دوفصلنامه مطالعات جمعیتی، دوره ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۶ (۳۸-۷)

# شبیه‌سازی تغییرات جمعیتی ایران با استفاده از مدل پایه عامل بنیان

امیر آذرفر[-]، عادل آذر [--]، سیده‌زهرا کلانتری [---]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۸)

## چکیده

دانستن اندازه جمعیت در آینده و پیش‌بینی دقیق آن برای دولتمردان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چراکه بسیاری از برنامه‌ریزی‌های دولتی با مسئله جمعیت رابطه نزدیکی دارند. هدف از این مقاله کاربست شبیه‌سازی عامل بنیان برای پیش‌بینی روند تغییرات و ترکیب جمعیتی ایران در طی ۵۰ سال آینده است. این روش می‌تواند امکان تحلیل سناریو های مختلف جمعیتی را فراهم سازد، مدلی ساختاری از تغییرات ارائه دهد، اجزای نامتجانس را مدل‌سازی کند و به دلیل احتمالی بودن آن نتایج واقعی‌تری را ارائه نماید. نتایج شبیه‌سازی با سناریوهای مختلف ارائه شده توسط مرکز آمار ایران مقایسه شد و همبستگی معناداری بین این دو نتیجه مشاهده شد که حاکی از قابلیت اعتماد بودن مدل شبیه‌سازی ارائه شده می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد سن ازدواج تا ۱۵ سال آینده همبستگی معناداری با روند افزایش جمعیت ندارد، ولی در بلندمدت همبستگی معناداری دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد شبیه‌سازی عامل‌بنیان، علاوه بر مدل‌سازی مسئله جمعیت به‌صورت تصادفی، با عوامل نامتجانس و با قابلیت تحلیل سناریو، می‌تواند سیستمی از واقعیت را شبیه‌سازی نماید که برآوردهای جمعیتی را به‌صورت سالیانه تولید نماید.

**واژگان کلیدی:** شبیه‌سازی عامل بنیان، پیش‌بینی جمعیت، ساختار جمعیت، سن ازدواج، ایران.

---

- دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی گرایش تحقیق در عملیات، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، azarfar@ut.ac.ir (نویسنده مسئول)

-- استاد گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس، azara@modares.ac.ir

--- دکتری مدیریت صنعتی گرایش تحقیق در عملیات دانشگاه تربیت مدرس و محقق موسسه مطالعات جمعیتی کشور، s.kalantary@modares.ac.ir

**مقدمه**

تقریباً تمام جنبه‌های زندگی یک فرد در طول زندگی وی به ترکیب جمعیتی که فرد در آن حضور دارد، مرتبط است و این بدان معناست که ترکیب جمعیتی نقش مهمی در زندگی افراد دارد و انسان‌ها در طول حیاتشان عکس‌العمل‌های متفاوتی نسبت به آن نشان می‌دهند. بسیاری از برنامه‌ریزی‌های دولتی ازجمله نیروی کار، سلامت، امکانات آموزشی و موارد متعدد دیگر به متغیرهای جمعیت‌شناختی مرتبط است. همچنین سازمان‌های مختلف در جامعه نیز از متغیرهای جمعیت‌شناختی متأثر خواهند بود (ویکس[1]، ۲۰۱۱). با توجه به اهمیت موضوع جمعیت و پیش‌بینی آن، مطالعاتی در کشور انجام شده است که به‌طورکلی می‌توان آن‌ها را در دو دسته طبقه‌بندی کرد. دسته اول مطالعاتی که در آن اندازه جمعیت ملی یا استانی پیش‌بینی شده است و دسته دوم مطالعاتی که اثر یک متغیر جمعیتی بر دیگر متغیرهای فرهنگی، سیاسی، اقتصادی یا برعکس را می‌سنجد.

ویلسون(۲۰۱۱)، در مطالعه‌ای مروری روش‌های مختلف پیش‌بینی را مقایسه کرده و در بیان ویژگی‌ها یا کاربردهای آن‌ها بیان کرده است که روش‌های پیش‌بینی جمعیت دارای نقاط قوت و نقاطی برای بهبود می‌باشند. به‌عنوان نمونه در اغلب مطالعات انجام شده امکان تحلیل سیاستی و آزمایش سیاست‌های مختلف بر روی مدل وجود ندارد. تحلیل سیاستی بدین معنا که بتوان مدل را با مقادیر متفاوت پارامترها به‌صورت هم‌زمان اجرا کرد و تفاوت‌های آن را مشاهده نمود. در غالب مدل‌های آماری امکان تحلیل سناریو وجود ندارد که در قسمت بعد بدان اشاره خواهد شد. یکی از فروض غالب در پیش‌بینی جمعیت آن است که آینده ادامه‌ای از گذشته است اما وجود این پیش‌فرض به‌عنوان تنها پیش‌فرض در پیش‌بینی، یک خطای روش‌شناختی است. به نظر می‌رسد استفاده از مدل‌های ساختاری می‌تواند بهبودهایی را در پیش‌بینی ایجاد نماید. در بیشتر مطالعات شبیه‌سازی توجهی به مدل‌سازی اجزای نامتجانس در یک مدل نمی‌شود؛ در سیستم‌های اجتماعی کنشگرانی نامتجانس وجود دارند که رفتار آنان در مواجهه با یک ورودی یکسان نبوده و رفتارهای متفاوتی را از خود بروز می دهند. در اکثر مدل‌های پیش‌بینی جمعیت تمامی اجزای سیستم متجانس در نظر گرفته می‌شوند درحالی‌که به نظر می‌رسد استفاده از روش‌هایی که قابلیت مدل‌سازی اجزای نامتجانس را دارا هستند، بهبودهایی را در پیش‌بینی ایجاد می‌کنند. غالب مدل‌های شبیه‌سازی و پیش‌بینی جمعیت قطعی

1- Weeks

بوده و عموماً نمی‌توان رفتار یک دسته از مردم را به‌صورت قطعی در برخورد با پدیده‌ای پیش‌بینی نمود، لذا معمولاً از توزیع‌های آماری برای رفع این مشکل استفاده می‌کنند تا روایی مدل افزایش یابد (ویلسون[1]، ۲۰۱۱).

هدف از این تحقیق کاربست شبیه‌سازی عامل بنیان در تحقیقات جمعیتی ایران است به‌طوری‌که مدل طراحی شده و کدهای نرم‌افزاری این شبیه‌سازی مقدمه‌ای برای ایجاد سیستم شبیه‌سازی ملی فراهم کند. بیلاری(۲۰۰۶)، با شبیه‌سازی فرآیندهای جمعیتی ایتالیا نشان داد که استفاده از شبیه‌سازی عامل بنیان در پیش‌بینی‌های جمعیتی با توجه به نقاط قوتش می‌تواند تا حدی در پیش‌بینی‌های جمعیتی بهبود ایجاد کند.

در ادامه ابتدا تغییرات جمعیتی ایران به‌اجمال بررسی شده و پس از آن مروری اجمالی بر روش‌های پیش‌بینی جمعیت انجام شده است. جزئیات مدل‌سازی روال‌های جمعیتی و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در قسمت روش تحقیق و پس از آن یافته‌ها و نتایج تحقیق ارائه شده است. هم‌چنین کدنویسی الگوریتم مدل با نرم‌افزار نت‌لوگو[2] امکان تحلیل سناریو را نیز به مدل داده است که نمونه‌ای از تحلیل سناریو در یافته پنجم این مقاله، قابل‌مشاهده است.

## تغییرات جمعیتی ایران

تغییرات جمعیتی نه‌تنها بر نسل فعلی یک کشور، بلکه تأثیر اصلی را بر نسل‌های بعدی می‌گذارد. گذار جمعیتی ایران از سال‌های ابتدایی قرن بیستم آغاز شده است. در مرحله اول گذار جمعیتی ایران، به دلیل کم شدن مرگ‌ومیر و ثابت ماندن سطح باروری که ناشی از تغییرات عمده اقتصادی اجتماعی بوده است، جمعیت ایران با نرخی فزاینده افزایش یافته است (سرایی، ۱۳۷۶). این تغییرات به حدی بوده است که جمعیت ایران در کم‌تر از یک قرن از حدود ده میلیون نفر به هشتاد میلیون نفر رسیده است. در سه دهه ابتدایی قرن بیستم رشد سالانه جمعیت در حدود ۰٫۸ درصد بوده است. با وجود میانگین زاد و ولد بالا، در حدود شش فرزند به ازای هر زن، نرخ مرگ‌ومیر بالا تا حدی رشد جمعیت را تعدیل کرده است و رشد جمعیت آهنگ ملایمی داشته است (عباسی‌شوازی و همکاران، ۲۰۰۹).

---

1- Wilson
2- NetLogo

بر اساس نتایج سرشماری سال ۱۳۳۵ رشد جمعیت در بازه ده‌ساله ۱۳۲۵-۱۳۳۵، ۳,۲ درصد بوده است، میزان این نرخ با توجه به نتایج سرشماری ۱۳۵۵ در سال‌های ۱۳۴۵-۱۳۵۵، به‌طور متوسط ۲,۷ درصد بوده است. این در حالی است که رشد جمعیت بعد از انقلاب اسلامی و به دنبال به تعویق انداخته شدن برنامه تنظیم خانواده بیش از گذشته افزایش یافت و به عددی معادل ۳,۹ درصد سالانه رسید. با ازسرگیری برنامه تنظیم خانواده از سال ۱۳۶۸ نرخ رشد جمعیت به ۱,۳ درصد در سال‌های اخیر، رسیده است (عباسی شوازی و دیگران ،۲۰۰۹؛ عباسی و حسینی چاوشی، ۱۳۹۲). درواقع می‌توان عامل اصلی شدت گرفتن رشد جمعیت در ایران را در دوره‌ای کم شدن مرگ‌ومیر به دلیل پیشرفت‌های اقتصادی و اجتماعی (سرایی، ۱۳۷۶) و در بعد از انقلاب به دلیل به تعویق انداختن برنامه تنظیم خانواده دانست (عباسی شوازی،۲۰۰۱). نرخ زاد و ولد کل از شش فرزند در اواسط دهه ۱۳۶۰ به ۲,۱ در سال ۱۳۸۰ کاهش یافت و به ۱,۸ در سال ۱۳۹۰ رسید (عباسی شوازی،۲۰۰۱ و ۱۳۹۲)، همین موضوع بسیاری از تحلیل‌گران را نگران ساخته است. این کاهش نه‌تنها در کلان‌شهرها بلکه در مناطق روستایی نیز به چشم می‌خورد (عباسی‌شوازی و حسینی‌چاووشی، ۱۳۹۲).

یکی از نکات کلیدی که باید بدان توجه داشت افزایش جمعیت کشور با وجود تنزل باروری تا زیر حد جانشینی است. علت این امر را باید در ساختار سنی جمعیت کشور جستجو کرد. در ساختار سنی کشورهایی که تمرکز جمعیت بر جوانی باشد، حتی با وجود نرخ باروری زیر حد جانشینی، رشد جمعیت تا دهه‌ها ادامه خواهد داشت. درواقع به‌نوعی نیروی محرکه مخفی رشد در کشور وجود دارد. این تأثیر از دو ناحیه قابل‌بررسی است. اول آن‌که نسبت زنان در سنین باروری در کشور بیش از نسبت سایر گروه‌های سنی زنان است، که تا زمان برقراری این وضعیت، نیروی محرکه بزرگ جمعیتی در کشور وجود خواهد داشت. دلیل دوم نیز آن است که نسبت مرگ‌ومیر در جمعیت جوان کم‌تر از جمعیت کهن‌سال است؛ لذا حتی اگر رشد جمعیت ثابت باشد، به دلیل کمبود مرگ‌ومیر هنوز جمعیت افزایش می‌یابد (سرایی، ۱۳۹۴). فرآیند گذار جمعیتی را می‌توان دارای چهار مرحله دانست؛ کودکی، جوانی، میان‌سالی و سالمندی. جمعیت ایران از بعد از سال ۱۳۹۰ وارد دوران میان‌سالی شده است و از دوران جوانی فاصله گرفته است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۱).

## چارچوب نظری: روش‌های پیش‌بینی جمعیت

تابه‌حال روش‌های زیادی در پیش‌بینی جمعیت به کار گرفته شده است و افرادی نظیر بوث[1] (۲۰۰۶)، ویلسون[2] (۲۰۱۱) و لند[3] (۱۹۸۶) اقدام به طبقه‌بندی این روش‌ها کرده‌اند. نگارندگان مقاله حاضر نیز یک طبقه‌بندی از این روش‌ها با استفاده از ترکیب و دخل و تصرف در دو طبقه‌بندی بوث (۲۰۰۶) و ویلسون (۲۰۱۱) ارائه کرده‌اند که در این تقسیم‌بندی انواع روش‌ها به روش‌های ترکیبی – نسلی، رگرسیونی، روش‌های مبتنی بر سری‌های زمانی، روش‌های مبتنی بر انتظارات و شبیه‌سازی تقسیم شده‌اند. شبیه سازی نیز به دو دسته پویایی‌شناسی سیستم‌ها و شبیه‌سازی چندعاملی تقسیم می‌شود.

روش ترکیبی نسلی روشی است که در آن برای محاسبه جمعیت، تعداد جمعیت به روش رو به جلو محاسبه می‌شود. در این روش از طریق به‌کارگیری نسبت‌های بازماندگی در بازه زمانی خاص برحسب سن، جنس و همچنین استخراج تعداد موالید از مقادیر باروری ویژه سنی زنان، اندازه جمعیت را پیش‌بینی می‌کنند (پرستون[4] و همکاران، ۲۰۰۰). در این روش پیش‌بینی جمعیت به پیش‌بینی سه نرخ زاد و ولد، مرگ‌ومیر و مهاجرت تقلیل پیدا می‌کند. از مشکلات این روش عدم احتمالی بودن و عدم توانایی روش در برازش یک تابع توزیع احتمال است. علاوه بر این عدم انعطاف‌پذیری در فرضیه‌ها نیز از مشکلات این روش است (بوث[5]، ۲۰۰۶).

رگرسیون یک روش آماری است که برازش یک منحنی که کم‌ترین مجموع فاصله را از نقاط داده داشته باشد، به پیش‌بینی جمعیت می‌پردازد (سایکس[6]، ۱۹۹۳). در این روش اندازه جمعیت با استفاده از متغیرهای مستقلی در زمان گذشته و برازش یک منحنی بر داده‌های تاریخی جمعیت پیش‌بینی می‌شود. ازجمله نقاط قوت این روش می‌توان به تنوع ممکن در انتخاب متغیرهای مستقل اشاره کرد. در این روش می‌توان از متغیرهای مستقل بسیاری که همبستگی کافی را با متغیر وابسته دارند، استفاده کرد. ازجمله مشکلات این روش عدم نمایش جزئیات ساختار جمعیت است. هم‌چنین این روش به‌صورت مستقیم نرخ مرگ‌ومیر، زاد و ولد و مهاجرت را مدل‌سازی نمی‌کند (ویلسون، ۲۰۱۱).

---

1- Booth
2- Wilson
3- Land
4- Preston
5 Booth
6- Sykes

روش‌های مبتنی بر تحلیل سری زمانی یا درون‌یابی رایج‌ترین رویکرد در پیش‌بینی‌های مربوط به جمعیت است. روش‌های درون‌یابی اساساً نظری هستند. تنها فرض این روش‌ها این است که آینده ادامه‌ای از گذشته خواهد بود که در بسیاری مواقع این فرض صادق نیست اما در مورد مسئله جمعیت می‌توان از این روش در کوتاه‌مدت به‌عنوان مبنایی برای دیگر روش‌ها استفاده نمـود (فلامر[۱]، ۱۹۹۲). رایج‌ترین روش برون‌یابی مدل‌سازی تک متغیره خود همبسته میانگین متحرک[۲] است (باکس[۳] و جنکینز[۴]، ۱۹۷۶). این روش‌ها آینده را ادامه گذشته می‌دانند و به همین دلیـل وابستگی زیادی به داده‌های تاریخی دارند و هیچ‌گونه فرآیندی را در تحلیل دخیل نمی‌کنند.

روش‌های مبتنی بر انتظارات شامل روش‌هایی است که از انتظارات و همچنین قضاوت‌های آگاهانه افراد خبره به‌صورت ساخت نیافته در فرآیند پیش‌بینی استفاده می‌شود. مشکلی که در مورد داده‌های ناشی از انتظارات افراد وجود دارد این است که تأخیر سیستمی به‌درستی مدل‌سازی نمی‌شود. درواقع انتظارات افراد نمی‌تواند پایه خوبی برای پیش‌بینی‌های جمعیتی باشد. اما احتمالاً این رویکرد اطلاعات مفیدی را برای پیش‌بینی‌های احتمالی خصوصاً در مواقعی که داده‌هـای تاریخی مناسبی در دسترس نیست، فراهم می‌کند (بوث، ۲۰۰۶). شواهد محکمی که بیان کند این رویکرد می‌تواند تغییرات ساختاری را پیش‌بینی کند، وجود ندارد (آلهو[۵]، ۱۹۹۰).

دسته دیگر از روش‌ها، روش‌های شبیه‌سازی است. شبیه‌سازی به معنای ساخت سیستمی با رفتار سیستم واقعی در اندازه کوچک‌تر، ساده‌تر و مجازی است که رفتارهای سیستم واقعی را از خود بروز می‌دهد (گلیبرت[۶] و توریتزیچ[۷]، ۲۰۰۵). شبیه‌سازی در این معنا را می‌توان سیستمی دانست که امکان آزمایش ورودی‌ها و شرایط مختلف در سیستم را می‌دهد (بوکوک[۸] و شیلد[۹]، ۱۹۶۸). مزیت مدل‌های شبیه‌سازی در مدل‌سازی مکانیزم‌های بازخورد و عوامل محدودکننـده سیستم است (کوهن[۱۰]، ۲۰۰۵).

1- Pflaumer
2- Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)
3- Box
4- Jenkins
5- Alho
6- Gilbert
7- Troitzsch
8- Boocoock
9- Schild
10- Cohen

در شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده می‌توان دو نوع سؤال را مطرح نمود: الف) کلیت رفتار سیستم در طول زمان و نسبت به متغیرهای مختلف و تغییرات آن‌ها چگونه تغییر می‌کند؟، ب) تأثیر نقش عوامل[1] در سیستم بر عملکرد و رفتار سیستم چگونه است و این تنوع و منطق‌های تصمیم‌گیری در طول زمان چه تأثیری بر عملکرد و رفتار کلی سیستم در طول زمان دارد؟.

درواقع در سؤال اول کلیت سیستم مورد توجه بوده ولی در سؤال دوم نسبت به نقش عوامل سیستم توجه شده است. پاسخ به این دو نوع سؤال باعث به وجود دو دسته روش‌شناسی یعنی پویایی‌شناسی سیستم‌ها[2] و دیگری شبیه‌سازی عامل بنیان[3] شده است (میکل[4] و نورث[5] ۲۰۰۷).

پویایی‌های سیستم، یک روش شناسی برای مطالعه و مدیریت سیستم‌های پیچیده و دارای بازخورد است. در این دسته از روش‌های شبیه‌سازی زمانی می‌توان ادعا کرد که اثربخشی و روایی مناسبی وجود دارد که ارتباط بین متغیرها در طول زمان ثابت بماند، متغیرهای بیرونی پیش بینی پذیر باشند و ارتباط بین متغیرها قوی باشد(برس[6] ۱۹۷۴). مشخصه یک سیستم پیچیده این است که رفتارش در نتیجه تعامل بین بخش‌هایش ظهور می‌کند، به همین دلیل است که شکستن و تجزیه آن بدون از دست دادن هویت و هدفمندی آن ممکن نخواهد بود (میدوز[7] و رایت[8] ۲۰۰۷).

پویایی‌شناسی سیستم مؤلفه‌های جمعیتی (همچون زاد و ولد و مرگ‌ومیر) را برون‌زا در نظر نمی‌گیرد و آن‌ها را متأثر از عوامل اقتصادی –اجتماعی و محیطی مثل تغذیه، مراقبت‌های بهداشتی، استانداردهای زندگی و آلودگی می‌داند. در این روش در نظر گرفتن روابط غیرخطی و تأثیر در مدل‌سازی وجود دارد و با وجود ابزارهای رایانه‌ای در پیاده‌سازی این روش، امکان تحلیل سناریوهای مختلف نیز وجود دارد (استرمن[9]، ۲۰۰۰). وانگ و استرمن (۱۹۸۵) نشان

1- Agents
2- System Dynamics
3- Agent-Based Simulation
4- Macal
5- North
6- Brass
7- Meadows
8- Writ
9- Sterman

می‌دهند که پویایی سیستم می‌تواند برای مطالعه تحولات جمعیتی با همان جزئیاتی که در بررسی‌های جمعیت شناختی رواج دارد، به کار رود (وانگ[1] و استرمن، ۱۹۸۵). دسته دیگر روش‌های شبیه‌سازی روش‌های شبیه‌سازی عامل بنیان است که در ادامه بدان پرداخته خواهد شد.

روش شبیه‌سازی عامل بیان می‌کند که رفتارهای پیچیده سیستم‌ها از تعامل عناصر کنشگر سیستم با رفتارهای ساده نشات می گیرد. این روش بیان می‌کند که رفتارهای کلی سیستم حاصل رفتارهای مستقل کنشگران سیستم است. کنشگر عنصری است که در سیستم تصمیم می‌گیرد (میکل و نورث ۲۰۱۰). کنشگر یا عامل در این معنا عنصری است که دارای ویژگی‌های استقلال، مهارت‌های اجتماعی، واکنش‌گری و کنشگری باشد. استقلال[2] بیانگر آن است که کنشگران بدون کنترل خارجی از طرف دیگر اجزای سیستم به‌صورت مستقل کنش می‌کنند. مهارت‌های اجتماعی[3] بیان می‌کند که کنشگران امکان ارتباط با دیگر کنشگران را از طریق یک زبان خواهند داشت. واکنش گری[4] بیانگر توانایی کنشگران به فهم محیط و قابلیت پاسخ به محرک‌های محیطی است و کنش‌گری فعال[5] نیز بیان می‌کند که عامل علاوه بر واکنش به محیط، می تواند رفتارهایی را برای اولین بار در محیط ایجاد کرده و فعالانه کنشگری کنند (گیلبرت و توریتزیچ، ۲۰۰۵).

بیش‌ترین تأکید در روش‌شناسی عامل بنیان بر فهم منطق تصمیم‌گیری کنشگران است. در مطالعات جمعیت منطق تصمیم‌گیری افراد در مورد فرزندآوری نقش مهمی ایفا می‌کند. به همین دلیل تابه‌حال استفاده‌های فراوانی از این روش‌شناسی در مطالعات جمعیت شده است که می‌توان موضوعات کلی آن را به دسته‌های جمعیت‌شناسی فضاهای شهری و منطقه‌ای، جمعیت‌شناسی و مطالعات خانواده، جمعیت‌شناسی و فرآیندهای تاریخی تعاملات اجتماعی محیطی و جمعیت‌شناسی و مطالعات تغییرات جمعیت ملی و منطقه‌ای طبقه‌بندی نمود. هم‌چنین نقاط قوت این روش‌شناسی در مطالعات جمعیت را می‌توان تمرکز به کنشگر به جای کل سیستم، تمرکز بر عدم تجانس عوامل، تمرکز بر روابط اجتماعی میان عوامل، تمرکز بر

1- Wang
2- Authority
3- Social Abilities
4- Responsibility
5- Initialization

پویایی‌ها به جای تعادل‌ها، سادگی مفروضات و ایجاد یک آزمایشگاه برای تحلیل سناریوها دانست (بیلاری ۲۰۰۶).

البته از نقاط ضعف این روش نیز می‌توان به هزینه‌های زیاد اجرای این روش و هم‌چنین زمان وسیع موردنیاز این روش اشاره کرد. به نظر می‌رسد استفاده از این روش بدون در نظر گرفتن تحلیل‌های هزینه فایده و داشتن اهدافی نظیر تحلیل سناریو و تصمیم‌سازی برای سیاست‌گذاران قبل از اجرای این روش، عقلایی نباشد.

به‌صورت کلی هر مدل پایه عامل بنیان باید عناصر کلیدی عوامل، روابط بین عوامل و محیط را تشریح کرد باشد عوامل تصمیم‌گیرندگان و اجزاء اصلی در مدل هستند. در این قسمت باید برای انواع عوامل، ویژگی‌ها و توابع رفتاری هر یک احصا و مدل‌سازی شود. توابع رفتاری عوامل را به‌طورکلی می‌توان به دو دسته توابع تصمیم و توابع یادگیری تقسیم‌بندی نمود. روابط بین عوامل چگونگی اشتراک اطلاعات بین عوامل مدل را تشریح می‌کند و محیط عوامل برخی اطلاعات است که به‌صورت مشترک بین تمامی عوامل وجود دارد و یا اعلام عمومی می‌شود. مقدار و زمان اعلان عوامل و تغییرات آن‌ها باید مدل‌سازی شود. در واقع این متغیرها همان متغیرهای تأثیرگذار بر تصمیم عوامل هستند (مکال و نورس[1]، ۲۰۰۸).

در جدول ۱ تمام روش‌های ذکر شده جمع‌بندی شده‌اند تا بتوان در یک نگاه به نقاط ضعف و قوت آن‌ها پی برد و دامنه استفاده از هر یک از روش‌ها را دانست.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1- Macal& North

**جدول ۱. ارزیابی روش‌های پیش‌بینی جمعیت (ویلسون ۲۰۱۱) با تلخیص و اضافات**

| روش | داده‌های موردنیاز | تنوع خروجی | دقت پیش‌بینی | هزینه پیاده‌سازی | سهولت در روایی‌سنی | قابلیت ساخت سناریو | تناسب مفهومی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| روش ترکیبی-نسلی | بیش از متوسط | محدود | وابسته به مفروضات تحقیق | بیشتر از متوسط | خوب، مطابقت با داده‌های تاریخی | ندارد | خوب |
| روش‌های رگرسیونی | محدود | محدود | مناسب برای ۵ تا ۱۰ سال | کم | خوب، مطابقت با داده‌های تاریخی | ندارد | نامناسب |
| روش‌های سری زمانی | محدود | محدود | حداکثر تا ۵ سال و با دقت متوسط | کم | خوب، مطابقت با داده‌های تاریخی | ندارد | نامناسب |
| روش‌های مبتنی بر انتظارات | وسیع | محدود | نمی‌توان اظهارنظر کرد | زیاد | پیچیده | ندارد | متوسط |
| شبیه‌سازی | وسیع | وسیع | بالا | زیاد | پیچیده | دارد | عالی |

## روش تحقیق و داده‌ها

در این تحقیق با استفاده از روش شبیه‌سازی عامل بنیان و با استفاده از داده‌های سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ اقدام به پیش‌بینی جمعیت شده است. شبیه‌سازی عامل بنیان تصمیم هر فرد را شبیه‌سازی می‌کند و رفتار سیستم به‌عنوان خاصیتی نوظهور [1] از کنش و تعامل عوامل ظاهر می‌شود. این روش مدل‌سازی به واقعیت بسیار نزدیک است چرا که در واقعیت نیز هر فرد در نهایت تصمیمی اتخاذ می‌نماید و رفتار جمعیتی یک کشور خاصیتی نوظهور از رفتار افراد است. در این قسمت ابتدا مفروضات مدل شرح داده خواهد شد سپس طراحی عوامل و مدل‌سازی سه روال مرگ‌ومیر، ازدواج و فرزندآوری برای هر یک شرح داده خواهد شد.

**مفروضات مدل:** در این مقاله مفروضاتی برای مدل‌سازی در نظر گرفته شده است. روند گذشته جمعیت تا حدی به آینده سرایت می‌کند اما پویایی رفتاری صرفاً بر این اساس نخواهد بود. روال های [2] اصلی در مدل‌سازی جمعیت فرزندآوری، مرگ‌ومیر و مهاجرت است. با توجه به مطالعات انجام شده (سرایی ۱۳۷۹؛ میرزایی ۱۳۸۲) و به‌منظور ساده‌سازی مدل می‌توان از

1- Emergent Property
2- Procedure

مهاجرت صرف‌نظر کرد، چرا که روالی که تأثیر اصلی بر جمعیت کشور را داراست، مرگ‌ومیر و فرزندآوری است. اما فرزندآوری نیز خود از سه روال تأثیر می‌پذیرد: ازدواج، فرزندآوری و طلاق. طی بررسی به عمل آمده توسط *نیکبخت(۲۰۱۶) با استفاده از شبیه‌سازی عامل بنیان و داده‌های سرشماری سال ۱۳۹۰* روال طلاق تأثیر کمی بر روال فرزندآوری دارد (نیکبخت و همکاران ۲۰۱۶). لذا در این مدل‌سازی از این روال به‌منظور جلوگیری از پیچیده شدن شبیه‌سازی صرف‌نظر شده است. روال‌های اصلی در این مدل‌سازی برای هر عامل ازدواج، فرزندآوری و مرگ در نظر گرفته شده است. هر عامل در مدل نماینده یک فرد در جامعه است که به‌عنوان تصمیم‌گیر اصلی سیستم تلقی شده است. هر عامل در مدل شبیه‌سازی دارای ویژگی‌ها و توابعی است. ویژگی‌ها در این مدل متناسب با روال‌ها تعیین و برای هر عامل ذخیره می‌شوند. برای هر عامل نیز سه روال مرگ، ازدواج و فرزندآوری طراحی شده است.

قسمت‌های اصلی مدل‌سازی در مدل عامل بنیان شامل طراحی عامل، طراحی روابط بین عوامل و طراحی جهان عوامل خواهد بود. در این قسمت مدل‌سازی و طراحی اصلی مدل ارائه خواهد شد.

**طراحی عوامل:** همان‌طور که اشاره شد، عامل به موجودیت اصلی تصمیم‌گیر اطلاق می‌شود که طبق مفروضات در این مدل آحاد جامعه تلقی شده‌اند. به‌منظور ساده کردن مدل و جلوگیری از پیچیده شدن مدل دو دسته عامل در این مدل تعریف شده‌اند. گروه اول مردان در کلیه سنین و زنانی که سن آن‌ها بین ۱۵ تا ۴۹ سال نیست. این دسته از عوامل تنها دارای روال مرگ هستند. گروه دوم نیز زنانی که سن آن‌ها بین ۱۵ تا ۴۹ سال است. این دسته از عوامل تأثیر اصلی بر باروری کشور را دارا هستند. لذا این دسته از عوامل علاوه بر روال مرگ، دارای روال‌های ازدواج و فرزندآوری نیز هستند.

به منظور رفع برخی مشکلات بیان شده در مقدمه اقداماتی انجام شده است. برای مدل‌سازی با اجزای نامتجانس متغیرهای مختلفی در مدل برای هر فرد وجود دارند که مقادیر آن برای هر فرد به‌صورت منحصربه‌فرد تولید شده است. به منظور احتمالی بودن مدل مقادیر متفاوت برای متغیرهای مختلف به‌وسیله تولید اعداد تصادفی از روی توزیع‌های آماری متفاوت ایجاد شده است. هم‌چنین به منظور عدم تبعیت صرف مدل از داده‌های تاریخی شبیه‌سازی عامل بنیان که روشی ساختاری است و به‌صورت مبنایی از رفتار متغیرها در طول

زمان تبعیت نمی‌کند و در هر سال اعداد تصادفی جدیدی برای اجرای این مدل ساخته می‌شود، استفاده شده است.

**شکل ۱. طراحی عامل**

**روال مرگ:** فرناندز (۲۰۱۵) که در تحقیقی مشابه با استفاده از شبیه‌سازی عامل بنیان اقدام به شبیه‌سازی فرآیندهای جمعیتی پرتغال کرده است، اظهار می‌کند که احتمال مرگ در یک گروه سنی در یک بازه کوتاه‌مدت و میان‌مدت در طی سالیان دوره تقریباً برابر است (داسیلوا فرناندز[1] ۲۰۱۵). لذا می‌توان نتیجه گرفت احتمال مرگ در یک گروه سنی برابر است با:

$$death - rate\ (a.s.y) = \frac{\#deaths\ (a.s.y-1)^2}{\#deaths(a.s.y-1) + \#alives(a.s.y-1)}$$

که در آن:

$death - rate\ (a.s.y)$ احتمال‌مرگ یک گروه‌سنی با سن a از جنس s درسال y است.

$\#deaths\ (a.s.y-1)$ تعداد مرگ‌ومیر یک گروه سنی با سن a از جنس s در سال y-1 است.

1- Da Silva Fernandes 2015)
2- Number of Deaths

$\#alives(a.s.y-1)$ تعداد افراد زنده با سن a و جنس s در سال y-1 خواهد بود.

مقدار s مرد و یا زن بودن است و مقدار a نیز سن افراد در نظر گرفته شده است. مقدار y نیز سال شبیه‌سازی در نظر گرفته می‌شود.

اما این نرخ باید با شاخص‌های کلان جمعیتی تعدیل شود که برای این کار در مقدار تکاملی مرگ ضرب می‌شود یعنی:

$$death-rate\,(a,s,y) = \frac{\#deaths\,(a.s.y-1)}{\#deaths(a.s.y-1)+\#alives(a.s.y-1)} * Evo - death^{1}$$

برای محاسبه $Evo-death$ روش‌های متفاوتی وجود دارد که در این سند از روش رگرسیون خطی با متغیر مستقل زمان و متغیر وابسته نرخ مرگ استفاده شده است. احتمال مرگ افراد در هر گروه سنی و جنسی مشخص شده است، در گروه احتمال مرگ افراد با یکدیگر نیز متفاوت است. بنابراین، برای ایجاد عدم تجانس در نرخ مرگ افراد جامعه از تولید اعداد تصادفی با یک توزیع نرمال استفاده شده است: (da Silva Fernandes 2015)

$$death-rnd(k.a.s.y) = N(death-rate(a.s.y).x - death(a.s.y))$$

که در آن:

death-rnd(k,a,s,y) برابر احتمال مرگ فرد k ام با سن a و جنس s در سال y است که از یک توزیع نرمال با میانگین death-rate محاسبه شده در قسمت قبل و انحراف معیار x-death است. برای محاسبه x-death داریم:

$$x-death = \min[\, min-number - selection.\left(\frac{death-rate(a.s.y)}{3}\right).(\frac{1-death-rate(a.s.y)}{3})]$$

به‌منظور آن‌که توزیع نرمال توزیعی هموار باشد واریانس آن نباید از مقدار ۰,۰۲ کم‌تر باشد (داسیلوا فرناندز ۲۰۱۵). لذا در این تحقیق متغیر $min-number-selection$ برابر ۰,۰۲در نظر گرفته شد.

البته می‌توان به جای توزیع نرمال از توزیع لاگ‌نرمال نیز استفاده کرد:

$$death-rnd(k.a.s.y) = LogNormal(death-rate(a.s.y))$$

1- Evolution of Death Rate

در مدل شبیه‌سازی قابلیت محاسبه به هر دو روش در نظر گرفته شده است.

الگوریتم کلی این روال برابر است با:

۱. تعداد افراد با سن a و جنس s محاسبه شود.
۲. برای هر فرد با سن a و جنس s :
   ≠ یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت بین ۰ تا ۱ تولید می‌شود.
   ≠ اگر عدد تصادفی از $death - rnd(k.a.s.y)$ کوچک‌تر باشد، این فرد می‌میرد.
۳. تعداد افراد فوت شده محاسبه شود.
۴. Death-rate محاسبه شود.
۵. احتمال مرگ برای گروه با سن a-1 و جنس s محاسبه شود.
۶. برای هر فرد با سن a-1 و جنس s احتمال مرگ در سال آینده محاسبه شود.
۷. متغیر Evo-death سال بعد محاسبه گردد.

**روال ازدواج:** روال ازدواج مقدمه روال تولید فرزند است و شرط لازم آن است. ازآنجاکه در روال تولید فرزند شرط اساسی سن بین ۱۵ تا ۴۹ سال برای زنان خواهد بود، برای ساده‌سازی مدل، روال ازدواج تنها برای زنانی بین سنین ۱۵ تا ۴۹ سال انجام خواهد شد.

در این روش سن ازدواج زنان از یک توزیع لاگ‌نرمال با میانگین average-of-marriage-age هم‌چنین مقدار سن ازدواج زنان در ابتدای شبیه‌سازی و یا در ابتدای تولد یک فرزند برای وی مشخص می‌شود. علت استفاده از توزیع لاگ‌نرمال آن است که توزیع سن ازدواج به دو توزیع نرمال و لاگ‌نرمال شبیه است. توزیع لاگ‌نرمال از صفر شروع می‌شود درحالی‌که توزیع نرمال می‌تواند اعداد منفی را نیز شامل شود درحالی‌که سن ازدواج نمی‌تواند منفی باشد. هم‌چنین توزیع سن ازدواج چوله به راست است و دارای عدم تقارن می‌باشد ولی توزیع نرمال متقارن بوده و توزیع لاگ‌نرمال نامتقارن است لذا به نظر می‌رسد استفاده از توزیع لاگ‌نرمال بهتر باشد. بدین منظور میانگین سن ازدواج زنان ۲۳ سال و انحراف معیار آن نیز ۱,۵ در نظر گرفته شد.

به‌عبارت‌دیگر

$$marriage - rnd(k.female) = LogNormal(average - of - marriage - age.x - marriage)$$

یعنی، احتمال ازدواج زن k ام برابر است با یک عدد تصادفی در توزیع لاگ‌نرمال با میانگین و انحراف معیار مشخص که این عدد در طول شبیه‌سازی ثابت است.

الگوریتم برای این روال به شرح زیر خواهد بود:

≠ ابتدای شبیه سازی: برای هر زن که ازدواج نکرده است یک عدد تصادفی با توزیع لاگ‌نرمال با پارامترهای مشخص شده به‌عنوان سن ازدواج تولید می‌شود.

≠ در هر سال:

i) برای دخترانی که متولد شده‌اند عدد تصادفی با توزیع لاگ نرمال با پارامترهای مشخص شده به‌عنوان سن ازدواج تولید می‌شود.

ii) هر زن که سن او بیشتر یا مساوی سن ازدواج تولید شده به‌وسیله توزیع لاگ‌نرمال باشد، مقدار متغیر *ازدواج*[1] برابر 1 قرار می‌گیرد و به معنای ازدواج کردن زن خواهد بود.

**روال فرزندآوری**: می‌توان در بین زنان ۱۵ تا ۴۹ سال با سه عامل سن مادر، تعداد فرزندان مادر و مقدار زمان سپری شده از آخرین بارداری تابعی برای احتمال فرزندآوری محاسبه نمود. می‌توان احتمال فرزندآوری مادران در این سن، با **num-child** تعداد فرزند و با **a** سال سن، و **ay** سال گذشته از آخرین بارداری را به‌صورت زیر نوشت:

$$birth-rnd\begin{pmatrix}a.num-child.s\\.ay\end{pmatrix} = \frac{\#births(a.number.age=0)}{\#alives(a.s.marriage.numchild)} * Evo-birth^{2}$$

$$marrige=true,\ \ s=female\ ,number=num-child+1, ay\ !=0$$

که در آن:

birth-rnd(a,num-child,s,) احتمال فرزند آوری مادری a ساله با تعداد فرزند num-child است.

# births(a,number,age=0) تعداد آخرین فرزندان متولد شده از مادران a ساله است که رتبه آن‌ها در خانواده یکی بیشتر از تعداد فرزندان مادر باشد.

# alives(a,s,marriage,numchild) تعداد مادران a ساله دارای num-child فرزند است.

در این روال مادر فقط می‌تواند تنها یک‌بار در سال فرزنددار شود.

---

1- Marriage
2- Evolution of Birth rate

Evo-birth ضریب تعدیل همانند ضریب تعدیل روال مرگ است که بـه روش رگرسـیون خطی محاسبه خواهد شد.

الگوریتم کلی این روال برابر است با:

۱. *تعداد افراد با سن* a *و جنس زن و ازدواج کرده که تعداد فرزندی آن‌ها* num-child *باشد و حداقل سه سال از آخرین زایمان گذشته باشد، محاسبه شود.*

۲. *برای هر فرد با ویژگی‌های بالا:*

≠ *یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت بین ۰ تا ۱ تولید می‌شود.*

≠ *اگر عدد تصادفی از* $\mathbf{birth - rnd(a, num - child, s,)}$ *کوچک‌تر باشد، این یک فرزند تولید کند.*

≠*ویژگی‌های فرزند مشخص شود. (سن، جنسیت، سن مادر، رتبه در خانواده)*

۳. *تعداد افراد متولد شده محاسبه شود.*

۴. Birth-rate *محاسبه شود.*

۵. *احتمال فرزندآوری برای زنان متأهل با سن* a-1 *و جنس زن که دارای* num-child *فرزند است محاسبه شود.*

۶. *برای هر زن متأهل با سن* a-1 *و جنس زن که دارای* num-child *احتمال فرزندآوری در سال آینده محاسبه شود.*

۷. Evo-birth *سال بعد محاسبه گردد.*

نکته مهم تعیین جنسیت فرزند در این روال آن است که می‌تواند به دو روش انجام شود:

۱. *روش نظری: در این روش احتمال آن‌که فرزند دختر یا پسر باشد برابر* 0.5 *است.*

۲. *روش تجربی: نسبت زنان به مردان در جامعه مبنایی برای انتخاب جنسیت است.*

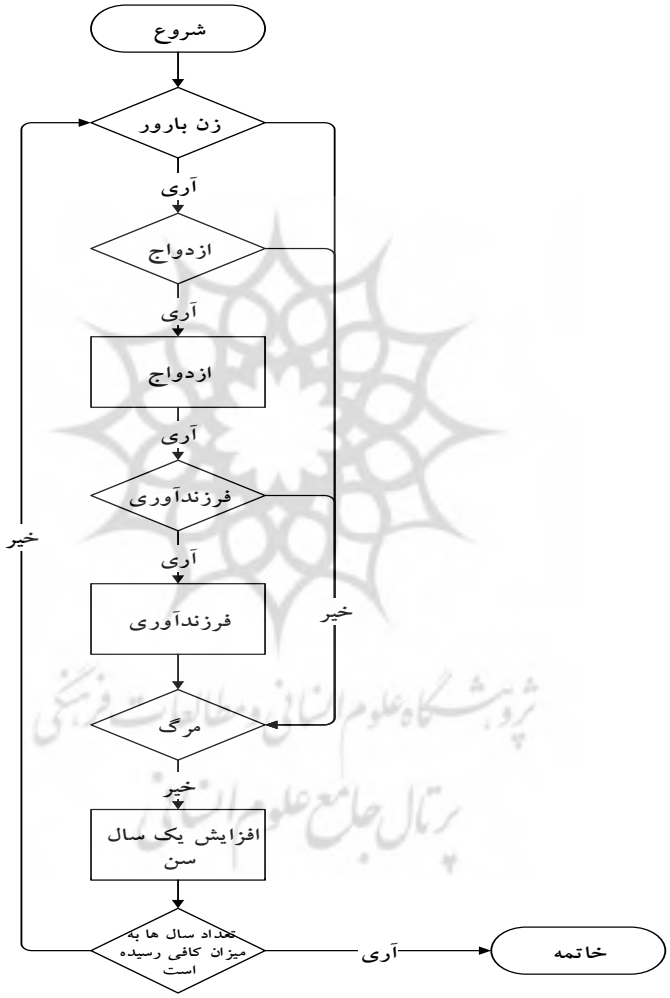
در این شبیه‌سازی از روش تجربی استفاده شده است چرا که این روش بازنمایی بهتری از واقعیت دارد هرچند امکان شبیه‌سازی با روش نظری نیز در این مدل‌سازی وجود دارد.

در این مدل ارتباطات بین عوامل تنها بین عواملی است که سن آن‌ها یک سال اختلاف داشته باشد، یعنی فراوانی رویداد یک روال مبنایی برای محاسبه احتمال سن کم‌تر است.

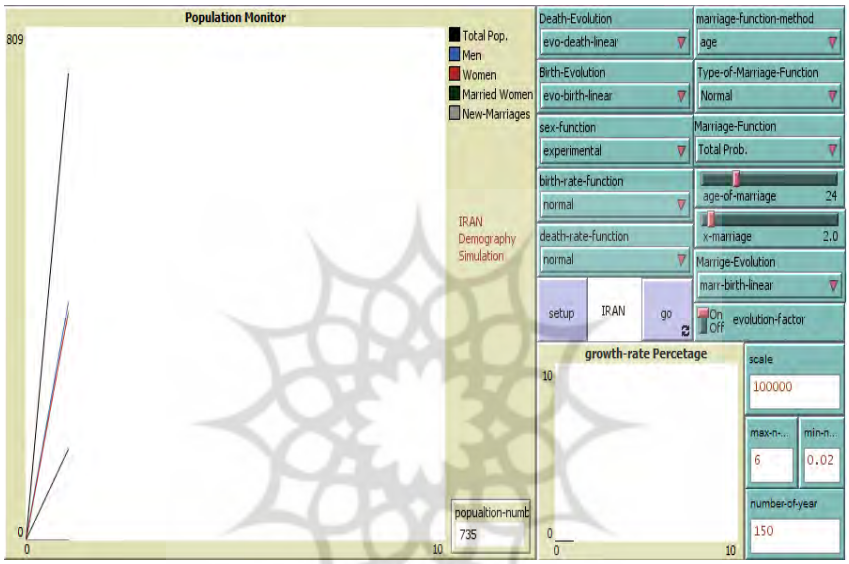
**جهان شبیه‌سازی**[1]: جهان شبیه‌سازی در این مدل مجموعه‌ای از عوامل است که به‌صـورت

1- World of Simulation

تصادفی اعدادی را محاسبه کرده، می‌میرند، ازدواج کرده و یا فرزندآوری را انجام مـی‌دهنـد. جمعیت اولیه نیز مطابق با آمار رسمی کشور در سال ۱۳۹۰ لحاظ شده است. واحـد زمـان در این مدل سال است و مدل در هر سال تمام این محاسبات را انجام می‌دهد. الگوریتم کلی ایـن مدل در شکل زیر قابل‌مشاهده است. لازم به ذکر است اجرای این الگوریتم نیازمند ایجاد یک جمعیت اولیه می‌باشد.



برای اجرای الگوریتم بالا، کدنویسی با زبان نت‌لوگو انجام شده است. نمایی از نرم‌افـزار طراحی شده توسط مؤلفین در شکل ۲ قابل‌رؤیت است. لازم به ذکر است که این مدل از نوع مدل‌های نیمه ساختاری است و توان پیش‌بینی آن حداکثر ۱۵ سال خواهد بود اما تا ۵۰ سـال می‌تواند روند کلی را نشان دهد. هم‌چنین نوع این مدل ازجمله مدل‌هـای گسسـته –پیشـامد[1] تلقی می‌شود.




**شکل ۲. نمایی از نرم‌افزار شبیه‌سازی**

**جمعیت اولیه:** جمعیت اولیه با استفاده از داده‌های سرشماری عمومی نفـوس و مسـکن سـال ۱۳۹۰، آمار فوت و ولادت سازمان ثبت‌احوال مربوط به سال ۱۳۹۰ و هم‌چنـین تفکیـک آمـار سن مادران و تعداد فرزندان آن‌ها در سال ۱۳۹۰ ایجاد شده است. داده‌ها برای دو دسته عامل اشاره شده به‌صورت زیر ایجاد شده‌اند:

۱. مردان و زنانی که سن آن‌هـا بـین ۱۵ تـا ۴۹ سـال نیسـت، بـرای ایـن دسـته از عوامـل ویژگی‌های جنسیت، سن، تعداد و احتمال مرگ در نظر گرفته شده است. بقیه مشخصات عامل نیز برای این گروه بدون مقدار در نظر گرفته شده است.

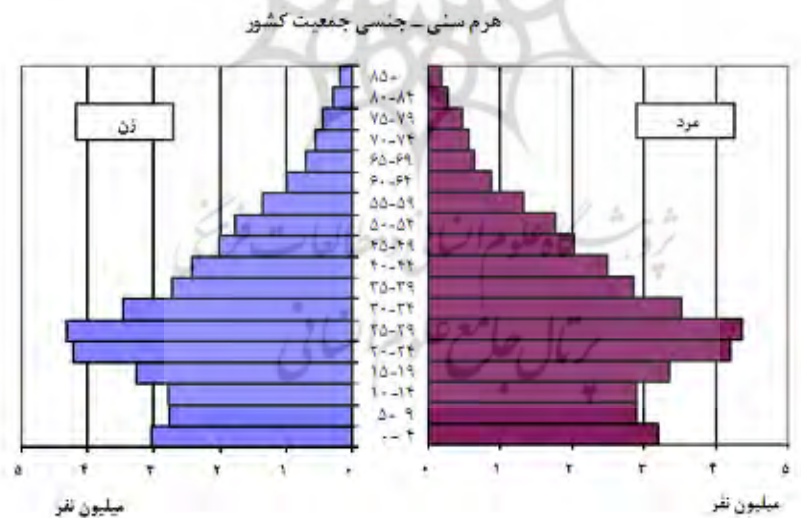
1- Discrete-Event Time Simulation

۲. زنان دارای سن بین ۱۵ تا ۴۹ سال: برای این دسته از عوامل ویژگی‌های جنس، سن، تعداد، احتمال مرگ، ازدواج، احتمال ازدواج، تعداد فرزند و احتمال فرزندآوری در نظر گرفته شده است.

با ایجاد جمعیت اولیه داده‌های سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۰ به‌صورت بالا امکان اجرای شبیه‌سازی فراهم شده است. برای مقیاس کردن[1] مدل از فرمول زیر استفاده شده است:

*create-agents round ( agents(a,s) / scale )*

یعنی برای ایجاد جمعیت اولیه تعداد هر دسته دارای سن a و جنس s تقسیم بر عدد مقیاس شده و گرد می‌شود. لذا ممکن است در مقیاس‌های متفاوت برخی از دسته‌های سنی هیچ نماینده‌ای نداشته باشند. به‌طور مثال اگر عدد مقیاس روی ۱۰۰,۰۰۰ تنظیم شود، تعداد عوامل ۷۳۵ خواهد بود که نشانگر حذف برخی از گروه‌های عاملی است. در این تحقیق این عدد روی ۱۰,۰۰۰ تنظیم شده است که تعداد عوامل ۷۵۵۸ نفر خواهد بود. هرم سنی کشور در سال ۱۳۹۰ برای نمایش در شکل ۳ آمده است.




**شکل ۳. هرم جمعیتی ایران در سال ۱۳۹۰**

1 Scalling

**یافته‌ها**

در این قسمت با استفاده از اعداد تولید شده توسط شبیه‌سازی برخی روندهای جمعیتی نمایش داده خواهد شد. قبل از آن لازم است تا روایی مدل بررسی شود. در مدل‌های نیمه ساختاریافته که این مقاله نیز نوعی از این مدل‌ها است، می‌توان دو نوع ارزیابی را برای رفتار مدل ایجاد کرد.

استفاده از ادبیات موضوع و تحقیقات مشابه: تحقیقی مشابه این پژوهش در کشور پرتغال(داسیلوا فرناندز ۲۰۱۵) انجام شده است که طی مکاتبات انجام شده با محقق، مدل‌سازی تحقیق به تأیید ایشان رسید.

۱. جمعیت سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ را می‌توان از روی آمار فوت و تولد در هر سال و اضافه کردن خالص افزایش جمعیت به جمعیت سال ۹۰ تخمین زد و با اعداد شبیه‌سازی شده مقایسه نمود.
۲. در مدل‌های جمعیتی به دلیل آن‌که مدل نسبت به ساختار قبلی خود وابستگی دارد و تحت تأثیر رفتار گذشته خود قرار دارند، مدل‌های سری زمانی برای بازه‌های زمانی کوتاه روایی دارند که در قسمت ادبیات تحقیق بدان اشاره شد. برای روایی سنجی، مدل نباید رفتاری تولید کند که با رفتار تولید شده در سری‌های زمانی واگرایی داشته باشد.

برای محاسبه چنین روایی می‌توان از میانگین مجذور خطا استفاده نمود. مرکز آمار ایران چهار نوع سری زمانی را با سناریوهای افزایش، کاهش، تثبیت نرخ باروری منتشر کرده است، که برای روایی سنجی باید داده‌های شبیه‌سازی با هر یک از این سری‌های زمانی به‌صورت جداگانه بررسی شود.

جدول ۲ مقدار شاخص میانگین مجذور خطا را برای داده‌های شبیه‌سازی در مقایسه با داده‌های تخمینی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ و داده‌های چهار سری زمانی محاسبه کرده و به تصویر کشیده است. همان‌طور که مشخص است، بیش‌ترین تطبیق با فرض باروری ۱,۸ مطابقت دارد. علت این‌که این روش با هیچ‌یک از چهار سری زمانی به‌صورت دقیق منطبق نمی‌شود آن است که کلیه پارامترهای جمعیتی ازجمله نرخ رشد، نرخ باروری و دیگر متغیرها در هر سال شبیه‌سازی به‌روز شده و برای محاسبه جمعیت در سال جدید، از پارامترهای جدید

استفاده می‌شود اما به‌صورت میانگین توانسته است خطای کمی را ایجاد کند که با توجه به این نکته به نظر می‌رسد پیش‌بینی انجام توسط مدل مطلوب بوده است.

**جدول ۲. روایی سنجی مدل**

| سال | پیش‌بینی شبیه‌سازی | باروری ۱٫۳ فرزند | مجذور خطا | باروری ۱٫۸ فرزند | مجذور خطا | باروری ۲٫۱ فرزند | مجذور خطا | باروری ۲٫۵ فرزند | مجذور خطا |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۳۹۰ | ۷۵٫۵۸ | ۷۵٫۵۸ | ۰٫۰۰ | ۷۵٫۵۸ | ۰٫۰۰ | ۷۵٫۵۸ | ۰٫۰۰ | ۷۵٫۵۸ | ۰٫۰۰ |
| ۱۳۹۱ | ۷۶٫۴۷ | ۷۵٫۹۰ | ۰٫۳۲ | ۷۵٫۹۰ | ۰٫۳۲ | ۷۵٫۹۰ | ۰٫۳۲ | ۷۵٫۹۰ | ۰٫۳۲ |
| ۱۳۹۲ | ۷۷٫۳۸ | ۷۶٫۹۵ | ۰٫۱۸ | ۷۶٫۹۵ | ۰٫۱۸ | ۷۶٫۹۵ | ۰٫۱۸ | ۷۶٫۹۵ | ۰٫۱۸ |
| ۱۳۹۳ | ۷۸٫۱۳ | ۷۸٫۲۵ | ۰٫۰۲ | ۷۸٫۲۵ | ۰٫۰۲ | ۷۸٫۲۵ | ۰٫۰۲ | ۷۸٫۲۵ | ۰٫۰۲ |
| ۱۳۹۴ | ۷۹٫۰۹ | ۷۹٫۳۴ | ۰٫۰۶ | ۷۹٫۳۴ | ۰٫۰۶ | ۷۹٫۳۴ | ۰٫۰۶ | ۷۹٫۳۴ | ۰٫۰۶ |
| ۱۳۹۵ | ۷۹٫۹۱ | ۷۹٫۴۰ | ۰٫۲۶ | ۷۹٫۶۰ | ۰٫۱۰ | ۷۹٫۷۰ | ۰٫۰۴ | ۹۷٫۸۰ | ۳۲۰٫۰۵ |
| ۱۴۰۰ | ۸۳٫۳۸ | ۸۳٫۰۰ | ۰٫۱۴ | ۸۳٫۴۰ | ۰٫۰۰ | ۸۳٫۷۰ | ۰٫۱۰ | ۸۴٫۱۰ | ۰٫۵۲ |
| ۱۴۰۵ | ۸۷٫۱۷ | ۸۵٫۵۰ | ۲٫۷۹ | ۸۶٫۴۰ | ۰٫۵۹ | ۸۷٫۱۰ | ۰٫۰۰ | ۸۷٫۹۰ | ۰٫۵۳ |
| ۱۴۱۰ | ۸۹٫۷۴ | ۸۷٫۳۰ | ۵٫۹۵ | ۸۸٫۸۰ | ۰٫۸۸ | ۸۹٫۹۰ | ۰٫۰۳ | ۹۱٫۳۰ | ۲٫۴۳ |
| ۱۴۱۵ | ۹۰٫۸۶ | ۸۸٫۵۰ | ۵٫۵۷ | ۹۰٫۸۰ | ۰٫۰۰ | ۹۲٫۶۰ | ۳٫۰۳ | ۹۴٫۶۰ | ۱۳٫۹۹ |
| ۱۴۲۰ | ۹۱٫۱۵ | ۸۹٫۱۰ | ۴٫۲۰ | ۹۲٫۴۰ | ۱٫۵۶ | ۹۵٫۰۰ | ۱۴٫۸۲ | ۹۸٫۰۰ | ۴۶٫۹۲ |
| ۱۴۲۵ | ۹۱٫۳۴ | ۸۸٫۹۰ | ۵٫۹۵ | ۹۳٫۴۰ | ۴٫۲۴ | ۹۷٫۰۰ | ۳۲٫۰۴ | ۱۰۱٫۲۰ | ۹۷٫۲۲ |
| ۱۴۳۰ | ۹۲٫۰۷ | ۸۷٫۶۰ | ۱۹٫۹۸ | ۹۳٫۵۰ | ۲٫۰۴ | ۹۸٫۴۰ | ۴۰٫۰۷ | ۱۰۴٫۲۰ | ۱۴۷٫۱۴ |
| مجموع مجذور خطا | | | ۴۵٫۴۴ | | ۱۰٫۰۱ | | ۹۰٫۷۲ | | ۶۲۹٫۳۹ |
| میانگین مجذور خطا (**MSE**) | | | ۳٫۵۰ | | ۰٫۷۷ | | ۶٫۹۸ | | ۴۸٫۴۱ |

برای اطمینان از عدم تفاوت معنادار بین دو پیش‌بینی شبیه‌سازی و سناریو با نرخ باروری ۱٫۸ می‌توان از آزمون من‌ویتنی استفاده نمود. نتایج اجرای این آزمون با استفاده از نرم‌افزار SPSS به صورت جدول ۳ است. در این آزمون فرض صفر عدم تفاوت معنادار دو سری زمانی است و فرض یک تفاوت معنادار بین این دو سری خواهد بود.

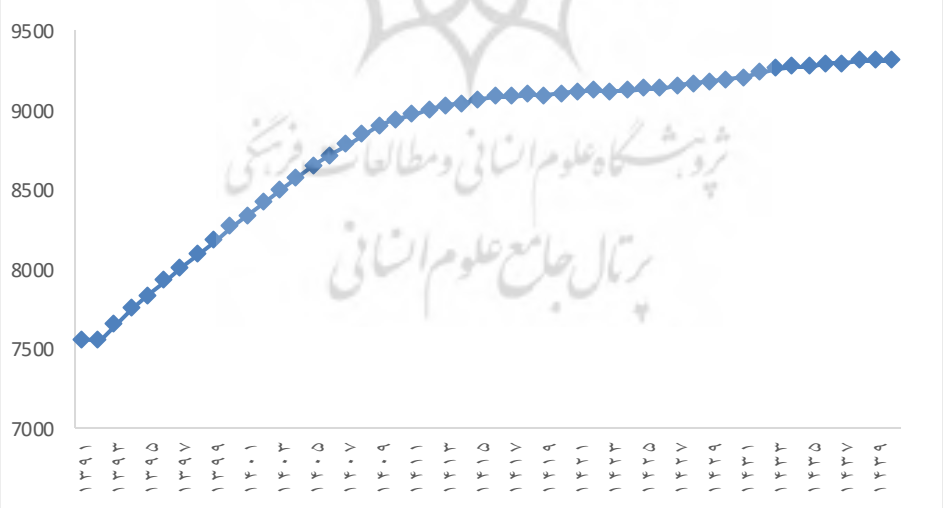
جدول ۳. نتایج آزمون آماری مقایسه سری‌های زمانی

| | |
|---|---|
| Mann-Whitney U | ۸۱,۵۰۰ |
| Wilcoxon W | ۱۷۲,۵۰۰ |
| Z | -۰,۱۵۴ |
| P-Value (2-tailed) | ۰,۸۷۸ |
| Exact P-Value [2*(1-tailed Sig.)] | ۸۸۰° |

با توجه به مقدار P-value که بیش‌تر از ۰,۰۲۵ می‌باشد، فرض صفر رد نشده است، لـذا بین این دو سری زمانی تفاوت معناداری وجود ندارد.

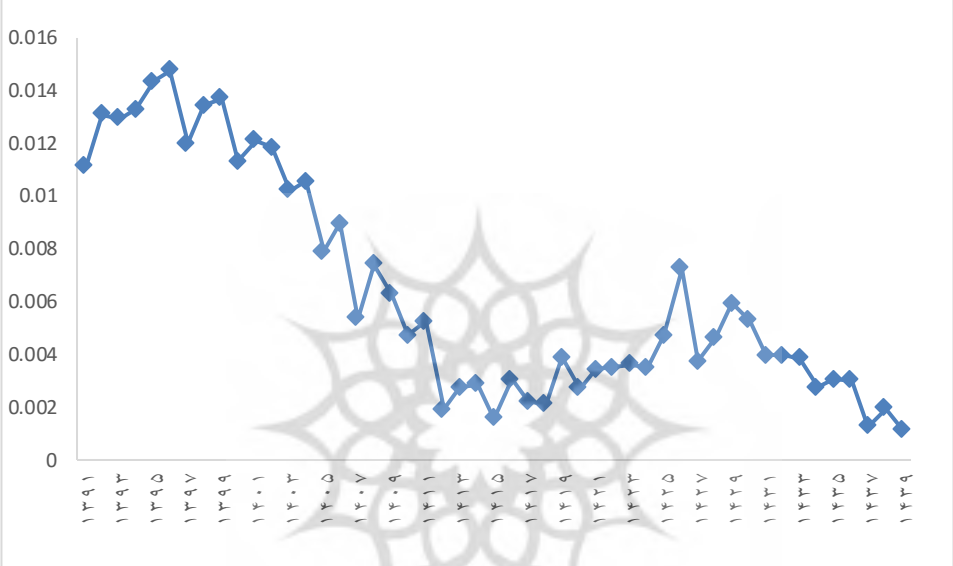
## اندازه و نرخ رشد جمعیت

همان‌طور که در نمودار یک مشخص است، جمعیت از سـال ۱۳۹۰ تـا ۱۴۳۹ آینـده افـزایش خواهد داشت، اما در انتهای سال ۱۴۱۰ شیب رشد آن کاهش می‌یابد. جمعیت ایران در سـال ۱۴۳۹ برابر با ۹۳/۱۴۰/۰۰۰ نفر خواهد بود. این رقم در سال ۱۴۱۰ یعنی سالی که شیب رشد جمعیت کاهش می‌یابد برابر با ۸۹/۷۴۰/۰۰۰ نفر خواهد بود.




نمودار ۱. تغییرات اندازه جمعیت تا ۵۰ سال آینده

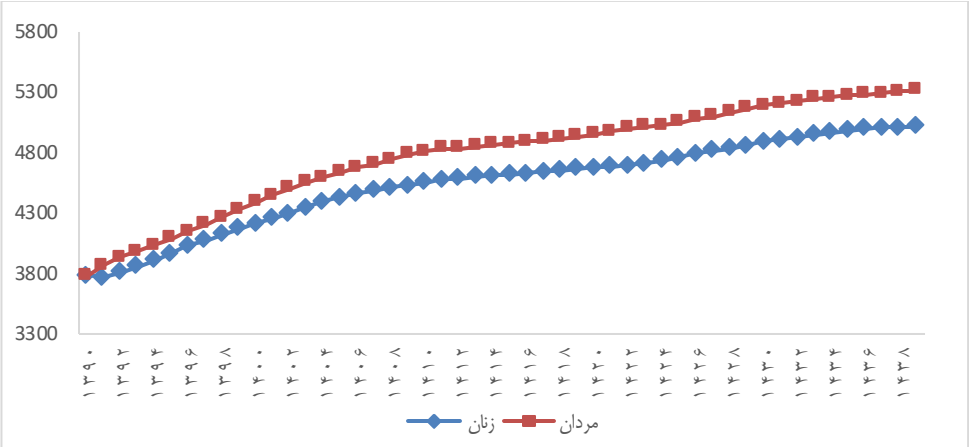
کاهش نرخ رشد جمعیت به معنی کاهش جمعیت نیست بلکه به معنای آن است که شدت رشد جمعیت کاهش خواهد یافت؛ نکته‌ای که در نمودار زیر نیز با به تصویر کشیدن تغییرات نرخ رشد جمعیت نشان داده شده است. نرخ رشد جمعیت در سال ۱۴۱۰ رقمی برابر ۰,۴ درصد است. این رقم در سال ۱۴۰۰ برابر ۱,۲ درصد می‌باشد.




**نمودار ۲. تغییرات نرخ رشد سالیانه جمعیت تا ۵۰ سال آینده**

## جمعیت مردان و زنان

جمعیت مردان با اختلاف بسیار کمی از جمعیت زنان بیش‌تر است و می‌توان نسبت جمعیت مردان به کل جمعیت را در طول ۵۰ سال شبیه‌سازی ۵۱ درصد در نظر گرفت. این عدد میانگین حاصل تقسیم جمعیت مردان به کل جمعیت در طول ۵۰ سال شبیه‌سازی است. هم‌چنین در مدل‌سازی به روش‌های تجربی و نظری در مورد تعیین جنسیت نیز تفاوت معناداری بین این دو روش مشاهده نشد.

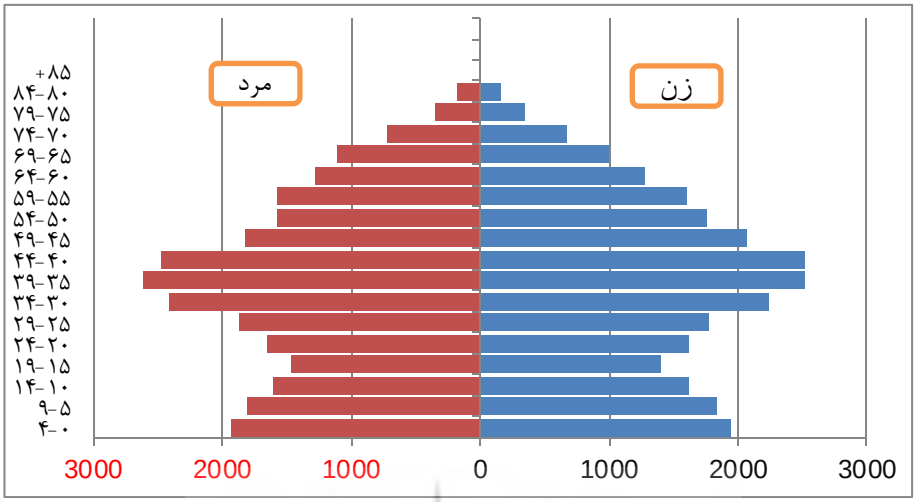



**نمودار ۳. تغییرات جمعیت مردان و زنان تا ۵۰ سال آینده**

## ساختار جمعیتی

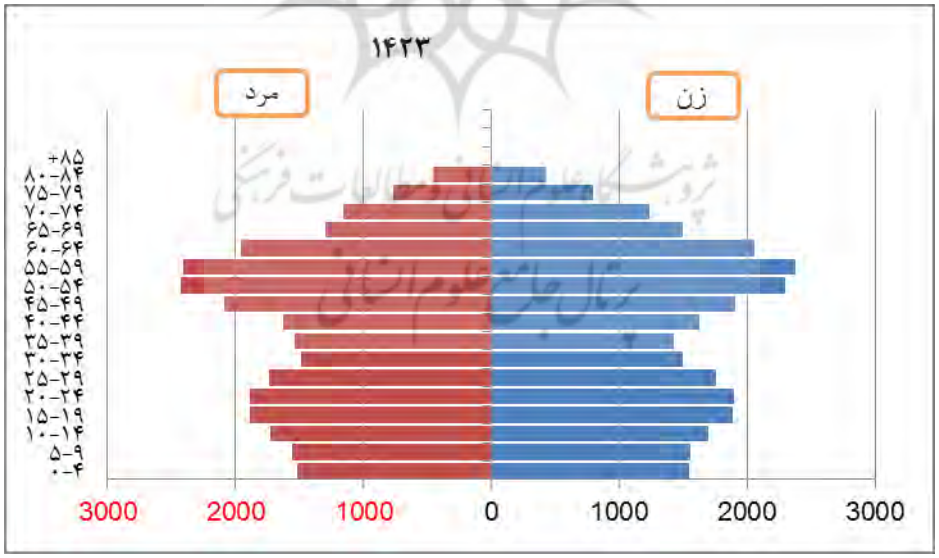
جمعیت ایران تا ۵۰ سال آینده در حال افزایش است. اما این افزایش چگونه افزایشی است و چه ترکیب سنی در کشور غالب خواهد بود؟ نکته اینجاست با ادامه این روند افزایشی، در سال ۱۴۲۵، ایران دچار سالخوردگی جمعیتی خواهد بود. علت سالخوردگی جمعیت به سنین سالمندی رسیدن متولیدن دهه ۶۰ و به دنبال آن کاهش باروری و افزایش امید زندگی است. هم‌چنین نرخ رشد جمعیت در حال کاهش است. این بدان معناست که بعد از سالخوردگی جمعیت ممکن است جمعیت جوان کشور جمعیتی به اندازه کافی نباشد و جمعیت کشور با کاهش مواجه شود. به‌عبارت‌دیگر عمده جمعیت ایران را سالمندان تشکیل خواهند داد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی




**نمودار ۴. هرم جمعیتی ایران در سال ۱۴۰۴**

همان‌طور که در نمودار ۷ نیز مشخص است ایران بعد از حدود ۳۵ سال سالخورده خواهد شد. این وضعیت در ساختار سنی که برای سال ۱۴۲۳ ترسیم شده است، مشاهده می‌شود. در این سال ۲۱ درصد از افراد جامعه بالای ۶۰ سال و ۱۵درصد جمعیت ایران بالای ۶۵ سال سن دارند.




**نمودار ۵. ساختار جمعیتی ایران در سال ۱۴۲۳**

## تأثیر سن ازدواج بر تغییرات جمعیتی

یکی از اشکالاتی که در مقدمه برای دیگر مطالعات جمعیت‌شناختی ارائه شده است، عدم امکان تحلیل سناریو است. تحلیل سناریو به معنای امکان تغییر متغیرهای مختلف مدل و مشاهده رفتار دیگر متغیرها در طول زمان است.

یکی از موضوعات مناسب برای تحلیل سناریو تأثیر سن ازدواج بر نرخ رشد جمعیت است. جیانگ و همکاران (۲۰۱۴) طی مطالعه‌ای در کشور چین دریافتند، سن ازدواج بر تعداد و ترکیب جمعیتی تأثیر داشته و این سن به دلیل تحصیلات و موقعیت‌های شغلی افزایش یافته است. این پژوهشگران پیش‌بینی کرده‌اند سن ازدواج در چین تا ۲۹ سال در ۲۰۵۰ افزایش می‌یابد و سپس کاهش می‌یابد. در این قسمت تأثیر سن ازدواج بر نرخ رشد جمعیت با تغییر میانگین توزیع سن ازدواج زنان از ۱۸ تا۳۰ سال طی دو دوره ۱۵ و ۵۰ سال بررسی شده است.

سن ازدواج در کشور تا ۱۵سال آینده با نرخ رشد جمعیت همبستگی معناداری ندارد. این بدان معناست که افزایش یا کاهش سن ازدواج تأثیری در روند افزایشی یا کاهشی کشور طی ۱۵ سال آینده ندارد. اما تأثیر سن ازدواج برای ۵۰ سال آینده کمی متفاوت است. در طی پنجاه سال آینده ضریب همبستگی نرخ رشد و سن ازدواج برابر ۰٫۹۶- است. این بدان معنی است که رشد جمعیت کشور در طی پنجاه سال آینده همبستگی بسیار زیادی با سن ازدواج دارد. ازآنجاکه نرخ رشد یک متغیر ظهور یابنده است و معمولاً آن را به‌عنوان متغیر وابسته در نظر می‌گیرند، می توان نتیجه گرفت این متغیر یعنی نرخ رشد جمعیت، وابستگی بسیار زیاد و معناداری به سن ازدواج دارد. حساسیت این موضوع زمانی دوچندان می‌شود که بعد از ۵۰ سال جمعیت کشور شیب صعودی خود را تا از دست داده و به‌آرامی به ثبات می‌رسد.

دلیل این امر را نیز تا حدودی می‌توان در ساختار سنی کشور جستجو کرد. در حال حاضر جمعیت بارور کشور را متولدین دهه شصت تشکیل داده‌اند و تا ۱۵ سال آینده این دسته از زنان توانایی باروری خود را از دست می‌دهند. بعد از این دوره، میزان باروری کشور تا حد زیادی تحت تأثیر سن ازدواج خواهد بود. دلیل افزایش جمعیت تا ۱۵ سال آینده در تمام سناریوهای ممکن به دلیل باروری متولدین دهه شصت است که بیش‌ترین گروه جمعیتی را تشکیل می‌دهند.

**جدول ۴. همبستگی بین نرخ رشد و سن ازدواج طی مقاطع ۱۵ و ۵۰ سال با استفاده از اعداد تولید شده توسط شبیه‌سازی**

| سن ازدواج | ۱۸ | ۲۰ | ۲۲ | ۲۴ | ۲۶ | ۲۸ | ۳۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میانگین نرخ رشد جمعیت در ۵۰ سال | ۰,۷۵ | ۰,۶۶ | ۰,۶۶ | ۰,۶۲ | ۰,۵۴ | ۰,۵۴ | ۰,۵۱ |
| انحراف معیار نرخ رشد جمعیت در ۵۰ سال | ۰,۳۶ | ۰,۳۵ | ۰,۴۰ | ۰,۴۲ | ۰,۴۴ | ۰,۴۹ | ۰,۵۱ |
| میانگین نرخ رشد جمعیت در ۱۵ سال | ۱,۲۸ | ۱,۱۶ | ۱,۲۷ | ۱,۲۶ | ۱,۲۲ | ۱,۲۹ | ۱,۲۷ |
| انحراف معیار نرخ رشد جمعیت در ۵۰ سال | ۰,۱۶ | ۰,۲۰ | ۰,۲۲ | ۰,۲۱ | ۰,۲۳ | ۰,۲۴ | ۰,۲۰ |
| | | | | | | | |
| همبستگی سن ازدواج و نرخ رشد جمعیت تا ۵۰ سال آینده | | | | | | | -۰,۹۶۵ |
| همبستگی سن ازدواج و نرخ رشد جمعیت تا ۱۵ سال آینده | | | | | | | -۰,۲۹۷ |

## بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق ابتدا روش‌های پیش‌بینی جمعیت مرور شد، سپس روش مدل‌سازی عامل بنیان ارائه شد و مبانی و کاربردهای آن به‌صورت مبسوط توضیح داده شد. پس از آن این روش مدل‌سازی در مسئله پیش‌بینی جمعیت سطح ملی به کار گرفته شد و اجزای مدل‌سازی و الگوریتم هر روال و الگوریتم کلی مدل ارائه شد. در قسمت بعد نتایج حاصل از تحقیق نیز ارائه شد.

در ابتدای مقاله مشکلاتی برای روش‌ها و مطالعات پیش‌بینی جمعیت برشمرده شده که شبیه‌سازی عامل‌بنیان توانست این مشکلات را تا حد زیادی برطرف نماید.

۱. **تحلیل سناریو**: این روش مدل‌سازی امکان تحلیل سناریو و تغییر پارامترهای اساسی مدل و مشاهده رفتار سیستم را نیز ایجاد کرده است. نمونه این تحلیل در جدول ۴ در تحلیل رابطه همبستگی سن ازدواج و نرخ رشد جمعیت نمایش داده شده که در این تحلیل سن ازدواج از ۱۸ تا ۳۰ سال تغییر کرد و تغییرات نرخ رشد جمعیت مشاهده شد. سپس یک تحلیل همبستگی میان سن ازدواج و نرخ رشد جمعیت انجام شد.

۲. **مدل‌سازی با اجزای نامتجانس**: متغیرهای مختلفی در مدل برای هر فرد وجود دارند که مقادیر آن برای هر فرد به‌صورت منحصربه‌فرد تولید شده است.

۳. **احتمالی بودن**: مقادیر متفاوت برای متغیرهای مختلف به‌وسیله تولید اعداد تصادفی از روی توزیع‌های آماری متفاوت تولید شده است.

۴. **عدم تبعیت صرف مدل از داده‌های تاریخی**: روش عامل بنیان روشی ساختاری است که

به‌صورت مبنایی از رفتار متغیرها در طول زمان تبعیت نمی‌کند بلکه در هر سال اعداد تصادفی جدیدی ساخته شده و رفتار متغیرها به‌عنوان خاصیتی ظهور کننده[1] ایجاد می‌شود.

اما برتری اصلی روش مدل‌سازی عامل بنیان در ایجاد یک سیستم مجازی تولید داده است. این روش یک سیستم شبه واقعی ایجاد می‌کند که می‌تواند اطلاعات سرشماری عمومی نفوس و مسکن، در ویژگی‌های ذکر شده، در هر سال و با هزینه صفر برای هر عامل پیش‌بینی کند. ایجاد سیستمی برای تولید داده این امکان را فراهم می‌کند که با انواع روش‌های تحلیلی بتوان داده‌های جمعیتی حاصل از این سیستم را بدون نیاز به جمع‌آوری داده تحلیل نمود که این امکان هزینه‌های اجرای طرح‌های پژوهشی در حوزه جمعیت را بسیار کاهش خواهد داد.

بعلاوه این روش به دلیل ماهیت آن تناسب مفهومی زیادی با مباحث اجتماعی ازجمله مباحث جمعیتی دارد که در جدول ۲ با دیگر روش‌ها مقایسه شده است. ازاین‌رو پیش‌بینی‌های ارائه شده می‌تواند مرجع روش‌های دیگر قرار گیرد. نکته دیگر این‌که این روش در پیش‌بینی متغیرهای سطح کلان سیستم، از داده‌های تولید شده توسط شبیه‌سازی در سطح خرد استفاده می‌کند. به‌طور مثال در پیش‌بینی اندازه جمعیت متولد شده و فوت شده در سیستم مشخص شده‌اند و از شمارش این موارد، اندازه جمعیت محاسبه می‌شود که خطای آماری را به حداقل می‌رساند. در مجموع می‌توان نقاط قوت این سبک از مدل‌سازی را موارد زیر دانست:

۱. مدل‌سازی اجزای نامتجانس
۲. مدل‌سازی تصادفی
۳. مدل‌سازی ساختاری
۴. امکان تحلیل سناریو
۵. ایجاد یک سیستم مجازی شبیه‌سازی داده‌های جمعیتی
۶. بیش‌ترین تناسب مفهومی و روشی با مسئله جمعیت
۷. مدل‌سازی سطح خرد سیستم

در نهایت، پیشنهادات زیر به‌منظور توسعه مدل ارائه می‌گردد:

۱. استفاده از عدد مقیاس کوچک‌تر به‌منظور افزایش اثر متغیرهای تصادفی.

---

1- Emergent Property

۲. ایجاد یک مدل ساختاری برای ۷۰ درصد جمعیت این مدل و اجرای همین مدل که نیمه ساختاری است برای ۳۰ درصد باقی‌مانده به‌منظور شناخت منطق کنشگران و رصد بلندمدت‌تر تغییرات جمعیت.

۳. مدل‌سازی روال‌های طلاق و ازدواج مجدد.

۴. استفاده از مدل سازی پویایی شناسی سیستم‌ها برای فرموله کردن محیط و منطق کنشگران در هر روال.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

## منابع

سرایی، حسن (۱۳۷۶). گذار جمعیتی ایران: ملاحظات مقدماتی. *فصلنامه علوم اجتماعی*، شماره ۹، صص ۱۸–۱.

سرایی، حسن (۱۳۹۴). بازتولید جمعیت ایران: وضع موجود و ملاحظاتی درباره سیاست‌گذاری. *فصلنامه علوم اجتماعی*، شماره ۶۸، صص ۳۵–۱.

عباسی‌شوازی، محمدجلال، و میمنت حسینی‌چاووشی (۱۳۹۲). تحولات و سیاست‌های جمعیتی اخیر جمعیتی در ایران: ضرورت تدوین سند جامع جمعیت، *نامه انجمن جمعیت شناسی ایران*، شماره ۱۳، صص ۱۱۷–۹۵.

Abbasi-Shavazi, M. J., P. McDonald, and M. Hossein Chavoshi (2009). *The Fertility Transition in Iran. Revolution and Reproduction*, Springer Press.

Alho, J. M. (1990). Stochastic Methods in Population Forecasting, *International Journal of forecasting*, *6*(4), 521-530.

Alho, J. M., and B. D. Spencer (1985). Uncertain Population Forecasting, *Journal of the American Statistical Association*, *80*(390): 306-314.

De Beer, J. (1989). Projecting Age-Specific Fertility Rates by Using Time-series Methods, *European Journal of Population/Revue européenne de Démographie*, *5*(4): 315-346.

Billari, F. C. (Ed.). (2006). *Agent-based computational modelling: applications in demography, social, economic and environmental sciences*, Taylor & Francis.

Boocock, S. S., E. O. Schild, and J. S. Coleman (1973). Simulation Games in Learning, *Simulation & Gaming*, *4*(2): 144-144.

Booth, H. (2006). Demographic Forecasting: 1980 to 2005 in Review, *International Journal of Forecasting*, *22*(3): 547-581.

Box, G. E., and G. M. Jenkins, (1976). *Time Series Analysis: Forecasting and Control*, Holden-Day.

Brass, W. (1974). Perspectives in Population Prediction: Illustrated by the Statistics of England and Wales, *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, Pp. 532-583.

Cohen, J. E. (1995). Population Growth and Earth's Human Carrying Capacity, *Science*, *269*, Pp. 341-346.

Da Silva F. R. (2015). An Agent-Based Approach of the Portuguese Population Projection and the Social Security Sustainability, *MSc em Engenharia Matemática* (FCUP).

Forrester, J. W. (1968). *Principles of Systems*: Cambridge, Mass., Wright Allen.

Gilbert, N., and K. Troitzsch (2005). *Simulation for the Social Scientist*, McGraw-Hill Education (UK).

Keyfitz, N. (1972). On Future Population, *Journal of the American Statistical Association 67*, Pp. 347-363.

Lutz, W., W. C. Sanderson, and S. Scherbov (1996). Probabilistic World Population Projections Based on Expert Opinion, *IIASA Working Paper*, IIASA.

Macal, C. M., and M. J. North (2008). Agent-based Modeling and Simulation: ABMS Examples, In *Simulation Conference, 2008. WSC*, IEEE.

Macal, C. M., and M. J. North, (2010). Tutorial on Agent-based Modelling and Simulation, *Journal of Simulation, 4*(3): 151-162.

Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems: A Primer*, Chelsea Green Publishing.

Jiang, Q., M. W. Feldman, and S. Li (2014). Marriage Squeeze, Never-married Proportion, and Mean Age at First Marriage in China, *Population Research and Policy Review 33*(2): 189-204.

Nikbakht, S. A., M. R. Alipour, M. Torkashvand, A. Rezayati Charan, and M. J. Davari (2016): Fertility Policy-Making in Iran-Presenting a policy Proposal by Using Social Simulation and Agent-based Modeling Approach, Presented at the *EPC conference*, Mainz, Germany.

North, M. J., and C. M. Macal (2007). *Managing Business Complexity: Discovering Strategic Solutions with Agent-based Modeling and Simulation*, Oxford University Press.

Pflaumer, P. (1992). Forecasting US Population Totals with the Box-Jenkins Approach, *International Journal of Forecasting*, *8*(3): 329-338.

Preston, S. H., P. Heuveline, and M. Guillot (2001). *Demography: Measuring and Modeling Population Processes*. Oxford: Blackwell Publishers.

Siebers, P. O., and U. Aickelin (2008). Introduction to Multi-agent Simulation, *Encyclopaedia of Decision Making and Decision Support Technologies*, Pp. 554-564,

Siegfried, R. (2014). *Modeling and Simulation of Complex Systems: A Framework for Efficient Agent-based Modeling and Simulation*, Springer.

Smith, S. K. (1997). Further thoughts on Simplicity and Complexity in Population Projection Models, *International journal of forecastin*, *13*(4): 557-565.

Smith, S. K., J. Tayman, and D. A. Swanson (2006). *State and Local Population Projections: Methodology and Analysis*. Springer Science & Business Media.

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World* (No. HD30. 2 S7835 2000).

Wang, Q., and J. D. Sterman (1985). A Disaggregate Population Model of China, *Simulation 45*(1): 7-14.

Wilson, T. (2011). A Review of Sub-regional Population Projection Methods. *Report to the Office of Economic and Statistical Research*, Queensland Centre for Population Research.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی