فصلنامه جمعیت/ سال بیست و ششم، پاییز و زمستان ۱۳۹۸/ شماره ۱۰۹و ۱۱۰/۵۳-۴۱

ترویجی

کاربرد مدل‌سازی ریاضی در پیش‌نگری رویداد ولادت

علیرضا ساجدی[۱] و محمدباقر عباسی[۲]

چکیده:

با توجه به نیاز روزافزون به برنامه‌های آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی‌های میان‌مدت، شناخت وضعیت جمعیتی در سالیان آینده و نیز برآورد تعداد و ساختار آن به یکی از سؤالات جدی برنامه‌ریزان از جمعیت‌شناسان تبدیل شده است. دست‌یابی به چشم‌اندازی از جمعیت و نیز برآوردهای مقرون به واقع، نیازمند درک تحرکات جمعیتی است. وضعیت آینده ولادت با توجه به آن که امکان برنامه‌ریزی برای افزایش و کاهش را به برنامه‌ریزان می‌دهد توجه برانگیز است. شاید اگر می‌دانستیم که وقوع رویداد ولادت در یک جمعیت از چه مدلی تبعیت می‌کند، امکان مداخلات مؤثرتری با هدف تحقق سیاست‌های جمعیتی فراهم بود. به همین منظور مقاله حاضر سعی در برازش مدلی بر داده‌های ولادت پایگاه اطلاعات جمعیت کشور با استفاده از رگرسیون سری‌زمانی دارد. از داده‌های ماهانه ولادت از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۸را برای پیش‌بینی ثبت ولادت در سال ۱۳۹۹ استفاده شده است. با توجه به این‌که رویدادهای حیاتی رفتارهای تناوبی یکسانی برحسب زمان دارند، استفاده از توابع فوریه برای برازش مدل بر داده‌ها بهینه‌تر خواهد بود. به کمک ضریب تعیین و معیارهای RMSE مدل فوریه(۸) را می‌توان به عنوان یک پیش‌بینی معتبر و مناسب برای تعداد ولادت‌ها در نظر گرفت. بر همین اساس برای سال ۱۳۹۹تعداد ولادت‌های پیش‌بینی شده رقمی درحدود ۱۰۷۲۰۰۰ رویداد خواهد بود.

واژگان‌کلیدی: ولادت، پیش‌بینی، رگرسیون سری زمانی، فوریه

۱-دکتری آمار و رئیس گروه تحلیل آمارهای جمعیتی، دفتر آمار و اطلاعات جمعیتی و مهاجرت سازمان ثبت احوال کشور (نویسنده مسئول).
alireza.sajedi@srbiau.ac.ir

۲- کارشناس‌ارشد جمعیت‌شناسی و مدیرکل دفتر آمار و اطلاعات جمعیتی و مهاجرت سازمان ثبت احوال کشور،
mohammad.b.abbasi@gmail.com, (ORCID: 0000 - 0003 - 4203 - 0403)

مقدمه:

ولادت، اولین رویداد حیاتی هر فرد است. اما این رویداد علاوه بر وجهه فردی، کارکردی اجتماعی و جمعیتی نیز دارد. ولادت نتیجه رفتاری است که از آن با عنوان باروری یا زادآوری یاد می‌شود. این رفتار در ایران عموماً در چارچوب خانواده و در نتیجه زیست مستمر زن و شوهر اتفاق میافتد. از این‌رو، می‌توان آن را به عنوان رفتاری مشترک بین افراد مختلف جمعیت (در اینجا: ایرانیان ساکن محدوده جغرافیایی ایران) توصیف نمود که نتیجه آن ولادت فرزندانی است که در اینجا با صفت ایرانی توصیف می‌شوند. ثبت ولادت این نوزادان، بانک داده‌ای را ایجاد می‌کند که می‌توان با عنوان بانک داده‌های متولدان ایرانی از آن یاد کرد و یا در ادبیات رسمی با افزودن داده‌های سایر رویدادهای حیاتی و اطلاعات هویتی: پایگاه اطلاعات جمعیت کشور.

آیا فارغ از تعیین‌کننده‌های این رفتار اجتماعی- جمعیتی، می‌توان مدلی برای این داده‌ها (داده‌های ولادت ثبت شده درکشور) معرفی نمود تا با استفاده از آن توصیف قیاس‌پذیری از داده‌ها و به تبع آن رفتار منجر به تولید داده‌ها (زادآوری) دردسترس باشد؟

مدل‌سازی ریاضی هنر ترجمه مسائل یک حوزه کاربردی به زبان ریاضی با هدف تحلیل سیستماتیک و پیش‌بینی رفتار پدیده‌هاست. شاید مدل‌سازی‌های متداول در علوم طبیعی مانند فیزیک، زیست شناسی، زمین‌شناسی، هواشناسی و علوم رایانه نزدیک به ذهن باشد، اما این فرآیند در علوم انسانی مانند اقتصاد، جامعه‌شناسی و جمعیت‌شناسی نیز کاربردهای گسترده‌ای دارد. به ویژه وقتی آهنگ تغییرات پدیده‌ها با انتظارات عمومی یا آمال و آرمان‌های ملی هم‌خوان نیست، مدل‌سازی پدیده معنی‌دارتر می‌شود. گذار جمعیتی در ایران باعث شده تا کشور که تا اواخر دهه شصت شمسی شاهد تعداد بالای ولادت و خانواده‌های پرجمعیت بوده در سالیان اخیر تعداد کمتری از ولادت (نسبت به جمعیت) و خانواده‌هایی با بعد کوچک‌تر را تجربه کند. بنابراین با توجه به آن که کار جمعیت‌شناسی معطوف به مدل‌سازی رفتار باروری و پیش‌بینی این تغییر در کوتاه مدت و بلند مدت است. [فلاح محسن خانی، زهره و دیگران، ۱۳۸۴] مدل‌سازی وضعیت ثبت ولادت معنی‌دارتر از هر زمان دیگری است. البته در تجارب گذشته جمعیت‌شناسان ایرانی از جمله با استفاده از مدل رگرسیون همبستگی- نسبتی برآوردی از جمعیت بر حسب تقسیمات کشوری برای

سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ به دست آورده‌اند. [نوالهی، طه و دیگران، ۱۳۷۸] نیز با استفاده از توابع ریاضی (لجستیک، نمایی و چند جمله‌ای درجه دو وسه اقدام به برآورد جمعیت برای سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ نموده‌اند. [فرید روحانی، محمدرضا و دیگران، ۱۳۸۷] یا با در نظر گرفتن نرخ‌های رشد بعنوان متغیر تصادفی، بازه‌های اطمینان تصادفی برای برآورد جمعیت از ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ ارائه نموده‌اند. [علیجانی، بهلول و دیگران، ۱۳۹۵]

اما مدل‌های ریاضی قابل کاربرد در مورد جمعیت و باروری به این‌ها محدود نمی‌شود. مثلاً تحلیل طیفی (مدل فوریه) یکی زا مدل‌هایی است که در این مقاله به کار گرفته شده و البته در بررسی‌های گذشته از جمله به شناسایی چرخه‌های معنی‌داری برای بارش‌ها در ایران منجر شده است [حجاز، حسن و آصی، علی۲۰۱۲] یا مدل رگرسیون سری‌زمانی که برای پیش‌بینی پرتوهای خورشیدی استفاده شده است.

مدل‌های ریاضی اما توصیف‌گر تمام عیار پدیده‌ها نیستند. به ویژه وقتی پدیده متأثر از تعیین‌کننده‌های متنوعی باشد. از این‌رو، نمی‌توان برپایه یک مدل ریاضی از ثبت ولادت، رفتار زادآوری ایرانیان را به تمامی توصیف و پیش‌بینی کرد. از این‌رو، گزاره‌های طرح شده در این مقاله وقتی به تمامی توصیف‌گر وضعیت ثبت ولادت در ایران و چشم‌انداز آینده آن خواهد بود که در کنار مطالعات کیفی و کمی جمعیت‌شناختی و جامعه شناختی دیگر در این حوزه قرار گیرد.

اما حداقل ادعای این مقاله، ارائه مدلی بهینه برای پیش‌بینی‌های کوتاه مدت ولادت ایرانیان به طور خاص است. تا در آستانه تدوین برنامه هفتم توسعه سیاسی، اقتصادی و فرهنگی بتواند دست‌مایه برنامه‌ریزی سیاستگذاران برای سالیان پیش‌رو باشد.

بخش دوم مقاله به اختصار به مبانی کاربرد سری‌زمانی و مدل‌های رگرسیون مورد نیاز اختصاص یافته است. در فصل سوم داده‌های رویداد ولادت بر مدل‌های پیشنهادی برازش داده شده و با استفاده از معیار **RMSE** مدل بهینه معرفی شده است. فصل انتهایی به نتیجه‌گیری اختصاص داده شده است. قرار بر آن است که یک مدل، چارچوبی ریاضی برای درک بهتر پدیده فراهم آورد. اما درک بهتر لزوماً به معنای درک کامل‌تر نیست. مدل پیشنهادی ممکن است صورت بسیار ساده شده از امری پیچیده (در این مورد رفتار زادآوری) باشد. اما به شکلی گویا مکانیسم رفتار آن پدیده را در زمان نمایان کند.

داشته‌ها

یک سری‌زمانی مجموعه‌ای از مشاهدات است که برحسب زمان مرتب شده‌اند: داده‌هایی که از مشاهده یک پدیده در طول زمان به‌دست آمده و مرتب شده‌اند. ویژگی مهم سری‌زمانی این است که مشاهدات متوالی، مستقل نیستند. برای بررسی این وابستگی مقادیر از تابع خودهمبستگی (acf) و خودهمبستگی جزئی(pacf) استفاده می‌کنیم. اگر همبستگی نگار در مقادیر ضریب همبستگی نسبتاً آهسته افول کند ناایستایی را نشان می‌دهد. آزمون باکس-پیرس(Box-Pierce) معنا داری خود همبستگی‌را نشان می‌دهد که در استفاده از تکنیک‌های سری‌زمانی و مدل رگرسیون سری‌زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$H_0 = \rho_1 = \rho_2 = ... = \rho_m = 0,$$

آماره آزمون این فرضیه به صورت زیر می‌باشد

$$Q = T \sum_{k=1}^{m} \hat{\rho}_k^2. \qquad (۱)$$

یک سری دارای روند در واقع یک سری ناایستاست. برای پیش‌بینی، اغلب برازش یک منحنی روند به مشاهدات و برون‌یابی آن مفید است. با استفاده از رگرسیون کمترین مربعات یک خط روند را می‌توان به مشاهدات برازش داد.

یک مدل رگرسیون خطی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$y_i = f(x_i;\beta) + \varepsilon_i \quad i = 1,2,...,n \qquad (۲)$$

که در آن $f(x_i;\beta)$ یک تابع خطی از بردار پارامتر β است. گاهی اوقات فرض می‌کنیم که جمله خطا ε_i دارای توزیع نرمال $N(0,\sigma^2)$ است. شکل مدل چند جمله‌ای و مدل فوریه به ترتیب به صورت زیر می‌باشد:

$$f(x_i;\beta) = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 x_i^2 + ... + \beta_n x_i^k + \varepsilon_i, \qquad (۴)$$

$$f(x_i;\beta) = \beta_0 + \beta_1 \cos(wx_i) + \beta_2 \sin(\mathrm{w}\, x_i) + \varepsilon_i.$$

برآوردگر پارامترهای(۳) را می‌توان با استفاده از روش کمترین مربعات به دست آورد و مقداری از $\hat{\beta}$ را جستجو می‌کنیم که به ترتیب عبارات زیر را در دو مدل (۳) و (۴)می‌نیمم کند:

$$Q(\hat{\beta}) = \sum_{i=1}^{n} \left[y_i - f(x_i; \hat{\beta}) \right]^2 ,$$

$$Q(\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2) = \sum_{i=1}^{n-1} \left[y_i - \beta_0 - \beta_1 \cos(wx_i) - \beta_2 \sin(wx_i) \right]^2 .$$

در هر مدل ریاضی باید پیش از هر چیز کیفیت پیش‌بینی مدل مورد توجه قرار گیرد. مدل بهینه، مدلی است که دقت قابل‌قبولی به عنوان ابزار پیش‌بینی داشته باشد. این دقت با شیوه‌های آماری از جمله(Root Mean Square Erro RMSE) قابل آزمون است. مجموع مربعات خطا معیاری است که میزان شک و تردید یا خطا در پیشگویی y توسط در $\hat{y}$ قالب مدل رگرسیونی بیان می‌کند. که به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

(۵)

$$SSE = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^{n} \hat{\varepsilon}_i^2 .$$

هر میزان SSE به صفر نزدیکتر باشد یعنی x به میزان زیادی شک و تردید یا خطا در پیشگویی y پس از آنکه در قالب مدل رگرسیونی استفاده شود، بر طرف می‌کند. متناظر با رابطه (۵) می‌توان میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطا(RMSE) را تعریف کرد.

$$MSE = \frac{SSE}{n-2}, \quad RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{n-2}} .$$

برازش مدل‌ها برداده ولادت

در این مقاله زمان به عنوان متغیر مستقل (با توجه به آزمون جدول۲) در نظر گرفته شده است و فرض بر این است که روند ولادت در طول زمان براساس الگوی تعیین شده حرکت می‌کند. با توجه به نمودار (۱) داده‌ها یک چرخه سالانه مشخص را نشان می‌دهند، اگرچه شکل سینوسی ساده‌ای ندارند. با این وجود، انتظار می‌رود قسمت غالب چرخه سالانه در شکل $s_t = \mu + A\cos 2\pi ft + B\sin 2\pi ft$ ارائه شود. که در آن فرکانس ۱/۱۲ دوره در ماه است. که داده‌های $\{x_1, x_2, ..., x_{n-1}\}$ به صورت رابطه (۴) مدل‌بندی می‌شوند.

مدل‌های چند جمله‌ای در وضعیت‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرند که تحلیل‌گر به حضور اثرهای منحنی‌الخط در تابع پاسخ واقعی آگاه است. این مدل‌ها همچنین به‌عنوان تابع تقریب کننده به کار روابط پیچیده غیرخطی و یا روابط ناشناخته می‌آیند.

مدل فوریه (پرایس، ۱۹۸۵) اساساً با تقریب کردن یک تابع با مجموع جملات سینوسی و کسینوسی که سری‌های فوریه نامیده می‌شود، سروکار دارد. برای به‌کار بردن تجزیه و تحلیل فوریه در مورد سری زمانی گسسته لازم است نمایش سری فوریه $f(\mathrm{t})$ را فقط وقتی $f(\mathrm{t})$ بر اعداد صحیح $1,2,...,N$ تعریف شده، در نظر بگیریم. فرض کنید تابع $f(\mathrm{t})$ بر $[-\pi,\pi]$ تعریف شود در اینصورت $f(\mathrm{t})$ را می‌توانیم به وسیله سری فوریه

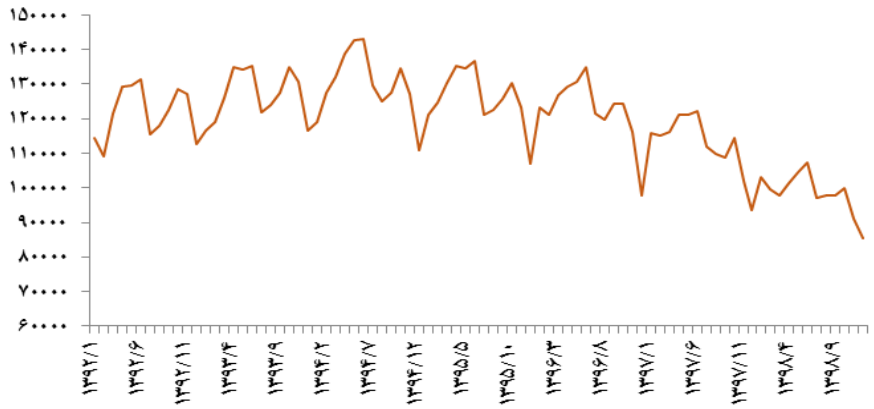
$$\frac{a_0}{2} + \sum_{r=1}^{k}(a_r \cos rt + b_b \sin rt)$$

تقریب نماییم.

داده‌های ولادت به دلیل شکل جمع‌آوری، گسسته‌اند. بنابراین می‌توان سعی در برازش مدل فوریه برای آن‌ها نمود. چنان که روند وقوع ولادت (نمودار۱) به روشنی ساختار سینوئیدی نزولی را نشان می‌دهد. معیارهای تشخیصی بر بهینه بودن مدل برازش شده نشان از آن دارد که مدل فوریه(۸) بهینه‌ترین برازش را بر این داده‌ها رقم زده است.

جدول ۱. وقوع ولادت بر حسب ماه، ۱۳۹۸-۱۳۹۲

سال / ماه	۱۳۹۲	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸
کل	۱۴۶۰۷۷۶	۱۵۲۱۹۵۸	۱۵۵۷۹۱۸	۱۵۱۳۰۹۸	۱۴۷۰۱۲۳	۱۳۵۲۶۹۶	۱۱۸۲۸۱۵
فروردین	۱۱۴۵۸۷	۱۱۶۴۵۹	۱۱۹۰۹۱	۱۲۱۰۲۷	۱۲۳۳۱۹	۱۱۵۸۷۸	۱۰۳۱۳۷
اردیبهشت	۱۰۹۲۷۵	۱۱۹۱۰۹	۱۲۷۴۶۴	۱۲۴۵۲۶	۱۲۱۰۵۷	۱۱۵۱۵۲	۹۹۵۴۹
خرداد	۱۲۱۶۶۵	۱۲۶۱۲۴	۱۳۲۰۴۳	۱۳۰۳۴۹	۱۲۶۷۵۷	۱۱۶۳۲۱	۹۷۹۷۱
تیر	۱۲۹۴۰۸	۱۳۵۰۳۲	۱۳۸۷۹۷	۱۳۵۳۵۵	۱۲۹۳۶۰	۱۲۱۲۸۳	۱۰۱۲۸۸
مرداد	۱۲۹۷۲۳	۱۳۴۳۱۸	۱۴۲۶۵۴	۱۳۴۶۷۲	۱۳۰۶۶۰	۱۲۱۰۴۳	۱۰۴۵۷۹
شهریور	۱۳۱۵۴۱	۱۳۵۳۷۶	۱۴۲۹۲۶	۱۳۶۷۶۷	۱۳۴۸۲۶	۱۲۲۳۰۷	۱۰۷۳۳۹
مهر	۱۱۵۴۸۷	۱۲۱۹۳۳	۱۲۹۴۷۷	۱۲۱۳۰۹	۱۲۱۶۳۱	۱۱۲۰۸۴	۹۶۹۹۸
آبان	۱۱۷۹۳۹	۱۲۴۰۴۹	۱۲۴۸۶۷	۱۲۲۶۸۶	۱۱۹۸۰۰	۱۰۹۷۳۴	۹۷۸۸۷
آذر	۱۲۲۵۴۷	۱۲۷۴۶۸	۱۲۷۶۳۶	۱۲۵۶۴۱	۱۲۴۲۳۱	۱۰۸۶۷۵	۹۷۷۵۰
دی	۱۲۸۷۳۵	۱۳۴۸۶۸	۱۳۴۶۱۴	۱۳۰۵۰۱	۱۲۴۲۶۱	۱۱۴۴۵۷	۹۹۸۸۰
بهمن	۱۲۷۰۳۴	۱۳۰۸۴۴	۱۲۷۳۴۱	۱۲۳۴۳۳	۱۱۶۲۸۱	۱۰۲۰۶۰	۹۰۹۶۲
اسفند	۱۱۲۸۳۵	۱۱۶۳۷۸	۱۱۱۰۰۸	۱۰۶۸۳۲	۹۷۹۴۰	۹۳۷۰۲	۸۵۴۷۵

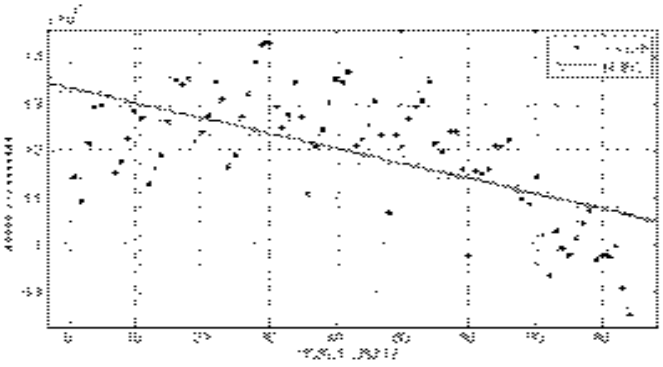


نمودار ۱: روند ماهانه وقوع رویداد ولادت ۱۳۹۸-۱۳۹۲

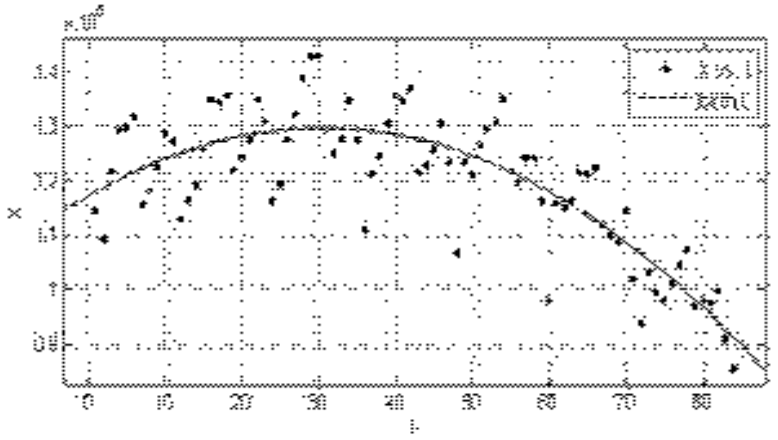
جدول ۲. نمودار همبستگی نگار داده‌های ولادت

Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
. |****** |	. |****** |	۱	۰,۷۷۲	۰,۷۷۲	۵۱,۸۹۶	۰,۰۰۰
. |**** |	. | . |	۲	۰,۵۸۲	۰,۰۳۵-	۸۱,۷۵۶	۰,۰۰۰
. |**** |	. |*. |	۳	۰,۵۰۷	۰,۱۷۰	۱۰۴,۶۵	۰,۰۰۰
. |**** |	. |*. |	۴	۰,۵۰۱	۰,۱۵۷	۱۲۷,۳۲	۰,۰۰۰
. |**** |	. |*. |	۵	۰,۵۰۴	۰,۱۰۵	۱۵۰,۵۲	۰,۰۰۰
. |*** |	.*| . |	۶	۰,۴۰۸	۰,۱۴۷-	۱۶۵,۹۷	۰,۰۰۰
. |*** |	. |** |	۷	۰,۴۴۰	۰,۳۱۹	۱۸۴,۱۲	۰,۰۰۰
. |*** |	**| . |	۸	۰,۳۸۹	۰,۲۳۹-	۱۹۸,۴۹	۰,۰۰۰
. |** |	. |*. |	۹	۰,۳۴۷	۰,۱۱۳	۲۱۰,۰۵	۰,۰۰۰
. |*** |	. |*. |	۱۰	۰,۳۷۴	۰,۱۳۹	۲۲۳,۶۸	۰,۰۰۰

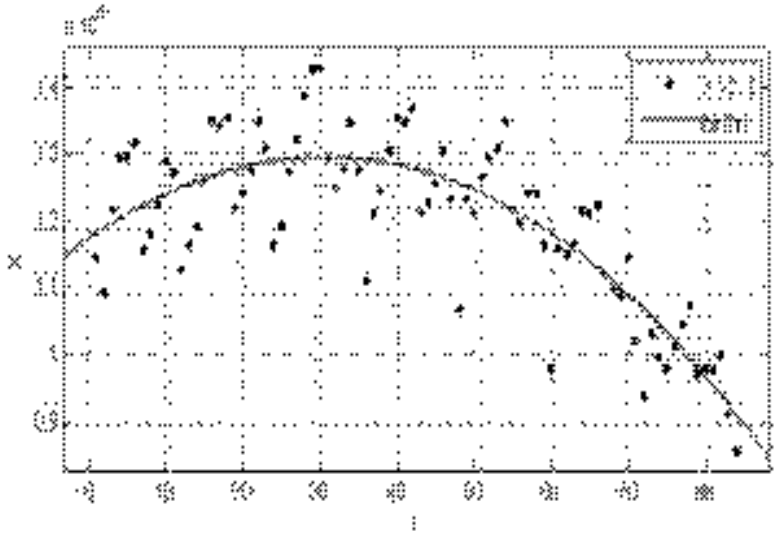
همانطورکه از جدول (۲) می‌توان مشاهده کرد نمودار خودهمبستگی به آهستگی تنزل پیدا کرده و آماره باکس-پیرس رابطه (۱) عدم پذیرش فرض H_0 را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر سری ناایستا است و می‌توان با استفاده از خط روند مدل رگرسیونی سری زمانی مناسب به داده‌ها برازش داد.



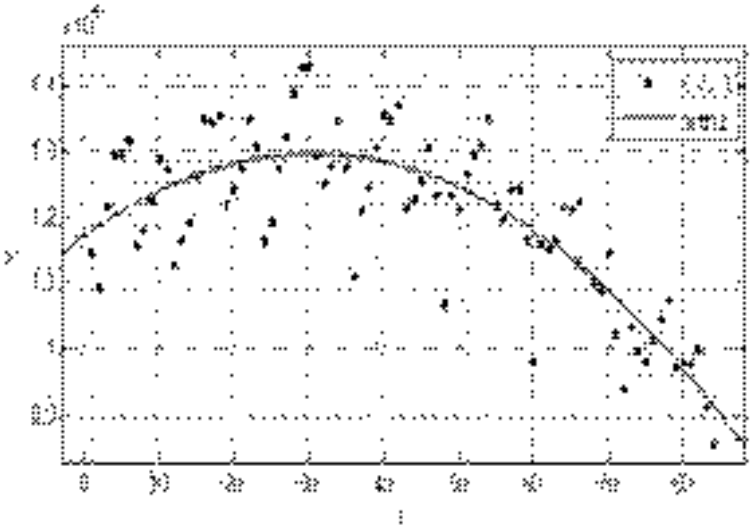
نمودار ۲: مدل خطی



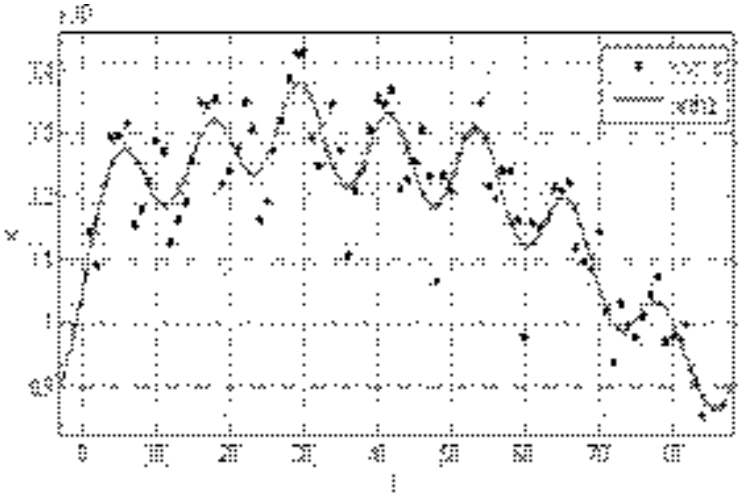
نمودار۳: مدل چند جمله‌ای درجه۲



نمودار۴: مدل چند جمله‌ای درجه۳



نمودار۵: مدل فوریه(۱)



نمودار ۶: مدل فوریه(۸)

جدول ۳: خلاصه نتایج برازش مدل رگرسیون

نام مدل	معادله	برآورد پارامتر
مدل خطی	$f(t) = \beta_0 + \beta_1 t$	$\hat{\beta}_0 = 133400,\ \hat{\beta}_1 = -321.1$
مدل چند جمله‌ای درجه 2	$f(t) = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2$	$\hat{\beta}_0 = 117100,\ \hat{\beta}_1 = 818.9, \hat{\beta}_2 = -13.41$
مدل چند جمله‌ای درجه3	$f(x) = \beta_0 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 t^3$	$\hat{\beta}_0 = 117300,\ \hat{\beta}_1 = 782.8, \hat{\beta}_2 = -12.36,$ $\hat{\beta}_3 = -0.008273$
مدل فوریه(1)	$f(t) = a_0 + a_1 \cos(tw) + b_1 \sin(tw)$	$\hat{a}_0 = -3.006e+11, \hat{a}_1 = 3.006e+11,$ $\hat{b}_1 = 8.669e+07$
مدل فوریه (8)	$f(t) = a_0 + a_1\cos(tw) + b_1\sin(tw) + a_2\cos(2tw) + b_2\sin(2tw) + a_3\cos(3tw) + b_3\sin(3tw) + a_4\cos(4tw) + b_4\sin(4tw) + a_5\cos(5tw) + b_5\sin(5tw) + a_6\cos(6tw) + b_6\sin(6tw) + a_7\cos(7tw) + b_7\sin(7tw) + a_8\cos(8tw) + b_8\sin(8tw)$	$\hat{a}_0 = 117600, \hat{a}_1 = -10510, \hat{b}_1 = 11610,$ $\hat{a}_2 = -2173, \hat{b}_2 = 5989,$ $\hat{a}_3 = -473.5, \hat{b}_3 = 3164,$ $\hat{a}_4 = -91.36, \hat{b}_4 = 3213,$ $\hat{a}_5 = -317/2, \hat{b}_5 = 2133,$ $\hat{a}_6 = -30/54, \hat{b}_6 = 2477,$ $\hat{a}_7 = 1708, \hat{b}_7 = 4968,$ $\hat{a}_8 = -1774, \hat{b}_8 = -2634, w = 0.06889.$

با توجه به میزان RMSE (جدول ۳) مقدار جذر میانگین مربعات خطا در زمان t نشان از مناسب بودن مدل فوریه (۸) در برازش بر داده‌های ولادت دارد (شکل ۶). اگر RMSE به طور کلی کوچک باشند، این مدل خوب است. همچنین میزان ضریب تعیین مدل فوریه (۸) در بین مدل‌های دیگر از عدد قابل قبولی برخوردار است.

جدول۴: خلاصه نتایج برازش مدل

N	مدل	R^2	$RMSE$	$\hat{l}_{1399}$
۱	خطی	۰,۳۷۱۵	۱۰۰۹۰	۱۲۵۲۰۸۵
۲	چندجمله‌ای درجه۲	۰,۶۸۹۹	۷۱۷۱	۹۷۴۶۳۳
۳	چندجمله‌ای درجه۳	۰,۶۹	۷۲۱۵	۹۶۷۲۶۹
۴	فوریه (۱)	۰,۶۸۹۹	۷۲۱۵	۱۲۵۰۳۶۸
۵	فوریه (۸)	۰,۸۱۹۱	۶۰۶۸	۱۰۷۲۱۳۱

نتیجه‌گیری

با نگاهی دقیق‌تر، تجزیه و تحلیل سری زمانی به تجزیه سری به مؤلفه‌های سینوسی منتج شده است. یعنی می‌توان نوسانات رخداد ولادت ایرانیان را با مقایسه آنها با سینوئیدها توصیف نمود. با برازش مدل‌های مختلف بر داده‌های ولادت، مدل فوریه(۸) با کمترینRMSE بهینه‌ترین مدل برای برازش و پیش‌بینی معرفی می‌گردد. این مدل ساختاری سینوئیدی کاهشی را نشان می‌دهد. با به کارگیری این مدل روند کاهشی ولادت در سال‌های نزدیک ادامه خواهد داشت. از جمله، پیش‌بینی می‌شود تعداد ولادت‌های سال ۱۳۹۹، ۱۰۷۲۱۳۱ رویداد باشد. روند کاهشی اما در تمامی مدل‌ها تأیید شده است.

با توجه به افزایش خطا در اجرای مدل برای سال‌های دورتر و با توجه به این که انتشار داده‌های ولادت به‌طور مرتب انجام می‌شود، می‌توان محاسبات مدل را در ابتدای هر سال تکرار نمود. همچین برای رسیدن به برازش‌های دقیق‌تر و نیز رصد تفاوت‌های رفتار زادآوری، می‌توان محاسبات مدل را به تفکیک استان‌ها به انجام رسانید.

در صورت دسترسی به داده‌های بیشتر قابل اتکاء می‌توان با روش‌های پس‌نگر صحت عملکرد مدل را برای سالیان قبل نیز بررسی کرد تا از این راه مدلی پایدار برای پیش‌بینی ولادت ایرانیان به دست آید.

منابع:

- نورالهی، طه و خلخالی، حمیدرضا (۱۳۷۸)، برآورد جمعیت ایران با استفاده از روش‌های ریاضی و جمعیتی، فصلنامه جمعیت شماره ۲۹و۳۰ صص ۸۹-۹۶.
- فلاح محسن‌خانی، زهره و واقعی، یدا... (۱۳۸۴)، برآورد و پیش‌بینی جمعیت استان‌های کشور به روشهای آماری و جمعیت‌شناختی، فصلنامه جمعیت شماره ۵۳و ۵۴، صص ۲۰-۱.
- فرید روحانی، محمدرضا و فلاح محسن‌خانی، زهره (۱۳۸۷)، کاربرد فرایندهای تصادفی نرخ رشد جمعیت در پیش‌بینی احتمالی جمعیت، فصلنامه جمعیت شماره ۶۵و۶۶، صص ۶۵-۵۰.
- علیجانی بهلول، بیات علی، دوستکامیان مدی(۱۳۹۵)، تحلیل طیفی سری‌های زمانی بارش سالانه ایران، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۵۷، صص۲۳۶-۲۱۷.
- تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، تالیف: خرمی مصطفی، بزرگ‌نیا ابوالقاسم، انتشارات سخن گستر، چاپ اول۱۳۸۶.
- سالنامه آماری سازمان ثبت احوال (۱۳۹۲-۱۳۹۸)، بخش ولادت.

-Hejase, H. and Assi, A., Time-Series Regression Model for Prediction of -Mean Daily Global Solar Radiation in Al-Ain, UAE, International scholary research Network, vol. 28, pp.111-, doi:10.5402412471/2012/
Price, J.F., Forier Techniques and Applications (1985), Springer.