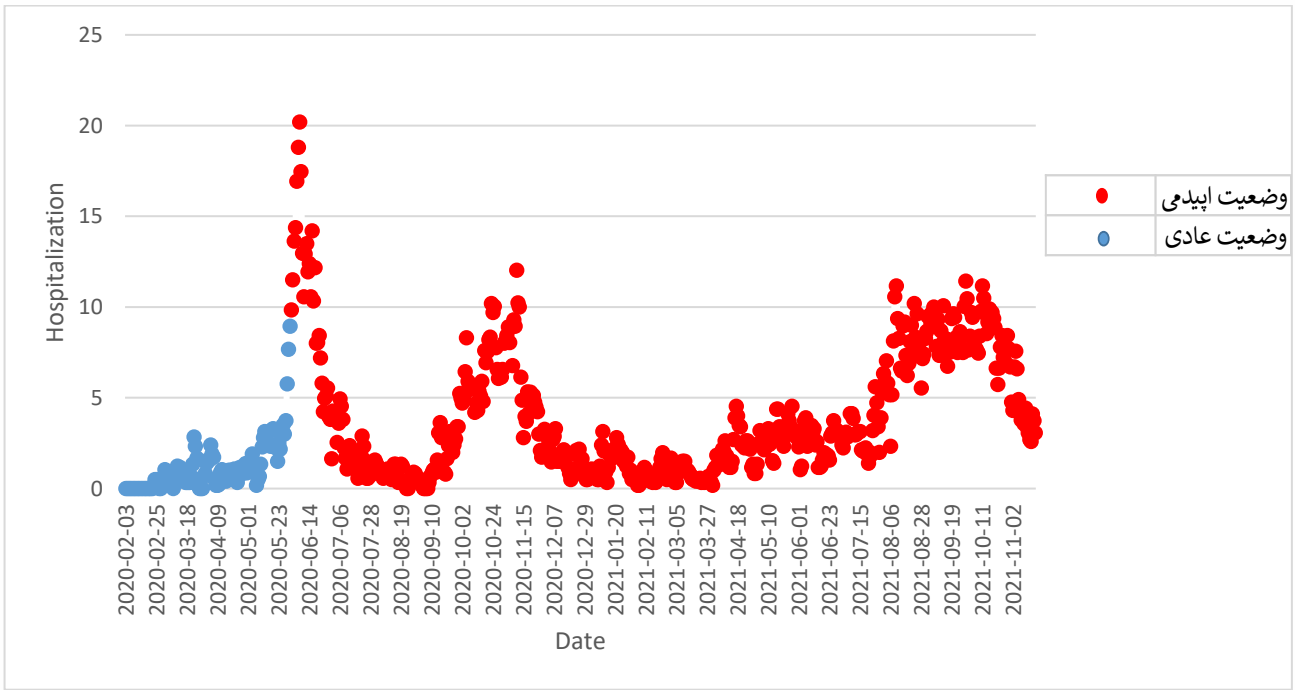
تشخیص اپیدمی روند بستری شهر جوانرود با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهر جوانرود

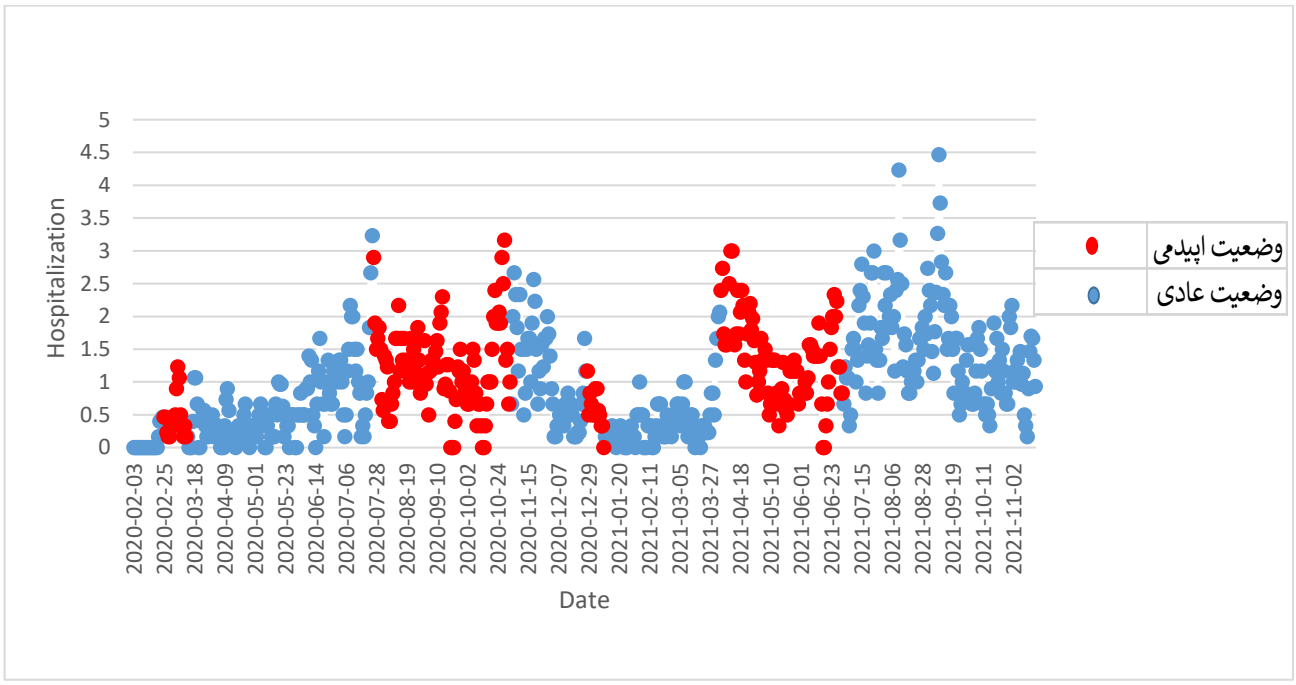


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی پواسن شهر جوانرود

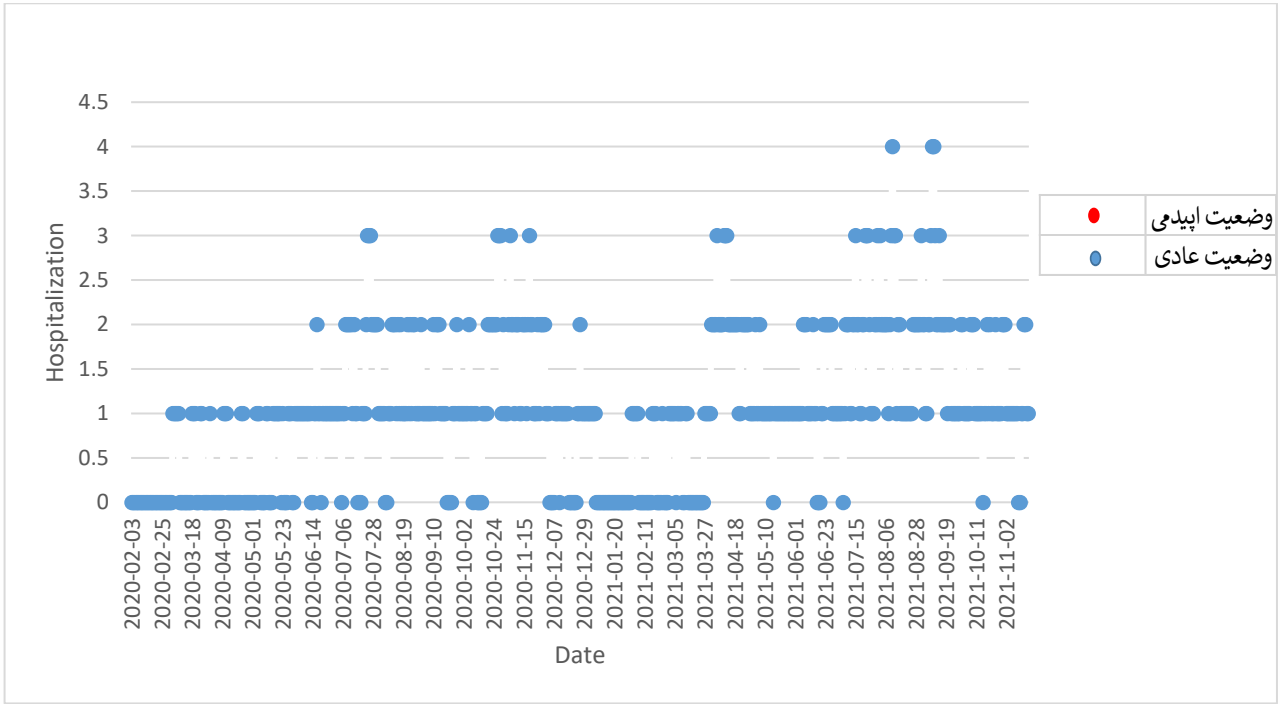


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی ناپارامتری(میانه) شهر جوانرود

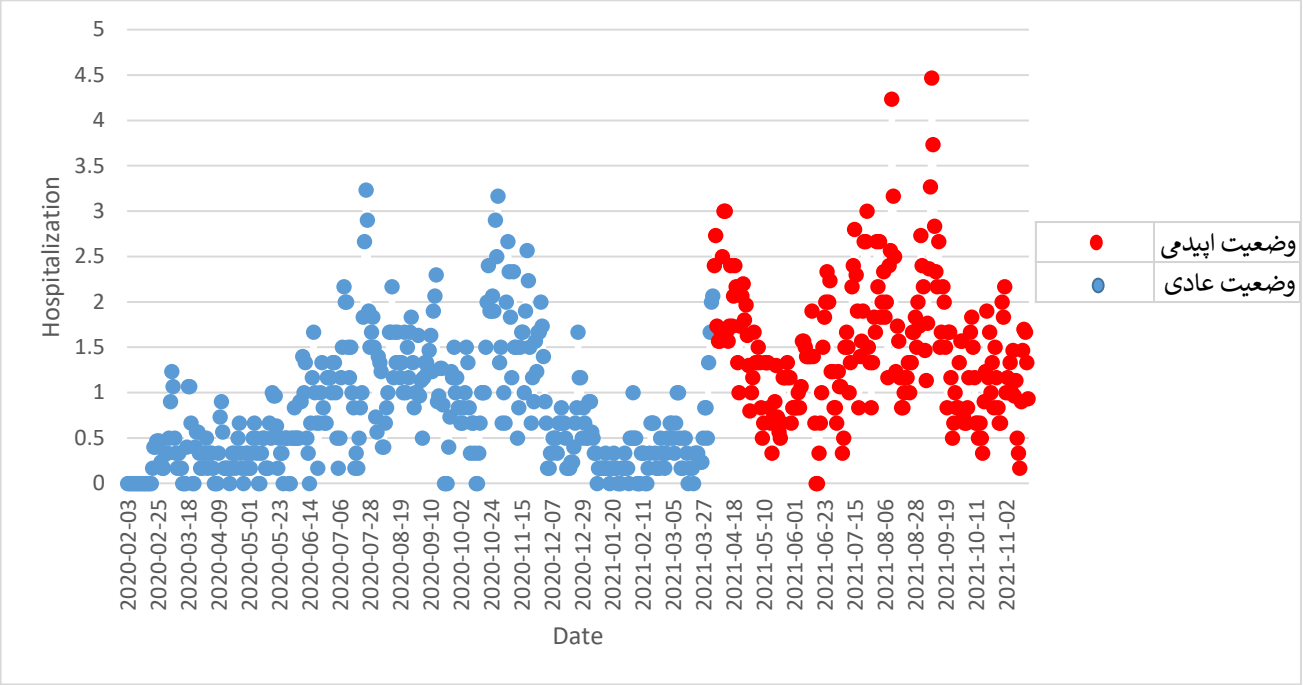
تشخیص اپیدمی روند بستری شهر سربیشه با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهر سربیشه

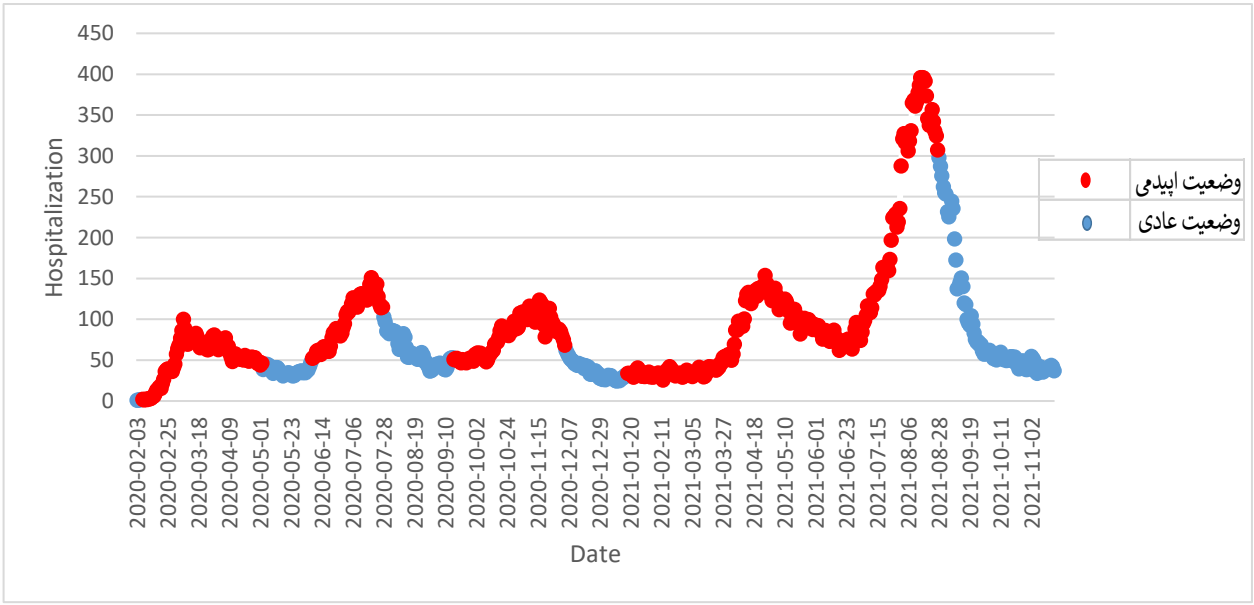


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی پواسن شهر سربیشه



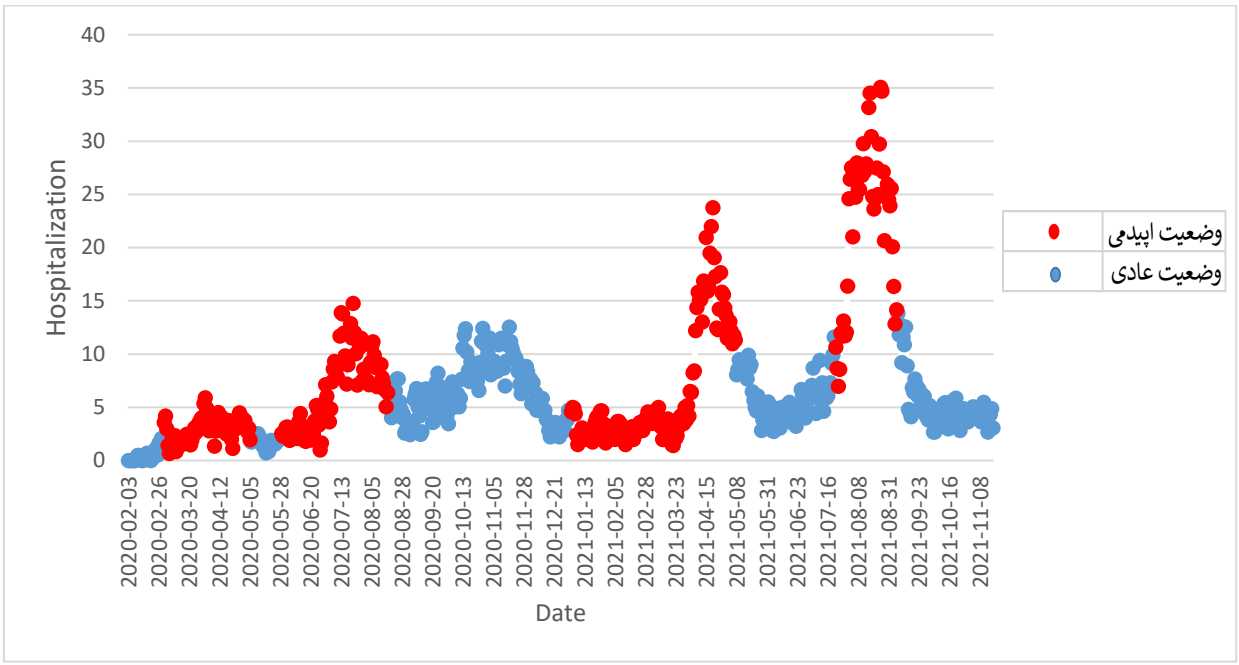
نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی ناپارامتری(میانه) شهر سربیشه

تشخیص اپیدمی روند بستری شهر مشهد با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



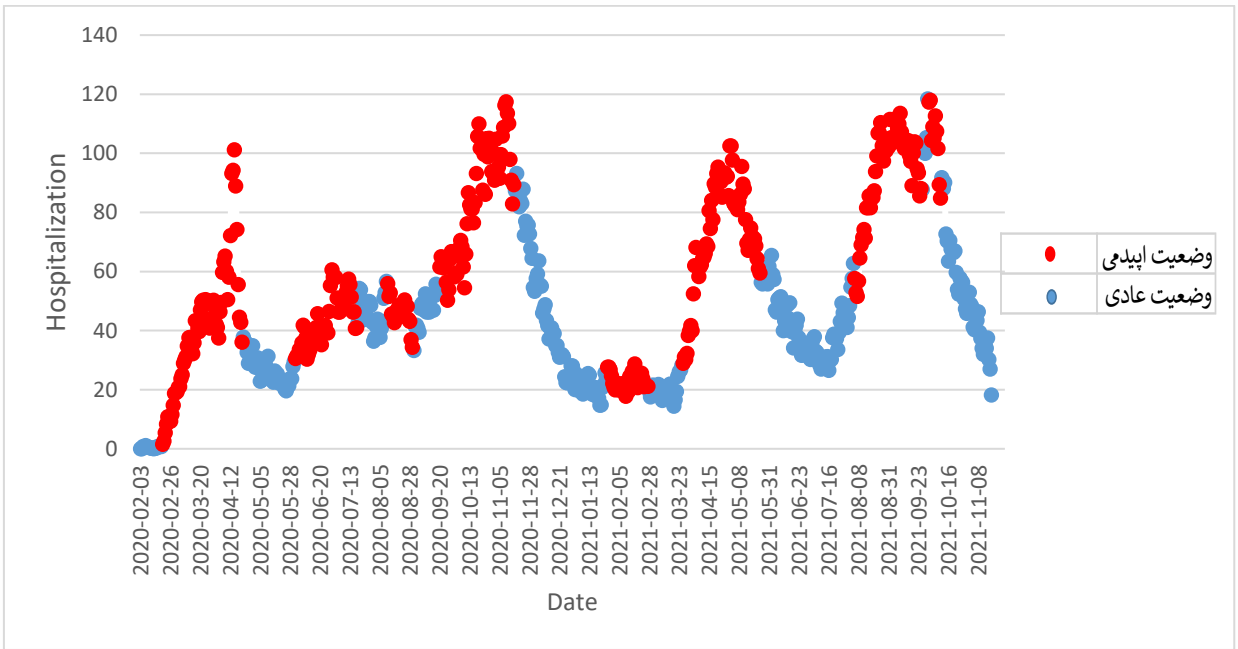
نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهر مشهد

تشخیص اپیدمی روند بستری شهر قوچان با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



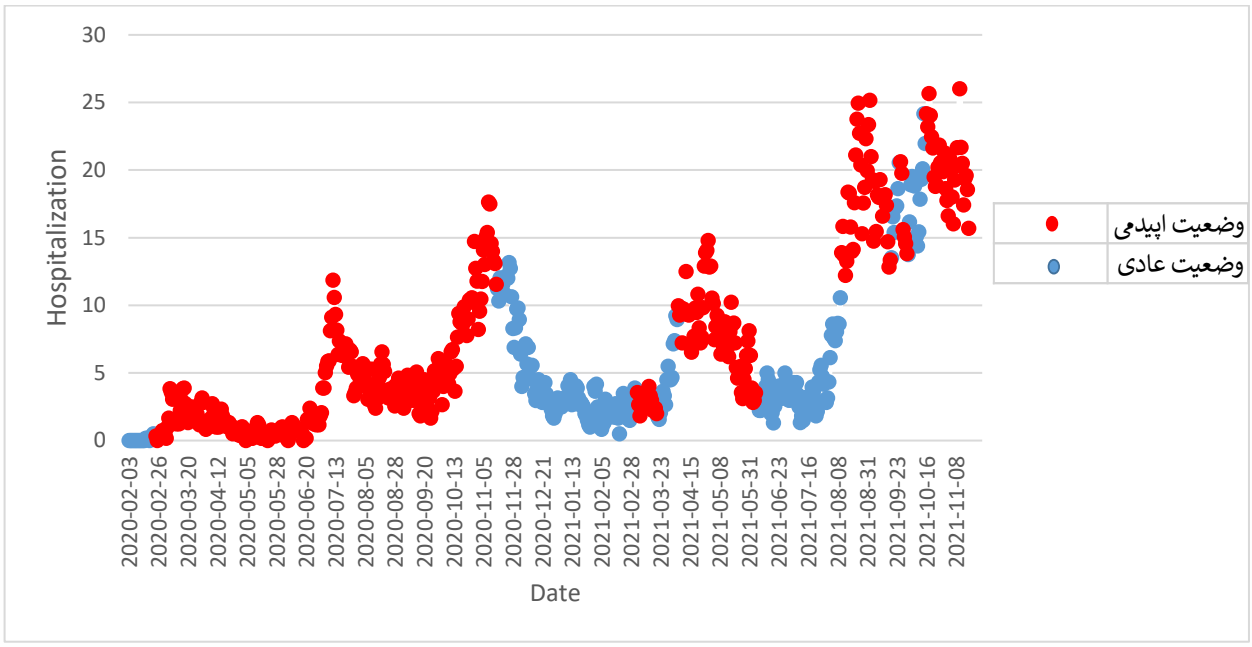
نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهرقوچان

تشخیص اپیدمی روند بستری شهر تبریز با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:

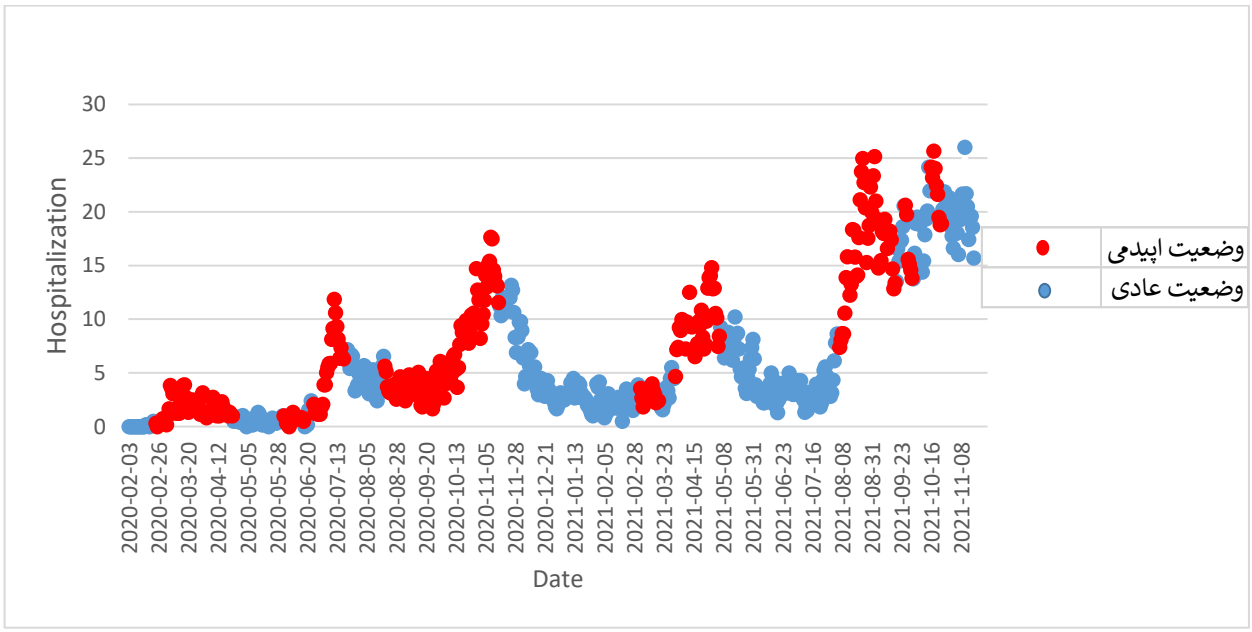


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهرتبریز

تشخیص اپیدمی روند بستری شهر مرند با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:

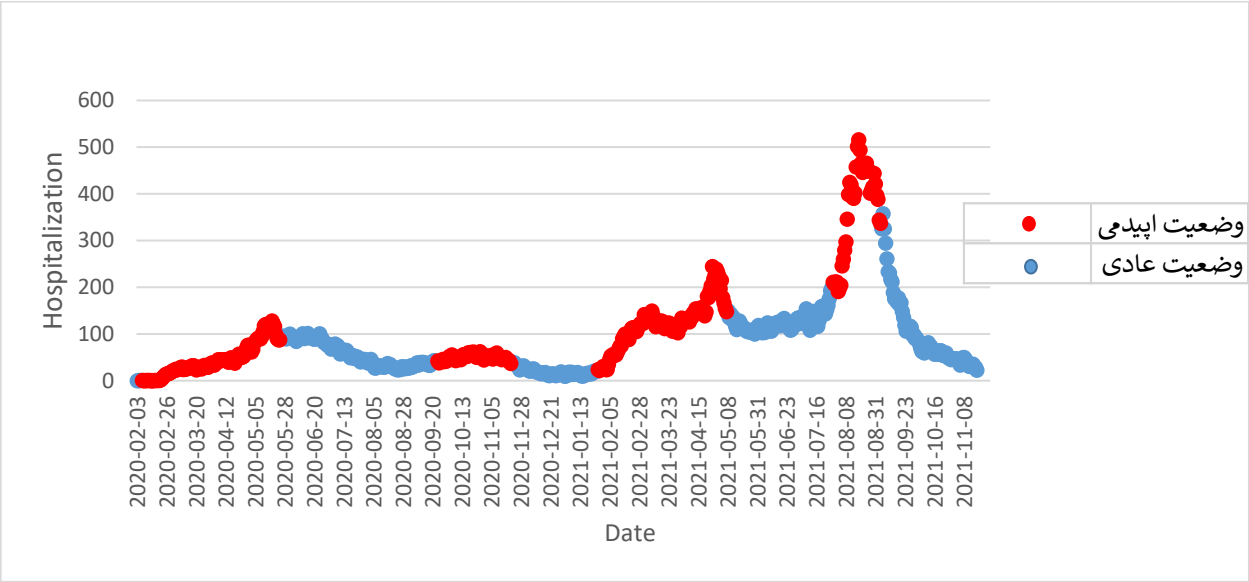


نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی نرمال شهر مرند



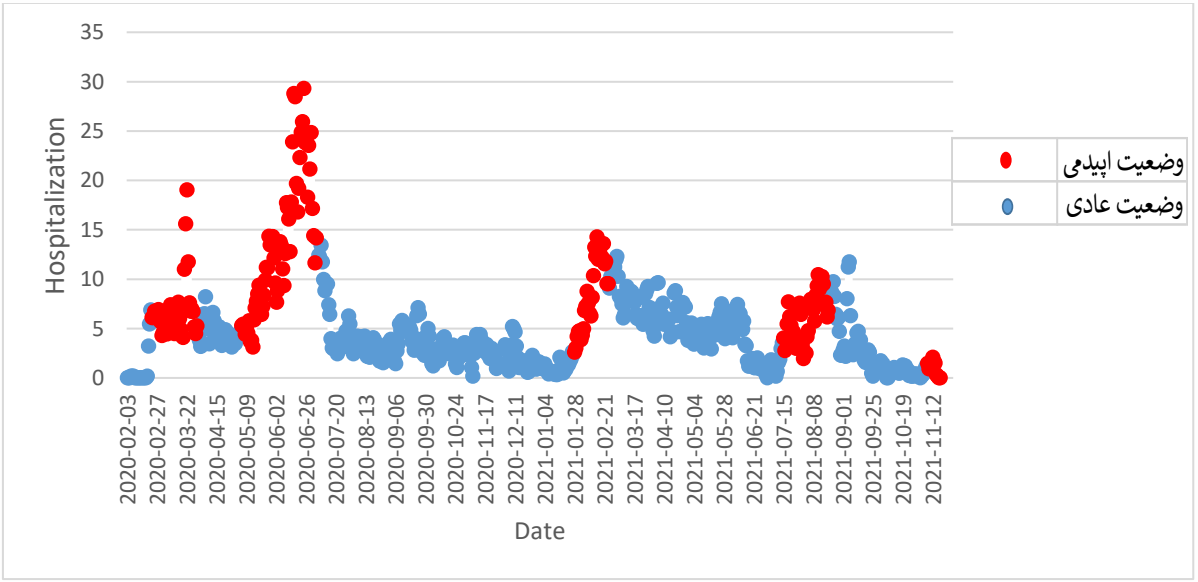
نمودار مدل فاصله اطمینان ۸۰ درصدی نرمال شهر مرند

تشخیص اپیدمی روند بستری شهر اهواز با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



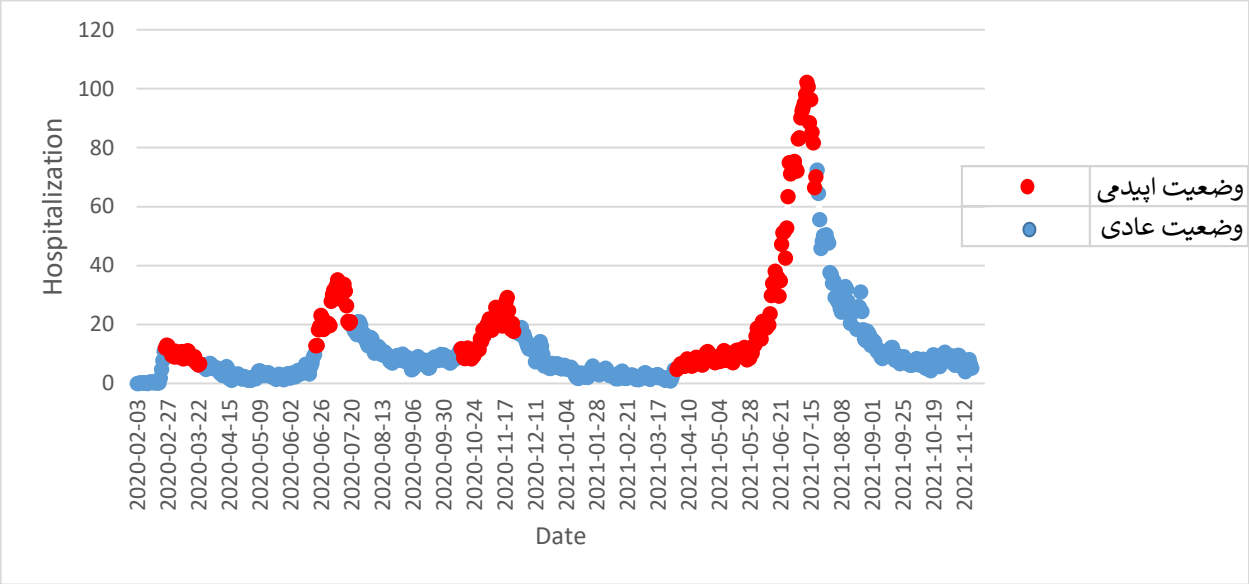
نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی نرمال شهر اهواز

تشخیص اپیدمی روند بستری شهر شادگان با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



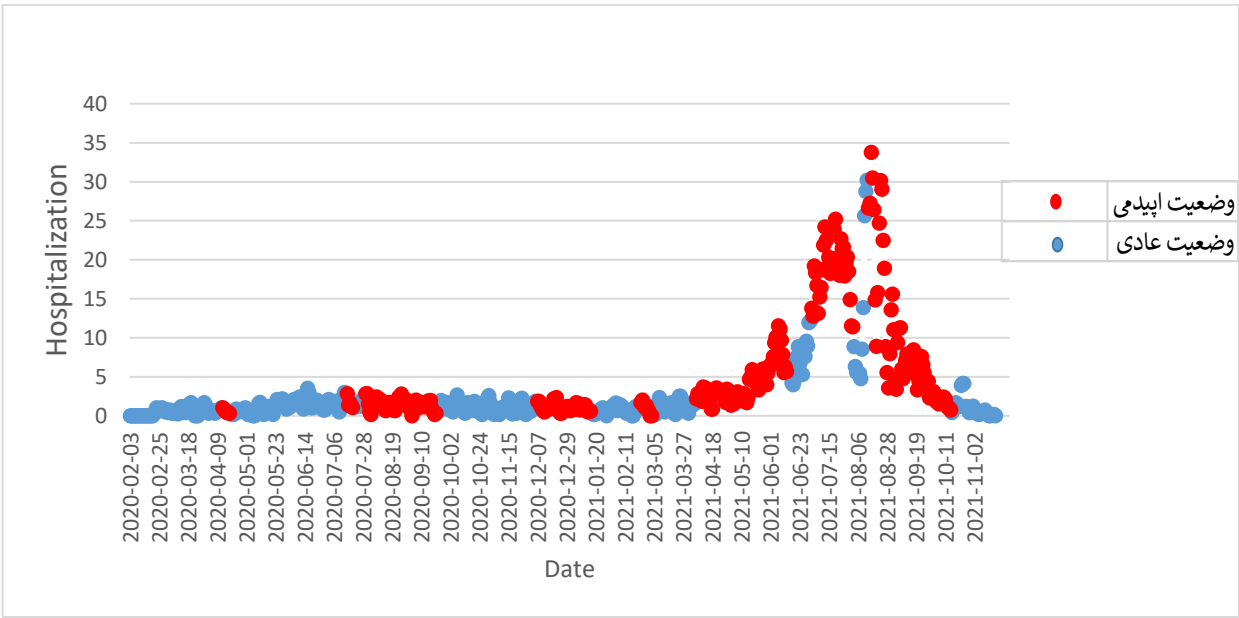
نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵درصدی نرمال شهر شادگان

تشخیص اپیدمی روند بستری شهر زاهدان با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



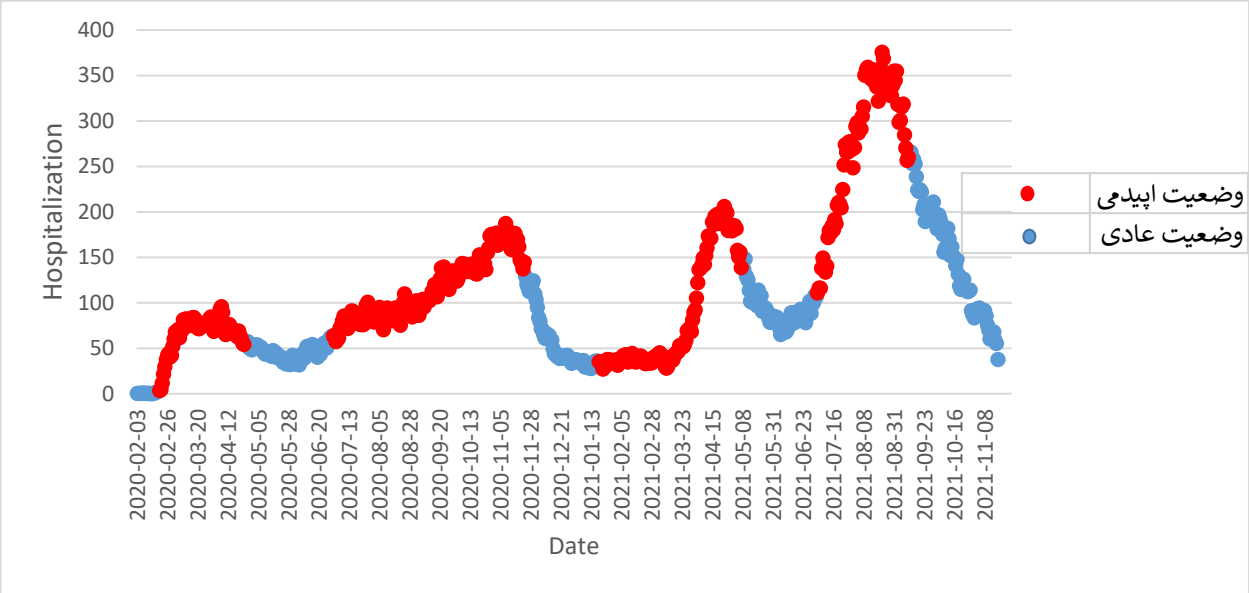
نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهر زاهدان

تشخیص اپیدمی روند بستری شهر چابهار با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



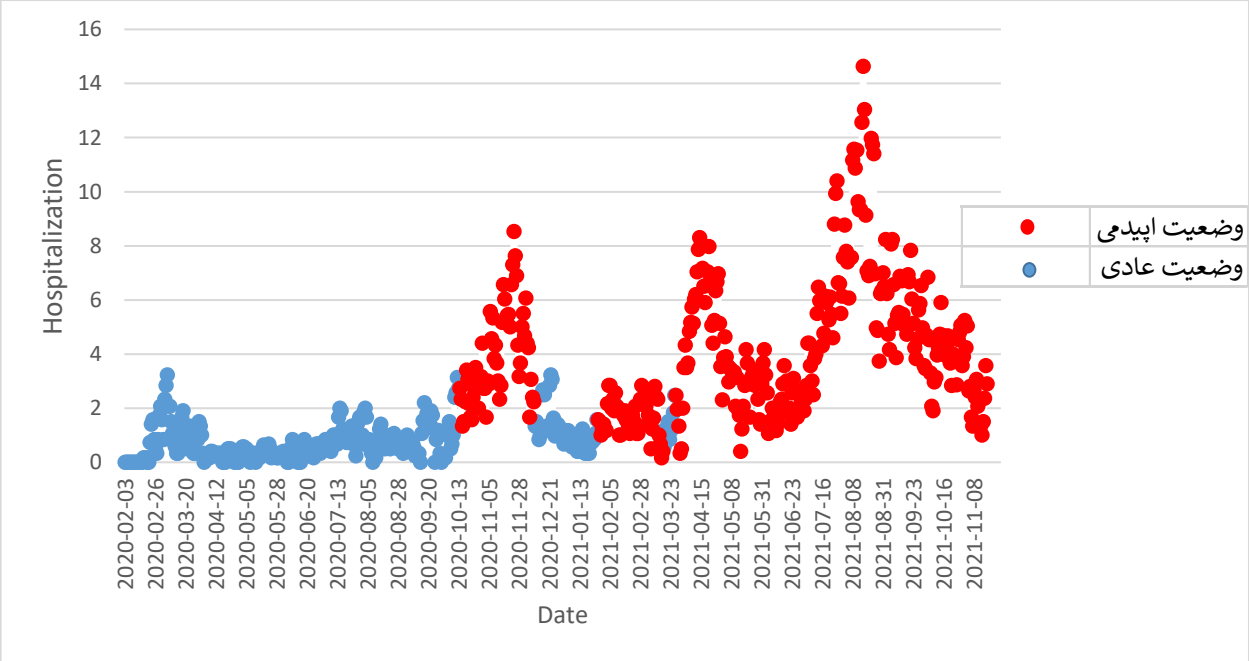
نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهر چابهار

تشخیص اپیدمی روند بستری شهر اصفهان با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهر اصفهان

تشخیص اپیدمی روند بستری شهر نطنز با استفاده از مدل فاصله اطمینان به این صورت است:



نمودار مدل فاصله اطمینان ۹۵ درصدی نرمال شهر نطنز