تحلیل مدل پویایی های جهان فارستر
و اجرای مجدد مدل با هدف پیش بینی های کلان

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی صنایع

گرایش مدیریت سیستم و بهره وری

مریم علیزاده جوبنی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر فرزاد حقیقی راد

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر سیاوش مریدی

شهریور ۱۳۹۳

تقدیم به مهربان فرشتگان زندگیم

پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

وظیفه خود می‌دانم سپاسگزار تمام آنهایی باشم کـه در ایـن دوره ارزشـمند بودنشـان و امیدشـان راهگشای من بود؛ خانواده و اساتید گرامی که همانند تمام روزهای گذشـته بـا صـبر و حوصـله در کنارم بودند.

اساتید عزیز و گرانقدر سازمان مدیریت صنعتی, به خصوص جناب آقای دکتر سعدی نژاد و جنـاب آقای دکتر حقیقی راد و جناب آقای دکتر مریدی که با تلاش‌های بی‌شائبه خـود نـه‌تنها در انجـام این پایان‌نامه بلکه در تمام دوره تحصیلم مرا یاری نمودند و بـه هنگـام نیـاز بـرای حـل مشـکلات اینجانب از هیچ کمکی دریغ نورزیدند. برای ایشان آرزوی سلامتی، موفقیت و سر بلندی را دارم.

چکیده

یکی از دغدغه های اساسی مدل سازان ارزیابی میزان اعتبار مدل و تطابق آن با واقعیت می باشد. مدل، تصویر ساده شده ای از یک سیستم واقعی است، به همین دلیل ارزیابی یا اعتبار سنجی مطلق یک مدل ممکن نیست. تکرار مجدد یک مدل بر اعتبارسنجی مدل موثر است، از این طریق است که تکرار کننده و توسعه دهنده مدل می توانند به بررسی مجدد مفروضات ساخته شده در مدل بپردازند. اعتبارسنجی فرآیندی است که طی آن مطابقت بین خروجی های مدل و اندازه گیری های دنیای واقعی، تعیین خواهد شد. در دنیای واقعی هیچ مدل معتبری وجود ندارد، زیرا تمام مدل ها چیزی کمتر از آن هدف یا سیستمی هستند که برای آن مدل شده اند. برای مثال میلیون ها نفر در جامعه حضور دارند که هر کدام تصوری از رئیس جمهور خود دارند، اما همانند اثر انگشت، تصورات دو نفر از این افراد شبیه به هم نیست. با تکرار مجدد یک مدل، اگر مدل تکرار شده خروجی های متفاوتی نسبت به مدل اصلی تولید کند، می توان محاسبه کرد که کدام خروجی ها تطابق بیشتری با داده های دنیای واقعی دارند. اگر خروجی های مدل تکرار شده نزدیک تر به داده های دنیای واقعی باشد، این بیان می کند که مدل تکرار شده، اعتبار بیشتری نسبت به مدل اصلی دارد. در این پژوهش با استفاده از تکرار مدل پویایی های جهان آقای فارستر[1] و روش پویایی سیستم ها و بهینه سازی ریاضی در محیط نرم افزارهای پاورسیم و ویژوال بیسیک اکسل، اعتبارسنجی این مدل مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: تحلیل مدل، اجرای مجدد مدل، پویایی های جهان فارستر

[1] World Dynamics of Forrester

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲-تعاریف ۳

۱-۲-۱- پویایی سیستم ها ۳

۱-۲-۲- جمعیت ۳

۱-۲-۳- آلودگی ۴

۱-۲-۴- سرمایه گذاری ۴

۱-۲-۵- غذا ۴

۱-۲-۶- کشاورزی ۴

۱-۳-پیامدهای افزایش جمعیت ۵

۱-۴-اهداف پروژه ۸

۱-۵-سوال های پروژه ۸

۱-۶-اهمیت و ضرورت پروژه ۸

۱-۷-نوع پروژه ۹

۱-۸-روش جمع آوری داده ها ۹

۱-۹-روش جمع آوری داده ها ۹

۱-۱۰-فرآیند اجرای پروژه ۱۰

فصل دوم: پیشینه پژوهش ۱۱

۲-۱- مقدمه ۱۲

۲-۲- مروری بر ادبیات موضوع ۱۲

۲-۲-۱- پویایی سیستم ها ۱۲

۲-۲-۲- خصوصیات سیستم های پیچیده ۱۳

۲-۲-۳- اجزای مدل های پویایی سیستم ها ۱۷

۲-۲-۳-۱- نمودار علت – معلولی ۱۷

۲-۲-۳-۲- حلقه های علی ۱۸

۲-۲-۳-۲-۱- حلقه های تقویت کننده ۱۹

۲-۲-۳-۲-۲- حلقه های تعادلی ۱۹
۲-۲-۳-۲-۳- نمودارهای جریان ۱۹
۲-۲-۳-۲-۳-۱- متغیرهای حالت ۲۰
۲-۲-۳-۲-۳-۲- متغیرهای نرخ ۲۰
۲-۲-۳-۲-۳-۳- متغیرهای اسمی ۲۱

فصل سوم: توسعه، اصلاح و اعتبارسنجی مدل ۲۵
۳-۱- مقدمه ۲۶
۳-۲- حرکت به سوی تعادل ۲۶
۳-۳- مدل های ذهنی سیستم های اجتماعی ۳۱
۳-۴- مدل های کامپیوتری سیستم های اجتماعی ۳۱
۳-۵- حلقه جمعیت ۳۲
۳-۶- حلقه سرمایه ۳۳
۳-۷- حلقه آلودگی ۳۴
۳-۸- کنترل جمعیت از طریق افزایش ازدحام ۳۵
۳-۹- کنترل جمعیت از طریق تامین غذا ۳۶
۳-۱۰- کنترل جمعیت از طریق آلودگی ۳۷
۳-۱۱- کنترل جمعیت از طریق منابع طبیعی ۳۷
۳-۱۲- توضیح یک به یک اجزای مدل ۴۰
۳-۱۲-۱- جمعیت ۴۰
۳-۱۲-۲- نرخ تولد ۴۰
۳-۱۲-۳- ضریب تعدیل نرخ تولد با توجه به مایحتاج استاندارد زندگی ۴۱
۳-۱۲-۴- مایحتاج استاندارد زندگی ۴۳
۳-۱۲-۵- نسبت سرمایه گذاری موثر ۴۳
۳-۱۲-۶- ضریب استخراج منابع طبیعی ۴۴
۳-۱۲-۷- بخشی از منابع طبیعی که باقی مانده است ۴۵
۳-۱۲-۸- منابع طبیعی ۴۵
۳-۱۲-۹- نرخ استفاده از منابع طبیعی ۴۶

۳-۱۲-۱۰- نرخ مرگ و میر ۴۶
۳-۱۲-۱۱- ضریب تعدیل نرخ مرگ و میر متاثر از تغییرات مایحتاج زندگی..... ۴۶
۳-۱۲-۱۲- ضریب تعدیل گر نرخ مرگ و میر متاثر از آلودگی..... ۴۸
۳-۱۲-۱۳- ضریب تعدیل گر نرخ مرگ و میر متاثر از سطح مواد غذایی ۴۹
۳-۱۲-۱۴- ضریب تعدیل گر نرخ مرگ و میر متاثر از تراکم جمعیت..... ۴۹
۳-۱۲-۱۵- نسبت ازدحام..... ۵۰
۳-۱۲-۱۶- ضریب تعدیل گر نرخ تولد متاثر از ازدحام جمعیت..... ۵۱
۳-۱۲-۱۷- ضریب تعدیل گر نرخ تولد متاثر از غذا..... ۵۱
۳-۱۲-۱۸- ضریب تعدیل گر نرخ تولد متاثر از آلودگی ۵۲
۳-۱۲-۱۹- نسبت غذا..... ۵۳
۳-۱۲-۲۰- ضریب تعدیل گر غذا متاثر از ازدحام..... ۵۴
۳-۱۲-۲۱- غذای قابل حصول از طریق سرمایه گذاری ۵۴
۳-۱۲-۲۲- نسبت سرمایه گذاری در بخش کشاورزی..... ۵۵
۳-۱۲-۲۳- نسبت سرمایه گذاری..... ۵۶
۳-۱۲-۲۴- سرمایه گذاری کل..... ۵۶
۳-۱۲-۲۵- نرخ تولید سرمایه..... ۵۶
۳-۱۲-۲۶- ضریب تعدیل گر سرمایه گذاری ۵۷
۳-۱۲-۲۷- نرخ از بین رفتن سرمایه..... ۵۸
۳-۱۲-۲۸- ضریب تعدیل غذا متاثر از آلودگی ۵۸
۳-۱۲-۲۹- نسبت آلودگی ۵۹
۳-۱۲-۳۰- آلودگی..... ۵۹
۳-۱۲-۳۱- نرخ تولید آلودگی ۵۹
۳-۱۲-۳۲- ضریب تعدیل گر آلودگی متاثر از میزان سرمایه گذاری..... ۶۰
۳-۱۲-۳۳- جذب آلودگی ۶۱
۳-۱۲-۳۴- زمان مورد نیاز برای جذب آلودگی ۶۱
۳-۱۲-۳۵- بخشی از سرمایه که در بخش کشاورزی سرمایه گذاری می شود ۶۱
۳-۱۲-۳۶- قسمتی از سرمایه که با توجه به نسبت غذا تعیین شده است..... ۶۳
۳-۱۲-۳۷- کیفیت زندگی ۶۴

۳-۱۲-۳۸- کیفیت زندگی متاثر از سطح مایحتاج زندگی ۶۴
۳-۱۲-۳۹- کیفیت زندگی متاثر از ازدحام جمعیت ۶۵
۳-۱۲-۴۰- کیفیت زندگی متاثر از سطح غذا ۶۶
۳-۱۲-۴۱- کیفیت زندگی متاثر از آلودگی ۶۶
۳-۱۲-۴۲- ضریب تعدیل گر نرخ استفاده از منابع طبیعی متاثر از سطح مایحتاج استاندارد زندگی ۶۷
۳-۱۲-۴۳- میزان سرمایه گذاری بر اساس کیفیت زندگی ۶۸
۳-۱۳- خروجی مدل پویایی های جهان فارستر ۷۰
۳-۱۳-۱- مقدمه ۷۰
۳-۱۳-۲- خروجی مدل برای متغیر حالت جمعیت ۷۰
۳-۱۳-۳- خروجی مدل برای متغیر حالت آلودگی ۷۳
۳-۱۳-۴- خروجی مدل برای متغیر حالت منابع طبیعی ۷۶
۳-۱۳-۵- خروجی مدل برای متغیر حالت سرمایه گذاری ۸۰
۳-۱۳-۶- خروجی مدل برای متغیر حالت کسری از سرمایه در بخش کشاورزی. ۸۳
۳-۱۳-۷- تطبیق خروجی های مدل با داده های دنیای واقعی ۸۶
۳-۱۳-۷-۱- مقدمه ۸۶
۳-۱۳-۷-۲- مقایسه مقادیر جمعیت با داده های دنیای واقعی ۸۶
۳-۱۳-۷-۳- محاسبه خطای مدل ۸۸

فصل چهارم: نتیجه، تحلیل و پیش بینی ۹۱
۴-۱- مقدمه ۹۲
۴-۲- تحلیل خطای موجود در مدل ۹۲
۴-۳- نتیجه گیری ۹۴
۴-۴- اجرای مجدد مدل پویایی های جهان فارستر ۹۶
۴-۵- تعیین شاخص برای دیگر متغیرهای حالت مدل ۹۹
۴-۵-۱- شاخص مربوط به منابع طبیعی ۹۹
۴-۵-۲- شاخص مربوط به آلودگی ۱۰۳
۴-۵-۳- شاخص مربوط به سرمایه گذاری کل ۱۰۶

۴-۵-۴- شاخص مربوط به سرمایه گذاری در کشاورزی ۱۱۰
۴-۷- محدودیت های رشد ۱۱۴
۴-۷-۱- کمبود منابع طبیعی ۱۱۴
۴-۷-۲- بحران آلودگی ۱۱۹
۴-۷-۳- ازدحام ۱۲۲
۴-۷-۴- کمبود غذا ۱۲۵

فهرست منابع ۱۲۹
پیوست ۱۳۱

فهرست اشکال

شکل (۲-۱) نمونه نمودارهای علت – معلولی ۱۷
شکل (۲-۲) نمودار جریان مربوط به تغییرات جمعیت ۲۱
شکل (۳-۱) نسبت غذا در مقابل زمین کشاورزی به ازای هر نفر ۲۷
شکل (۳-۲) میزان نسبت غذا طی ۷۰۰ سال ۲۹
شکل (۳-۳) حلقه جمعیت ۳۳
شکل (۳-۴) حلقه سرمایه گذاری ۳۴
شکل (۳-۵) حلقه آلودگی ۳۵
شکل (۳-۶) حلقه کنترل جمعیت از طریق افزایش ازدحام جمعیت ۳۵
شکل (۳-۷) حلقه کنترل جمعیت از طریق تامین غذا ۳۶
شکل (۳-۸) حلقه کنترل جمیعت از طریق آلودگی ۳۷
شکل (۳-۹) حلقه کنترل جمیعت از طریق منابع طبیعی ۳۸
شکل (۳-۱۰) نمای کلی مدل پویایی های جهان آقای فارستر ۳۹
شکل (۳-۱۱) نرخ تولد در مقابل مایحتاج استاندارد زندگی ۴۲
شکل (۳-۱۲) تغییرات NREM در مقابل NRFR ۴۵
شکل (۳-۱۳) تغییرات DRMM در مقابل MSL ۴۷
شکل (۳-۱۴) تغییرات DRPM در مقابل POLR ۴۸
شکل (۳-۱۵) تغییرات DRFM در مقابل FR ۴۹
شکل (۳-۱۶) تغییرات DRCM در مقابل CR ۵۰
شکل (۳-۱۷) تغییرات BRCM در مقابل CR ۵۱
شکل (۳-۱۸) تغییرات BRFM در مقابل FR ۵۲
شکل (۳-۱۹) تغییرات BRPM در مقابل POLR ۵۳
شکل (۳-۲۰) تغییرات FCM در مقابل CR ۵۴
شکل (۳-۲۱) تغییرات FPCI در مقابل CIRA ۵۵
شکل (۳-۲۲) تغییرات CIM در مقابل MSL ۵۷
شکل (۳-۲۳) تغییرات FPM در مقابل POLR ۵۸
شکل (۳-۲۴) تغییرات POLCM در مقابل CIR ۶۰

شکل (۳-۲۵) تغییرات POLAT در مقابل POLR ۶۲
شکل (۳-۲۶) تغییرات CFIFR در مقابل FR ۶۳
شکل (۳-۲۷) تغییرات QLM در مقابل MSL ۶۵
شکل (۳-۲۸) تغییرات QLC در مقابل CR ۶۵
شکل (۳-۲۹) تغییرات QLF در مقابل FR ۶۶
شکل (۳-۳۰) تغییرات QLP در مقابل POLR ۶۷
شکل (۳-۳۱) تغییرات NRMM در مقابل MSL ۶۸
شکل (۳-۳۲) تغییرات CIQR در مقابل QLM/QLF ۶۹
شکل (۳-۳۳) تغییرات جمعیت طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی ۷۰
شکل (۳-۳۴) تغییرات آلودگی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی ۷۳
شکل (۳-۳۵) تغییرت منابع طبیعی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی ۷۶
شکل (۳-۳۶) مقادیر سرمایه گذاری طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی ۷۶
شکل (۳-۳۷) مقادیر کسری از سرمایه در بخش کشاورزی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی ۸۳
شکل (۳-۳۸) مقادیر جمعیت در دنیای واقعی طی سال های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۲ میلادی ۸۷
شکل (۳-۳۹) مقادیر جمعیت مربوط به مدل و دنیای واقعی ۸۷
شکل (۴-۱) مقادیر نرخ مرگ و تولد مدل طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی ۹۳
شکل (۴-۲) مقادیر نرخ مرگ و تولد مدل و نرخ مرگ و تولد دنیای واقعی طی سال های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۲ میلادی ۹۳
شکل (۴-۳) تغییرات میزان دی اکید کربن طی سال های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۲ میلادی ۹۵
شکل (۴-۴) میزان افرادی که دچار سوء تغذیه شده اند طی سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۲ میلادی ۹۵
شکل (۴-۵) مقایسه مقادیر جمعیت در مدل و دنیای واقعی طی سال های ۱۹۰۰ تا۲۰۱۲ میلادی ۹۵
شکل (۴-۶) تغییرات جمعیت، آلودگی، سرمایه گذاری، منابع طبیعی و کیفیت زندگی ۱۱۶
شکل (۴-۷) تغییرات متغیرهای کمکی QLP,QLC,CIAF,FR,MSL ۱۱۷
شکل (۴-۸) تغییرات متغیرهای NR,NRUR ۱۱۷
شکل (۴-۹) تغییرات متغیرهای CI,CIG,CID ۱۱۸

شکل (۴-۱۰) تغییرات جمعیت، سرمایه گذاری و منابع طبیعی..... ۱۲۰
شکل (۴-۱۱) تغییرات آلودگی و کیفیت زندگی ۱۲۱
شکل (۴-۱۲) تغییرات جمعیت و سرمایه گذاری ۱۲۳
شکل (۴-۱۳) تغییرات منابع طبیعی، آلودگی و کیفیت زندگی ۱۲۴
شکل (۴-۱۴) تغییرات جمعیت، سرمایه گذاری و آلودگی ۱۲۶
شکل (۴-۱۵) تغییرات منابع طبیعی و کیفیت زندگی ۱۲۷
شکل (۴-۱۶) تغییرات کیفیت زندگی ناشی از QLP,QLC,MSL,CIAF,FR ۱۲۸

فهرست جداول

جدول (۳-۱) افراد، فضای اشغال شده و نسبت غذا با زمینی به مساحت ۲۴۰۰۰ میلیون واحد..... ۲۸
جدول (۳-۲) جمعیت جهان طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی ۷۱
جدول (۳-۳) آلودگی جهان طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی ۷۴
جدول (۳-۴) مقدار منابع طبیعی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی ۷۷
جدول (۳-۵) مقادیر سرمایه گذاری طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی ۸۱
جدول (۳-۶) مقادیر کسری از سرمایه در کشاورزی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی ۸۴
جدول (۳-۷) مقادیر مربوط به جمعیت مدل و دنیای واقعی و خطای موجود ۸۸
جدول (۴-۱) مقادیر مربوط به جمعیت مدل و دنیای واقعی و خطای موجود ۹۷
جدول (۴-۲) مقادیر مربوط به مصرف منابع طبیعی، انرژی های اولیه بدون مواد تجدید شدنی، رشد سالانه و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات..... ۱۰۰
جدول (۴-۳) مقادیر مربوط به مصرف منابع طبیعی، انرژی های اولیه بدون مواد تجدید شدنی، رشد سالانه و خطای موجود بعد از اعمال تغییرات..... ۱۰۱
جدول (۴-۴) مقادیر مربوط به آلودگی مدل، دی اکسید کربن انتشار یافته در دنیای واقعی و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات ۱۰۳
جدول (۴-۵) مقادیر مربوط به آلودگی مدل، دی اکسید کربن انتشار یافته در دنیای واقعی و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات..... ۱۰۵
جدول (۴-۶) مقادیر مربوط به سرمایه گذاری مدل، رشد سالانه مدل، رشد سالانه و تولید ناخالص دنیای واقعی و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات ۱۰۷
جدول (۴-۷) مقادیر مربوط به سرمایه گذاری مدل، رشد سالانه مدل، رشد سالانه و تولید ناخالص دنیای واقعی و خطای موجود بعد از اعمال تغییرات..... ۱۰۸
جدول (۴-۸) مقادیر مربوط به سرمایه گذاری در کشاورزی مدل، دنیای واقعی، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات ۱۱۰
جدول (۴-۹) مقادیر مربوط به سرمایه گذاری در کشاورزی مدل، دنیای واقعی، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود بعد از اعمال تغییرات..... ۱۱۲

فصل اول

کلیات و

روش تحقیق

۱-۱- مقدمه

جهانی که در آن زندگی می کنیم از پدیده ها و عوامل گوناگون ساخته شده است که هر کدام از آن ها در طول زمان تغییرات فراوانی را می پذیرند. عواملی چون جمعیت، محیط زیست، صنعتی شدن، سرمایه گذاری در بخش های مختلف، استاندارد های یک زندگی مطلوب، کشاورزی و ... از جمله مواردی هستند که تغییرات در میزان و یا کیفیت آن ها تاثیرات چشمگیری بر روی سیستم جهان خواهند گذارد که گاه سب بهتر شدن وضعیت موجود می شوند و گاه سیستم موجود را به چالش می کشند.

در نظام یکپارچه دنیای ما، رشد و یا نزول پدیده ها علاوه بر اینکه خود معلول موارد بیشماری می توانند باشند، علت و مسبب بروز تغییرات بر روی پدیده های دیگر نیز هستند. اگر میزان تغییرات آن ها از حدود متناسب خود تجاوز کند علاوه بر اینکه خود دچار تنش می شوند می توانند سایر قسمت های سازنده دنیا را نیز با پالش مواجه کنند. نگاه گذشته اینگونه بوده است که بتوانند از این تنش ها بکاهند اما به بر طرف کردن دلایل ایجاد این تنش ها توجه چندانی نداشته اند.

در این فصل ابتدا به شرح کلیات پروژه پرداخته خواهد شد، سپس به شرح اهداف پروژه و سوالاتی که پروژه پاسخگوی آن ها خواهد بود، پرداخته می شود و در ضمن شرح اهمیت و ضرورت موضوع، با تبیین نوع پروژه، روش جمع آوری داده ها، روش تحلیل نتایج و فرایند اجرای پروژه تشریح خواهد شد.

۱-۲- تعاریف

۱-۲-۱- پویایی سیستم ها[۱]

پویایی های سیستم روشی برای درک رفتارهای یک سامانه پیچیده در طول زمان است. در این روش با تمرکز بر حلقه‌های بازخورد[۲] درون سیستم، تأثیرات غیرخطی و تاخیرهای زمانی در میان متغیرها و همچنین ماهیت انباشتی و یا جریانی متغیرها، به بررسی رفتار یک سیستم می‌پردازند. با توجه به ماهیت عددی روش پویایی‌های سیستم، این امکان وجود دارد که مدل‌های مبتنی بر این روش را با استفاده از رایانه شبیه‌سازی کرد و با مجموعه پارامترها و متغیرهای مختلف وضعیت سیستم را برای یک بازه زمانی در آینده پیش‌بینی نمود.

پویایی های سیستم یک روش‌شناسی و روش مدل‌سازی ریاضی برای چارچوب‌بندی، درک، و بحث پیرامون موضوعات و مسائل پیچیده است. در حالیکه در دهه ۱۹۵۰ برای کمک به مدیران شرکت‌ها به منظور بهبود درکشان از فرایندهای صنعتی ایجاد شد، در حال حاضر پویایی‌های سیستم در تمام بخش عمومی و خصوصی به منظور طراحی و آنالیز سیاست‌ها بکار می‌رود.

روش پویایی‌های سیستم در اواخر دهه پنجاه میلادی توسط جی فارستر در موسسه فناوری ماساچوست[۳] بنیان نهاده شد. جی فارستر که به عنوان مخترع حافظه، مغناطیسی نیز شهرت دارد بعد از جابه‌جایی به دانشکده مدیریت همین دانشگاه روش پویایی های سیستم را برای سیستم‌های مختلف از جمله سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی به کار برد. اولین مقاله منتشر شده از جانب وی با این مضمون مربوط است به مقاله‌ای که در سال ۱۹۵۶ در مجله Harvard Business Review با عنوان پویایی‌های صنعتی منتشر شد.

۱-۲-۲- جمعیت[۴]

به تعداد افرادی که در یک کشور، استان، شهرستان، بخش، دهستان، شهر و روستا و به طور خلاصه در یک سکونتگاه و مکان مرزدار زندگی می‌کنند جمعیت گفته می‌شود. جمعیت می تواند

---

۱ System Dynamics
۲ Feedback Loops
۳ Massachuset Institute of Technology
۴ Population

افزایش و کاهش یابد. اگر تعداد افرادی که متولد می‌شوند بیشتر از تعداد افرادی که می‌میرند باشد جمعیت افزایش و اگر تعداد افرادی که می‌میرند بیشتر از تعداد افرادی که متولد می شوند باشد، جمعیت کاهش می یابد.

۱-۲-۳- آلودگی[۱]

به ورود آلاینده‌ها به یک محیط که باعث ناپایداری، اختلال، آسیب و یا ناراحتی در آن محیط برای موجودات زنده شود آلودگی گفته می‌شود.

۱-۲-۴- سرمایه گذاری[۲]

سرمایه گذاری به معنی گذاشتن پول در چیزی با انتظار سود از آن است. به طور دقیق تر سرمایه‌گذاری تعهد پول یا سرمایه برای خرید مالی وسایل یا دارائی‌های دیگر، به منظورمنفعت برگشتهای سودمند ومفید در قالب بهره، سودسهام یا قدردانی از ارزش وسایل است.

۱-۲-۵- غذا [۳]

غذا خوردنی‌ای است که در جوامع متفاوت به صورت خام و دست‌نخورده، تغییریافته و یا نیمه تغییر یافته برای مصرف آماده می‌شود. خوراک می‌تواند منشاء حیوانی یا گیاهی (و یا گاهی معدنی) داشته باشد، و برای رفع نیاز تغذیه و یا لذت بردن مصرف شود.

۱-۲-۶- کشاورزی[۴]

[۱] Pollution
[۲] Investment
[۳] Food
[٤] Agriculture

کشاورزی به تولید مواد غذایی و کالا از راه زراعت و جنگل داری و دامداری گفته می شود.کشاورزی همان چیزی است که به ظهور تمدن منجر شد.

۱-۳- پیامد های افزایش جمعیت

افزایش جمعیت سبب افزایش صنعتی شدن جهان، تولید بیشتر غذا و استفاده از سطح بیشتری از زمین می شود. از طرف دیگر با افزایش غذا، کالاها و زمین مورد استفاده، جمعیت نیز افزایش می یابد. افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش صنعتی شدن و آلودگی حلقه ای فزاینده را تشکیل می دهند که هر کدام سبب افزایش دیگری می شود اما این رشد توسط مجموعه ای از محدودیت ها متوقف می شود از جمله این محدودیت ها می توان به محدود بودن زمین در دسترس، منابع طبیعی و پخش بیش از حد آلودگی اشاره کرد.

پدیده هایی مانند جمعیت، سرمایه گذاری، آلودگی، مصرف غذا و استاندارد های زندگی از جمله مواردی هستند که با توجه به حلقه های فزاینده ای که ایجاد می کنند به صورت نمایی رشد خواهند کرد اما همانطور که تاریخ نشان داده است این رشد نمایی نمی تواند یه صورت نامحدود ادامه پیدا کند.

ساموئلسون[۱]، سولو[۲]، فلپس[۳] از جمله مهم‌ترین چهره‌های نظریه‌پرداز اقتصادی و از اساتید مشهور علم اقتصاد به شمار می‌روند که در کنار نظریه‌پردازی در شاخه‌های مختلف دانش اقتصاد، از بیکاری و تعادل عمومی تا تجارت و فقر، به بررسی و تحلیل تأثیر متغیر «جمعیت» بر اقتصاد نیز پرداخته‌اند و به نوعی از بزرگ‌ترین نظریه‌پردازان در این حوزه شناخته می‌شوند.

نظریه ای که بر اساس آن می‌توان درباره‌ی اثر جمعیت بر رشد اقتصادی استدلال کرد، قاعده‌ای منسوب به «فلپس» است. ادموند فلپس (عضو برجسته انجمن اقتصاد آمریکا و برنده‌ی جایزه‌ی نوبل اقتصاد در سال ۲۰۰۶) در این باره می‌کوشد از طریق درون‌زاکردن نرخ پس‌انداز، بهترین نرخ را برای پس‌انداز بیابد. او در این پی‌جویی، به رابطه‌ی دقیق بین رشد اقتصادی و رشد جمعیت دست می‌یابد که به «قاعده‌ی طلایی رشد» مشهور است. بر اساس قاعده‌ی طلایی، کارایی نهایی سرمایه با نرخ رشد جمعیت برابر است. به عبارت دیگر، رشد اقتصادی تابع مستقیم نرخ رشد جمعیت است.

[۱] Paul Anthony Samuelson
[۲] Robert Melton Solow
[۳] Edmund Strother Phelps

همچنین رابطه‌ای متقابل بین جمعیت، محیط زیست و منابع طبیعی وجود دارد. داونزو از جمله‌ی محقّقینی است که به بررسی تأثیر دینامیک جمعیت بر محیط زیست پرداخته است. او در اثر خویش با عنوان آثار زیست‌محیطی پویایی جمعیت با رویکردی سیستمی و با درک پیچیدگی روابط میان جمعیت، محیط زیست و منابع طبیعی، موضوعات زیر را در بررسی خود مورد توجه قرار داده است:

- ارتباط میان عوامل جمعیتی چون حجم جمعیت، توزیع جمعیت و ترکیب جمعیت با تغییرات زیست‌محیطی.
- در جریان تعامل میان جمعیت، محیط زیست و منابع طبیعی عوامل مداخله‌گر بی‌شماری مشارکت دارند که در نهایت این رابطه را شکل می‌دهند. از جمله‌ی این عوامل می‌توان به پیشرفت‌های تکنولوژیک یعنی اشکال تولید انرژی، عوامل سیاسی، قوانین و مقررات مربوط به محیط زیست، و عوامل فرهنگی، ایستارها و نگرش‌های مرتبط با طبیعت وحشی و حفاظت از منابع طبیعی اشاره کرد. بر این اساس، درک رابطه‌ی میان جمعیت، محیط زیست و منابع طبیعی بسیار پیچیده و دشوار است.
- تغییرات آب و هوایی و تغییر کاربری زمین دو جنبه‌ی ویژه‌ی تغییرات زیست‌محیطی هستند که تحت تأثیر پویایی جمعیت هستند.

داونزو[1] بر این باور است که پویایی جمعیت مسایل زیست‌محیطی بسیاری را موجب شده و خواهد شد ولی می‌گوید حجم جمعیت به تنهایی فقط یکی از متغیرهای مهم تأثیرگذار در این رابطه است. سایر دینامیسم‌های جمعیت‌شناختی مثل تغییرات در جریانات و تراکم جمعیت نیز مسایل زیست‌محیطی بسیاری را موجب می‌شود.

در معنا و مفهوم جمعیت‌شناختی، سه سده‌ی گذشته در مقایسه با هر دوره تاریخی دیگر بی‌نظیر بوده است. در طول دوران ماقبل تاریخ، که بیش از ۹۹ درصد تاریخ شناخته‌شده‌ی زندگی انسان را دربر می‌گیرد، رشد و افزایش جمعیت بسیار به کندی صورت می‌گرفت. با این حال، در طول سیصد و پنجاه سال گذشته، شمار افراد انسانی به‌طرز چشم‌گیری افزایش یافته است. اغلب برآوردها گویای آن است که حدود ۹۰ درصد از رشد جمعیت جهان در طول این دوره اتفاق افتاده است.

پیشرفت‌های صورت‌گرفته در پزشکی و بهداشت عمومی، به دنبال انقلاب صنعتی در نیمه‌ی قرن هیجده، از طریق کاهش چشم‌گیر سطح مرگ‌ومیر، روند تاریخی جمعیت جهان را دگرگون کرد. برآیند این وضعیت افزایش شگفت‌انگیز نرخ رشد سالیانه‌ی جمعیت بود. علی‌رغم کاهش

[1] Julia Davanzo

میزان‌های باروری در مقایسه با سه دهه‌ی گذشته، جمعیت کنونی جهان پیوسته افزایش خواهد یافت.

حجم جمعیت جهان به‌طور ذاتی در ارتباط با آب، هوا، و خاک است، زیرا هر فردی از منابع محیطی استفاده می‌کند و در آلودگی زیست‌محیطی نیز نقش دارد. هرچند مقیاس استفاده از منابع و سطح ضایعات تولیدشده در میان افراد و طبقات مختلف اجتماعی و در زمینه‌های مختلف فرهنگی متفاوت است، ولی واقعیت این است که آب، هوا، و خاک برای بقاء بشر لازم و ضروری است. اکثر جمعیت جهان، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم از منابع گیاهی یا حیوانی، زمینی یا دریایی بهره‌برداری می‌کنند. این بهره‌برداری می‌تواند از یک عمل ساده‌ی معیشتی تا بهره‌برداری پیچیده و متمرکز ادامه داشته باشد (کلود شاستلند و کلود شنه، ۱۳۸۰).

مسایل زیست‌محیطی ناشی از رشد و حجم جمعیت در قالب مصرف منابع به دو شکل تجلی می‌یابد: نخست این‌که، هر فردی به غذا نیاز دارد. تولید غذا مستلزم داشتن زمین برای کشاورزی و سایر اشکال تولید مواد غذایی است. در سطح جهانی، حدود ۱/۵ میلیارد هکتار زمین زیر کشت می‌رود و مساحت زمین‌های قابل‌کشت بین ۲ تا ۴ میلیارد هکتار برآورد شده است. هرچند در تمام تاریخ بشر زمین‌های قابل کشت فراوان بوده است ولی رشد تصاعدی جمعیت‌های انسانی آهنگ تغییر زمین‌های مورداستفاده را تسریع کرده است. هم‌اکنون زمین‌های موردنیاز برای تولید مواد غذایی در سطح جهان تقریباً به کم‌تر از حد زمین‌های قابل‌کشت برآوردشده تقلیل یافته است (داونزو[۱]، ۲۰۰۱). بر پایه‌ی بعضی برآوردها تقریباً نصف جنگل‌های کره‌ی زمین به زمین زراعی، چراگاه و موارد استفاده‌ی دیگر تبدیل شده و تنها جنگل‌های اصلی به نسبت اکوسیستم‌های طبیعی باقی‌مانده است (سازمان ملل متّحد[۲]، ۲۰۰۱).

حجم جمعیت نه تنها در ارتباط با مصرف منابع محیطی است بلکه در ارتباط با آلودگی‌های محیطی ناشی از تولیدات کنونی و فرآیندهای مصرف نیز قرار می‌گیرد. زمین، آب و هوا همگی سرچشمه و مخزن آلودگی‌های ناشی از تولید و مصرف هستند. ابعاد بسیاری از فرآیندهای صنعتی تعمیم ارتباط دقیق میان حجم جمعیت جهان و آلودگی را غیرممکن ساخته است. با تمام این‌ها، پژوهشگران سعی کرده‌اند برآوردی از تأثیر حجم جمعیت بر انواع معینی از آلودگی در محلات خاص به‌دست دهند. اتومبیل‌ها، هواپیماها، کارخانه‌ها، زباله‌ها، و فاضلاب‌ها از عوامل مهم آلودگی آب و هوا در مناطق مختلف هستند، عواملی که هریک به نوعی در ارتباط با حجم جمعیت هستند.

[۱] Davenzo
[۲] United nation

برای مثال، جمعیت بیشتر اصولا به معنی تقاضای بیشتر برای کالاهای تولیدشده در کارخانه‌هاست.

همانطور که گفته شد، رابطه‌ی میان جمعیت، محیط زیست و منابع طبیعی رابطه‌ای است متقابل و دوسویه، به این معنی که هم جمعیت و ویژگی‌های آن بر محیط زیست و منابع طبیعی تأثیر می‌گذارد و هم محیط زیست و منابع طبیعی بر جمعیت‌های انسانی و ویژگی‌های آن تأثیر می‌گذارد. به بیان دیگر، باید گفت که هرچند در بررسی رابطه‌ی میان جمعیت، محیط زیست و منابع طبیعی بیشتر متغیرهای جمعیت‌شناختی به عنوان عوامل اثرگذار در این رابطه مورد توجه قرار گرفته‌اند، ولی واقعیت این است که یک رابطه‌ی علی را نیز می‌توان در جهت عکس یافت، به این معنی که تغییرات زیست‌محیطی نیز نتایج جمعیت‌شناختی دربر خواهد داشت و بر روی بهداشت، سلامتی و تندرستی، مرگ‌ومیر، و مهاجرت جمعیت تأثیر می‌گذارد.

۱-۴- اهداف پروژه

هدف اصلی این پژوهش بررسی صحت و دقت مدل فورستر و در نهایت اصلاح مدل و استفاده از آن برای پیش بینی های آتی است. بدیهی است که بر اساس پیش بینی های آتی می توان خط مشی های ارائه شده توسط فورستر را برای آینده بازنویسی نمود.

۱-۵- سوال های پروژه

- ✓ آیا نتایج مدل پویایی های جهان آقای فارستر با واقعیت انطباق دارد؟
- ✓ متغیرهایی که باعث عدم انطباق نتایج با دنیای واقعی شده اند کدامند و چگونه می تـوان با اعمال تغییراتی در مدل، به نتایج منطقی تری رسید؟

۱-۶- اهمیت و ضرورت پروژه

یکی از دغدغه های اساسی مدل سازان ارزیابی میزان اعتبار مدل و تطابق آن با واقعیت می باشد. می دانیم که مدل، تصویر ساده شده ای از یک سیستم واقعی است، به همین دلیل ارزیابی

یا اعتبار سنجی مطلق یک مدل ممکن نیست. لذا اعتبار سنجی مدل به صورت نسبی انجام می شود و عملکرد مناسب یک مدل در رابطه با هدف آن مورد بررسی قرار می گیرد. روش هایی که به طور عمومی برای سنجش اعتبار همه مدل ها می توان اعمال کرد به این شرح می باشد:

- با طراحی سناریوهای مختلف ساختار مدل آزمایش شود. مدلی ساختار درستی دارد، که با اعمال شرایط مختلف، پاسخ های معقولی تولید کند.
- آزمایش روابط به کمک تست های آماری (درجه توزیع آماری خوب به معنی وجود رابطه علت و معلولی نیست؛ بلکه به معنی آن است که روابط تخمین زده شده آماری، قابل اعتماد هستند).
- تولیدمجدد رفتار گذشته سیستم واقعی با کمک مدل و مقایسه آن با اطلاعات تاریخی.
- بررسی رفتار مدل با توجه به انتظارات و نیز بررسی رفتار مدل در کران های سیستم.
- ارزیابی مدل به وسیله متخصصین و تصمیم گیران.

۱-۷- نوع پروژه

پژوهش حاصل از نوع کمی، کاربردی و توسعه ای می باشد. کمی از آن نظر که از متدولوژی پویایی سیستم ها استفاده خواهد شد. کاربردی است زیرا می توان از پیش بینی های آن برای تصمیم گیری های کلان در سطح جهانی استفاده کرد و توسعه ای است به دلیل آنکه مدل پویایی های جهان آقای فورستر توسعه داده خواهد شد.

۱-۸- روش جمع آوری داده ها

به منظور جمع آوری داده های این پروژه، به منابع جمع آوری داده های آقای فورستر مراجعه و از همان منابع، داده ها جمع آوری خواهد شد که عمده این داده ها در فضای مجازی موجود هستند.

۱-۹- روش تحلیل داده ها

به منظور تحلیل داده ها از روش شبیه سازی یا پویایی های سیستم استفاده خواهد شد. برای مدل سازی از نرم افزار پاورسیم[1] بهره گرفته خواهد شد و به منظور مقایسه نتایج مدل با دنیای واقعی از روش های آماری نظیر تست های پارامتری و ناپارامتری استفاده خواهد شد.

۱-۱۰- فرآیند اجرای پروژه

ابتدا مدل پویایی های جهان آقای فارستر در نرم افزار پاورسیم به منظور تطبیق نتایج آن با دنیای واقعی، طراحی و اجرا خواهد شد. در صورتی که نتایج به دست آمده با نتایج گرفته شده از دنیای واقعی، مغایرت داشته باشد، مدل با اعمال تغییرات و اصلاحاتی برای بار دوم در نرم افزار پاورسیم طراحی و اجرا خواهد شد. سپس مدل اصلاح شده به منظور مقایسه نتایج آن با دنیای واقعی تست خواهد شد. در صورت مطابق بودن نتایج مدل اصلاح شده با نتایج گرفته شده از دنیای واقعی، از مدل اصلاح شده در پیش بینی های برخی متغیرهای دنیای واقعی استفاده خواهد شد.

[1] Powersim

فصل دوم

پیشینه پژوهش

۲-۱- مقدمه

جی رایت فارستر[۱] در سال ۱۹۷۱ کتابی تحت عنوان پویایی های جهان[۲] در انتشارات رایت- آلن[۳] به چاپ رسانید. سال ها بعد دونلا میدوز[۴] و همکارانش مدلی تحت عنوان پویایی های جهان ۳ طراحی کردند، آنها خصوصیات جدیدی به ساختار اصلی کتاب فارستر اضافه کرده بودند و این مدل را در کتابی با عنوان محدودیت های رشد[۵] به چاپ رساندند که انتقادات بسیاری در برداشت. یکی از بزرگترین مشکلات مدل این بود که خروجی بسیاری از متغیرها فقط تا سال ۱۹۷۰ با داده های دنیای واقعی مطابقت داشت و برای سال های پس از آن هیچ گونه مطابقتی وجود نداشت. طی این سال ها مدل پویایی های جهان فارستر به منظور تطبیق خروجی های مدل با داده های دنیای واقعی اجرا نشده است.

در این فصل برخی تعاریف در رابطه با این پژوهش توضیح داده خواهد شد.

۲-۲- مروری بر ادبیات موضوع

۲-۲-۱- پویایی سیستم ها

پویایی سیستم ها متدلوژی برای مطالعه و مدیریت سیستم های پیچیده و دارای بازخورد است. این سیستم ها می توانند در حوزه های مختلفی مثل کسب و کار، اقتصاد، محیط زیست، مدیریت انرژی، مسائل شهری و سایر حوزه های اجتماعی و انسانی وجود داشته باشند.

رویکرد پویایی سیستم ها در اوایل سال های دهه ۶۰ توسط جی رایت فارستر از موسسه فناوری ماساچوست، معرفی شد. ایده اولیه شکل گیری این حوزه پروژه ای بود که فارستر برای شرکت جنرال الکتریک انجام داد. در این پروژه، سوال کارفرما این بود که چه عواملی باعث نوسان در سیستم موجودی و انبار و به تبع آن نیروی انسانی شرکت می شود. تحقیقی که فارستر بر روی

---

۱ Jay Wright Forrester
۲ World Dynamics
۳ Wright – Allen Press
۴ Donella Meadows
۵ Limits to Growth

این موضوع انجام داد این ایده را شکل داد که از قواعد موجود در کنترل سیستم ها در حوزه مهندسی برق و مکانیک می توان برای سیستم های اجتماعی نیز بهره گیری نمود. در این رویکرد تصویری از سیستم بر اساس بازخورد ها و تاخیر های موجود ایجاد می شود تا رفتار دینامیکی سیستم های پیچیده فیزیکی، زیستی و اجتماعی بهتر فهمیده شود. می توان گفت مهم ترین اصل اساسی که پویایی سیستم ها بیان می دارند این است که باخوردها و تاخیرها رفتار سیستم ها را می سازند و پویایی رفتاری سیستم نتیجه ساختار حاکم بر سیستم است.

با استفاده از تجارب پروژه جنرال الکتریک، فارستر کتاب پویایی صنعتی[۱] خود را در سال ۱۹۶۱ ارائه داد که هنوز هم یکی از کتاب های معتبر در مورد روش و فلسفه پویایی سیستم ها به شمار می آید. پس از این کتاب، فارستر دو کتاب مهم دیگر خود را نوشت. اولین کتاب پویایی شهری[۲] در سال ۱۹۶۸بود که در مورد تحول ساختار شهری است و با همکاری جان کولینز شهردار سابق بوستون نوشته شد و دومی پویایی جهان در سال ۱۹۷۱ که با استفاده از تجارب باشگاه رم[۳] در مورد رشد جمعیت و کمبود منابع در سطح جهان به نگارش درآمد. این سه کتاب بر روی هم پایه های اصلی حوزه پویایی سیستم ها را ایجاد نمود (فارستر، ۱۹۸۹).

۲-۲-۲- خصوصیات سیستم های پیچیده

درک ضعیف از روابط داخلی پیچیده در سیستم ها غالبا منجر به تصمیماتی می شود که نتایج آن پایداری لازم را ندارند. سنگه، ۱۳۷۷ در الگوهای طبیعی توسعه داده شده، نشان داده است که چگونه پیچیدگی و پویایی سیستم عکس العمل هایی را در مقابل رفتار ما ایجاد می کند که پس از مدتی نتایج اولیه تصمیمات را خنثی کرده و حتی وضعیت بدتری را نیز ممکن است ایجاد نماید (در ادامه چند مورد مهم از این الگوها ارائه خواهد شد).

دلیل عمده این مساله به این موضوع بر می گردد که ذهن انسان ها برای تفسیر رفتار سیستم های اجتمعی مناسب نیست. این نوع سیستم ها به طبقه ای از سیستم ها تعلق دارند که سیستم های دارای بارخوردهای غیر خطی [۴]و چند حلقه ای[۵] نامیده می شوند.

---

۱ Industrial Dynamics
۲ Urban Dynamics
۳ Club of Rome
۴ None Linear Feedback
۵ Multi Loop

- **الگوی محدودیت های رشد:** تحت شرایط خاصی یک فرآیند خود به خود دوره ای از رشد تا توسعه شتابان را به وجود می آورد. پس از این دوره آهنگ رشد شروع به کند شدن می نماید و به صورت ناگهانی به سمت یک سکون و توقف حرکت می کند. این رفتار ممکن است حتی به صورت معکوس حرکت کرده و شروع به سقوطی شتابان نماید.
- **الگوی انتقال فشار:** یک راه حل کوتاه مدت برای حل یک مساله مورد استفاده قرار گرفته است و به نظر می رسد که نتایج مثبت و مطلوبی به دست دهد. همچنان که اینگونه راه حل ها بیشتر و بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند، راه حل های اساسی و درازمدت کم تر و کم تر مورد توجه قرار می گیرد. در طول زمان امکان دارد اگر به این نحو عمل شود قابلیت های موجود در سیستم برای دست یابی و استفاده از راه حل های بلند مدت و اساسی از بین رفته و یا از میزان اثر آن ها کاسته شود.
- **الگوی گسترش تدریجی:** دو گروه یا دو سازمان رفاه خود را وابسته به مزیت های هر یک نسبت به دیگری می دانند. هر زمانی که یکی از این دو جناح پیشرفت قابل توجهی داشته باشد، جناح دیگر احساس خطر و تهدید می نماید و این موضوع سبب می شود که این جناح در جهت تجدید ساختار مزیت های خود حرکت نماید. این امر موجب تشدید اقدامات طرف مقابل برای کسب مزیت شده و رقابت دو طرف را تشدید می نماید.
- **موفقیت های بیشتر برای پیروزمندان:** دو فعالیت برای به دست آوردن منابع محدود با یکدیگر به رقابت می پردازند. هر یک از این دو فعالیت که نسبت به دیگری از موفقیت بیشتری برخوردار شود، بخش بیشتری از منابع محدود موجود را به خود اختصاص خواهد داد و در نتیجه فعالیت دوم با کمبود منابع مواجه خواهد شد.
- **منبع مشترک:** هر یک از فعالیت ها، گروه ها و یا افراد به صورت مجزا و انفرادی و بر اساس میزان نیاز فردی خود و بدون در نظر گرفتن میزان نیاز کل، بخشی از منابع در دسترس که به صورت محدود می باشد را مصرف می نمایند. در ابتدای امر این موضوع و استفاده از منابع، افراد یا گروه های مزبور مورد تشویق و عنایت قرار می گیرند اما در نهایت میزان برگشت و یا بازیافت حاصل از مصرف منابع رو به کاهش می گذارد. به نحوی که سبب شدت بخشیدن به تلاش و کوشش های فردی برای استفاده از منابع می شود. نهایتا وضعیت به گونه ای می شود که کلیه منابع موجود به طرز شدیدی کاهش یافته یا دچار فرسودگی شدید شده و یا این که به طور کامل مصرف شده و به پایان می رسند.

فارستر، سه خصوصیات عمده سیستم های اجتماعی را که در طول سال ها تجربه مدل کردن این سیستم ها به دست آورده است به شرح زیر بیان می کند:

۱) سیستم های اجتماعی عموما به سیاست هایی که افراد برای بهبود رفتار سیستم اتخاذ می کنند حساس هستند. در این نوع سیستم ها مثال های فراوانی از تلاش هایی که منجر به شکست شده است ثبت شده است. شهود انسانی از تجربه با سیستم های ساده شکل می گیرد. در سیستم های ساده ریشه های مشکل به لحاظ زمانی و مکانی به نشانه های آن نزدیک است. به عنوان مثال اگر کسی یک کتری داغ را لمس نماید، فورا دستش می سوزد و عکس العمل نشان می دهد. در حالی که در سیستم های دینامیکی پیچیده معمولا ریشه های مسائل با نشانه های آن فاصله دارد. ریشه های مساله ممکن است به سال ها قبل از بروز نشانه ها مربوط باشد و در جایی از سیستم بروز نماید که کاملا با جایی که نشانه های مساله دیده می شود فاصله داشته باشد. این در حالی است که به دلیل نوع تفکر ما، معمولا عللی که نزدیک به نشانه های مساله هستند مشاهده می شود و از شناخت ریشه های اصلی غفلت می شود. به عنوان مثال شهروندان از کمبود مسکن در شهرها شکایت دارند. به عنوان نتیجه طبیعی برای این مشکل، تولید مسکن در شهرها افزایش می یابد و در پاسخ به افزایش عرضه مسکن، جمعیت ساکن در منطقه نیز افزایش یافته و تلاش های قبلی را خنثی می کند. به این ترتیب افراد بیشتری در دام سیستم های شهری ناکارآمد گرفتار می شوند. به عنوان یک مثال دیگر، نشانه های وجود جمعیت اضافی در اکثر کشورهای دنیا به چشم می خورد. نشانه های این مساله به شکل شلوغی در شهرها و فشارهای اجتماعی ناشی از آن ظاهر می شود. به جای پرداختن به ریشه های مساله (کاهش نرخ رشد جمعیت)، حکومت ها سعی می کنند تا این فشارها را از طریق نیروی انتظامی بیشتر، کمک های مالی به تهیدستان شهری، توسعه سیستم های حمل و نقل و پرداخت سوبسید به سیستم های بهداشت و درمان حل نمایند. با وجود همه این تلاش روند افزایش جمعیت باعث کاهش کیفیت زندگی افراد جامعه خواهد شد.

۲) سیستم های اجتماعی نقاط تاثیر محدودی دارند که از طریق آن ها می توان رفتار آن ها را تغییر داد. این نقاط معمولا متفاوت از نقاطی هستند که مردم انتظار دارند. علاوه بر آن وقتی یک سیاست قوی و پر اثر تدوین می شود، احتمال این که مدیران سیستم با اتکا به شهود و قضاوت خود، سیستم را در جهت غلطی هدایت نماید زیاد خواهد بود. به عوان مثال در یک سیستم شهری، خانه سازی یک نقطه کنترل حساس به شمار می آید ولی اگر کسی بخواهد شهر را به مکانی بهتر برای ساکنان و نیز افراد کم درآمد تبدیل نماید، راه بهتر این است که برنامه های خانه سازی به جای افزایش یافتن کاهش یابد

۳) رفتار کوتاه مدت و بلند مدت ناشی از اعمال سیاست در سیستم های اجتماعی معمولا متفاوت و گاهی متضاد است. سیاستی که در کوتاه مدت نتایج مثبت به بار می آورد معمولا در درازمدت کیفیت سیستم را کاهش می دهد. به همین ترتیب سیاست هایی که منجر به نتایج بلند مدت می شوند، ممکن است در کوتاه مدت رفتار سیستم را بدتر کنند.

این موضوع بسیار درس آموز است. نتایج کوتاه مدت بیشتر قابل مشاهده است و فشار ناشی از نتایج کوتاه مدت معمولا مدیران را وادار به اقدامات فوری می کند. در حالی که نتایج اقداماتی که بهبود کوتاه مدت را هدف گرفته اند، سیستم را در درازمدت با چنان مشکلاتی مواجه می کنند که بهترین اقدامات کوتاه مدت نیز قادر به جبران آن نخواهد بود. بسیاری از مسائلی که امروز با آن مواجه هستیم، نتایج تجمعی فعالیت های کوتاه مدتی است که در دوره های گذشته اتفاق افتاده اند.

این سه خصوصیت در سیستم های اجتماعی باعث شده است تا رویکرد پویایی سیستم ها به عنوان یک رویکرد مورد قبول برای حل مسائل شرکت ها، دولت ها و مسائل جهانی مورد توجه قرار گیرد.

مزایای استفاده از این رویکرد عبارت است از:

۱. به دلیل رویکرد تحلیلی و انتقادی در فرآیند مدل سازی، این فرآیند درک بهتری از ساختار سیستم را فراهم می کند. در جریان این فرآیند مدل ساز و تیم کارفرما درگیر در فرآیندی می شوند که هدف آن بهبود مداوم مدلی است که از واقعیت ارائه می شود. شبیه سازی سیستم معمولا منجر به درک جدیدی از رفتار و ساختار سیستم می شود که در دور بعدی امکان تهیه مدل های کامل تری را فراهم می سازد. این یک امتیاز بزرگ برای مدل های پویایی سیستم ها است که در آن مدل سیستم به صورت جعبه سفید (به معنای آن که روابط علی بین اجزاء توضیح داده می شود) تهیه می شود. در مقابل مدل های ریاضی که معمولا جعبه سیاهی (روابط ریاضی و آماری بین متغیرها بدون توضیح ساختار رفتاری) از مساله را ارائه می دهند.

۲. مدل های پویایی سیستم ها امکان وارد کردن متغیرهای کیفی و کمی را به طور همزمان در سیستم فراهم می کند. این امتیاز مهمی است که در مدل های ریاضی پیاده سازی آن بسیار مشکل است. فارستر در ابتدای کار خود درک کرده بود که پویایی سیستم ها باید بر مبنای یک رویکرد تجربی و بر اساس شبیه سازی رایانه ای شکل گیرد. این رویکرد باعث می شود تا با نوشتن معادلات غیر دقیق برای متغیرهای کیفی و شبیه سازی عددی آن تاثیر این متغیرها بر روی کل سیستم درک شود (کالیفیلد[۱]، ۲۰۰۲).

[۱] Qaulifield

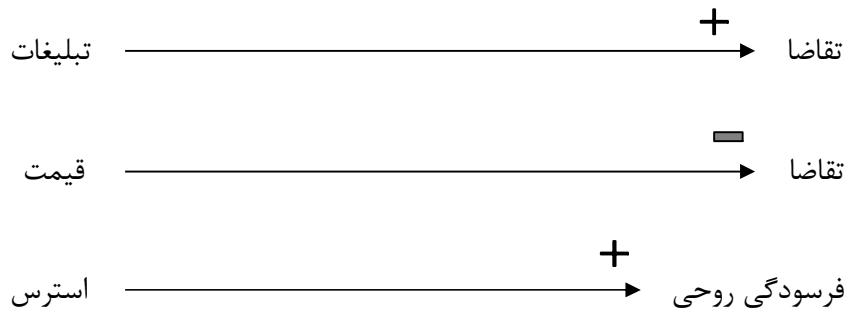
با استفاده از تجارب مختلف، فرآیند مدل سازی و تحلیل سیاست ها در پویای سیستم ها به صورت قدم های تقریبا استانداردی ارائه شده است. این قدم ها متولوژی قوی برای بررسی و تحلیل رفتار دینامیکی مساله ارائه می نمایند.

۲-۲-۳- اجزای مدل های پویایی سیستم ها

۲-۲-۳-۱- نمودار علت- معلولی

نمودار علت- معلولی ابزاری برای ترسیم ارتباطات علی بین مجموعه ای از متغیر ها (یا عوامل) درگیر در داخل یک سیستم است. عناصر اساس حلقه های علت- معلولی عبارتند از متغیرها (عوامل) و فلش ها (روابط). یک متغیر عبارت است از یک وضعیت، اقدام یا تصمیمی که می تواند سایر متغیرها را تحت تاثیر قرار دهد و یا از آن ها تاثیر پذیرد. متغیرها می توانند به صورت کمی (قابل سنجش) مثل سود، بهره وری یا نرخ غیبت کارمندان و به صورت کیفی (نرم) مثل انگیزه، اعتماد بین افراد، خستگی، اعتبار و تصویر ذهنی مردم از یک مساله باشند. معمولا اندازه گیری مستقیم متغیرهای کیفی کار راحتی نیست و لذا یکی از امتیازات ترسیم نمودار های علت- معلولی وارد کردن این نوع متغیرها در فرآیند مدل سازی است.

عنصر دوم نمودارهای علت- معلولی روابط بین متغیر ها است. یک فلش یا رابطه، همبستگی علی بین دو متغیر یا میزان تغییر در وضعیت این متغیرها را نشان می دهد. به عنوان مثال بالا بردن تبلیغات می تواند تقاضا را افزایش دهد و قیمت بالاتر موجب کاهش تقاضا می گردد. در حالت کلی می توان گفت اگر متغیر X تاثیر مستقیمی بر روی Y داشته باشد، آن گاه می توان از شکل هایی شبیه شکل زیر برای بیان این ارتباط استفاده نمود:



شکل (۲-۱): نمونه نمودارهای علت- معلولی

پس از این که ارتباط علی بین دو متغیر تشخیص داده شد، لازم است نوع ارتباط بین آن دو نیز مشخص گردد. در حالت کلی دو نوع ارتباط بین دو متغیر قابل تشخیص است:

۱. دو متغیر در یک جهت حرکت نمایند.

۲. دو متغیر در جهت های متضاد حرکت نمایند.

به عبارت دیگر در صورتی که افزایش (کاهش) در متغیر X باعث افزایش (کاهش) در متغیر Y گردد، حرکت دو متغیر در یک جهت است. در مقابل اگر افزایش (کاهش) در متغیر X باعث کاهش (افزایش) در متغیر Y شود حرکت دو متغیر در جهت های متضاد صورت می گیرد. در فلش های رابطه بین متغیرها، ارتباط نوع اول با علامت مثبت و ارتباط نوع دوم با علامت منفی نمایش داده می شود.

۲-۲-۳-۲- حلقه های علی

یک حلقه علی ابزاری مفهومی است که توضیح دهنده فرآیند دینامیکی است، که در آن زنجیره ای از روابط علی، مجموعه ای بسته از روابط را تشکیل داده و نهایتا به متغیر اولیه (علت) وصل می شوند. وقتی مجموعه ای از متغیر ها در یک مسیر متصل بسته به یکدیگر وصل می شوند یک حلقه علی را تشکیل می دهند. به این ترتیب در یک حلقه علی وقتی از یک متغیر شروع می کنیم باید مجددا به آن متغیر بازگردیم. به لحاظ نظری همه متغیرهای داخل این حلقه بسته می توانند متغیر شروع حلقه باشند ولی ما بر اساس شرایط مساله و اقداماتی که علاقه مند هستیم متغیر شروع را می توانیم انتخاب نماییم. این حلقه بسته عنصر مهمی را در ساختار سیستم به وجود می آورد که به آن بازخورد [۱]می گوییم. بازخورد این مفهوم را در بر دارد که تغییرات یک متغیر سرانجام بر مقدار آتی خود آن نیز اثر خواهد داشت.

نگرش مبتنی بر بازخورد متفاوت از نگرش خطی است که در آن روابط بین دو متغیر یک سویه دیده می شود. وجود بازخورد در حلقه ها باعث ایجاد الگوهای رفتاری در حلقه می شود که در کلی ترین تقسیم بندی می توان آن را به حلقه های تقویت کننده[۲] و تعادلی[۳] تقسیم کرد.

---

[۱] Feedback
[۲] Reinforcing
[۳] Balancing

۲-۲-۳-۲-۱- حلقه های تقویت کننده

حلقه های تقویت کننده، سیستم های بازخورد مثبت هستند. این نوع حلقه ها می توانند رفتار رشد یابنده یا تنزل یابنده از خود نشان دهند. به عنوان مثال کل وامی که باید بر اساس نرخ بهره مشخصی بازپرداخت شود دارای رفتار تقویت کننده است. هر قدر مقدار وام بیشتر می شود، بهره بیشتری بر آن تعلق می گیرد و بهره بیشتر کل بدهی را افزایش می دهد. در مقابل وقتی یک شرکت دارای توانایی پایینی است، قادر به ایجاد سود کم تری می شود و سود کم تر قابلیت سرمایه گذاری برای بهبود کیفیت داخلی را هر چه بیشتر کاهش می دهد در این حالت بازدهی سیستم روز به روز کاهش می یابد. این نوع حلقه های مثبت را که باعث حرکت سیستم به سمت نقاط منفی می شود حلقه های معیوب یا شیطانی[۱] می نامند.

۲-۲-۳-۲-۲- حلقه های تعادلی

بر عکس رفتار حلقه های تقویت کننده، یک حلقه تعادلی نوعی پایداری در بازگشت به نقطه تعادلی با هدف تعیین شده برای سیستم را نشان می دهند. وجود بازخورد منفی در این نوع حلقه ها باعث می شود تا با دور شدن وضعیت سیستم از نقطه هدف، میزان بازخورد منفی افزایش یافته و سیستم را به سمت نقطه هدف هدایت نماید. در سیستم ها مختلف اطراف ما انواع حلقه های تعادلی به چشم می خورد. در بدن انسان حلقه های تعادلی مختلفی برای تنظیم عناصر داخل خون و درجه حرارت بدن وجود دارد. در زندگی روزمره ترموستات نمونه ای از یک حلقه تعادلی است.

۲-۲-۳-۳- نمودار های جریان[۲]

نمودار های علت- معلولی، درک تصویری از ساختار سیستم را ارائه می کنند ولی این نمودارها برای بررسی رفتار سیستم در طول زمان کافی نیستند. برای درک بهتر از رفتار سیستم

[۱] Vicious
[۲] Stock Flow Diagram

لازم است، روابط بین متغیرهای سیستم تدوین شده و با استفاده از کامپیوتر، مقدار متغیرها در طول زمان شبیه سازی شود.
متغیر های مدل های جریان در پویایی سیستم ها به سه گروه عمده تقسیم می شوند:

۲-۲-۳-۳-۱- متغیر های حالت[۱]

این متغیر ها مربوط به عناصری در سیستم هستند که مقدار آن ها در جریان یک دوره زمانی شکل می گیرد. به عنوان مثال سرمایه موجود در یک شرکت یک متغیر حالت به شمار می آید چرا که این متغیر، مجموعه تجمعی کلیه سرمایه گذاری های قبلی شرکت است که در طول زمان شکل گرفته است. معمولا انواع متغیرهایی که نشان گر میانگین یک متغیر در طول زمان است مثل متوسط فروش شرکت یا متوسط کارکنان از این نوع متغیرها هستند. متغیرهای حالت بیان گر وضعیتی است که اگر هیچ تغییری در سیستم ایجاد نشود، آن وضعیت حفظ می شود لذا یک روش سده برای شناسایی این نوع متغیرها این است که مقدار آن ها را در هر لحظه از زمان می توان تعیین نمود. در نمودارهای گرافیکی این متغیرها توسط یک مستطیل نشان داده می شود.

۲-۲-۳-۳-۲-متغیرهای نرخ[۲]

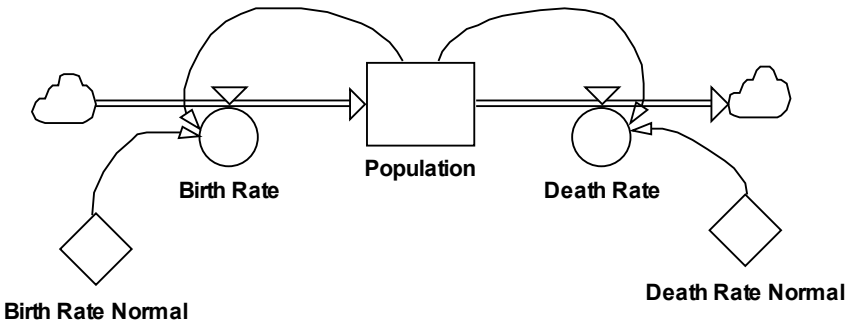
هر متغیر حالت توسط مجموعه ای از متغیرهای نرخ تغییر می کند. متغیر نرخ نشان گر میزان تغییر یک متغیر در واحد زمان است. به عنوان مثان نرخ استخدام نیروی انسانی، یک متغیر نرخ است که مقدار متغیر حالت (کل نیروی انسانی سازمان) را افزایش می دهد. به همین ترتیب نرخ اخراج نیروی انسانی نیز یک متغیر نرخ است که باعث کاهش متغیر حالت (کل نیروی انسانی سازمان) می شود.

[۱] Level or Stock Variables
[۲] Rate Variables

۲-۲-۳-۳-۳-متغیرهای کمکی[۱]

این متغیرها نشان گر ضرایبی هستند که رابطه بین متغیرهای دیگر را تعیین می کنند. به عنوان مثال نرخ مالیات، نرخ سرمایه گذاری، امید به زندگی و طول عمر افراد در سازمان نمونه هایی از متغیرهای کمکی در مدل های پویا هستند. معمولا متغیرهای برون زا در سیستم توسط این نوع متغیرها نشان داده می شود.

پس از شناسایی سه نوع متغیر می توان ترکیب آن ها را در یک نمودار جریان ساده نشان داد. در این نمودار، دینامیک ساده ای برای تغییرات جمعیتی یک منطقه نشان داده شده است:



شکل (۲-۲): نمودار جریان مربوط به تغییرات جمعیت

۲-۲-۴- اعتبار سنجی[۲] در پویایی سیستم ها

بحث اعتبار مدل ها در علوم اجتماعی یک بحث طولانی و ریشه دار است. این موضوع خصوصا با ظهور ابزارهای پیچیده مدل سازی در علوم اجتماعی جدی تر شده است. رویکرد پویایی سیستم ها نمونه ای از متدولوژی هایی است که چنین ابزارهایی را در حوزه علوم اجتماعی وارده

[۱] Auxiliary Variables
[۲] Validation

کرده است و لذا این حوزه نیز از بحث های جدی مربوط به اعتبار سنجی مدل ها خالی نبوده است.

بارلاس[۱] و کارپنتر[۲] بیان می کنند که در طول سال هایی که پویایی سیستم ها به عنوان یک حوزه علمی مطرح شده است مباحث زیادی له یا علیه اعتبار مدل های این حوزه صورت گرفته است. در طی این مباحث محور عمده بحث های منتقدین این بوده است که "پویایی سیستم ها از یک رویه رسمی، عینی[۳] و کمی اعتبارسنجی که برای یک تحقیق علمی لازم است بهره نمی گیرد." معنی این حرف این است که مدل های پویایی سیستم ها، مدل هایی واقعا عملی نیستند. این انتقادات از سوی فعالین حوزه پویایی سیستم ها به این صورت پاسخ داده شده است که اعتبارسنجی مدل ها وابستگی زیادی به بستر و ماهیت مساله ای که بررسی می شود، هدف مدل، تخصص کاربر و طراح مدل و ملاحظات دیگر دارد. به این ترتیب اعتبارسنجی مدل ها یک فرآیند اجتماعی، قضاوتی و کیفی است (بارلاس و کارپنتر، ۱۹۹۰).

برای روشن تر شدن این بحث ابتدا باید در دو نوع مدل ریاضی تفاوت قائل شد: مدل های علی (نظریه ای) و مدل های غیر علی (آماری). مدل های علی توضیح ریاضی از روابط علی بین اجزای سیستمی که مدل شده است را بیان کرده و نظریه ای در مورد چرایی رفتار سیستم ارائه می کنند. در مقابل مدل های غیر علی همبستگی های مشاهده شده بین اجزای مختلف سیستم واقعی را بیان می کنند. این نوع مدل ها شدیدا تجربی بوده و روابط ریاضی آن ها بر پایه یک مکانیزم علی و تئوریزه شده[۴] تدوین نمی شود. این نوع مدل ها برای منظورهای پیش بینی تحت فرضیات مشخص و در دامنه رفتاری معینی به کار می روند.

مدل های پویایی سیستم ها در کلاس مدل های ریاضی علی قرار می گیرند و لذا سعی می کنند تا نظریه ای در مورد برخی جنبه های رفتاری سیستم واقعی ارائه نمایند. با توجه به این که معادلات موجود در این مدل ها مدعی بیان روابط علی بین متغیرهای مختلف هستند، تک تک این روابط باید بر اساس اصول منطقی و علمی نوشته شود و بررسی اعتبار این معادلات یکی از مراحل مهم اعتبارسنجی در مدل های پویایی سیستم ها است. لذا اگر در بررسی مدل، به این نتیجه برسیم که برخی روابط بین متغیرها منطقی نیست این مدل اعتبار ندارد ولو این که رفتار کلی سیستم را ایجاد نماید.

---

[۱] Barlas
[۲] Carpenter
[۳] Objective
[۴] Theorized

در قدم بعدی باید به بررسی توضیحی که مدل از واقعیت های بیرونی ارائه می دهد پرداخت. با توجه به این که این مدل ها مدعی ارائه یک تئوری برای رفتار سیستم هستند، اعتبارسنجی در این مرحله از کار به بحث هایی که مربوط به اعتبار دانش و نظریه ها می شود تحویل می شود. این بحث ها به سوالات اساسی فلسفی مثل این که "پایه صحت یک ادعای علمی چیست؟" یا "آیا اساسا امکان تایید کامل ادعای یک عبارت ممکن است؟" منجر می شود که سال های طولانی (حداقل از قرن هفدهم میلادی) به بعد در حوزه فلسفه علم[۱] و معرفت شناسی[۲] مطرح بوده است. در پاسخ به این سوالات نظریات رقیب متعددی ارائه شده است که می توان آن ها را در طیفی میان دو حد نظریات تقلیل گرا و بنیادگرا (مثل دکارت و هیوم) و نظریات کل نگر و اجتماعی (مثل توماس کوهن و ویتگنشتاین دوم) جای داد.

دو گروه نظریه رقیب در حوزه اعتبارسنجی مدل ها وجود دارد. اگر پیرو نظریه های تجربه گرای منطقی و بنیادگرا در علم که مدعی این هستند که علم بیان واقعیت بیرون است باشیم، در آن صورت فرآیند اعتبارسنجی مدل به یک فرآیند رسمی، الگوریتمیک و تقلیل گرا تبدیل می شود. با توجه به این که مدل قرار است بیان عینی از واقعیت بیرون باشد در این صورت مدل می تواند صحیح یا غلط باشد.

در حالی که اگر رویکرد نسبی گرا، کل نگر و اجتماعی به علم را برگزینیم در آن صورت اعتبار سنجی تبدیل به یک فرآیند نیمه رسمی و گفتگویی می شود. در این رویکرد یک مدل معتبر تنها یکی از راه های ممکن و متعدد برای تشریح یک موقعیت واقعی است. هیچ بیان خاصی بر دیگران به طور مطلق برتری ندارد اگرچه برخی از مدل ها می توانند اثربخش تر از دیگران باشد. هیچ مدلی عینیت کامل ندارد چرا که مدل تنها بیان گر دیدگاه مدل ساز در مورد دنیای واقعی است. مدل ها صحیح و غلط ندارند بلکه در طیفی از میزان مفید بودن طبقه بندی می شوند. لذا اعتبار سنجی مدل یک فرآیند موردی نیست بلکه یک فرآیند تدریجی است که میزان مفید بودن مدل را آشکار می کند.

در مورد مدل های پویایی سیستم ها به طور مشخص می توان گفت که برای استفاده از نتایج این مدل ها، مدل باید پیشبینی از آینده را ارائه نماید. دنیس میدو بیان می کند:

برای اینکه یک مدل برای سیاست گذار مفید باشد، باید توضیحی در مورد آینده ارائه نماید. البته ین توضیح می تواند در قالب اشکال مختلف ظاهر شود:

---

[۱] Philosophy of Science

[۲] Epistemology

۱. پیش بینی های دقیق و مطلق (به عنوان مثال این که کسوف خورشیدی بعدی در چه تاریخی اتفاق خواهد افتاد؟).
۲. پیش بینی های شرطی ولی دقیق (مثلا اگر سیستم خنک کننده مرکزی راکتور از کار بیفتد حداکثر فشاری که به مخزن وارد می شود چقدر خواهد بود؟).
۳. تصویری نادقیق و شرطی از مد رفتار دینامیکی سیستم (مثلا اگر قیمت ذرت (غذای دام) تثبیت شود، قیمت گوشت با چه شدتی (کم یا زیاد) نوسان خواهد کرد؟).
۴. خلاصه روندها، روابط و محدودیت هایی که رفتار آتی سیستم را ایجاد خواهد کرد (مثلا الگوی منطقه بندی شهر ساختمان های تجاری را در کدام منطقه مستقر خواهد کرد؟).
۵. توضیح فلسفی از نتایج منطقی مجموعه ای از فرضیات، بدون توجه به میزان تطابق این فرضیات با دنیای واقع (بر روی یک سطح منحنی کدام فرضیات هندسه اقلیدسی همچنان صادق خواهد بود؟).

بیشتر مدل های پویایی سیستم ها به این منظور طراحی می شوند تا نتایجی از نوع سوم به دست دهند. این سطح از دانش در مورد سیستم البته در حد یک پیش بینی دقیق عددی قرار ندارد ولی این پیش بینی اطلاعات بسیار بیشتر از آنچه مدل های ذهنی فعلی در مورد رفتار سیستم تولید می کند، ایجاد خواهد کرد (نیوتن[۱]، ۱۹۹۹).

لذا می توان گفت هدف نهایی فرآیند اعتبار سنجی در پویایی سیستم ها، اطمینان از صحت رفتار ساختاری مدل در عین توجه به فرآیند مدل سازی است. این موضوع کلیدی و مهم است چراکه هدف نهایی مدل های پویایی سیستم ها ارزیابی ساختارهای مختلف (استراتژی های مختلف) موثر بر رفتار سیستم است. با توجه به این که مدل های پویایی سیستم ها، قصد دارند تا در مورد پیامدهای درازمدت هر سیاست، تحلیلی ارائه نمایند، لذا در اعتبارسنجی، تمرکز باید بر میزان تولید رفتار ساختاری سیستم باشد تا پیش بینی نقطه به نقطه مقداری متغیرها. هرچند که اگر ساختار مدل دارای اعتبار کافی باشد، در مراحل بعدی، اعتبار سنجی مقداری مدل نیز می تواند مورد توجه قرار گیرد (بارلاس، ۱۹۹۶).

[۱] Newton

فصل سوم

توسعه، اصلاح و اعتبارسنجی مدل

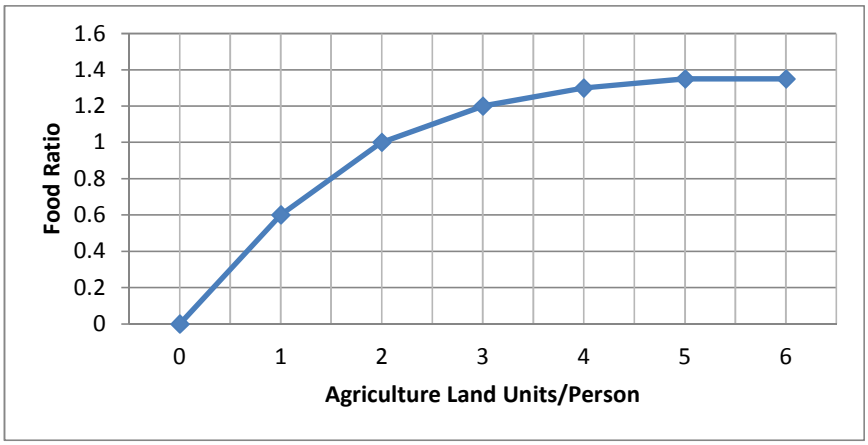
۳-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به بررسی مدل پویایی های جهان آقای فارستر و تشریح جزئیات مدل پرداخته خواهد شد. سپس مدل در نرم افزار پاورسیم اجرا خواهد شد و نتایج به دست آمده از مدل با نتایج به دست آمده از دنیای واقعی مقایسه خواهد شد. در نهایت خطای موجود اندازه گیری خواهد شد.

۳-۲- حرکت به سوی تعادل

فرض کنید افرادی در یک منطقه زندگی می کنند و هر نفر مقداری زمین برای خانه سازی، فعالیت تجاری، حمل و نقل و دفع مواد زائد اشغال می کند که به آن فضای تصرف شده می گوییم. همچنین برای تامین مواد غذایی کافی، هر نفر به ۲ واحد زمین برای تهیه و تولید غذا نیازمند است. اگر فضای تصرف شده را در کل مدل تعمیم دهیم آنچه باقی می ماند برای کشاورزی مصرف خواهد شد. در شکل (۳-۱) ارتباط بین زمین در دسترس به ازای هر نفر[۱] و مطلوبیت به دست آمده از مصرف مواد غذایی[۲] مشخص می شود. در سمت چپ نمودار وقتی زمینی در دسترس نیست غذایی تولید نمی شود و در نتیجه مطلوبیتی حاصل نمی شود. با افزایش زمین در دسترس میزان غذای تولیدی افزایش می یابد تا آنکه وقتی زمین در دسترس ۲ واحد می شود، مطلوب ترین میزان غذا برای هر نفر مشخص می شود که نسبت آن یک است، در واقع اگر نسبت غذا کمتر از یک باشد غذای کافی به فرد نمی رسد و اگر این نسبت بیشتر از یک باشد بیش از نیاز، غذا مهیا خواهد شد. در نهایت وقتی مقدار زمینی به میزان بیش از ۲ واحد در اختیار فرد قرار می گیرد میزان مطلوبیت حاصل از غذا تا ۱,۵ برابر میزان نرمال آن افزایش می یابد (مسلما افزایش بیش از حد مواد غذایی سبب رسیدن به مطلوبیت های بالاتر نیست).

[۱] Agriculture Land Units/Person
[۲] Food Ratio



شکل (۳-۱): نسبت غذا در مقابل زمین های کشاورزی به ازای هر نفر

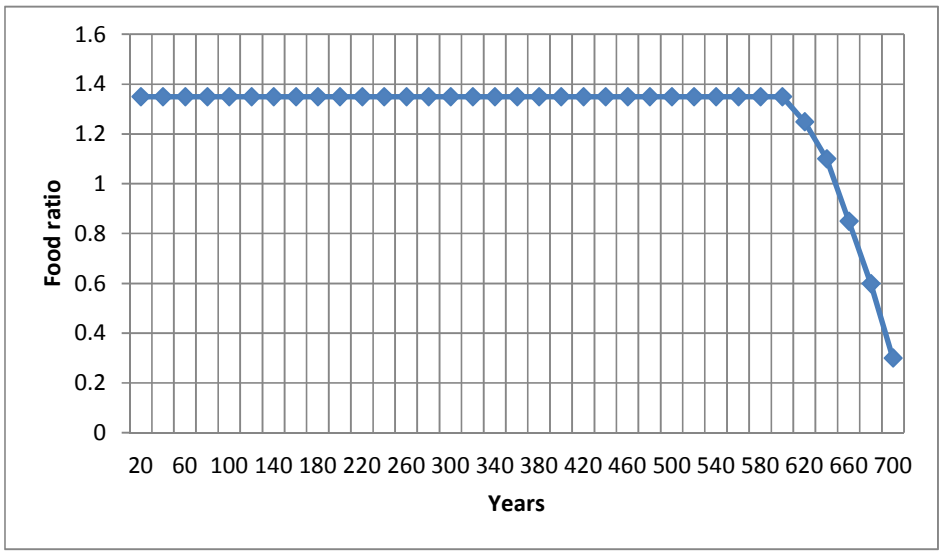
جدول (۳-۱) را در نظر بگیرید. فرض کنید که جمعیت در فضای ۲۴۰۰۰ میلیون واحد رشد می کند. ستون اول فاصله های زمانی ۵۰ ساله ای[۱] است که در آن جمعیت رشد می کند، ستون دوم رشد جمعیت را در واحد میلیون[۲] نشان می دهد، ستون سوم مقدار فضایی است که هر نفر در واحد میلیون اشغال[۳] می کند (هر نفر یک واحد فضا را اشغال می کند)، ستون چهارم مقدار زمین مانده برای کشاورزی را در واحد میلیون[۴] مشخص می کند که از تفاضل کل زمین در دسترس و زمین اشغال شده به دست می آید)، ستون پنجم مقدار زمین کشاورزی است[۵] که به هر نفر اختصاص می یابد و ستون آخر، تامین غذای[۶] کافی را نشان می دهد.*

۱ Years
۲ Millions of People
۳ Occupancy land units
۴ Agriculture land units
۵ Agriculture land units per person
۶ Food ratio

جدول (۳-۱): افراد، فضای اشغال شده، و نسبت غذا با زمینی به مساحت ۲۴۰۰۰ میلیون واحد

years	Millions of people	Occupancy land units, millions	Agriculture land units, millions	Agriculture land units per person	Food ratio
۰	۱	۱	۲۳۹۹۹	۲۳۹۹۹	۱,۳۵
۵۰	۲	۲	۲۳۹۹۸	۱۱۹۹۹	۱,۳۵
۱۰۰	٤	٤	۲۳۹۹٦	٥۹۹۹	۱,۳۵
۱۵۰	۸	۸	۲۳۹۹۲	۲۹۹۹	۱,۳۵
۲۰۰	۱٦	۱٦	۲۳۹۸٤	۱٤۹۹	۱,۳۵
۲۵۰	۳۲	۳۲	۲۳۹٦۸	۷٤۹	۱,۳۵
۳۰۰	٦٤	٦٤	۲۳۹۳٦	۳۷٤	۱,۳۵
۳۵۰	۱۲۸	۱۲۸	۲۳۸۷۲	۱۸۷	۱,۳۵
٤۰۰	۲٥٦	۲٥٦	۲۳۷٤٤	۹۳	۱,۳۵
٤٥۰	٥۱۲	٥۱۲	۲۳٤۸۸	٤٦	۱,۳۵
٥۰۰	۱۰۲٤	۱۰۲٤	۲۲۹۷٦	۲۲	۱,۳۵
٥٥۰	۲۰٤۸	۲۰٤۸	۲۱۹٥۲	۱۰,۷۲	۱,۳۵
٦۰۰	٤۰۹٦	٤۰۹٦	۱۹۹۰٤	٤,۸٦	۱,۳٤
٦۲۰	٥٤۰٥	٥٤۰٥	۱۸٥۹٥	۳,٤٤	۱,۲٦
٦٤۰	۷۱۳۲	۷۱۳۲	۱٦۸٦۸	۲,۳۷	۱,۰۹
٦٦۰	۹٤۱۰	۹٤۱۰	۱٤٥۹۰	۱,٥٥	۰,۸٥
٦۸۰	۱۲٤۱۷	۱۲٤۱۷	۱۱٥۸۳	۰,۹۳	۰,٥۷
۷۰۰	۱٦۳۸٤	۱٦۳۸٤	۷٦۱٦	۰,٤٦	۰,۳۰

تا ۶۰۰ سال اول که جمعیت به ۴ میلیارد نفر می رسد، میزان زمین برای کشاورزی تنها ۱۷ درصد کاهش می یابد و نسبت غذای کافی برای هر نفر در بیشترین مقدار خود، یعنی ۱,۳۵، باقی می ماند اما در ۱۰۰ سال بعدی با اینکه جمعیت تنها چهار برابر می شود، زمین کشاورزی ۶۲ درصد کل زمین های موجود می شود و برای اولین بار زمین های تصرف شده مقداری از زمین های مورد نیاز برای کشاورزی را تصاحب می کنند، در نهایت با افزایش بیشتر جمعیت و رسیدن به مقدار بحرانی خود در سال ۶۰۰ سطح زمین های کشاورزی به سرعت کاهش می یابد. در شکل (۳-۲) تا سال ۶۰۰ نسبت غذای کافی ۱,۳ است اما در یک دوره ۱۰۰ ساله ناگهان به شدت کاهش می یابد و این سقوط ناگهانی سبب محدودیتی برای رشد خواهد شد.



شکل (۳-۲): میزان نسبت غذا طی ۷۰۰ سال

آنچه در شکل (۳-۲) مشاهده می شود در دنیای واقعی با این میزان شدت اتفاق نخواهد افتاد، زیرا در دنیای واقعی کیفیت زمین ها متفاوت است و افزایش گرسنگی به استفاده بهتر از زمین ها منجر خواهد شد.

افزایش جمعیت تنها بر روی منابع غذایی اثر نمی گذارد، افزایش جمعیت نرخ استفاده از منابع طبیعی را افزایش می دهد و منابع باقی مانده کاهش پیدا می کنند که این خود خلاف جهت تقاضای منابع است. افزایش صنعتی شدن سبب افزایش آلودگی می شود اما خود افزایش آلودگی سبب می شود که فرآیند رفع آلودگی در طبیعت با افت مواجه شود در نتیجه افزایش آلودگی قابلیت از بین بردن آلودگی را کاهش می دهد.

در این پژوهش به این نتیجه رسیده خواهد شد که با عبور جمعیت از حد معین، چه نیروهایی در نهایت سبب تعدیل آن خواهد شد. آیا کمبود منابع طبیعی، آلودگی، ازدحام جمعیت، نزاع و درگیری های ناشی از آن و یا کمبود غذا سبب آن می شود؟

رشد نمایی نمی تواند برای همیشه صورت گیرد. اگر ما خود محدودیت ها را برای کاهش جمعیت انتخاب نکنیم نظام جهان برای ما به زور انتخاب خواهد کرد.

در مدلی که در آینده خواهیم دید ذکر موارد زیر ضروری است:

۱. صنعتی شدن یکی از اساسی ترین نیروهای مخرب حتی بیشتر از افزایش جمعیت بر اکولوژی جهان می باشد. در حقیقت انفجار جمعیت می تواند بهترین تصویر از افزایش و رشد صنعتی شدن باشد (سطح بالای سلامتی عمومی و امور پزشکی جزئی از نتایج صنعتی شدن می باشد).

۲. در طول قرن آینده، بشر ممکن است یکی از چهار راه حل زیر را به عنوان محدودیتی برای رشد بیش از حد جمعیت برگزیند.

- کاهش جمعیت به سبب افزایش آلودگی
- کاهش جمعیت به سبب کمبود مواد غذایی
- کاهش جمعیت به سبب جنگ، بیماری و استرس های اجتماعی ناشی از افزایش ازدحام جمعیت
- کاهش صنعی شدن در اثر کمبود منابع طبیعی

۳. معلومات و آگاهی هایی که مدل در مورد خطر رشد جمعیت به ما می دهد و به طبع تصمیماتی که ما برای جلوگیری از آن اتخاذ می کنیم خود سبب بی اثر شدن این تصمیمات می گردد، به این معنی که اگر کنترل جمعیت با موفقیت پیش رود، منابع غذایی و مایحتاج یک زندگی استاندارد به سطح بسیار مطلوبی خواهد رسید و این خود سبب رشد جمعیت می شود.

۴. استاندارد بالای زندگی در جوامع مدرن صنعتی، به نظر می رسد نتیجه تولید مواد غذایی و استخراج منابع طبیعی باشد که از افزایش جمعیت پیشی گرفته اند اما هنگامی که کشاورزی به خاطر کمبود زمین به حد نهایی تولید خود نزدیک شد و همانند آن صنعتی شدن نیز با کمبود منابع طبیعی روبرو شد و علاوه بر این هر دوی آن ها با محدودیت آلودگی روبرو شدند دگر بار رشد جمعیت از آن ها پیش خواهد افتاد و در این حالت تنها محدودیتی که می تواند جلوی رشد جمعیت را بگیرد، کاهش کیفیت زندگی خواهد بود.

۵. یک جامعه با سطح بالایی از صنعت ممکن است قادر به بقا نباشد زیرا با از بین بردن منابع طبیعی خود باعث از بین رفتن خود می شود و یا اگر منابع پایان ناپذیر جایگزین در دسترس باشد یک کشمکش بین المللی بر سر آلودگی و رعایت حقوق زیست محیطی ممکن است استانداردهای زندگی فعلی را نسبت به گذشته تقلیل دهد.

۶. با یک دید کلی به سال های آینده، تلاش کشورهای در حال توسعه برای صنعتی شدن ممکن است نامعقول به نظر برسد. آن ها هم اکنون نسبت به هنگامی که صنعتی شوند از

یک موقعیت تعادلی مناسب تری با محیط خود برخوردارند. آن ها ممکن است از فشارهای محیطی و اقتصادی کمتری نسبت به کشورهای توسعه یافته برخوردار شوند. اگر یکی از نیروهای ذکر شده به اندازه کافی قوی شود تا جلوی رشد جمعیت را بگیرد آن ها رنج کمتری از این نابودی را متحمل می شوند، زیرا اقتصادی با سازماندهی و یکپارچگی کمتر به مراتب آسیب جزئی تری را متحمل می شود.

۳-۳- مدل های ذهنی سیستم های اجتماعی

هیچ موضوع جدیدی برای مدل ذهنی سیستم های اجتماعی وجود ندارد تا بیان شود. هر شخص برای تصمیم گیری های روزانه خود از مدل های ذهنیش استفاده می کند. تصویر ذهنی یک نفر از دنیای اطرافش یک مدل را تشکیل می دهد. شخص در این مدل برای خود تعریفی از شغل، شهر، شهرت خود و ... ارایه نمی دهد، بلکه روابطی که بین آن ها است برایش مهم است. سوال این نیست که آیا از مدل ها استفاده شود یا خیر؟ سوال این است که فرد باید از کدام مدل استفاده کند، در واقع روابط را چگونه بچیند. همواره یک مدل ذهنی کامل نیست و بصورت کاملا دقیقی بیان نمی شود. حتی برای یک نفر مدل های ذهنی متفاوتی در زمان های مختلف وجود دارد.

۳-۴- مدل های کامپیوتری سیستم های اجتماعی

نگرشی که برای بررسی نظام جهان در اینجا در نظر گرفته شده است، ترکیبی از قوای ذهنی انسان و قدرت کامپیوترهای امروزی است. مسلما تنها انسان است که می تواند درک روشنی از فشارها، ترس ها، اهداف، عادات، پیش داوری ها و سایر ویژگی های انسانی که به صورت جداگانه بر روی سیستم جهان تاثیر می گذارد، داشته باشد. اما وقتی همه این عوامل به صورت مشترک در ارتباط با یکدیگر اثر می گذارند کامپیوترها وارد عمل می شوند تا نتیجه کلی را برای ما بدون هیچ اشتباهی پیش بینی کنند. خوب بودن یک مدل بستگی به خوب بودن فرضیه های پشت آن دارد.

برای ساختن یک مدل کامپیوتری از سیستم های اجتماعی، انتخاب و مرتب کردن اطلاعات از سیستم واقعی حیاتی است. مشکلاتی که در اینجا پیش خواهد آمد از کمبود اطلاعات نیست

بلکه از عدم ساختار یافتن اطلاعات موجود و اینکه از میان اطلاعات موجود کدام می بایست انتخاب و بررسی شود، می باشد.

مهمترین مفهوم در برقراری ساختار یک سیستم این است که تمامی فعالیت ها در یک حلقه بازخوران قرار گیرند. حلقه بازخوران مسیر بسته ای است که یک فعالیت را به تاثیرات آن فعالیت در شرایط پیرامون آن فعالیت مرتبط می سازد و شرایط جدید به وجود آمده، خود به عنوان اطلاعات جدیدی هستند که بر روی فعالیت های بیشتری اثر می گذارند. ما معمولا به اشتباه فکر می کنیم که روابط علی و معلولی تنها در یک جهت بر روی هم اثر می گذارند. مثلا می گوییم A نتیجه B است اما B خود شرایطی ایجاد می کند که بر روی A تاثیر می گذارد.

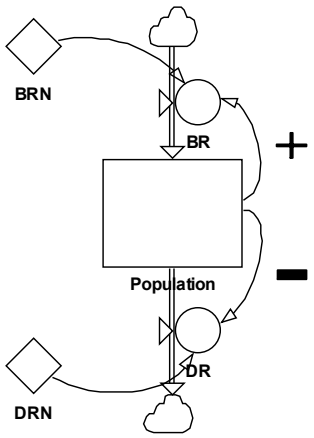
ذهن انسان ها از محیط های یکسان برداشت های مختلفی دارد که ممکن است درست یا غلط باشند و از این برداشت ها برای شرح و توصیف جهان اطراف خود استفاده می کند. ذهن انتظار دارد با توجه به آنچه فکر می کند نتایج مرتبطی به دست آورد. اما غالبا اینچنین نمی شود. ذهن انسان می تواند به راحتی و بطور جداگانه عواملی را که بر روی یک تصمیم تاثیر می گذارند را تجزیه و تحلیل کند اما مشکل زمانی شروع می شود که این عوامل به طور مشترک بر روی سیستم تاثیر می گذارند.

۳-۵- حلقه جمعیت

در شکل (۳-۳) حلقه بالا سبب افزایش جمعیت و حلقه پایین سبب کاهش جمعیت می شود. نرخ تولد[۱] و نرخ مرگ[۲] بر حسب سال بیان شده اند. این دو در نهایت مشخص می کنند که جمعیت کاهش و یا افزایش پیدا کند. BRN[۳] و DRN ضرایبی هستند که لفظ نرمال برای آن ها به کار می رود و برابر با کسری از جمعیت هستند که هر سال می میرند و یا به دنیا می آیند. برای مثال اگر BRN=۰,۰۴ باشد، آنگاه در جمعیت ضرب می شود تا BR را مشخص کند، یعنی در شرایط نرمال سالانه ۴ درصد به جمعیت اضافه می شود. در همان زمان DRN=۰,۰۲۸ است که نشان دهنده ۲۸ درصد کاهش در جمعیت به سبب مرگ و میر سالانه است. در نتیجه به طور خالص سالانه ۱,۲ درصد افزایش جمعیت خواهیم داشت. به این مقدار استاندارد گفته می شود،

[۱] BRN
[۲] DRN
[۳] تمامی علائم و اختصارات موجود درمتن، اشکال و جداول در پیوست شماره ۱ توضیح داده شده است.

زیرا در وضعیتی نرخ مرگ و میر یا تولد را اندازه می گیرد که مقدار غذا، مایحتاج استاندارد زندگی، ازدحام و آلودگی، همه در مقادیر استاندارد خود هستند، اما سایر متغیرهای مدل با توجه به کم و زیاد شدن نرخ تولد و مرگ و میر از استاندارد خود، می توانند کم یا زیاد شوند. تاثیرات شرایط دیگر بر روی سیستم به وسیله ضرایب تعیین می شود که نرخ های نرمال سیستم را کاهش یا افزایش می دهند که این خود بستگی به آن دارد که آیا تغییرات صورت گرفته تاثیرات مثبت و یا منفی ایجاد کرده اند یا خیر. حلقه مثبت سبب می شود که رشد جمعیت نمایی شود، اما حلقه دوم از آن می کاهد. اگر تولید وجود نداشته باشد جمعیت به سمت صفر تمایل پیدا می کند، اگر هر دو وجود داشته باشند یا جمعیت به سمت صفر می رود و یا رشد نمایی خواهد داشت و این بستگی به آن دارد که کدامیک قوی تر است.



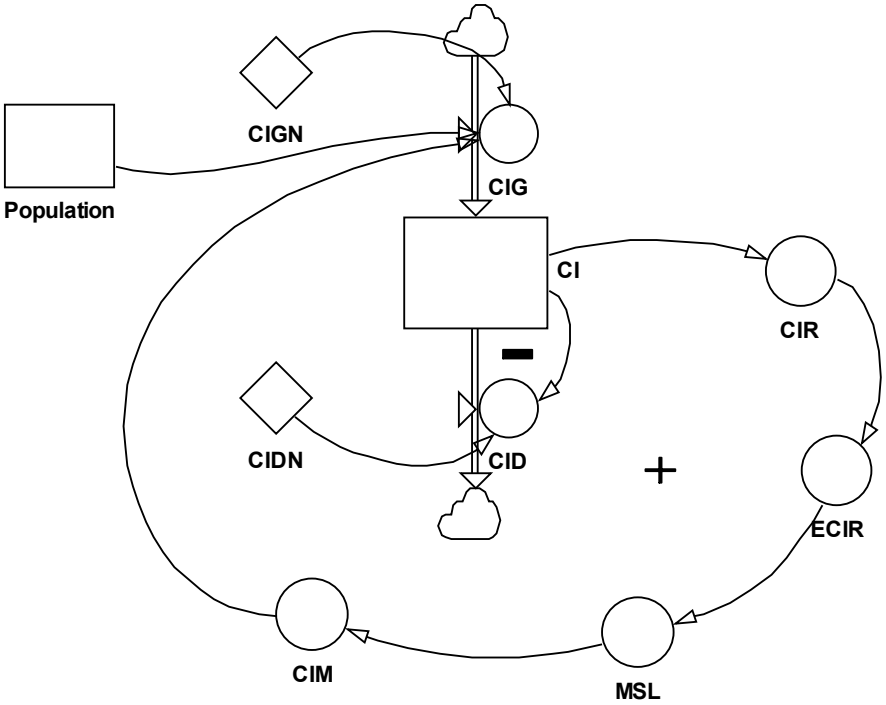
شکل (۳-۳): حلقه جمعیت

۳-۶- حلقه سرمایه

این حلقه نیز مانند حلقه قبل یک حلقه مثبت و یک حلقه منفی دارد. نرخ تولید سرمایه[۱] به میزان جمعیت و تولید سرمایه نرمال[۲] وابسته است. CIGN مقداری است که بیان می کند ، هر فرد به صورت نرمال چه میزان سرمایه گذاری می کند. مقدار دیگری که در نرخ میزان سرمایه گذاری تاثیر دارد، ضریبی به نام ضریب سرمایه گذاری[۳] است که نرخ سرمایه گذاری را اصلاح می کند. از آنجا که وقتی سطح مطلوب زندگی برای افراد پایین بیاید مسلما مصرف زیادتر می شود و مقدار کمی برای سرمایه گذاری باقی می ماند، باید توجه داشت که CIM همواره با افزایش

[۱] CIG
[۲] CIGN
[۳] CIM

مایحتاج زندگی استاندارد[1] رشد نمی کند بلکه در حدهای بالایی خود با توقف مواجه می شود، زیرا از طرف دیگر وقتی مقدار سرمایه گذاری به ازای هر نفر زیاد شود، سطح مطلوب زندگی افراد بالاتر می رود و آنگاه دیگر نیازی به سرمایه گذاری بیشتر نیست.



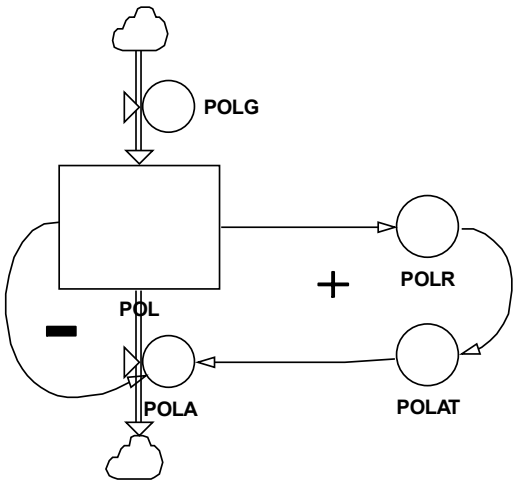
شکل (۳-۴): حلقه سرمایه گذاری

۳-۷- حلقه آلودگی

شامل دو حلقه مثبت و منفی است. حلقه منفی فرآیند دفع آلودگی است. هر چه آلودگی بیشتر باشد، مسلما میزان دفع آلودگی بیشتر است، البته تا جایی که آلودگی آنقدر زیاد نباشد که فرآیند دفع آلودگی را با اختلال مواجه کند.

در حلقه منفی زمان برای دفع آلودگی همواره مقدار ثابتی است، اما در حلقه مثبت با توجه به مقدار آلودگی، زمان برای دفع آن تغییر می کند. هرچه آلودگی بیشتر باشد فرآیند دفع آلودگی با اختلال بیشتری مواجه می شود در نتیجه زمان بیشتری برای دفع آلودگی نیاز است. اگر این حلقه مثبت به اندازه کافی بزرگ شود سبب فاجعه خواهد شد.

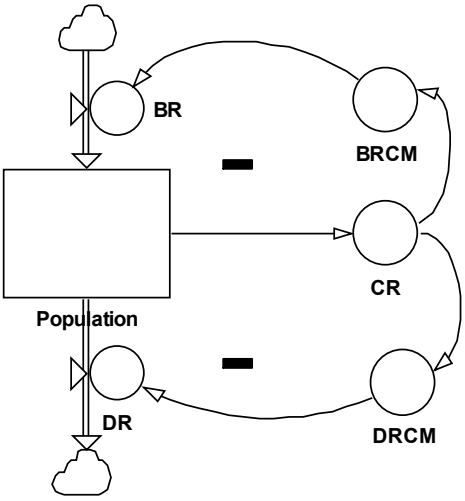
[1] MSL



شکل (۳-۵): حلقه آلودگی

۳-۸- کنترل جمعیت از طریق افزایش ازدحام

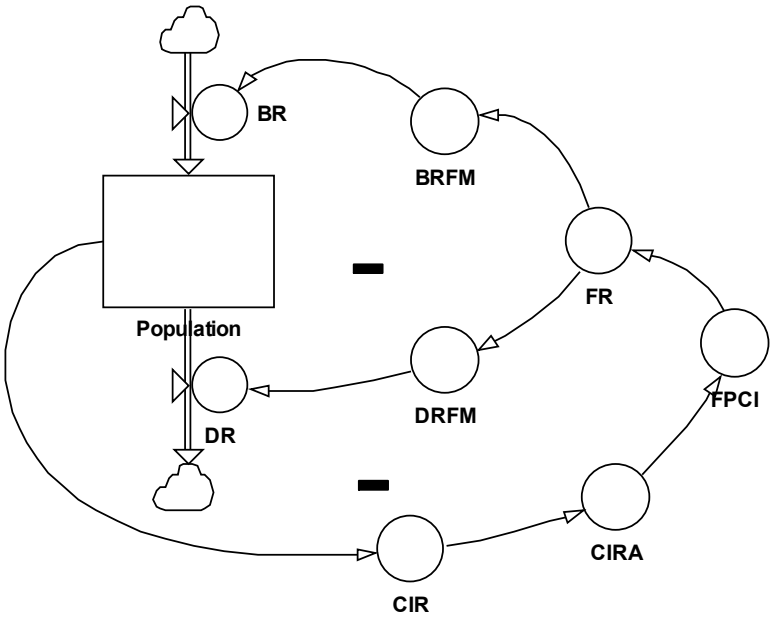
دو حلقه منفی که در شکل (۳-۶) معرفی می شود، تراکم و ازدحام بشر بر روی کره زمین را کنترل می کند. این دو حلقه همواره فعال بوده و نرخ تولید و مرگ و میر را تغییر می دهند. در حلقه بالایی اگر جمعیت افزایش پیدا کند، تراکم جمعیت افزایش پیدا می کند. آنگاه از ضریب نرخ تولد که با توجه به تراکم در نظر گرفته شده، کاسته می شود.



شکل (۳-۶): حلقه کنترل جمعیت از طریق افزایش ازدحام جمعیت

۳-۹- کنترل جمعیت از طریق تامین غذا

در شکل (۳-۷) نیز دو حلقه منفی داریم که از طریق تغییرات در سرمایه گذاری و تامین غذا باعث کنترل جمعیت می شوند. این موضوع که در طول تاریخ قسمت قابل توجهی از جمعیت جهان در معرض گرسنگی و قحطی به سر می برند، نشان می دهد که دو حلقه منفی موجود جمعیت را به گونه ای که بشر در معرض قحطی و گرسنگی قرار گیرد تعدیل می کند. نکته ای که در اینجا باید اشاره کرد این است که افزایش مواد غذایی در طول تاریخ به گونه ای نبوده است که سبب کاهش قحطی و گرسنگی شود. بلکه افزایش مواد غذایی خود عاملی برای افزایش جمعیت شده به گونه ای که گرسنگی و قحطی را افزایش نیز داده است. با توجه به شکل (۳-۷) افزایش جمعیت، افزایش تراکم را به دنبال داشته است. افزایش تراکم سبب کاهش مقدار زمین برای کشاورزی می شود و در کل شاهد کاهش ضریب غذا در اثر تراکم[۱] و کاهش نرخ تامین غذا[۲] خواهیم بود. در نتیجه می توانیم بگوییم که تراکم به طور مستقیم از طریق تاثیرات روانی و به طور غیر مستقیم از طریق غذا بر روی جمعیت اثر خواهد گذاشت.

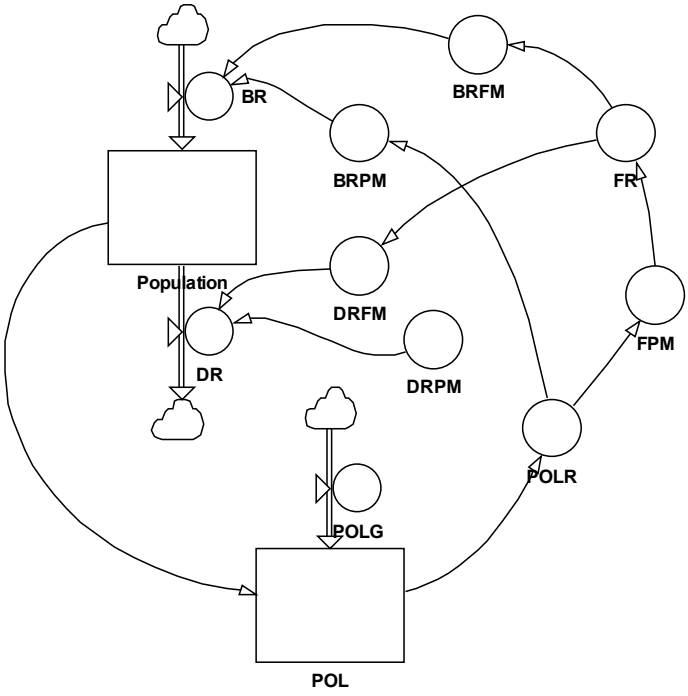


شکل (۳-۷): حلقه کنترل جمعیت از طریق تامین غذا

[۱] FCM
[۲] FR

۳-۱۰- کنترل جمعیت از طریق آلودگی

همانطور که در شکل (۳-۸) مشاهده می شود، افزایش جمعیت سبب افزایش آلودگی می شود و همچنین افزایش آلودگی سبب کاهش نرخ تولد و افزایش نرخ مرگ و میر خواهد شد، از طرف دیگر افزایش آلودگی سبب کاهش نرخ تولید مواد غذایی می شود که در نهایت باعث کاهش جمعیت می گردد. این دو عامل تا سال ۱۹۷۰ تاثیر چندانی بر روی جمعیت نداشته اند، اما در سال های بعد با افزایش آلودگی تاثیر این دو نیروی منفی بیش از پیش نمایان شده است.

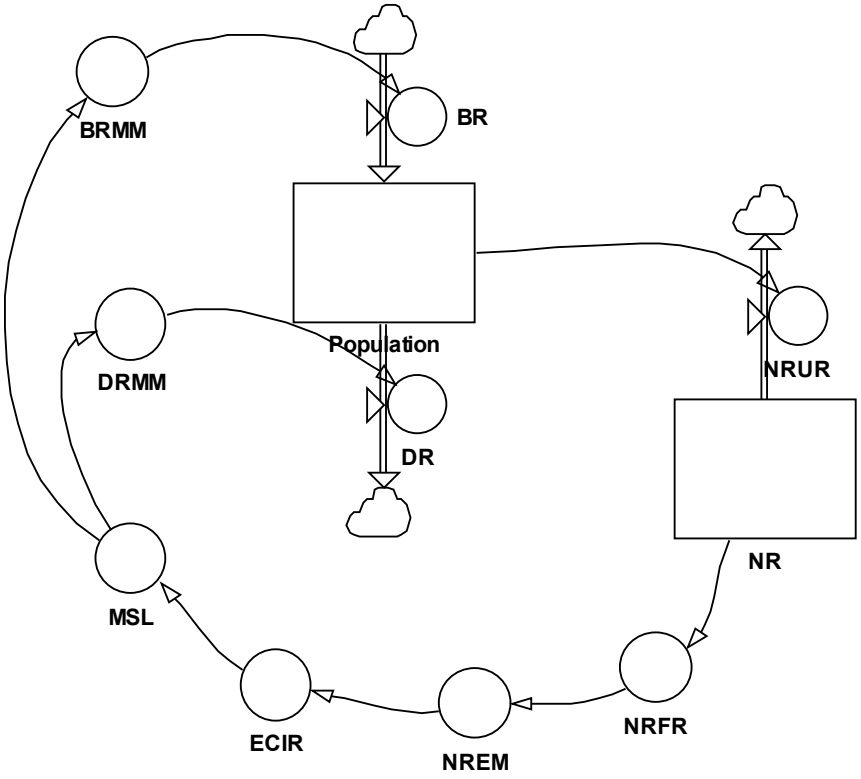


شکل (۳-۸): حلقه کنترل جمعیت از طریق آلودگی

۳-۱۱- کنترل جمعیت از طریق منابع طبیعی

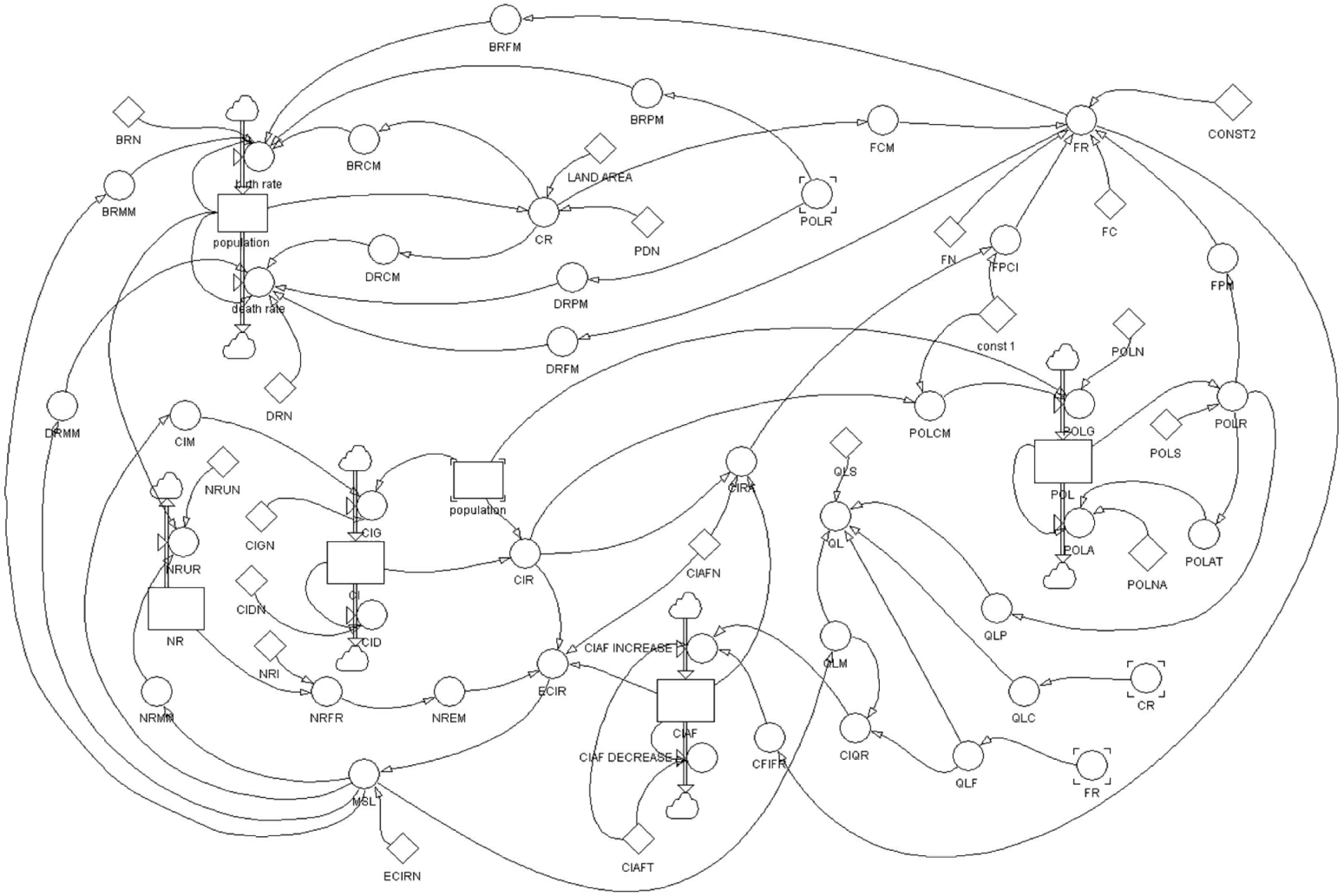
در شکل (۳-۹)، افزایش جمعیت سبب می شود که استفاده از منابع طبیعی افزایش پیدا کرده تا آنجا که آن قسمت از سطح مطلوب زندگی افراد که متاثر از استفاده از منابع طبیعی است

با افت مواجه شود، که در نتیجه، خود سبب کاهش جمعیت می شود (توضیح آنکه با افت مایحتاج استاندارد زندگی نرخ تولد و مرگ و میر افزایش می یابد، که در نهایت باعث کاهش جمعیت می شود). به طور دقیق تر اگر جمعیت افزایش یابد نرخ استفاده از منابع طبیعی افزایش می یابد و سرعت کاهش منابع طبیعی نیز زیاد می شود، در نتیجه مقدار منابع قابل استخراج و نرخ استخراج کاهش می یابد. با کاهش نرخ استخراج در واقع نرخ سرمایه گذاری بر روی تامین مایحتاج زندگی افراد که از استخراج منابع حاصل می شود، نیز کاهش می یابد و این خود باعث کاهش سطح استاندارد زندگی افراد می شود و آنچه ذکر شد، اتفاق می افتد.



شکل (۳-۹): حلقه کنترل جمعیت از طریق منابع طبیعی

شکل (۳-۱۰) نمای کلی مدل پویایی های جهان آقای فارستر را نشان می دهد. در این شکل متغیرهای حالت با مستطیل، متغیرهای کمکی با دایره و متغیرهای عددی با لوزی نمایش داده شده است.



شکل (۳-۱۰) : نمای کلی مدل پویایی های جهان آقای فارستر

۳-۱۲- توضیح یک به یک اجزای مدل

۳-۱۲-۱- جمعیت[۱]

همانطور که گفته شد، جمعیت یک متغیر حالت است. در محاسبات، سال ۱۹۰۰ به عنوان سال مبدا در نظر گرفته شده است که در آن سال، جمعیت جهان ۱,۶ میلیارد نفر تخمین زده شده است. در این مدل جمعیت به صورت سالانه محاسبه می شود.

۳-۱۲-۲- نرخ تولد[۲]

نرخ تولد با دو پارامتر مهم در ارتباط است، یکی جمعیت و دیگری نرخ نرمال تولد. نرخ تولد معمولا میزان تولد به ازای هر هزار نفر را نشان می دهد و یا به صورت درصدی از جمعیت بیان می شود. نرخ نرمال تولد درصدی از جمعیت است که سالانه به جمعیت افزوده می شود. در واقع نرخ نرمال تولد، بخش عمده ای از نرخ تولد را تشکیل می دهد اما نه تمام آن را، زیرا پارامترهای دیگری نیز وجود دارند که بر نرخ تولد تاثیر گذار هستند، که از آنها به عنوان ضرایب تعدیل گر[۳] یاد می شود. این ضرایب از حالت نرمال خود، که مقدار یک را می گیرند، می توانند خارج شده و مقادیری کمتر و یا بیشتر از یک را اختیار کنند (این موضوع بستگی دارد به اینکه آیا سایر قسمت های مدل شرایطی مناسب تر برای افزایش جمعیت ایجاد کرده اند و یا عکس آن عمل کرده اند). این تغییرات مستقیما متاثر از تغییرات در سایر بخش های مدل است. بنابراین نرخ تولد با عواملی چون جمعیت، نرخ نرمال تولد و مجموعه ای از ضرایب شامل ضرایب مربوط به مایحتاج استاندارد زندگی[۴]، ازدحام جمعیت[۵]، غذا[۶]، آلودگی[۷] مرتبط می باشد.

در این مدل مقادیر پایه مقادیری هستند که از سال ۱۹۷۰ استخراج شده اند و به عنوان مبنایی برای سال های قبل و بعد از سال ۱۹۷۰ در نظر گرفته شده اند. به عنوان مثال ضرایب

---

۱ Population
۲ BR
۳ Multipliers
۴ BRMM
۵ BRCM
۶ BRFM
۷ BRPM

تعدیل گر مقدار یک را اختیار می کنند به شرطی که تمام متغیرهای حالت مقادیر سال ۱۹۷۰ را داشته باشند.

در این مدل نرخ نرمال تولد، نمی تواند برابر با نرخ تولد شود مگراینکه تمام ضرایب نرخ تولد برابر یک باشد. اگر فرض شود که تمامی ضرایب تعدیل گر در سال ۱۹۷۰ برابر یک می باشد و با توجه به اینکه میزان جمعیت در سالهای ۱۹۰۰ و ۱۹۷۰ به ترتیب برابر ۱,۶ و ۳,۶ میلیارد نفر است، می توان مقادیر ثابتی برای نرخ های نرمال تولد و نرخ نرمال مرگ محاسبه کرد. با توجه به جمعیت های سال ۱۹۰۰ و ۱۹۷۰، رشد جمعیت به طور میانگین برابر با ۱,۲ درصد در هر سال می باشد. واضح است که این مقدار می بایست تفاضل نرخ نرمال تولد و نرخ نرمال مرگ نیز باشد، که در واقع برآیند این دو سبب کاهش و یا افزایش جمعیت خواهد شد. اگر نرخ نرمال تولد و نرخ نرمال مرگ به ترتیب مقادیر ۰,۰۴ و ۰,۰۲۸ را اختیار کنند، این رشد جمعیت جبران خواهد شد.

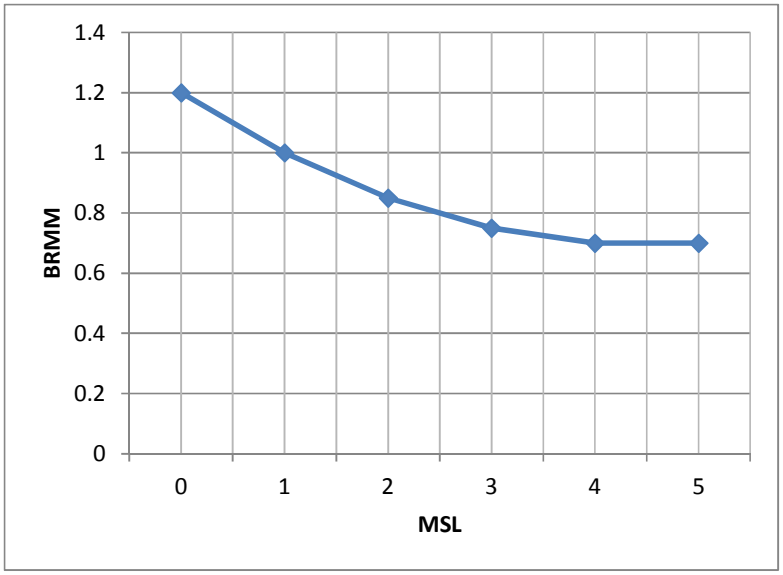
در نرم افزار پاورسیم، نرخ تولد به صورت حاصل ضرب جمعیت کنونی در نرخ نرمال تولد که در طول مدل مقدار ثابتی است به دست می آید، سپس برای اصلاح مقدار آن با توجه به سایر قسمت های مدل ضرایبی چون نرخ تولد متاثر از میزان مواد غذایی، نرخ تولد متاثر از تراکم جمعیت، نرخ تولد متاثر از آلودگی و نرخ تولد متاثر از تامین مایحتاج استاندارد برای یک زندگی مطلوب در آن ضرب خواهد شد.

۳-۱۲-۳- ضریب تعدیل نرخ تولد با توجه به مایحتاج استاندارد زندگی

این ضریب برای تعدیل نرخ افزایش جمعیت به کار گرفته می شود. مایحتاج استاندارد یک زندگی (هر آنچه که هر فرد برای یک زندگی سالم نیازمند است به غیر از غذا) در سال ۱۹۷۰ همواره برابر یک در نظر گرفته شده است و در این صورت ضریب تعدیل گر مربوط به آن نیز برابر یک محاسبه می شود. مایحتاج زندگی استاندارد شامل تاثیرات درمان، سلامت عمومی، زیر ساخت های بهداشت و کلیه تسهیلات و رفاهی است که در اختیار افراد قرار دارد. همه این ها زمانی حاصل خواهد شد که جهان به سوی صنعتی شدن و مدرنیزه شدن پیش رود. با افزایش سطح زندگی افراد می توان گفت که هم میزان نرخ مرگ و هم میزان نرخ تولد کاهش می یابد، زیرا با افزایش سطح بهداشت عمومی میزان مرگ و میز نوزادان بسیار کمتر از گذشته شده است و از طرف دیگر افزایش بهداشت عمومی سبب ابداع روش های گوناگونی برای جلوگیری از بارداری

های ناخواسته شده است و از طرف دیگر فشار روانی متاثر از صنعتی شدن نیز به تنهایی سبب افت جمعیت شده است. آمار کشورهای صنعتی که با بحران کمبود رشد جمعیت مواجه شده اند، خود موید این گفته می باشد.

در نرم افزار پاورسیم از تابع گراف کِرو[1] برای بیان این ضریب استفاده شده است. هنگامی که سطح زندگی سرانه افراد از مقادیر استاندارد خود یعنی مقدار ۱ کمتر می شود متناسب با آن ضریب تعدیل گر نرخ جمعیت افزایش پیدا خواهد کرد، زیرا فقدان بهداشت عمومی نظیر آنچه در کشورهای آفریقایی مشاهده می شود، سبب افزایش نرخ تولد می گردد اما هر چه مقدار مایحتاج زندگی استاندارد افزایش می یابد این ضریب تعدیل گر مقداری کمتر از یک را تجربه خواهد کرد و طبیعی است که این کاهش در BRMM تا بی نهایت نمی تواند ادامه پیدا کند.



شکل (۳-۱۱): نرخ تولد در مقابل مایحتاج استاندارد زندگی

[1] Graph Curve

۳-۱۲-۴- مایحتاج استاندارد زندگی

این کمیت بدون واحد است و چندین عامل بر آن اثر می گذارند. نسبت سرمایه گذاری موثر نرمال[۱] به صورت سرانه محاسبه می شود. در این مدل سرمایه گذاری به دو بخش تقسیم می شود، یک بخش مربوط به کشاورزی و بخش دیگر سرمایه گذاری در جهت بهبود وضعیت زندگی افراد است که از طریق سرمایه گذاری در بخش منابع طبیعی حاصل می شود، به این بخش از سرمایه گذاری، نسبت سرمایه گذاری موثر[۲] گفته می شود. نسبت سرمایه گذاری موثر همانند نسبت سرمایه گذاری موثر نرمال مقدار سرمایه گذاری را مشخص می کند با این تفاوت که این مقدار سالانه محاسبه می شود. نسبت سرمایه گذاری موثر نرمال می تواند مقادیر مختلفی به خود بگیرد، یعنی ممکن است هر سال بیشتر و یا کمتر از مقدار نرمال خود (مقدار نرمال برای این متغیر همانند متغیرهای دیگر عدد ۱ در سال ۱۹۷۰ می باشد) باشد. برای محاسبه مایحتاج استاندارد زندگی بایستی متغیر نسبت سرمایه گذاری موثر را بر نسبت سرمایه گذاری موثر نرمال تقسیم کنیم، در اینصورت مشخص خواهد شد که مایحتاج زندگی افراد (بدون در نظر گرفتن مواد غذایی) در طول مدل بیشتر از سال پایه و یا کمتر از سال پایه خواهد شد.

۳-۱۲-۵- نسبت سرمایه گذاری موثر

نسبت سرمایه گذاری موثر، مقدار سرمایه گذاری است که به طور مستقیم در تامین سطح استاندارد زندگی افراد نقش دارد. فرض کنید مقداری از سرمایه گذاری به استخراج منابع اختصاص داده شده است، حال اگر منابع طبیعی پس از مدتی کم شود، با آن سطح از سرمایه اختصاص داده شده دیگر نمی توان به اندازه قبل استخراج کرد، زیرا برای استخراج منابع به گودبرداری های عمیق تری نیاز است و این خود مستلزم سرمایه گذاری بیشتر خواهد بود. به عبارتی دیگر هر چه منابع کمتر شود، کارایی سرمایه از بین خواهد رفت. در این مدل این تاثیرات با ضریب تعدیل گر استخراج منابع طبیعی[۳]، نشان داده خواهد شد. به منظور به دست آوردن نسبت سرمایه گذاری موثر ابتدا نسبت کل سرمایه (مقدار کل سرمایه هم در بخش کشاورزی و هم در بخش منابع) را در

---

۱ ECIRN
۲ ECIR
۳ NREM

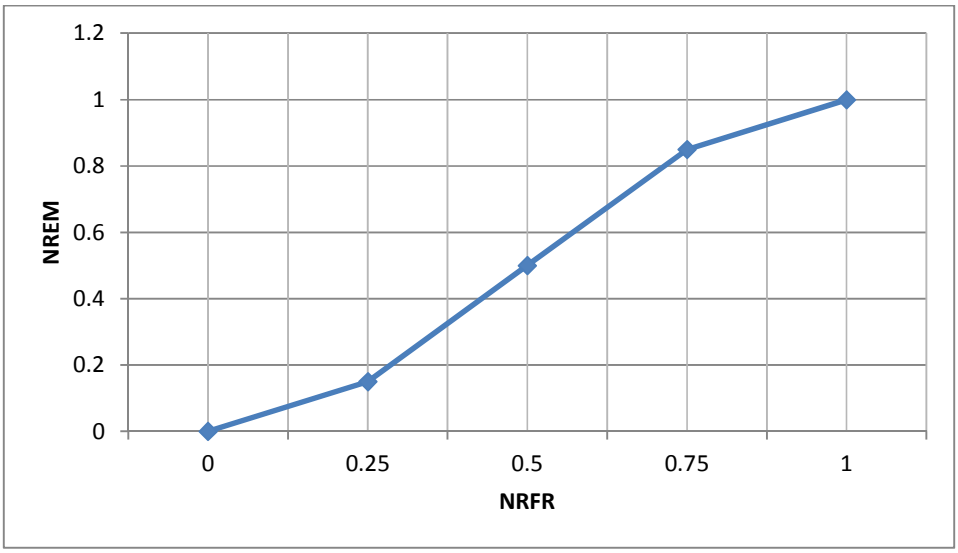
(سرمایه در بخش کشاورزی[1] – ۱) ضرب می کنیم. از آنجا که قسمتی از سرمایه که در بخش منابع کاربرد دارد در این بخش استفاده خواهد شد، این ضریب از عدد یک کم خواهد شد تا ضریب مربوط به بخش منابع به دست آید.

علاوه براین برای اینکه تغییرات سرمایه در بخش کشاورزی در کل مدل اعمال شود، این متغیر با سال پایه سنجیده خواهد شد تا مشخص شود مقدار این بخش از سرمایه گذاری نسبت به سال پایه چگونه تغییر کرده است. برای این منظور نسبت کل سرمایه[2] در عبارت (۱-CIAF)/(۱-CIAFN) =A ضرب می شود. A در سال ۱۹۷۰ مقدار یک را می گیرد یعنی در سال ۱۹۷۰ CIAF=CIAFN است. اگر A بیشتر از یک باشد، یعنی مقدار سرمایه گذاری در بخش منابع طبیعی بیشتر از قبل شده است که با ضرب CIR در آن، مقدار سرمایه بیشتری نسبت به سال پایه برای آن اختصاص می یابد. برای محاسبات مقدار کل نسبت سرمایه، CIR در سال ۱۹۰۰ برابر یک در نظر گرفته می شود. اما برای محاسبه نسبت سرمایه گذاری موثر این انتهای کار نیست، در اینجا به یک متغیر تعدیل گر نیاز است، این متغیر تعدیل گر، ضریب استخراج از منابع نام دارد که باید آنرا در آنچه قبلا به دست آورده ایم ضرب کنیم.

۳-۱۲-۶- ضریب استخراج منابع طبیعی

ضریب استخراج منابع طبیعی تعدیل گری است که متناسب با میزان منابع باقی مانده که قابل استخراج هستند[3]، مقادیر مختلفی را اختیار می کند. در سمت راست نمودار وقتی NRFR برابر یک است (یعنی هیچ مقدار از منابع مصرف نشده)، میزان NREM برابر یک در نظر گرفته می شود. وقتی به سمت چپ نمودار می رویم، جایی که منابع در حال مصرف شدن است و مقدار NRFR نزدیک صفر می شود، در اینصورت منابع کمی باقی خواهد ماند، در نتیجه تلاش برای به دست آوردن و استخراج آن ها به مراتب سخت تر می شود، در نتیجه میزان این تعدیل گر نیز به سمت صفر نزدیک می شود.

[1] CIAF
[2] CIR
[3] NRFR



شکل (۳-۱۲): تغییرات NREM در مقابل NRFR

۳-۱۲-۷- بخشی از منابع طبیعی که باقی مانده است

این متغیر به سادگی از تقسیم مقدار منابع طبیعی[۱] فعلی به کل منابع طبیعی اولیه[۲]، حاصل می شود.

۳-۱۲-۸- منابع طبیعی

منابع طبیعی، یک متغیر حالت است. این تنها متغیری است که تنها یک متغیر نرخ[۳] دارد و آن نرخ استفاده از منابع طبیعی می باشد. این متغیر حالت فقط شامل منابع غیر قابل تجدید بر روی زمین است، بدون در نظر گرفتن درختان و منابعی که قابل تجدید هستند (این منابع در بخش کشاورزی لحاظ خواهد شد). برای محاسبه منابع طبیعی در هر سال، نرخ استفاده از آن، در مدت زمانی که از آن استفاده می شود ضرب خواهد شد. NRUR نرخ کاهش منابع طبیعی است. این نرخ در سال ۱۹۷۰، یک واحد به ازای هر نفر در نظر گرفته شده است. علاوه بر این فرض شده

۱ NR
۲ NRI
۳ NRUR

است که منابع کنونی دنیا برای ۲۵۰ سال آینده وجود خواهند داشت، واضح است که ممکن است بیشتر یا کمتر از این مقدار باشد. در سال ۱۹۷۰، ۳,۶ میلیارد جمعیت بر روی کره زمین هستند، اگر بخواهیم برای مدت ۲۵۰ سال از سال ۱۹۰۰ به بعد منابع طبیعی کافی داشته باشیم، به ۹۰۰ (۹۰۰=۲۵۰×۳,۶×۱) واحد از منابع طبیعی نیاز پیدا خواهیم کرد.

۳-۱۲-۹- نرخ استفاده از منابع طبیعی

این متغیر یک متغیر نرخ است و چند عامل در تعیین آن نقش دارد. اولین متغیر، جمعیت است که رابطه ای مستقیم با آن دارد. متغیر بعدی مقدار نرمال استفاده از منابع است که هر نفر به طور نرمال، یک واحد در سال پایه مصرف می کنند. آخرین متغیر، ضریب تعدیل گر منابع طبیعی متاثر از سطح زندگی افراد[۱] است. با افزایش مایحتاج استاندارد زندگی، میزان این متغیر تعدیل گر نیز افزایش می یابد زیرا این افزایش موید این نکته می باشد که مقدار منابع طبیعی در دسترس کمتر شده است و این به معنای افزایش نرخ استخراج است و چون نرخ استخراج رابطه مستقیمی با NRMM دارد در نتیجه این متغیر افزایش می یابد.

۳-۱۲-۱۰- نرخ مرگ و میر [۲]

نرخ مرگ و میر، نرخ دیگری برای متغیر حالت جمعیت است. شباهت بسیار زیادی بین این نرخ و نرخ تولد که در بخش های قبل توضیح داده شد، وجود دارد. در اینجا پارامترهای موثر در تعیین آن بررسی خواهد شد. نرخ مرگ و میر نرمال، متغیری است که در بخش (۳-۱۲-۲) مقدار ثابت ۰,۰۲۸ برای آن در نظر گرفته شد. با ضرب کردن این نرخ در جمعیت، بخشی از جمعیت که در واحد زمان می میرند به دست خواهد آمد، اما باید توجه داشت که این مقدار تعدیل نشده است. از آنجا که ضرایب تعدیل گری چون غذا[۳]، مایحتاج استاندارد زندگی[۴]، آلودگی[۵] و ازدحام جمعیت[۶]

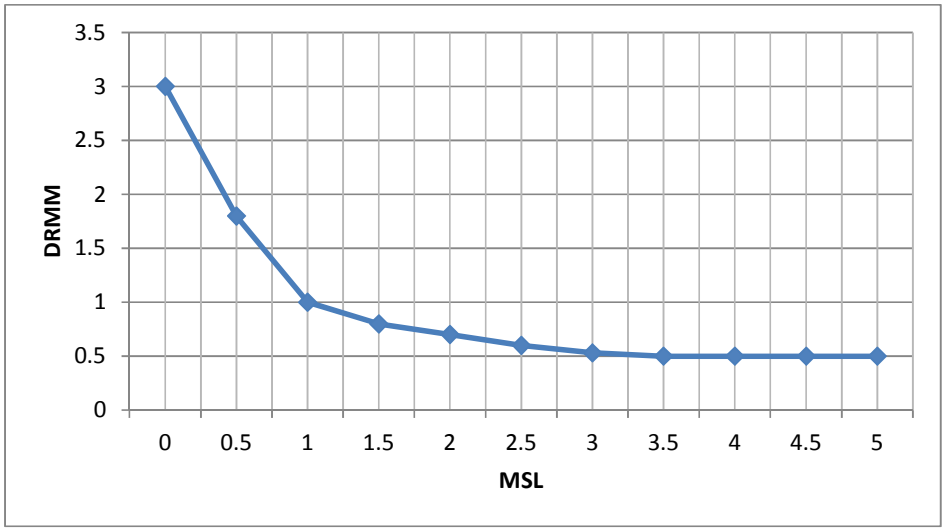
---

۱ NRMM
۲ DR
۳ DRFM
۴ DRMM
۵ DRPM
۶ DRCM

تاثیر مستقیمی روی نرخ مرگ و میر دارند، این چهار ضریب تعدیل گر در مقدار به دست آمده ضرب خواهد شد.

۳-۱۲-۱۱- ضریب تعدیل نرخ مرگ و میر متاثر از تغییرات مایحتاج استاندارد زندگی

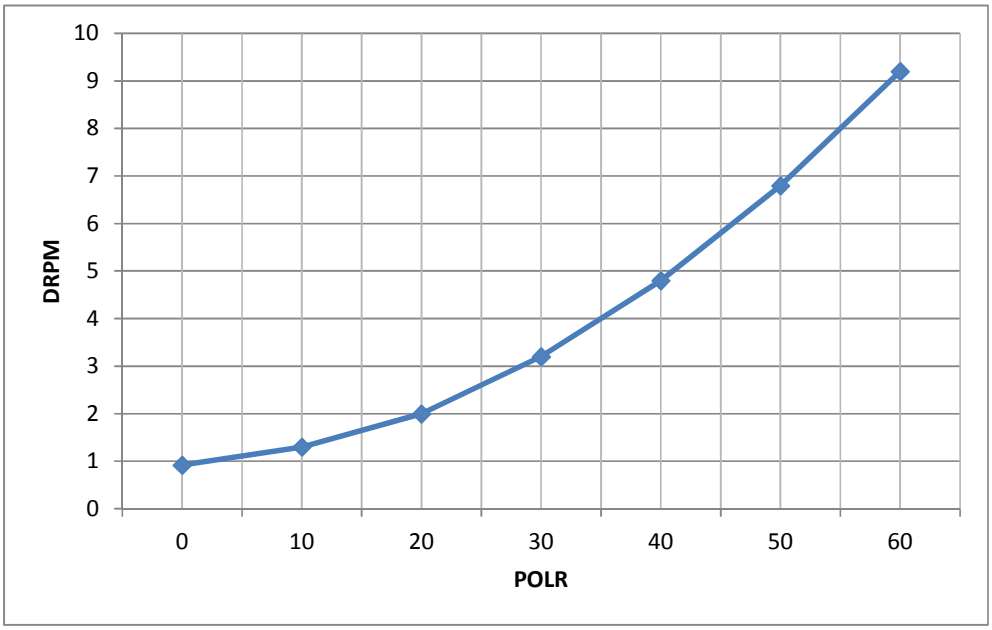
افزایش سطح استاندارد زندگی که با رشد تکنولوژی و همپای آن رشد خدمات بهداشتی و درمانی همراه خواهد بود، میزان مرگ و میر را کاهش می دهد و عمل عکس آن نیز دور از انتظار نیست. هنگامی که سطح استاندارد زندگی افراد به کمترین مقدار خود می رسد، سطح مرگ و میر افزایش پیدا می کند، به طوری که در بدترین حالت به ۳ برابر سطح نرمال خود می رسد. از طرف دیگر با افزایش سطح استاندارد زندگی، میزان مرگ و میر کمتر از میزان نرمال آن خواهد شد به طوری که در بالاترین سطوح خود، مقدار مرگ و میر به اندازه نصف مقدار نرمال خود خوهد رسید. مقدار نرمال DRMM در سال ۱۹۷۰ برابر یک می باشد.



شکل (۳-۱۳): تغییرات DRMM در مقابل MSL

۳-۱۲-۱۲- ضریب تعدیل گر نرخ مرگ و میر متاثر از آلودگی

به نظر می رسد این ضریب تا سال ۱۹۷۰ تاثیر چندانی بر مرگ و میر نداشته است، اما در دهه های پس از آن احتمالا به عنوان بحرانی برای سلامتی افراد تبدیل خواهد شد. از این رو مقادیر قبل از سال ۱۹۷۰ در نظر گرفته نشده و در خود آن سال مقدار این ضریب برابر یک فرض خواهد شد. نکته معقول و معناداری که در رابطه با افزایش آلودگی و به دنبال آن افزایش این ضریب وجود دارد، نمایی بودن شکل حاصل است. هنگامی که ضریب آلودگی[۱] ۲۰ برابر سال ۱۹۷۰ می شود این ضریب دو برابر شده و با این مقداری که می گیرد، عملا میزان نرخ و مرگ و میر را دو برابر می کند. اما در انتهای شکل هنگامی که آلودگی به ۶۰ برابر سطح نرمال خود می رسد میزان مرگ و میر بیش از ۹ برابر می شود.

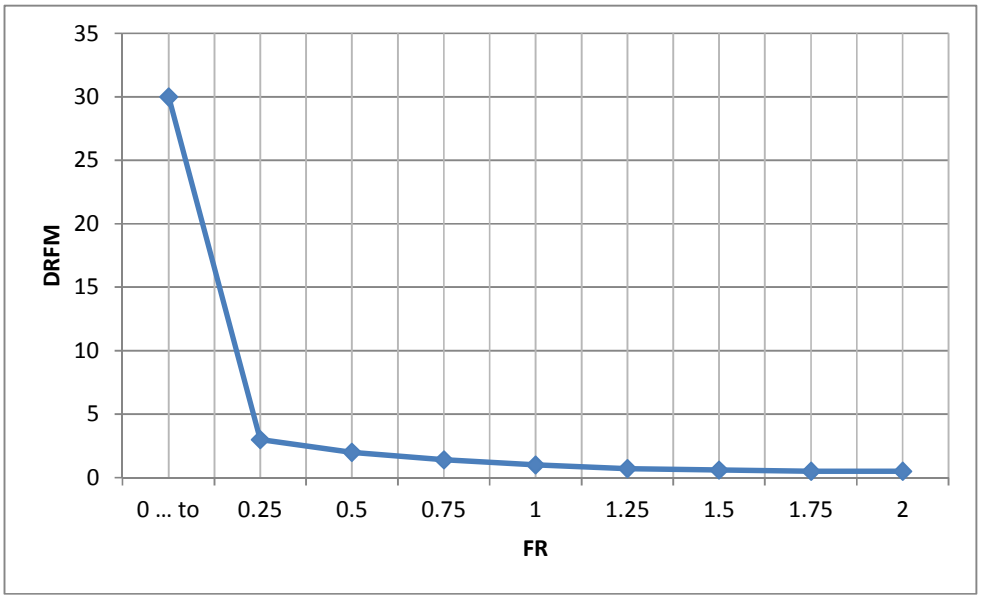


شکل (۳-۱۴): تغییرات DRPM در مقابل POLR

[۱] POLR

۳-۱۲-۱۳- ضریب تعدیل گر نرخ مرگ و میر متاثر از سطح مواد غذایی

غذا یک تعدیل گر بسیار قدرتمند برای نرخ مرگ و میر است. هنگامی که میزان غذا، به سمت صفر میل می کند، میزان نرخ مرگ و میر با شیب تندتری افزایش می یابد. در نهایت هنگامی که مقدار غذا افزایش پیدا می کند، این ضریب تعدیل گر مقداری کمتر از مقدار پایه خود می گیرد. مقدار غذا و این ضریب در سال ۱۹۷۰ برابر مقدار یک می باشد. در این سال بخش قابل توجهی از جمعیت جهان در گرسنگی به سر می برند و یا در مرز رسیدن به آن هستند. مطالعات نشان می دهد که به طور میانگین دوره زندگی این افراد کوتاه تر از افرادی است که از نظر تامین غذا مشکلی پیش رو ندارند.



شکل (۳-۱۵): تغییرات DRFM در مقابل FR

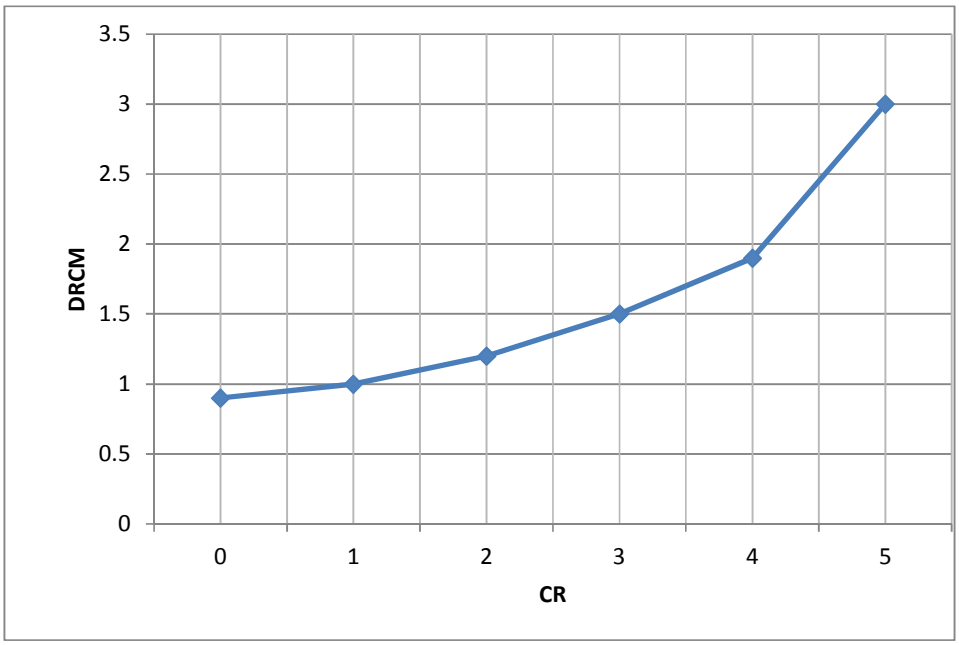
۳-۱۲-۱۴- ضریب تعدیل گر نرخ مرگ و میر متاثر از تراکم جمعیت

اگر هیچ کدام از عوامل جلوی رشد جمعیت را نگیرد، افزایش ازدحام[۱] (هنگامی که کسی جایی برای ایستادن نداشته باشد) در نهایت این کار را انجام خواهد داد. اما قبل از اینکه این

[۱] CR

محدودیت برای رشد به اندازه کافی قوی شود، آثار ناشی از آن بسیار زودتر سبب توقف رشد جمعیت خواهند شد. اثرات ناشی از ازدحام می تواند شامل اختلالات روانی، استرس های اجتماعی، نزاع بین المللی و فشارهایی باشد که ممکن است حتی به جنگ جهانی و اتمی بینجامد.

شیب نمودار در ابتدا با زیاد شدن ازدحام چندان تغییر نمی کند اما هنگامی که ۴ تا ۵ برابر مقدار نرمال خود می شود، نرخ مرگ و میر ناشی از آن افزایش چشمگیری را نسبت به قبل تجربه خواهد کرد.



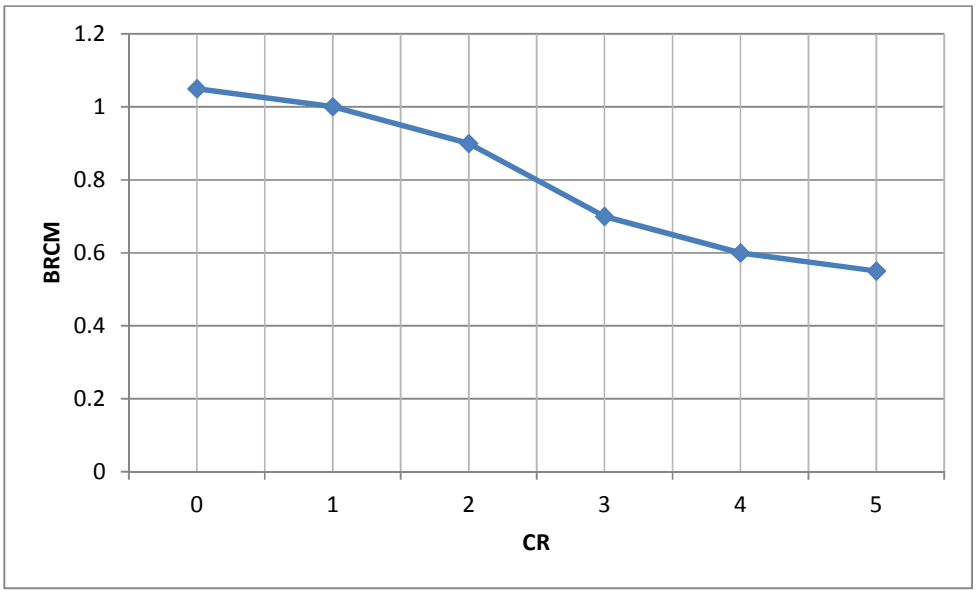
شکل (۳-۱۶): تغییرات DRCM در مقابل CR

۳-۱۲-۱۵- نسبت ازدحام

ازدحام، رابطه میان جمعیت با مقدار زمین موجود برای زندگی را مشخص می کند. این مقدار یک نسبت است بدین معنا که سال ۱۹۷۰ به عنوان سال پایه در نظر گرفته خواهد شد و ازدحام جمعیت در آن سال برابر ۲۶,۵ تخمین زده خواهد شد. بنابراین می بایست تراکم جمعیت فعلی بر این مقدار تقسیم شود. تراکم جمعیت فعلی نیز از تقسیم جمعیت به میزان زمین در دسترس به دست خواهد آمد. در نهایت نسبت ازدحام، حاصل تقسیم ازدحام کنونی بر ازدحام سال پایه است.

۳-۱۲-۱۶- ضریب تعدیل گر نرخ تولد متاثر از ازدحام جمعیت

در شکل (۳-۱۷) تاثیر جمعیت بر نرخ تولد تخمین زده شده است. ضریب تعدیل گر BRCM در سال ۱۹۷۰ مقدار یک را اختیار می کند. با ازدحام کمتر جمعیت، مقدار نرخ تولد کمتر افزایش پیدا می کند، اما ازدحام بیشتر جمعیت، تاثیر بیشتری بر نرخ تولد خواهد داشت به طوری که با افزایش ۵ برابری ازدحام نسبت به سال ۱۹۷۰، نرخ تولد ۵۰ درصد کاهش پیدا خواهد کرد.

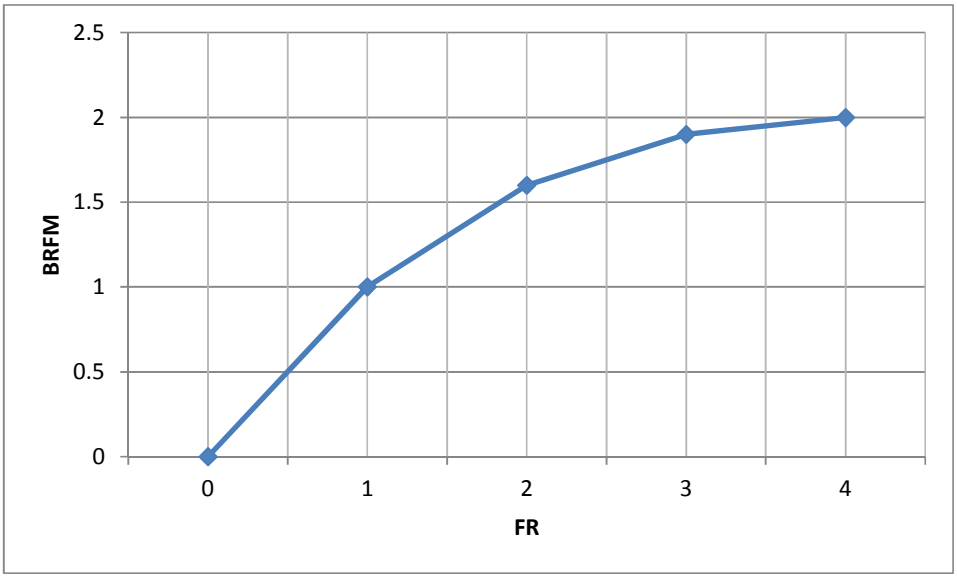


شکل (۳-۱۷): تغییرات BRCM در مقابل CR

۳-۱۲-۱۷- ضریب تعدیل گر نرخ تولد متاثر از غذا

میزان دسترسی به غذا تاثیر اساسی بر نرخ تولد دارد، مخصوصا در مناطقی که جمعیت آنها دچار کمبود غذا هستند. شکل (۳-۱۸) رابطه بین نرخ تولد متاثر از غذا و نسبت غذا را نشان می دهد. نسبت غذا، ضریب غذا به ازای هر نفر در سال ۱۹۷۰ می باشد. ضریب ۲ نشان دهنده مقدار غذا به ازای هر نفر می باشد که این مقدار، مقدار میانگین جهانی در سال ۱۹۷۰ می باشد. با نبود

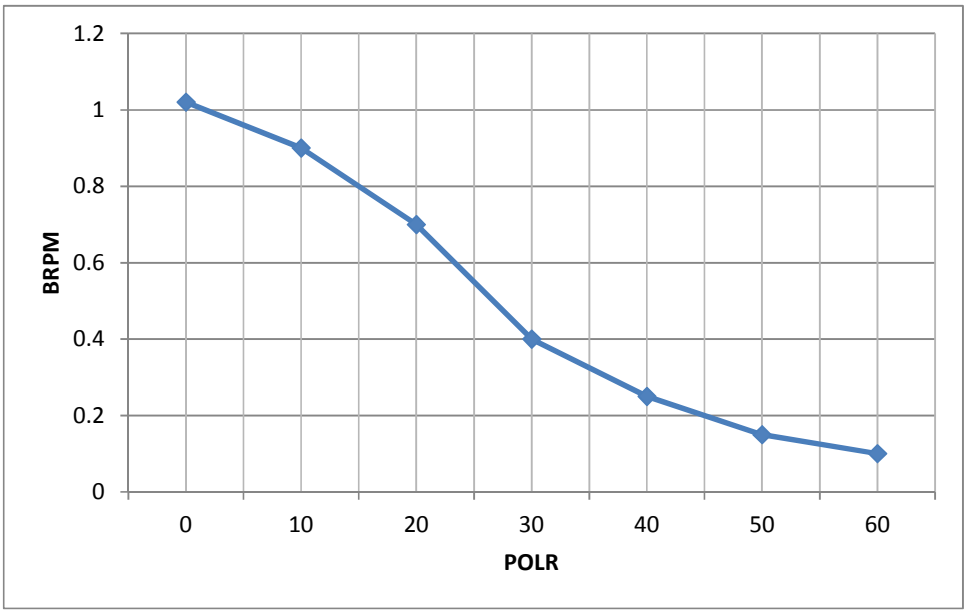
غذا زندگی غیر ممکن خواهد شد و طبیعتا نرخ تولد نیز به صفر نزدیک خواهد شد. از طرف دیگر با افزایش میزان غذا، نرخ تولد با ضریب ۲ افزایش پیدا خواهد کرد.



شکل (۳-۱۸): تغییرات BRFM در مقابل FR

۳-۱۲-۱۸- ضریب تعدیل گر نرخ تولد متاثر از آلودگی

افزایش آلودگی تاثیر زیادی بر نرخ تولد خواهد گذاشت. تاثیر آلودگی بر سلامت بسیار مهم است، موید این نکته، جمعیت ماهی ها و پرندگانی است که به واسطه آلودگی از بین رفته اند، می باشد. علاوه بر این افزایش بیش از اندازه آلودگی باعث ترس و ناسازگاری اجتماعی خواهد شد. در شکل (۳-۱۹) ضریب آلودگی ۱ نشان دهنده میزان آلودگی در سال ۱۹۷۰ می باشد. تاثیر آلودگی بر نرخ تولد برای سال های قبل از سال ۱۹۷۰ بسیار ناچیز در نظر گرفته شده است. اما با افزایش آلودگی، نرخ تولد به میزان ۱۰ درصد نسبت به سال ۱۹۷۰ کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل (۳-۱۹): تغییرات BRPM در مقابل POLR

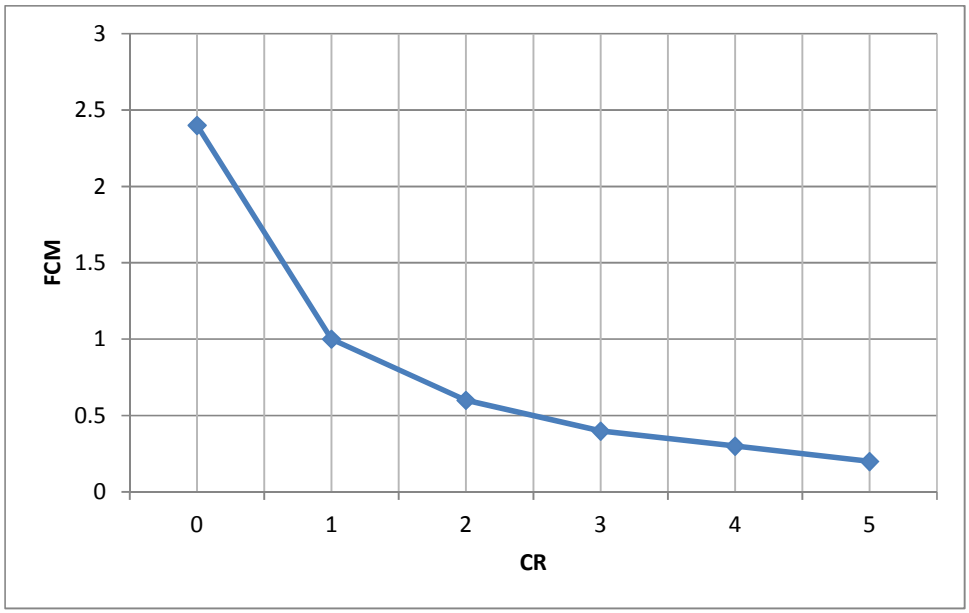
۳-۱۲-۱۹- نسبت غذا

این متغیر عبارت است از مقدار غذایی که به طور میانگین به هر نفر می رسد. که البته با توجه به مقدار غذا در سال ۱۹۷۰ سنجیده می شود. برای محاسبه FR، مقدار غذایی که با توجه به سرمایه گذاری در نظر گرفته شده که به ازای هر نفر در سال قابل حصول است[۱] را، در ضرایب تعدیل گر متاثر از ازدحام جمعیت[۲] و متاثر از آلودگی[۳] ضرب خواهد شد و در ادامه حاصل در ضریب غذایی[۴] که از بیرون از سیستم اعمال می شود و سبب تعدیل نسبت غذا می شود، ضرب خواهد شد. حاصل به دست آمده در مقدار غذایی که در سال ۱۹۷۰ به هر نفر می رسد (که مقدار ثابت یک واحد در نظر گرفته شده است) تقسیم خواهد شد.

۱ FPCI
۲ FCM
۳ FPM
۴ FC

۳-۱۲-۲۰- ضریب تعدیل گر غذا متاثر از ازدحام

ازدحام در نهایت می تواند تاثیر بسزایی بر روی میزان تهیه مواد غذایی در دنیا داشته باشد، زیرا هنگامی که جمعیت افزایش پیدا کند، مقداری از زمین که برای زندگی افراد در نظر گرفته شده است، بیشتر خواهد شد و این به معنای کمتر شدن زمین های در دسترس برای کشاورزی می باشد. از طرف دیگر بشر برای زیست، محیط هایی را انتخاب می کند که زمین های مناسبی برای کشاورزی هستند، مثلا بیشتر در کنار رودخانه ها، کوهپایه ها و جلگه ها شهرهای خود را بنا می کند تا آنکه در نقاط کوهستانی و یا دشت های بی آب و علف. در نتیجه زمین های کشاورزی ناگزیر در مناطق بی کیفیت ایجاد می شوند که این خود بر شدت تاثیر ازدحام بر تامین غذا می افزاید.

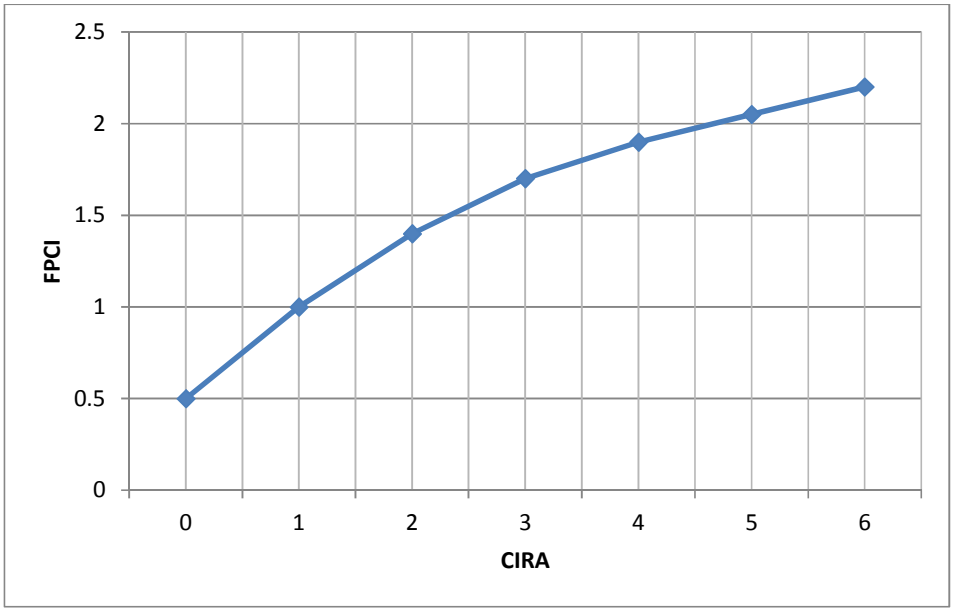


شکل (۳-۲۰): تغییرات FCM در مقابل CR

۳-۱۲-۲۱- غذای قابل حصول از طریق سرمایه گذاری

در صورت سرمایه گذاری مناسب انتظار می رود سالانه به هر نفر به اندازه FPCI غذا برسد. این سرمایه گذاری تنها در جهت مکانیزه کردن کشاورزی نیست، بلکه فراتر از آن است و به عوامل

بسیاری چون ارتقای سیستم های آبیاری، تهیه کود مناسب، بسته بندی و توزیع مناسب مواد غذایی و ... بستگی دارد. مقدار سرمایه گذاری در بخش کشاورزی[1] در سال پایه برابر یک می باشد. مسلما هر چه این مقدار بیشتر باشد، FPCI نیز بیشتر خواهد شد.



شکل (۳-۲۱): تغییرات FPCI در مقابل CIRA

۳-۱۲-۲۲- نسبت سرمایه گذاری در بخش کشاورزی

غذای سرانه بستگی به میزان سرمایه گذاری در بخش کشاورزی دارد. مقدار این متغیر در سال پایه برابر یک می باشد. برای محاسبه آن جزئی از سرمایه که در بخش کشاورزی سرمایه گذاری می شود (CIAF)، بر مبنای سال پایه به دست آورده می شود. برای این منظور مقدار CIAF بر مقدار سرمایه ای که در سال ۱۹۷۰ به بخش کشاورزی اختصاص داده شده[2] و برابر ۰,۳ می باشد، تقسیم می شود. سپس حاصل در سرمایه گذاری کل ضرب می شود تا نسبت سرمایه گذاری کنونی در بخش کشاورزی به دست آید.

[1] CIRA
[2] CIAFN

۳-۱۲-۲۳- نسبت سرمایه گذاری

مقدار این متغیر در سال ۱۹۷۰ برابر یک می باشد و از تقسیم سرمایه گذاری کل به جمعیت به دست می آید. در واقع مقدار سرمایه گذاری به ازای هر نفر را بر اساس سال پایه مشخص می کند.

۳-۱۲-۲۴- سرمایه گذاری کل

سرمایه گذاری کل (CI)، یکی دیگر از متغیر های حالت مدل می باشد. این مقدار توسط دو نرخ ورودی و خروجی تعیین می شود. نرخ تشکیل سرمایه (CIG)، نرخ ورودی آن را تعیین می کند. از طرف دیگر نرخ خروجی آن مقداری از سرمایه است که مستهلک می شود[۱] و یا از بین می رود. مانند تمامی متغیرهای حالت این متغیر نیز مقدار اولیه ای اختیار خواهد کرد. با توجه به اینکه زمان آغاز مدل سازی سال ۱۹۰۰ می باشد، مقدار سرمایه گذاری به ازای هر نفر در آن سال ۰,۲۵ تخمین زده شده است، زیرا این مقدار برای سال ۱۹۷۰ برابر یک می باشد. حال اگر بخواهیم کل سرمایه گذاری را محاسبه کنیم می بایست جمعیت سال ۱۹۰۰ را که برابر ۱,۶ میلیارد نفر می باشد، در ۰,۲۵ ضرب شود. در اینصورت مقدار سرمایه گذاری کل ۰,۴ میلیارد واحد به دست خواهد آمد.

۳-۱۲-۲۵- نرخ تولید سرمایه

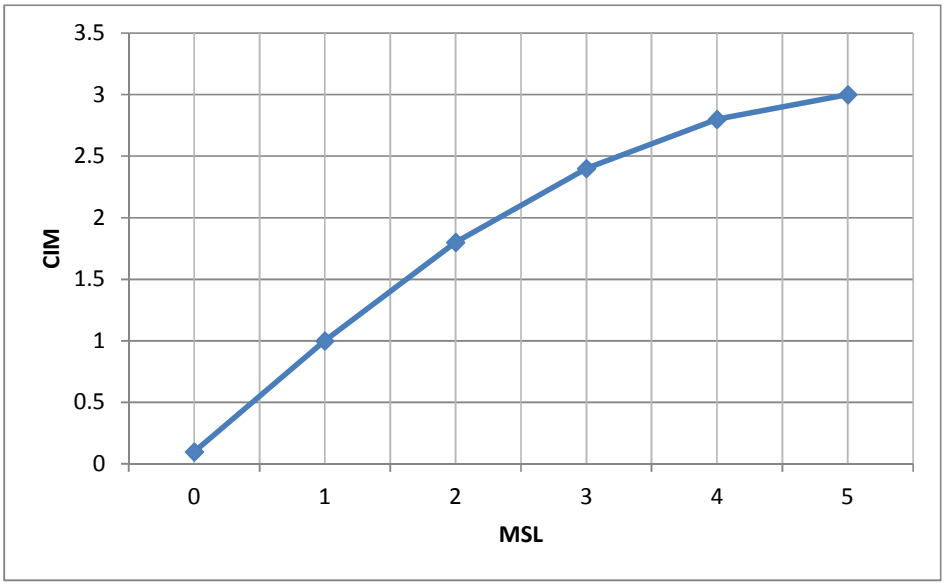
برای تعیین این نرخ سه عامل جمعیت، نرخ تولید سرمایه نرمال (CIGN) و ضریب تعدیل گر سرمایه گذاری (CIM) نقش دارند. CIG مقدار سرمایه گذاری در سال را نشان می دهد که با توجه به جمعیت و اینکه هر نفر سالانه چه مقدار سرمایه جمع می کند، سنجیده می شود. مقدار CIGN با توجه به سال ۱۹۷۰ برابر ۰,۰۵ تعیین شده است که نشان دهنده نرخ سرمایه گذاری هر نفر در آن سال است. CIM به سطح رفاه افراد بستگی دارد، هنگامی که سطح رفاه افزایش می یابد، مسلما افراد پول بیشتری برای سرمایه گذاری قرار می دهند. اما اگر این سطح پایین آید،

[۱] CID

بیشتر درآمد افراد صرف مصرف روزانه خویش می شود. در نتیجه مقداری برای سرمایه گذاری باقی نمی ماند. نقش این ضریب تعدیل گر با توجه به آنچه گفته شد مهم و اساسی به نظر می رسد.

۳-۱۲-۲۶- ضریب تعدیل گر سرمایه گذاری

هنگامی که سطح استاندارد زندگی افراد کاهش می یابد، توان سرمایه گذاری نیز کاهش پیدا می کند. در چنین شرایطی کل سرمایه، صرف مایحتاج ضروری زندگی می شود و چیزی برای سرمایه گذاری باقی نمی ماند. شکل (۳-۲۲) رابطه این دو متغیر را نسبت به هم نشان می دهد. هر دو این مقادیر در سال ۱۹۷۰ مقدار یک را تجربه می کنند. توجه به شیب نمودار در انتها نیز مهم است، این شیب نشان می دهد که در سطوح بالای MSL، دیگر تمایلی به سرمایه گذاری بیشتر وجود نخواهد داشت.



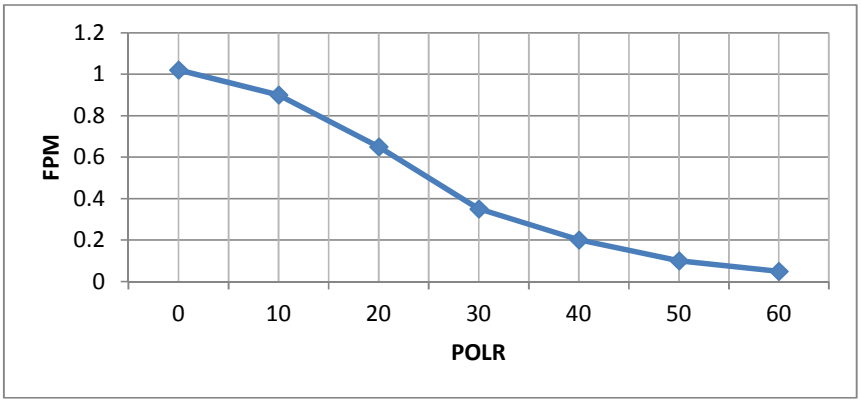
شکل (۳-۲۲): تغییرات CIM در مقابل MSL

۳-۱۲-۲۷- نرخ از بین رفتن سرمایه

نرخ از بین رفتن سرمایه (CID)، نرخ استهلاک سرمایه را تشکیل می دهد. کارخانه ها، جاده ها و تجهیزات، همگی در طول زمان مستهلک می شوند. این نرخ شامل سرمایه گذاری در علوم و نتایج ناشی از تحقیقات علمی نیز می باشد که در هیچ جای مدل از آن نامی برده نشده است. CID از حاصلضرب مقدار سرمایه کل (CI) در نرخ استهلاک نرمال سرمایه[۱] به دست می آید. نرخ استهلاک نرمال سرمایه برابر ۰،۰۲۵ می باشد.

۳-۱۲-۲۸- ضریب تعدیل غذا متاثر از آلودگی

ضریب تعدیل غذا متاثر از آلودگی (FPM)، مقدار غذای تولید شده متاثر از سطح آلودگی جهانی است. شواهد نشان داده است که هم اکنون آلودگی، تاثیرات خود را روی محصولات کشاورزی و همچنین ماهی هایی که در اقیانوس ها زندگی می کنند بروز داده است. جدول زیر رابطه میزان آلودگی و تاثیر آن بر مواد غذایی را نشان می دهد. علاوه بر تاثیرات آلودگی که مستقیما روی مواد غذایی تاثیر می گذارد، تغییرات آب و هوایی و اختلال در جریان بخار شدن آب های سطحی و در پی آن بارش های آسمانی، به طور غیر مستقیم می تواند بر تامین مواد غذایی تاثیر بگذارد.



شکل (۳-۲۳): تغییرات FPM در مقابل POLR

[۱] CIDN

۳-۱۲-۲۹- نسبت آلودگی

این نسبت با توجه به سال ۱۹۷۰ سنجیده می شود. این نسبت از تقسیم میزان آلودگی کنونی[۱] بر میزان آلودگی در سال پایه[۲] به دست می آید. میزان آلودگی در سال ۱۹۷۰ (سال پایه)، یک واحد به ازای هر نفر می باشد و چون میزان جمعیت در سال ۱۹۷۰ برابر ۳,۶ میلیارد نفر می باشد، بنابراین میزان آلودگی در سال پایه (POLS) برابر ۳,۶ میلیارد واحد آلودگی می باشد.

۳-۱۲-۳۰- آلودگی

آلودگی (POL)، یکی دیگر از پنج متغیر حالت مدل می باشد. این متغیر دارای دو نرخ ورودی و خروجی می باشد. نرخ ورودی آن میزان تولید آلودگی[۳] است که به صورت آلودگی فعال در نظر گرفته می شود (قبل از اینکه تاثیرات مضر خود را از دست بدهد و غیر فعال شود)، و نرخ خروجی آن میزان جذب آلودگی[۴] توسط طبیعت است. این متغیر نیز همانند دیگر متغیرها به مقداری اولیه نیازمند است. اگر میزان آلودگی در سال ۱۹۷۰ برابر یک واحد به ازای هر نفر در نظر گرفته شود، تخمین زده می شود که این مقدار در سال ۱۹۰۰ به یک هشتم تقلیل یابد، بدین صورت که در سال ۱۹۰۰ میزان آلودگی برابر با ۰,۱۲۵ واحد آلودگی به ازای هر نفر می باشد. این مقدار می بایست در جمعیت سال ۱۹۰۰ که برابر با ۱,۶ میلیارد نفر است، ضرب شود. در این صورت میزان آلودگی برابر با ۰,۲ میلیارد واحد آلودگی در سال ۱۹۰۰ خواهد شد.

۳-۱۲-۳۱- نرخ تولید آلودگی

میزان این نرخ از ضرب میزان جمعیت در میزان آلودگی نرمال[۵] و ضریب تعدیل گر تاثیر سرمایه گذاری بر ایجاد آلودگی[۶] به دست می آید. مقدار ایجاد آلودگی به ازای هر نفر در سال پایه یک واحد در نظر گرفته شده است. بعضی از آلودگی ها مانند دود سیگار به راحتی در طی چند

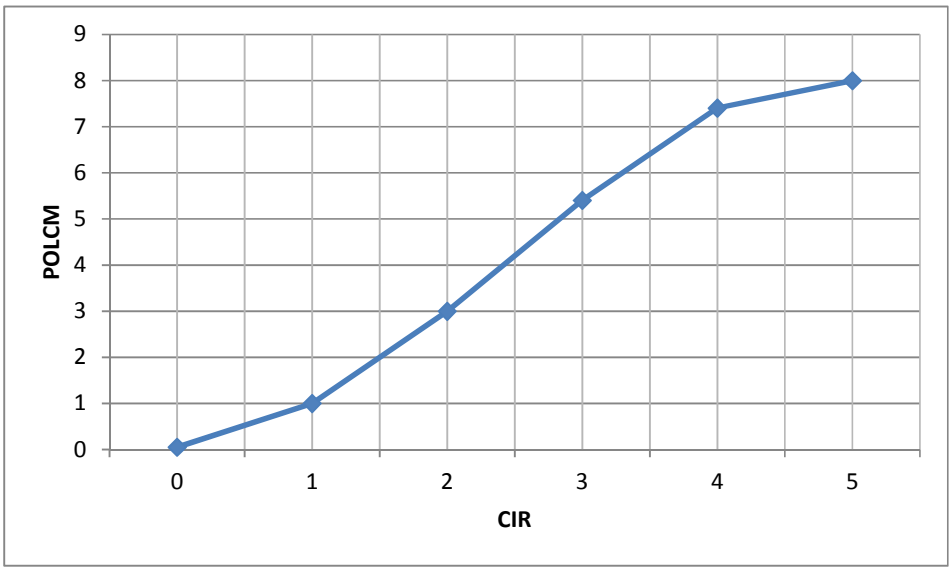
---

۱ POL
۲ POLS
۳ POLG
۴ POLA
۵ POLN
۶ POLCM

روز از بین می روند. اما مجموعه ای دیگر از آلودگی ها مانند فاضلاب های صنعتی، زمان زیادی برای حذف از طبیعت نیاز دارند. در بخش های پیش رو مشاهده خواهد شد که نرخ جذب متوسط آلودگی پایه برابر یک در نظر گرفته شده است، در واقع در سال پایه یک واحد آلودگی تولید می شود و یک واحد نابود می شود. اما در سال های بعد و قبل از سال پایه این مقادیر تغییر کرده و باعث می شود میزان آلودگی برای متغیر حالت آن ثابت باقی نماند.

۳-۱۲-۳۲- ضریب تعدیل گر آلودگی متاثر از میزان سرمایه گذاری

میزان آلودگی که هر نفر در سال تولید می کند به میزان زیادی به میزان سرمایه گذاری آن فرد در بخش های مختلف بستگی دارد. فردی که سرمایه مدرن در دست ندارد، بسیار بیشتر از فردی که وسایل پیشرفته امروزی را در اختیار می گیرد ایجاد آلودگی می کند. چراکه همان لوازم طی فرآیندهایی ساخته شده اند که ایجاد آلودگی می کنند. از طرف دیگر وسایل پیشرفته امروزی خود آلوده کننده ترند، مثلا می توان شخم زدن زمین توسط گاوآهن و تراکتور را مقایسه کرد.



شکل (۳-۲۴): تغییرات POLCM در مقابل CIR

۳-۱۲-۳۳- جذب آلودگی

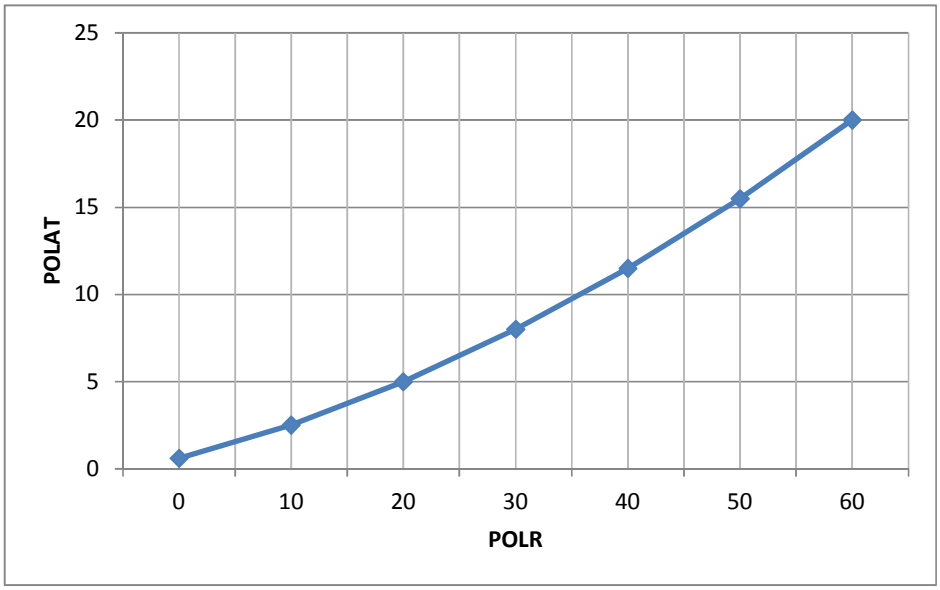
این نرخ به میزان آلودگی بستگی دارد همچنین میزان جذب آلودگی به فرآیندهایی که در طبیعت صورت می گیرد و بخشی از آلودگی را از بین می برند نیز وابسته است. مقدار این نرخ از تقسیم میزان آلودگی موجود بر مدت زمانی که طول می کشد آن حجم از آلودگی از بین برود، بستگی دارد. اگر زمان از بین رفتن آلودگی[۱] بسیار ساده در نظر گرفته شود، می شود مقداری ثابت برای آن در نظر گرفت. اما در این مدل اینگونه نیست زیرا افزایش میزان آلودگی، خود بر میزان زمان مورد نیاز برای جذب آلودگی توسط طبیعت اثر می گذارد.

۳-۱۲-۳۴- زمان مورد نیاز برای جذب آلودگی

شکل (۳-۲۵) رابطه بین میزان زمان مورد نیاز برای دفع آلودگی و حجم آلودگی را مشخص می کند. از این متغیر به عنوان یک ثابت زمانی یاد می شود که عبارت است از میزان زمان لازم برای از بین رفتن ۶۳ درصد آلودگی های موجود. این تعریف به گونه ای معادل زمان لازم برای از بین رفتن نصف مواد رادیواکتیو است که از آن به عنوان نیمه عمر یاد می شود. در سال پایه نسبت کل آلودگی (POLR) و زمان مورد نیاز برای جذب آلودگی (POLAT)، یک در نظر گرفته شده است. این امر بدان معناست که در سال ۱۹۷۰ و در شرایط فعلی میزان ۶۳ درصد از کل آلودگی های موجود از بین می رود (در صورتیکه هیچ آلودگی اضافه نشود). مقدار ۶۳ درصد بدین منظور در نظر گرفته شده است که زمان دفع بسیاری از آلودگی ها بیش از یک سال به طول می انجامد. اما با اضافه شدن آلودگی ها، میزان زمان لازم برای دفع آن ها نیز زیادتر می شود، علت این امر آن است که افزایش آلودگی مکانیزم دفع آلودگی توسط طبیعت را کند می کند. به طوری که در شکل (۳-۲۵) مشاهده می کنید، اگر آلودگی به ۲۰ برابر سال پایه برسد میزان زمان لازم برای دفع ۶۳ درصد از آلودگی موجود، به ۵ سال افزایش می یابد. اگر ۴۰ برابر شود به ۱۰ سال و اگر ۶۰ برابر شود به ۱۵ سال زمان برای دفع نیازمند است. اما شکل واقعی به علت آن دلیلی که ذکر شد، بیش از این زمان ها است. میزان زمان برای دفع آلودگی، متناسب با افزایش آن تغییر نمی

[۱] POLAT

کند، بلکه بیشتر از آن تغییر می کند زیرا مکانیزم های طبیعی برای دفع آلودگی در مقادیر بالای آن دچار اختلال می شوند.



شکل (۳-۲۵): تغییرات POLAT در مقابل POLR

۳-۱۲-۳۵- بخشی از سرمایه که در بخش کشاورزی سرمایه گذاری می شود

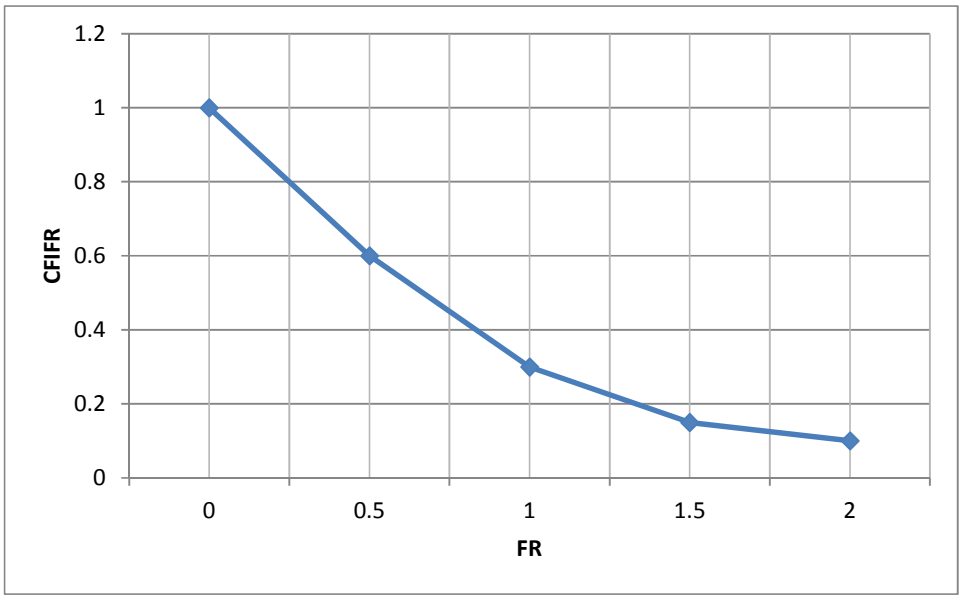
بخشی از سرمایه که در بخش کشاورزی سرمایه گذاری می شود (CIAF)، آخرین متغیر حالت است. برای سرمایه گذاری، انتخاب های بسیاری وجود دارد. در این مدل ابتدا کل سرمایه در نظر گرفته می شود، سپس بخشی از آن برای کشاورزی کنار گذاشته خواهد شد. CIAF به عنوان تنظیم کننده تدریجی سرمایه گذاری واقعی در بخش کشاورزی، به سمت آن بخشی که در شرایط کنونی برای آن تقاضا وجود دارد حرکت می کند. این تنظیم تدریجی سرمایه گذاری در بخش کشاورزی یک تاخیر زمانی[۱] را می طلبد که در طی آن، ترکیب سرمایه می بایست با توجه به مقتضیات زمان تغییر کند. مقدار CIAFT عددی ثابت برابر ۱۵ سال در نظر گرفته شده است. این مقدار سرمایه با توجه به عمر سرمایه و تغییر مقتضیات زمان لحاظ شده است. در طی این ۱۵ سال، مقدار واقعی CIAF به سمت مقداری مشخص شده میل می کند. این مقدار مشخص شده از

[۱] CIAFT

سرمایه، از ضرب سرمایه ای که با توجه به نسبت غذا کنار گذاشته می شود[1]، در مقدار سرمایه ای که با توجه به سطح کیفیت زندگی کنار گذاشته شده است[2] به دست می آید. در واقع با این عمل هر سال مقداری از این فاصله جبران می شود. در انتها نیز مقداری از عبارت کاسته می شود که این امر به دلیل از بین رفتن مقدار سرمایه تخصیص یافته به بخش کشاورزی در سال ۱۹۰۰ (استهلاک مقدار اولیه سرمایه سال ۱۹۰۰) می باشد.

۳-۱۲-۳۶- قسمتی از سرمایه که با توجه به نسبت غذا تعیین شده است

در شکل (۳-۲۶) مقدار متناسب نسبتی از سرمایه که در بخش کشاورزی کنار گذاشته می شود در مقابل با سطح غذای موجود ترسیم شده است. هرچه مقدار غذا کمتر باشد، مقدار بیشتری در این بخش سرمایه گذاری می شود.



شکل (۳-۲۶): تغییرات CFIFR در مقابل FR

[1] CIFIR
[2] CIQR

۳-۱۲-۳۷- کیفیت زندگی[۱]

کیفیت زندگی به عنوان متغیری برای تعیین عملکرد سیستم است. مقدار این متغیر با توجه به مقدار استاندارد در سال پایه و ضرب آن در چهار عامل تعدیل کننده، که هر کدام خود از بخش های مهم مدل، تاثیر پذیرفته اند، به دست می آید. این چهار عامل تعدیل گر عبارت است از : ۱- سطح کیفیت زندگی متاثر از آلودگی[۲]، ۲- سطح کیفیت زندگی متاثر از ازدحام جمعیت[۳]، ۳- سطح کیفیت زندگی متاثر از سطح غذا[۴]، ۴- سطح کیفیت زندگی متاثر از مایحتاج زندگی استاندارد[۵].

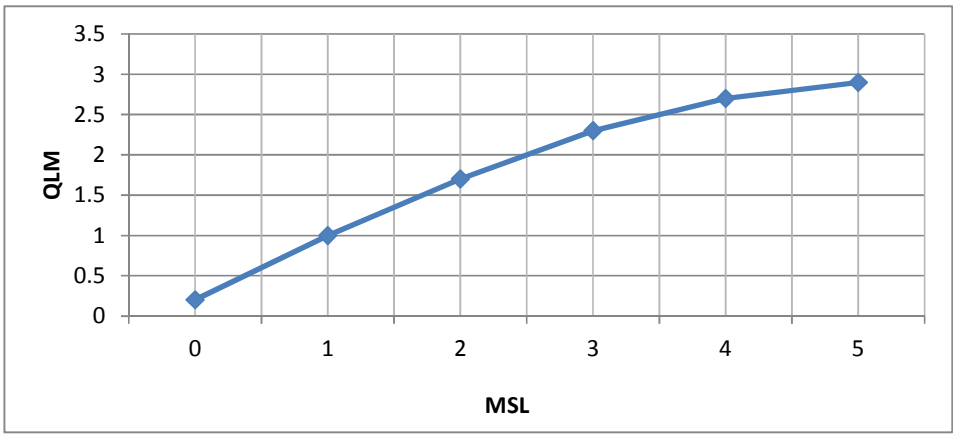
این چهار عامل باید به گونه ای مناسب با یکدیگر ترکیب شوند، تا وزن تاثیر گذاری آن ها بر کیفیت زندگی به خوبی مشخص شود. به عنوان مثال تغییرات مقدار غذا، فشاری به مراتب بیشتر از عواملی چون تغییرات مایحتاج استاندارد زندگی و یا تغییرات آلودگی، بر کیفیت زندگی خواهد داشت. همچنین سطح کفایت این چهار متغیر نیز باید لحاظ شود، بدین معنا که مثلا در مقادیر بالای سطح غذا، کیفیت زندگی افزایش چندانی نخواهد داشت و یا در سطوح پایین آلودگی، افزایش آلودگی تاثیر چندانی بر کیفیت زندگی نخواهد داشت. تاریخ نشان داده است که اولویت تاثیرگذاری این عوامل به ترتیب غذا، تامین مایحتاج زندگی استاندارد، آلودگی و در نهایت ازدحام جمعیت می تواند باشد.

۳-۱۲-۳۸- کیفیت زندگی متاثر از تامین سطح مایحتاج استاندارد زندگی

هر اندازه مایحتاج یک زندگی استاندارد افزایش یابد، کیفیت زندگی نیز افزایش می یابد. سطح مایحتاج زندگی از سرمایه گذاری در بخش منابع طبیعی به دست می آید اما کیفیت زندگی، شاخص کیفیت زندگی را از تمام نقاط مدل جمع آوری می کند.

---

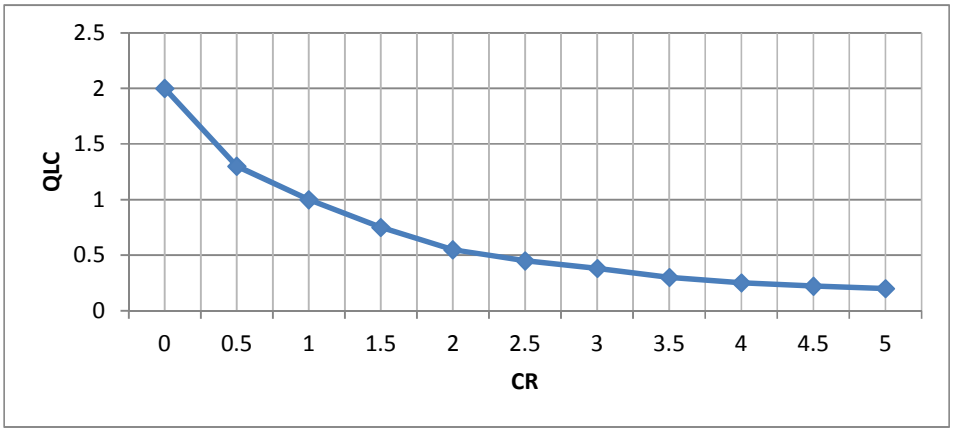
۱ QL
۲ QLP
۳ QLC
۴ QLF
۵ QLM



شکل (۳-۲۷): تغییرات QLM در مقابل MSL

۳-۱۲-۳۹- کیفیت زندگی متاثر از ازدحام جمعیت

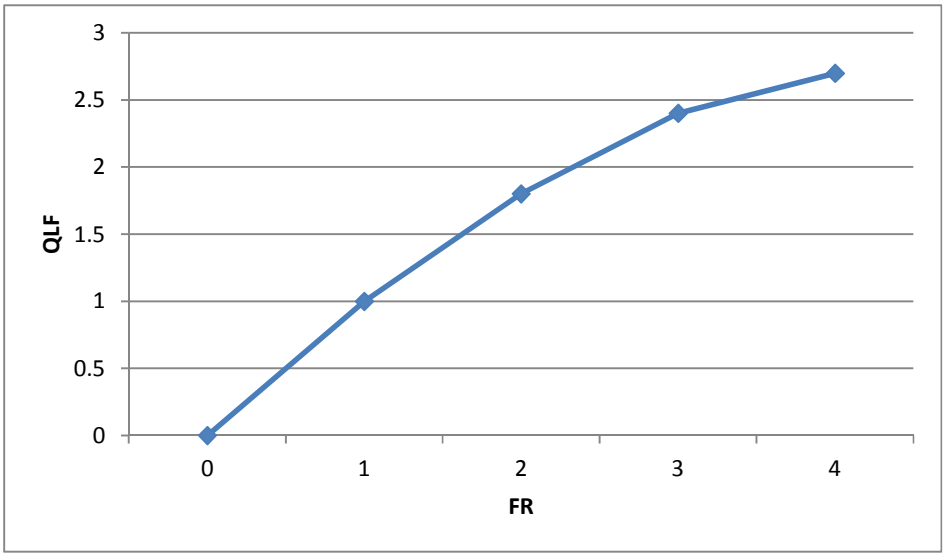
با افزایش ازدحام جمعیت، کیفیت زندگی کاهش پیدا خواهد کرد. شکل (۳-۲۸) نشان می دهد که با افزایش ۵ برابری ازدحام جمعیت نسبت به سال ۱۹۷۰ (ازدحام جمعیت در سال پایه برابر یک می باشد)، کیفیت زندگی به ۰,۲ مقدار اولیه خود در سال ۱۹۷۰ (کیفیت زندگی در سال پایه برابر یک می باشد)، کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل (۳-۲۸): تغییرات QLC در مقابل CR

۳-۱۲-۴۰- کیفیت زندگی متاثر از سطح غذا

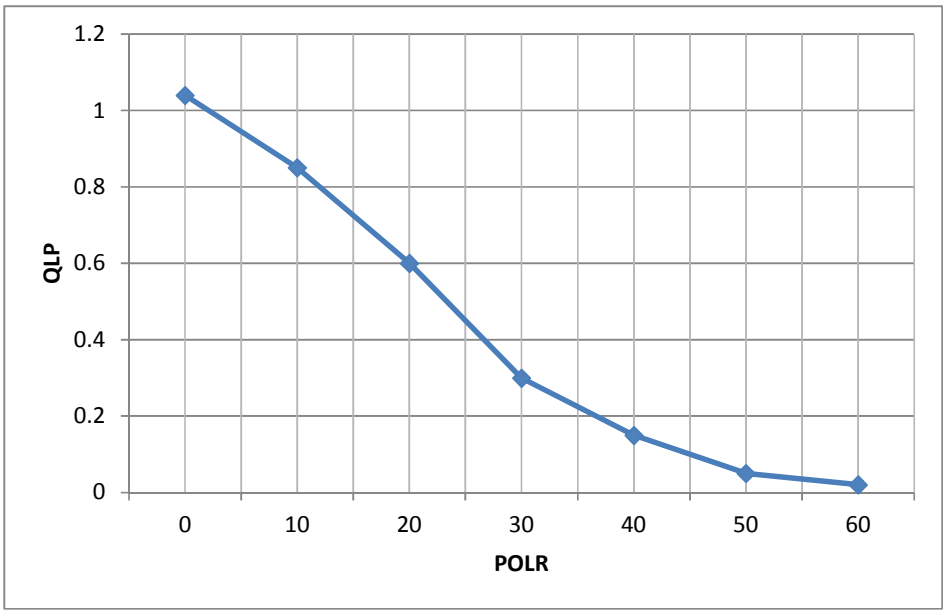
غذا یکی از موثرترین عوامل تاثیرگذار بر کیفیت زندگی افراد است. همانطور که در شکل (۳-۲۹) مشاهده می کنید، با کاهش میزان غذا، کیفیت زندگی نیز کاهش پیدا خواهد کرد. جدا از سه عامل دیگر که بر کیفیت زندگی تاثیرگذار هستند، این عامل تاثیر چشمگیری بر آن دارد. در نهایت بازده نزولی شکل (۳-۲۹) نشان می دهد که، افزایش در میزان غذا به همان نسبت به میزان کیفیت زندگی افراد نمی افزاید.



شکل (۳-۲۹): تغییرات QLF در مقابل FR

۳-۱۲-۴۱- کیفیت زندگی متاثر از آلودگی

در شکل (۳-۳۰) فرض شده است، تا قبل از سال ۱۹۷۰ افراد از میزان آلودگی، چندان در رنج نبوده اند، به همین منظور محور افقی شکل (۳-۳۰) در واقع سال ۱۹۷۰ را بررسی می کند و به قبل از این دوره توجهی نشده است. با افزایش آلودگی سطح کیفی زندگی کاهش می یابد، تا آنجا که وقتی سطح آلودگی به ۵۰ تا ۶۰ برابر سطح آلودگی سال پایه می رسد، این متغیر به سمت صفر میل می کند.

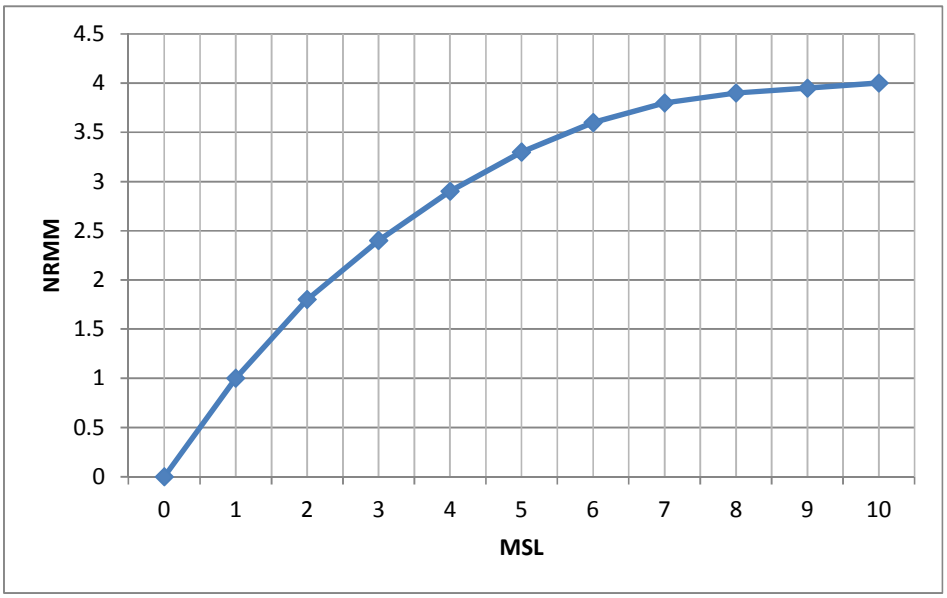


شکل (۳-۳۰): تغییرات QLP در مقابل POLR

۳-۱۲-۴۲- ضریب تعدیل گر نرخ استفاده از منابع طبیعی متاثر از سطح مایحتاج زندگی استاندارد[۱]

NRMM ناشی از سطح مطلوب زندگی افراد است. با افزایش مایحتاج استاندارد زندگی، میزان این متغیر تعدیل گر نیز افزایش می یابد، زیرا این افزایش موید این نکته است که مقدار منابع طبیعی در دسترس کمتر شده است و این به معنای افزایش نرخ استخراج منابع طبیعی می باشد و چون نرخ استخراج رابطه مستقیمی با NRMM دارد، در نتیجه این متغیر نیز افزایش می یابد.

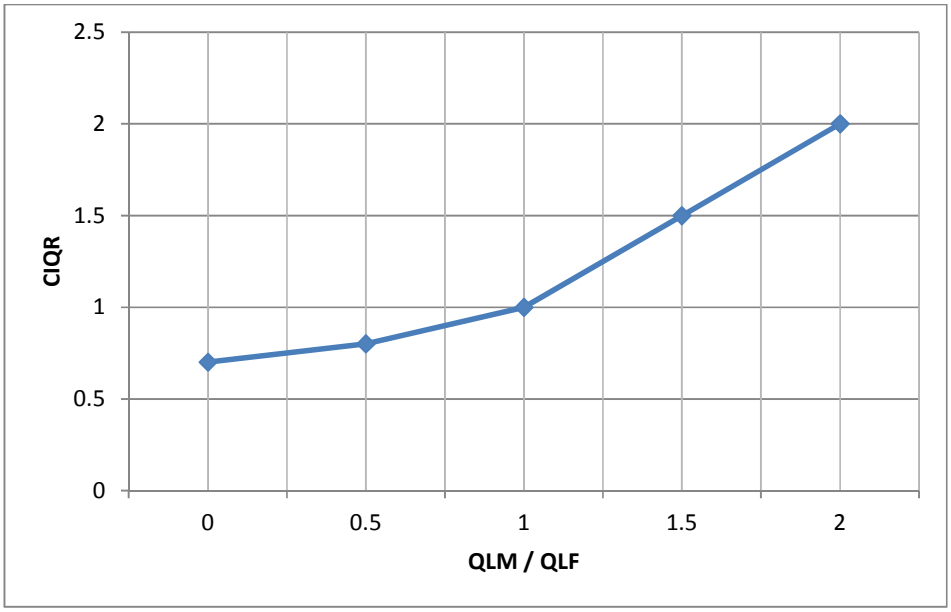
[۱] NRMM



شکل (۳-۳۱): تغییرات NRMM در مقابل MSL

۳-۱۲-۴۳- میزان سرمایه گذاری بر اساس کیفیت زندگی

این ارتباط در شکل (۳-۳۲) به منظور حفظ کیفیت زندگی ناشی از مایحتاج استاندارد زندگی و غذا در یک ارتباط معقول و منطقی با یکدیگر، معرفی شده است. برای به دست آوردن این پارامتر، می بایست QLM بر QLF تقسیم شود. مقدار CIQR به دست آمده به منظور محاسبه میزان سرمایه گذاری در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد، این بدان معنا است که اگر مقدار این نسبت بیشتر از مقدار پایه خود (مقدار این نسبت در سال ۱۹۷۰ برابر یک می باشد) باشد، سرمایه گذاری در بخش غذا بیشتر صورت می گیرد و اگر مقدار این نسبت کمتر از مقدار پایه خود باشد، سرمایه گذاری در آن بخش کمتر صورت می گیرد و این بدان معنا است که سرمایه گذاری در بخش استخراج منابع انجام خواهد شد تا سطح زندگی افراد را افزایش دهد (فارستر، ۱۹۹۷۱).



شکل (۳-۳۲): تغییرات CIQR در مقابل QLM / QLF

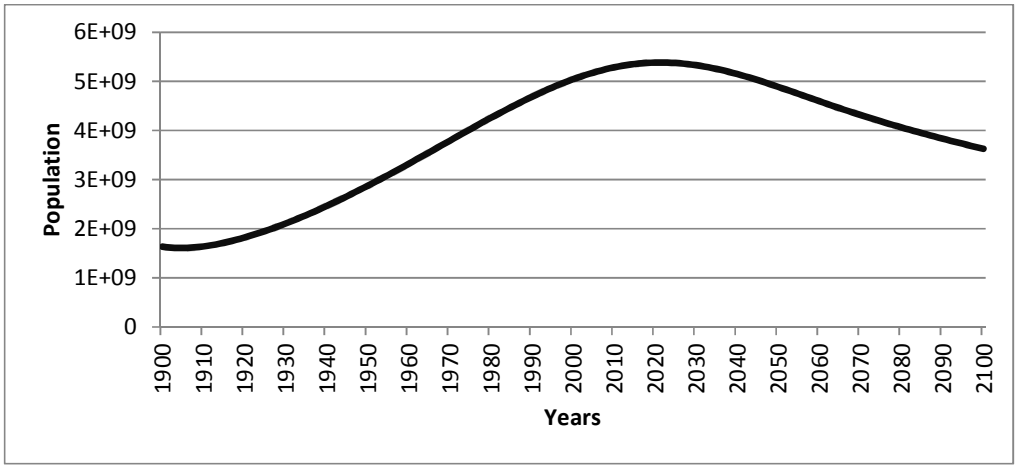
۳-۱۳- خروجی های مدل پویایی های جهان فارستر

۳-۱۳-۱- مقدمه

در این بخش به وسیله نرم افزار پاورسیم مدل برای سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی شبیه سازی و اجرا خواهد شد و خروجی متغیرهای حالت که عبارت است از جمعیت، آلودگی، منابع طبیعی، سرمایه گذاری کل و کسری از سرمایه در بخش کشاورزی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی تهیه خواهد شد. سپس مهمترین متغیر حالت مدل جهت تطبیق با داده های دنیای واقعی در سال ۲۰۱۲ میلادی انتخاب خواهد شد. در نهایت در صورت عدم تطبیق و وجود خطا در مدل، خطای موجود نیز محاسبه خواهد شد.

۳-۱۳-۲- خروجی مدل برای متغیر حالت جمعیت

شکل (۳-۳۳) خروجی مدل برای متغیر حالت جمعیت را نشان می دهد. همانطور که در شکل (۳-۳۳) مشاهده می شود جمعیت طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۰۲۱ افزایش و سپس کاهش پیدا می کند. جدول (۳-۱) جمعیت هر سال را در واحد نفر[۱] نشان می دهد.



شکل (۳-۳۳): تغییرات جمعیت طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

[۱] Person

جدول (۳-۲): جمعیت جهان طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

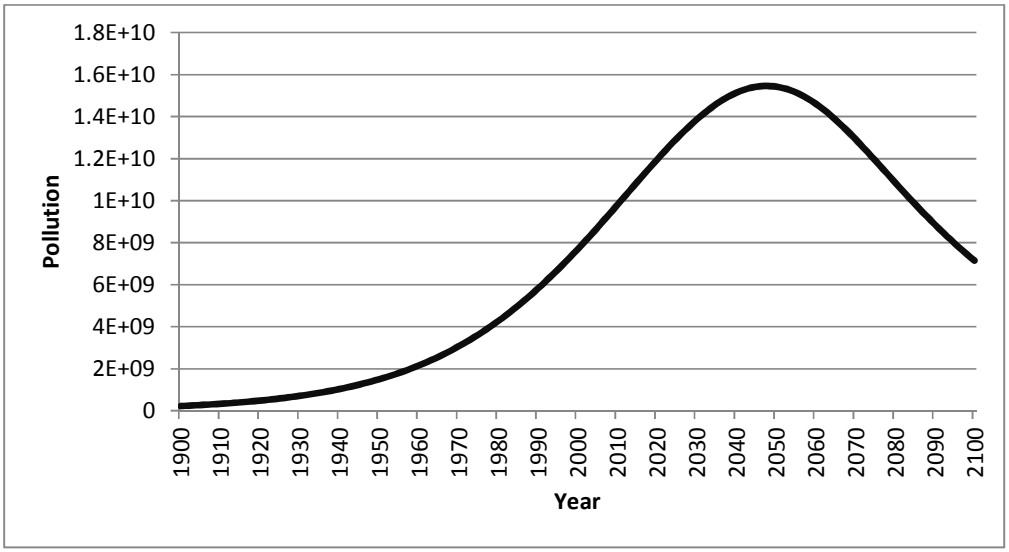
Year	Population	Year	Population	Year	Population
Dec ۱۹۰۰	۱،۶۳۷،۷۳۵،۲۳۷	Dec ۱۹۳۹	۲،۴۲۶،۲۰۷،۷۵۷	Dec ۱۹۷۸	۴،۱۶۶،۰۴۲،۴۵۸
Dec ۱۹۰۱	۱،۶۲۷،۰۱۶،۳۲۸	Dec ۱۹۴۰	۲،۴۶۴،۰۵۸،۹۷۱	Dec ۱۹۷۹	۴،۲۱۱،۸۱۵،۴۹۲
Dec ۱۹۰۲	۱،۶۱۹،۰۵۰،۹۷۰	Dec ۱۹۴۱	۲،۵۰۳،۴۵۰،۸۳۰	Dec ۱۹۸۰	۴،۲۵۷،۲۷۴،۷۳۶
Dec ۱۹۰۳	۱،۶۱۳،۷۶۹،۱۴۲	Dec ۱۹۴۲	۲،۵۴۲،۸۶۷،۸۶۳	Dec ۱۹۸۱	۴،۳۰۲،۳۸۵،۶۳۴
Dec ۱۹۰۴	۱،۶۱۱،۰۷۰،۷۸۸	Dec ۱۹۴۳	۲،۵۸۲،۷۹۴،۵۹۷	Dec ۱۹۸۲	۴،۳۴۷،۱۱۳،۰۱۹
Dec ۱۹۰۵	۱،۶۱۰،۸۳۷،۴۳۱	Dec ۱۹۴۴	۲،۶۲۳،۲۱۵،۵۱۱	Dec ۱۹۸۳	۴،۳۹۱،۴۲۱،۱۰۹
Dec ۱۹۰۶	۱،۶۱۲،۹۴۰،۶۷۰	Dec ۱۹۴۵	۲،۶۶۴،۱۱۴،۹۹۶	Dec ۱۹۸۴	۴،۴۳۵،۲۷۳،۵۰۰
Dec ۱۹۰۷	۱،۶۱۷،۲۴۸،۵۵۱	Dec ۱۹۴۶	۲،۷۰۵،۴۷۷،۳۲۷	Dec ۱۹۸۵	۴،۴۷۸،۶۳۳،۱۵۲
Dec ۱۹۰۸	۱،۶۲۳،۶۳۰،۲۱۴	Dec ۱۹۴۷	۲،۷۴۷،۲۸۶،۶۳۳	Dec ۱۹۸۶	۴،۵۲۱،۴۶۲،۳۷۲
Dec ۱۹۰۹	۱،۶۳۱،۹۵۹،۱۱۲	Dec ۱۹۴۸	۲،۷۸۹،۵۲۶،۸۷۵	Dec ۱۹۸۷	۴،۵۶۳،۷۲۲،۸۰۲
Dec ۱۹۱۰	۱،۶۴۲،۱۱۵،۱۰۳	Dec ۱۹۴۹	۲،۸۳۲،۱۸۱،۸۳۳	Dec ۱۹۸۸	۴،۶۰۵،۳۷۵،۳۹۸
Dec ۱۹۱۱	۱،۶۵۳،۹۸۵،۶۷۸	Dec ۱۹۵۰	۲،۸۷۵،۲۳۵،۰۸۷	Dec ۱۹۸۹	۴،۶۴۶،۳۸۰،۴۱۰
Dec ۱۹۱۲	۱،۶۶۷،۴۶۶،۵۵۰	Dec ۱۹۵۱	۲،۹۱۸،۶۷۰،۰۱۷	Dec ۱۹۹۰	۴،۶۸۶،۶۹۷،۳۶۴
Dec ۱۹۱۳	۱،۶۸۲،۴۶۱،۷۸۳	Dec ۱۹۵۲	۲،۹۶۲،۴۶۹،۷۹۲	Dec ۱۹۹۱	۴،۷۲۶،۲۸۵،۰۴۲
Dec ۱۹۱۴	۱،۶۹۸،۸۸۳،۶۱۶	Dec ۱۹۵۳	۳،۰۰۶،۶۱۷،۳۷۲	Dec ۱۹۹۲	۴،۷۶۵،۱۰۱،۴۸۵
Dec ۱۹۱۵	۱،۷۱۶،۶۵۲،۰۸۳	Dec ۱۹۵۴	۳،۰۵۱،۰۹۵،۵۰۸	Dec ۱۹۹۳	۴،۸۰۳،۱۰۴،۲۷۴
Dec ۱۹۱۶	۱،۷۳۵،۶۹۴،۵۰۹	Dec ۱۹۵۵	۳،۰۹۵،۸۸۶،۷۵۳	Dec ۱۹۹۴	۴،۸۴۰،۲۵۰،۸۸۱
Dec ۱۹۱۷	۱،۷۵۵،۹۴۴،۹۳۶	Dec ۱۹۵۶	۳،۱۴۰،۹۷۳،۴۶۱	Dec ۱۹۹۵	۴،۸۷۶،۴۹۸،۷۹۹
Dec ۱۹۱۸	۱،۷۷۷،۳۴۳،۵۴۳	Dec ۱۹۵۷	۳،۱۸۶،۳۳۷،۸۰۴	Dec ۱۹۹۶	۴،۹۱۱،۸۰۵،۶۳۸
Dec ۱۹۱۹	۱،۷۹۹،۸۳۶،۰۶۲	Dec ۱۹۵۸	۳،۲۳۱،۹۶۱،۷۷۷	Dec ۱۹۹۷	۴،۹۴۶،۱۲۹،۲۴۰
Dec ۱۹۲۰	۱،۸۲۳،۳۷۳،۲۲۳	Dec ۱۹۵۹	۳،۲۷۷،۸۲۷،۲۱۳	Dec ۱۹۹۸	۴،۹۷۹،۴۲۷،۷۹۰
Dec ۱۹۲۱	۱،۸۴۷،۹۱۰،۲۳۲	Dec ۱۹۶۰	۳،۳۲۳،۹۱۵،۷۷۴	Dec ۱۹۹۹	۵،۰۱۱،۶۵۹،۹۴۲
Dec ۱۹۲۲	۱،۸۷۳،۴۰۶،۲۸۹	Dec ۱۹۶۱	۳،۳۷۰،۲۰۸،۶۰۴	Dec ۲۰۰۰	۵،۰۴۲،۷۸۴،۹۴۳
Dec ۱۹۲۳	۱،۸۹۹،۸۲۴،۱۳۵	Dec ۱۹۶۲	۳،۴۱۶،۶۸۵،۸۹۷	Dec ۲۰۰۱	۵،۰۷۲،۷۶۲،۷۷۴
Dec ۱۹۲۴	۱،۹۲۷،۱۲۹،۶۵۵	Dec ۱۹۶۳	۳،۴۶۳،۳۲۶،۹۴۷	Dec ۲۰۰۲	۵،۱۰۱،۵۵۴،۲۸۷
Dec ۱۹۲۵	۱،۹۵۵،۲۹۱،۵۰۵	Dec ۱۹۶۴	۳،۵۱۰،۱۱۰،۲۶۸	Dec ۲۰۰۳	۵،۱۲۹،۱۲۱،۳۹۷
Dec ۱۹۲۶	۱،۹۸۴،۲۸۰،۷۸۳	Dec ۱۹۶۵	۳،۵۵۷،۰۱۳،۷۰۳	Dec ۲۰۰۴	۵،۱۵۵،۴۲۷،۳۱۰
Dec ۱۹۲۷	۲،۰۱۴،۰۷۰،۷۳۰	Dec ۱۹۶۶	۳،۶۰۴،۰۱۴،۵۳۲	Dec ۲۰۰۵	۵،۱۸۰،۴۳۶،۷۲۵
Dec ۱۹۲۸	۲،۰۴۴،۶۳۶،۴۶۲	Dec ۱۹۶۷	۳،۶۵۱،۰۸۹،۳۶۰	Dec ۲۰۰۶	۵،۲۰۴،۱۱۶،۰۰۷
Dec ۱۹۲۹	۲،۰۷۵،۹۵۴،۷۳۰	Dec ۱۹۶۸	۳،۶۹۸،۲۱۳،۶۰۳	Dec ۲۰۰۷	۵،۲۲۶،۴۳۳،۳۷۴
Dec ۱۹۳۰	۲،۱۰۸،۰۰۳،۷۰۵	Dec ۱۹۶۹	۳،۷۴۵،۳۶۱،۴۵۸	Dec ۲۰۰۸	۵،۲۴۷،۳۵۹،۰۶۸
Dec ۱۹۳۱	۲،۱۴۰،۷۶۲،۷۸۰	Dec ۱۹۷۰	۳،۷۹۲،۵۰۶،۰۲۱	Dec ۲۰۰۹	۵،۲۶۶،۸۶۵،۵۳۳
Dec ۱۹۳۲	۲،۱۷۴،۲۱۲،۴۰۰	Dec ۱۹۷۱	۳،۸۳۹،۶۱۹،۴۲۹	Dec ۲۰۱۰	۵،۲۸۴،۹۲۷،۵۷۴
Dec ۱۹۳۳	۲،۲۰۸،۳۳۳،۹۰۶	Dec ۱۹۷۲	۳،۸۸۶،۶۷۳،۰۱۱	Dec ۲۰۱۱	۵،۳۰۱،۵۲۲،۵۱۷
Dec ۱۹۳۴	۲،۲۴۳،۱۰۹،۳۹۲	Dec ۱۹۷۳	۳،۹۳۳،۶۳۷،۳۵۱	Dec ۲۰۱۲	۵،۳۱۶،۶۳۰،۳۵۴
Dec ۱۹۳۵	۲،۲۷۸،۵۲۱،۵۷۹	Dec ۱۹۷۴	۳،۹۸۰،۴۸۲،۳۱۸	Dec ۲۰۱۳	۵،۳۳۰،۲۳۳،۸۷۱
Dec ۱۹۳۶	۲،۳۱۴،۵۵۳،۷۰۵	Dec ۱۹۷۵	۴،۰۲۷،۱۷۷،۰۹۹	Dec ۲۰۱۴	۵،۳۴۲،۳۱۸،۷۷۳
Dec ۱۹۳۷	۲،۳۵۱،۱۸۹،۴۲۲	Dec ۱۹۷۶	۴،۰۷۳،۶۹۰،۲۲۵	Dec ۲۰۱۵	۵،۳۵۲،۸۷۳،۷۸۰
Dec ۱۹۳۸	۲،۳۸۸،۴۱۲،۷۰۱	Dec ۱۹۷۷	۴،۱۱۹،۹۸۹،۵۸۸	Dec ۲۰۱۶	۵،۳۶۱،۸۹۰،۷۲۰

ادامه جدول (۳-۲): جمعیت جهان طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

Year	Population	Year	Population	Year	Population
Dec ۲۰۱۷	٥،٣٦٩،٣٦٤،٥٩٢	Dec ۲۰٥٦	٤،٧١٤،٧٨٣،١٧٢	Dec ۲۰۹٥	٣،٧٢٩،٦٦٥،٥٢٥
Dec ۲۰۱۸	٥،٣٧٥،٢٩٣،٦١٦	Dec ۲۰٥٧	٤،٦٨٥،٤٢٧،٩٨٣	Dec ۲۰۹٦	٣،٧٠٨،٩٣٧،٧٥٨
Dec ۲۰۱۹	٥،٣٧٩،٦٧٩،٢٧٢	Dec ۲۰٥٨	٤،٦٥٦،١٠٠،٧٣٥	Dec ۲۰۹۷	٣،٦٨٨،٣٨٤،٩٥١
Dec ۲۰۲۰	٥،٣٨٢،٥٢٦،٣٠٥	Dec ۲۰٥۹	٤،٦٢٦،٨٤٠،٠٩٦	Dec ۲۰۹۸	٣،٦٦٨،٠٠٣،٩٩٠
Dec ۲۰۲۱	٥،٣٨٣،٨٤٢،٧٢٣	Dec ۲۰٦۰	٤،٥٩٧،٦٨٢،٣١٨	Dec ۲۰۹۹	٣،٦٤٧،٧٩١،٩١٠
Dec ۲۰۲۲	٥،٣٨٣،٦٣٩،٧٧٣	Dec ۲۰٦۱	٤،٥٦٨،٦٦١،٠٦٩	Dec ۲۱۰۰	٣،٦٢٧،٧٤٥،٨٨٨
Dec ۲۰۲۳	٥،٣٨١،٩٣١،٨٩٦	Dec ۲۰٦۲	٤،٥٣٩،٨٠٦،٨٩٥		
Dec ۲۰۲٤	٥،٣٧٨،٧٣٦،٦٦٩	Dec ۲۰٦۳	٤،٥١١،١٤٦،٣٦٨		
Dec ۲۰۲٥	٥،٣٧٤،٠٧٤،٧٢٩	Dec ۲۰٦٤	٤،٤٨٢،٧٠٢،٠٩١		
Dec ۲۰۲٦	٥،٣٦٧،٩٦٩،٦٨٨	Dec ۲۰٦٥	٤،٤٥٤،٤٩٢،٩٤٧		
Dec ۲۰۲۷	٥،٣٦٠،٤٤٨،٠٢٧	Dec ۲۰٦٦	٤،٤٢٦،٥٣٤،٣٧٣		
Dec ۲۰۲۸	٥،٣٥١،٥٣٨،٩٨١	Dec ۲۰٦۷	٤،٣٩٨،٨٣٨،٦٣٩		
Dec ۲۰۲۹	٥،٣٤١،٢٧٤،٤١٩	Dec ۲۰٦۸	٤،٣٧١،٤١٥،١٣٥		
Dec ۲۰۳۰	٥،٣٢٩،٦٨٨،٧٠٥	Dec ۲۰٦۹	٤،٣٤٤،٢٧٠،٦٦٦		
Dec ۲۰۳۱	٥،٣١٦،٨١٨،٥٥٩	Dec ۲۰۷۰	٤،٣١٧،٤٠٩،٧٣١		
Dec ۲۰۳۲	٥،٣٠٢،٧٠٢،٩٠٥	Dec ۲۰۷۱	٤،٢٩٠،٨٣٤،٨٠٩		
Dec ۲۰۳۳	٥،٢٨٧،٣٨٢،٧١٩	Dec ۲۰۷۲	٤،٢٦٤،٥٤٦،٦٢١		
Dec ۲۰۳٤	٥،٢٧٠،٩٠٠،٨٧٦	Dec ۲۰۷۳	٤،٢٣٨،٥٤٤،٣٨٩		
Dec ۲۰۳٥	٥،٢٥٣،٣٠١،٩٨٢	Dec ۲۰۷٤	٤،٢١٢،٨٢٦،٠٧١		
Dec ۲۰۳٦	٥،٢٣٤،٦٣٢،٢٢٠	Dec ۲۰۷٥	٤،١٨٧،٣٨٨،٥٨٢		
Dec ۲۰۳۷	٥،٢١٤،٩٣٩،١٨٧	Dec ۲۰۷٦	٤،١٦٢،٢٢٧،٩٩٣		
Dec ۲۰۳۸	٥،١٩٤،٢٧١،٧٣٤	Dec ۲۰۷۷	٤،١٣٧،٣٣٩،٧١٦		
Dec ۲۰۳۹	٥،١٧٢،٦٧٩،٨١٠	Dec ۲۰۷۸	٤،١١٢،٧١٨،٦٥٩		
Dec ۲۰٤۰	٥،١٥٠،٢١٤،٣٠٢	Dec ۲۰۷۹	٤،٠٨٨،٣٥٩،٣٧٢		
Dec ۲۰٤۱	٥،١٢٦،٩٢٦،٨٨٤	Dec ۲۰۸۰	٤،٠٦٤،٢٥٦،١٦٧		
Dec ۲۰٤۲	٥،١٠٢،٨٦٩،٨٦٤	Dec ۲۰۸۱	٤،٠٤٠،٤٠٣،٢٢٣		
Dec ۲۰٤۳	٥،٠٧٨،٠٩٦،٠٣٦	Dec ۲۰۸۲	٤،٠١٦،٧٩٤،٦٧٣		
Dec ۲۰٤٤	٥،٠٥٢،٦٥٨،٥٣٣	Dec ۲۰۸۳	٣،٩٩٣،٤٢٤،٦٧١		
Dec ۲۰٤٥	٥،٠٢٦،٦١٠،٦٧٤	Dec ۲۰۸٤	٣،٩٧٠،٢٨٧،٤٥٤		
Dec ۲۰٤٦	٥،٠٠٠،٠٠٥،٨٢٤	Dec ۲۰۸٥	٣،٩٤٧،٣٧٧،٣٨٣		
Dec ۲۰٤۷	٤،٩٧٢،٨٩٧،٢٤١	Dec ۲۰۸٦	٣،٩٢٤،٦٨٨،٩٨٣		
Dec ۲۰٤۸	٤،٩٤٥،٣٣٧،٩٢٤	Dec ۲۰۸۷	٣،٩٠٢،٢١٦،٩٦٤		
Dec ۲۰٤۹	٤،٩١٧،٣٨٠،٤٥٩	Dec ۲۰۸۸	٣،٨٧٩،٩٥٦،٢٤٢		
Dec ۲۰٥۰	٤،٨٨٩،٠٧٦،٨٥٧	Dec ۲۰۸۹	٣،٨٥٧،٩٠١،٩٤٤		
Dec ۲۰٥۱	٤،٨٦٠،٤٧٨،٣٨٩	Dec ۲۰۹۰	٣،٨٣٦،٠٤٩،٤١٩		
Dec ۲۰٥۲	٤،٨٣١،٦٣٥،٤١٠	Dec ۲۰۹۱	٣،٨١٤،٣٩٤،٢٣١		
Dec ۲۰٥۳	٤،٨٠٢،٥٩٧،١٧٧	Dec ۲۰۹۲	٣،٧٩٢،٩٣٢،١٦٠		
Dec ۲۰٥٤	٤،٧٧٣،٤١١،٦٧٠	Dec ۲۰۹۳	٣،٧٧١،٦٥٩،١٩٥		
Dec ۲۰٥٥	٤،٧٤٤،١٢٥،٣٩٠	Dec ۲۰۹٤	٣،٧٥٠،٥٧١،٥٢٣		

۳-۱۳-۳- خروجی مدل برای متغیر حالت آلودگی

شکل (۳-۳۴) خروجی مدل برای متغیر حالت آلودگی را نشان می دهد. در شکل (۳-۳۴) آلودگی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۰۴۹ میلادی افزایش و سپس کاهش پیدا می کند. جدول (۳-۲) مقدار آلودگی را در واحد آلودگی[۱] طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ بیان می کند.



شکل (۳-۳۴): تغییرات آلودگی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

[۱] Pollution Units

جدول (۳-۳): آلودگی جهان طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

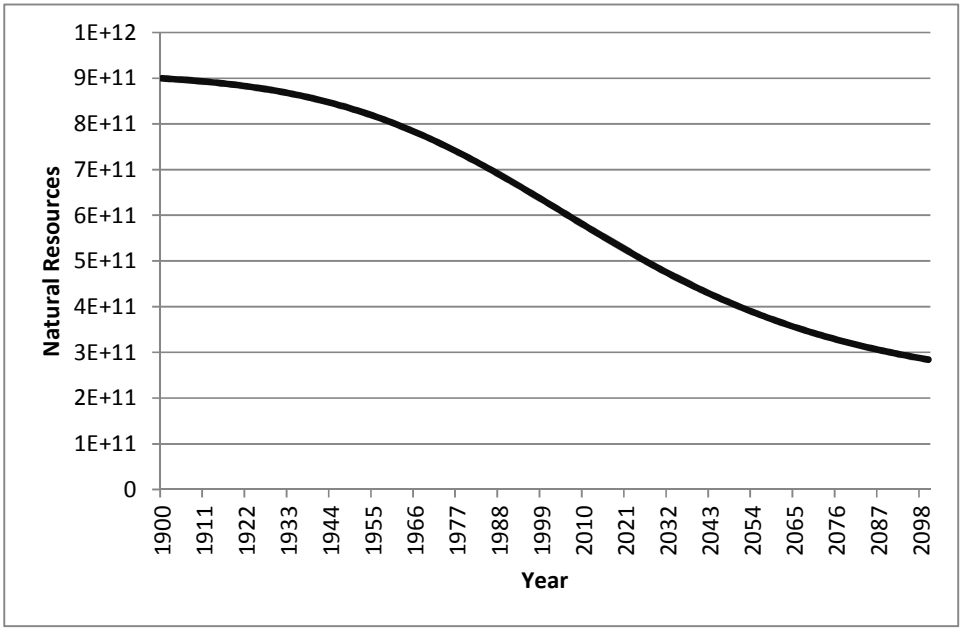
Year	Pollution	Year	Pollution	Year	Pollution
Jan ۱۹۰۰	۲۰۰،۰۰۰،۰۰۰	Jan ۱۹۳۹	۹۶۳،۲۹۰،۸۰٤	Jan ۱۹۷۸	۳،۸۸٤،۸٤۸،۳۹٤
Jan ۱۹۰۱	۲۲٤،٤۹٥،۸٦٦	Jan ۱۹٤۰	۱،۰۰۰،۰٦۹،٦۱۰	Jan ۱۹۷۹	٤،۰۱٤،۰٥۰،۸۹٦
Jan ۱۹۰۲	۲۳٦،۰۹٤،٤٥۷	Jan ۱۹٤۱	۱،۰۳۸،۲۰۱،۸٦٦	Jan ۱۹۸۰	٤،۱٤٦،٥۹٤،٦٥۰
Jan ۱۹۰۳	۲٤٥،٦۹٥،۷۱٦	Jan ۱۹٤۲	۱،۰۷۷،۷۳۳،۰۰۲	Jan ۱۹۸۱	٤،۲۸۲،٥۰٥،٦٤۰
Jan ۱۹۰٤	۲٥٥،۲٤٥،۷۷۱	Jan ۱۹٤۳	۱،۱۱۸،۷۰۹،٥۷۹	Jan ۱۹۸۲	٤،٤۲۱،۸۰٦،۳۱٥
Jan ۱۹۰٥	۲٦٥،۱۰۳،۸۸٤	Jan ۱۹٤٤	۱،۱٦۱،۱۷۹،۲۷۸	Jan ۱۹۸۳	٤،٥٦٤،٥۱٥،۲۲۳
Jan ۱۹۰٦	۲۷٥،۳٤٦،٤٦٤	Jan ۱۹٤٥	۱،۲۰٥،۱۹۰،۸۸۸	Jan ۱۹۸٤	٤،۷۱۰،٦٤٦،٦۲۳
Jan ۱۹۰۷	۲۸٥،۹۹۹،۲۸۰	Jan ۱۹٤٦	۱،۲٥۰،۷۹٤،۲۸۸	Jan ۱۹۸٥	٤،۸٦۰،۲۱۰،۰٦۸
Jan ۱۹۰۸	۲۹۷،۰۷۹،۰۹۰	Jan ۱۹٤۷	۱،۲۹۸،۰٤۰،٤۲۸	Jan ۱۹۸٦	٥،۰۱۳،۲۰۹،۹٥٦
Jan ۱۹۰۹	۳۰۸،٦۰۱،۲٥٥	Jan ۱۹٤۸	۱،۳٤٦،۹۸۱،۳۰۲	Jan ۱۹۸۷	٥،۱٦۹،٦٤٥،۰٥۳
Jan ۱۹۱۰	۳۲۰،٥۸۱،۲۲٥	Jan ۱۹٤۹	۱،۳۹۷،٦٦۹،۹۱۸	Jan ۱۹۸۸	٥،۳۲۹،٥۰۷،۹۸٤
Jan ۱۹۱۱	۳۳۳،۰۳٤،۹۰۹	Jan ۱۹٥۰	۱،٤٥۰،۱٦۰،۲٦۰	Jan ۱۹۸۹	٥،٤۹۲،۷۸٤،٦۹۳
Jan ۱۹۱۲	۳٤٥،۹۷۸،۸۰٤	Jan ۱۹٥۱	۱،٥۰٤،٥۰۷،۲٥۰	Jan ۱۹۹۰	٥،٦٥۹،٤٥۳،۸۷۳
Jan ۱۹۱۳	۳٥۹،٤۳۰،۰۸۱	Jan ۱۹٥۲	۱،٥٦۰،۷٦٦،٦۹۹	Jan ۱۹۹۱	٥،۸۲۹،٤۸٦،۳۷۱
Jan ۱۹۱٤	۳۷۳،٤۰٦،٦۳۱	Jan ۱۹٥۳	۱،٦۱۸،۹۹٥،۲٥٦	Jan ۱۹۹۲	٦،۰۰۲،۸٤٤،٥٥۹
Jan ۱۹۱٥	۳۸۷،۹۲۷،۱۰٥	Jan ۱۹٥٤	۱،٦۷۹،۲٥۰،۳٤٦	Jan ۱۹۹۳	٦،۱۷۹،٤۸۱،٦۹۹
Jan ۱۹۱٦	٤۰۳،۰۱۰،۹٤٤	Jan ۱۹٥٥	۱،۷٤۱،٥۹۰،۱۰۷	Jan ۱۹۹٤	٦،۳٥۹،۳٤۱،٦۹۳
Jan ۱۹۱۷	٤۱۸،٦۷۸،۳۹۷	Jan ۱۹٥٦	۱،۸۰٦،۰۷۳،۳۲۱	Jan ۱۹۹٥	٦،٥٤۲،۳٥۹،٥٤۳
Jan ۱۹۱۸	٤۳٤،۹٥۰،٥٤٥	Jan ۱۹٥۷	۱،۸۷۲،۷٥۹،۳۳۰	Jan ۱۹۹٦	٦،۷۲۸،٤٦۱،٦٤۸
Jan ۱۹۱۹	٤٥۱،۸٤۹،۳۰۸	Jan ۱۹٥۸	۱،۹٤۱،۷۰۷،۹٥۹	Jan ۱۹۹۷	٦،۹۱۷،٥٦٥،۷۸۲
Jan ۱۹۲۰	٤٦۹،۳۹۷،٤۷۰	Jan ۱۹٥۹	۲،۰۱۲،۹۷۹،٤۲۱	Jan ۱۹۹۸	۷،۱۰۹،٥۸۰،۹۳٦
Jan ۱۹۲۱	٤۸۷،٦۱۸،٦۸۲	Jan ۱۹٦۰	۲،۰۸٦،٦۳٤،۲۲۲	Jan ۱۹۹۹	۷،۳۰٤،٤۰۷،۰۹٦
Jan ۱۹۲۲	٥۰٦،٥۳۷،٤۸٦	Jan ۱۹٦۱	۲،۱٦۲،۷۳۳،۰٥۹	Jan ۲۰۰۰	۷،٥۰۱،۹۳٥،۰۱۲
Jan ۱۹۲۳	٥۲٦،۱۷۹،۳۲٦	Jan ۱۹٦۲	۲،۲٤۱،۳۳٦،۷٦۱	Jan ۲۰۰۱	۷،۷۰۲،۰٤٥،۹٥٦
Jan ۱۹۲٤	٥٤٦،٥۷۰،٥٦۰	Jan ۱۹٦۳	۲،۳۲۲،٥۰٦،۳۲٤	Jan ۲۰۰۲	۷،۹۰٤،٦۱۱،٤۹۱
Jan ۱۹۲٥	٥٦۷،۷۳۸،٤۸۲	Jan ۱۹٦٤	۲،٤۰٦،۳۰۲،۹۰٥	Jan ۲۰۰۳	۸،۱۰۹،٤۹۳،۲٤٥
Jan ۱۹۲٦	٥۸۹،۷۱۱،۳۳٦	Jan ۱۹٦٥	۲،٤۹۲،۷۸۷،۷۳٥	Jan ۲۰۰٤	۸،۳۱٦،٥٤۲،٦۸٤
Jan ۱۹۲۷	٦۱۲،٥۱۸،۳۳۱	Jan ۱۹٦٦	۲،٥۸۲،۰۲۰،٥۱٤	Jan ۲۰۰٥	۸،٥۲٥،٦۰۰،۸٤۷
Jan ۱۹۲۸	٦۳٦،۱۸۹،٦٦۲	Jan ۱۹٦۷	۲،٦۷٤،۰٥٥،٤٤۱	Jan ۲۰۰٦	۸،۷۳٦،٤۹۸،۰۷٥
Jan ۱۹۲۹	٦٦۰،۷٥٦،٥۲٥	Jan ۱۹٦۸	۲،۷٦۸،۹٤۲،۹٦۷	Jan ۲۰۰۷	۸،۹٤۹،۰٥۳،۷٥٦
Jan ۱۹۳۰	٦۸٦،۲٥۱،۱۳۲	Jan ۱۹٦۹	۲،۸٦٦،۷۳۱،۸۲٦	Jan ۲۰۰۸	۹،۱٦۳،۰۷٦،۰۹۸
Jan ۱۹۳۱	۷۱۲،۷۰٦،۷۳۲	Jan ۱۹۷۰	۲،۹٦۷،٤٦۹،٦٥۷	Jan ۲۰۰۹	۹،۳۷۸،۳٦۱،۹۲۰
Jan ۱۹۳۲	۷٤۰،۱٥۷،٦۲۷	Jan ۱۹۷۱	۳،۰۷۱،۲۰۳،۰۸٤	Jan ۲۰۱۰	۹،٥۹٤،٦۹٦،٤٦۳
Jan ۱۹۳۳	۷٦۸،٦۳۹،۱۸۲	Jan ۱۹۷۲	۳،۱۷۷،۹۷۷،٦۱٤	Jan ۲۰۱۱	۹،۸۱۱،۸٥۳،۲۲٤
Jan ۱۹۳٤	۷۹۸،۱۸۷،۸٤۸	Jan ۱۹۷۳	۳،۲۸۷،۸۳۷،٤٥۸	Jan ۲۰۱۲	۱۰،۰۲۹،٥۹۳،۸۲۳
Jan ۱۹۳٥	۸۲۸،۸٤۱،۱٦۷	Jan ۱۹۷٤	۳،٤۰۰،۸۲٥،۳۳۹	Jan ۲۰۱۳	۱۰،۲٤۷،٦٦۷،۸۹۳
Jan ۱۹۳٦	۸٦۰،٦۳۷،۷۹۱	Jan ۱۹۷٥	۳،٥۱٦،۹۸۲،۲۹٦	Jan ۲۰۱٤	۱۰،٤٦٥،۸۱۳،۰۲۲
Jan ۱۹۳۷	۸۹۳،٦۱۷،٤۸۷	Jan ۱۹۷٦	۳،٦۳٦،۳٤۷،٤۸٦	Jan ۲۰۱٥	۱۰،٦۸۳،۷٥٤،۷۲۳
Jan ۱۹۳۸	۹۲۷،۸۲۱،۱٥۰	Jan ۱۹۷۷	۳،۷٥۸،۹٥۷،۹٥۲	Jan ۲۰۱٦	۱۰،۹۰۱،۲۰٦،٤٦۱

ادامه جدول (۳-۳): آلودگی جهان طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

Year	Pollution	Year	Pollution	Year	Pollution
Jan ۲۰۱۷	۱۱،۱۱۷،۸۶۹،۷۳۹	Jan ۲۰۵۶	۱۵،۱۴۷،۵۱۳،۵۱۲	Jan ۲۰۹۵	۸،۱۲۸،۶۳۲،۰۱۰
Jan ۲۰۱۸	۱۱،۳۳۳،۴۳۴،۲۳۷	Jan ۲۰۵۷	۱۵،۰۵۹،۱۲۱،۵۶۹	Jan ۲۰۹۶	۷،۹۵۴،۹۵۷،۷۸۳
Jan ۲۰۱۹	۱۱،۵۴۷،۵۷۸،۰۲۴	Jan ۲۰۵۸	۱۴،۹۶۰،۳۶۹،۷۴۵	Jan ۲۰۹۷	۷،۷۸۴،۴۶۳،۴۵۷
Jan ۲۰۲۰	۱۱،۷۵۹،۹۶۷،۸۴۶	Jan ۲۰۵۹	۱۴،۸۵۱،۵۶۱،۶۴۱	Jan ۲۰۹۸	۷،۶۱۷،۱۶۸،۹۵۹
Jan ۲۰۲۱	۱۱،۹۷۰،۲۵۹،۴۹۳	Jan ۲۰۶۰	۱۴،۷۳۳،۰۳۷،۲۲۷	Jan ۲۰۹۹	۷،۴۵۳،۰۸۴،۹۷۴
Jan ۲۰۲۲	۱۲،۱۷۸،۰۹۸،۲۵۷	Jan ۲۰۶۱	۱۴،۶۰۵،۱۷۱،۰۵۵	Jan ۲۱۰۰	۷،۲۹۲،۲۱۳،۹۰۸
Jan ۲۰۲۳	۱۲،۳۸۳،۱۱۹،۴۸۹	Jan ۲۰۶۲	۱۴،۴۶۸،۳۷۰،۱۲۷		
Jan ۲۰۲۴	۱۲،۵۸۴،۹۴۹،۲۷۸	Jan ۲۰۶۳	۱۴،۳۲۳،۰۷۱،۶۴۶		
Jan ۲۰۲۵	۱۲،۷۸۳،۲۰۵،۲۳۵	Jan ۲۰۶۴	۱۴،۱۶۹،۷۴۱،۲۴۴		
Jan ۲۰۲۶	۱۲،۹۷۷،۴۹۷،۴۰۹	Jan ۲۰۶۵	۱۴،۰۰۸،۸۷۰،۹۲۸		
Jan ۲۰۲۷	۱۳،۱۶۷،۴۲۹،۳۱۲	Jan ۲۰۶۶	۱۳،۸۴۰،۹۷۶،۰۶۰		
Jan ۲۰۲۸	۱۳،۳۵۲،۵۹۹،۰۷۱	Jan ۲۰۶۷	۱۳،۶۶۶،۵۹۱،۵۴۷		
Jan ۲۰۲۹	۱۳،۵۳۲،۶۰۰،۶۹۵	Jan ۲۰۶۸	۱۳،۴۸۶،۲۶۷،۴۶۷		
Jan ۲۰۳۰	۱۳،۷۰۷،۰۲۵،۴۶۸	Jan ۲۰۶۹	۱۳،۳۰۰،۵۶۴،۳۳۷		
Jan ۲۰۳۱	۱۳،۸۷۵،۴۶۳،۴۶۲	Jan ۲۰۷۰	۱۳،۱۱۰،۰۴۸،۱۸۹		
Jan ۲۰۳۲	۱۴،۰۳۷،۵۰۵،۱۶۱	Jan ۲۰۷۱	۱۲،۹۱۵،۲۸۵،۶۳۵		
Jan ۲۰۳۳	۱۴،۱۹۲،۷۴۳،۲۰۹	Jan ۲۰۷۲	۱۲،۷۱۶،۸۳۹،۰۴۵		
Jan ۲۰۳۴	۱۴،۳۴۰،۷۷۴،۲۵۷	Jan ۲۰۷۳	۱۲،۵۱۵،۲۶۱،۹۷۰		
Jan ۲۰۳۵	۱۴،۴۸۱،۲۰۰،۹۱۵	Jan ۲۰۷۴	۱۲،۳۱۱،۰۹۴،۹۰۹		
Jan ۲۰۳۶	۱۴،۶۱۳،۶۳۳،۷۹۳	Jan ۲۰۷۵	۱۲،۱۰۴،۸۶۱،۵۰۵		
Jan ۲۰۳۷	۱۴،۷۳۷،۶۹۳،۶۲۴	Jan ۲۰۷۶	۱۱،۸۹۷،۰۶۵،۲۲۲		
Jan ۲۰۳۸	۱۴،۸۵۳،۰۱۳،۴۴۷	Jan ۲۰۷۷	۱۱،۶۸۸،۱۸۶،۵۵۰		
Jan ۲۰۳۹	۱۴،۹۵۹،۲۴۰،۸۵۳	Jan ۲۰۷۸	۱۱،۴۷۸،۶۸۰،۷۴۸		
Jan ۲۰۴۰	۱۵،۰۵۶،۰۴۰،۲۵۱	Jan ۲۰۷۹	۱۱،۲۶۸،۹۷۶،۱۳۲		
Jan ۲۰۴۱	۱۵،۱۴۳،۰۹۵،۱۶۱	Jan ۲۰۸۰	۱۱،۰۵۹،۴۷۲،۸۷۸		
Jan ۲۰۴۲	۱۵،۲۲۰،۱۱۰،۴۹۸	Jan ۲۰۸۱	۱۰،۸۵۰،۵۴۲،۳۳۴		
Jan ۲۰۴۳	۱۵،۲۸۶،۸۱۴،۸۲۶	Jan ۲۰۸۲	۱۰،۶۴۲،۵۲۶،۷۶۲		
Jan ۲۰۴۴	۱۵،۳۴۲،۹۶۲،۵۶۸	Jan ۲۰۸۳	۱۰،۴۳۵،۷۳۹،۵۰۷		
Jan ۲۰۴۵	۱۵،۳۸۸،۳۳۶،۱۴۳	Jan ۲۰۸۴	۱۰،۲۳۰،۴۶۵،۴۹۴		
Jan ۲۰۴۶	۱۵،۴۲۲،۷۴۸،۰۰۱	Jan ۲۰۸۵	۱۰،۰۲۶،۹۶۲،۰۳۱		
Jan ۲۰۴۷	۱۵،۴۴۶،۰۴۲،۵۴۴	Jan ۲۰۸۶	۹،۸۲۵،۴۵۹،۸۴۳		
Jan ۲۰۴۸	۱۵،۴۵۸،۰۹۷،۸۹۸	Jan ۲۰۸۷	۹،۶۲۶،۱۶۴،۲۸۹		
Jan ۲۰۴۹	۱۵،۴۵۸،۸۲۷،۵۱۹	Jan ۲۰۸۸	۹،۴۲۹،۲۵۶،۷۰۶		
Jan ۲۰۵۰	۱۵،۴۴۸،۱۸۱،۶۰۹	Jan ۲۰۸۹	۹،۲۳۴،۸۹۵،۸۴۸		
Jan ۲۰۵۱	۱۵،۴۲۶،۱۴۸،۳۱۸	Jan ۲۰۹۰	۹،۰۴۳،۲۱۹،۳۷۶		
Jan ۲۰۵۲	۱۵،۳۹۲،۷۵۴،۷۱۷	Jan ۲۰۹۱	۸،۸۵۴،۳۴۵،۳۵۷		
Jan ۲۰۵۳	۱۵،۳۴۸،۰۶۷،۵۱۶	Jan ۲۰۹۲	۸،۶۶۸،۳۷۳،۷۶۱		
Jan ۲۰۵۴	۱۵،۲۹۲،۱۹۳،۵۱۸	Jan ۲۰۹۳	۸،۴۸۵،۳۸۷،۹۱۷		
Jan ۲۰۵۵	۱۵،۲۲۵،۲۷۹،۷۸۷	Jan ۲۰۹۴	۸،۳۰۵،۴۵۵،۹۲۷		

۳-۱۳-۴- خروجی مدل برای متغیر حالت منابع طبیعی

شکل (۳-۳۵) خروجی مدل برای متغیر حالت منابع طبیعی را نشان می دهد. همانطور که در شکل (۳-۳۵) مشاهده می شود مقدار منابع طبیعی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ در حال کاهش می باشد. جدول (۳-۳) مقدار منابع طبیعی را طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی در واحد منابع طبیعی[۱] نشان می دهد.



شکل (۳-۳۵): تغییرات منابع طبیعی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

[۱] Natural Resource Units

جدول (۳-۴): مقدار منابع طبیعی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

Year	NR	Year	NR
Dec ۱۹۰۰	۸۹۹،۵۵۷،۱۵۶،۷۷۶	Dec ۱۹۳۹	۸۵۶،۵۲۴،۹۳۸،۱۸۴
Dec ۱۹۰۱	۸۹۹،۰۵۳،۵۷۸،۹۷۶	Dec ۱۹۴۰	۸۵۴،۵۵۹،۸۲۶،۴۴۱
Dec ۱۹۰۲	۸۹۸،۵۲۸،۰۷۰،۷۹۹	Dec ۱۹۴۱	۸۵۲،۵۳۹،۲۵۸،۸۵۷
Dec ۱۹۰۳	۸۹۷،۹۸۰،۰۲۲،۰۴۵	Dec ۱۹۴۲	۸۵۰،۴۶۲،۴۳۶،۷۶۱
Dec ۱۹۰۴	۸۹۷،۴۰۸،۷۹۴،۰۲۷	Dec ۱۹۴۳	۸۴۸،۳۲۸،۵۸۷،۷۶۶
Dec ۱۹۰۵	۸۹۶،۸۱۳،۷۲۱،۵۸۳	Dec ۱۹۴۴	۸۴۶،۱۳۶،۹۶۷،۹۸۶
Dec ۱۹۰۶	۸۹۶،۱۹۴،۱۱۴،۸۹۳	Dec ۱۹۴۵	۸۴۳،۸۸۶،۸۶۴،۲۷۵
Dec ۱۹۰۷	۸۹۵،۰۴۹،۲۶۱،۱۳۳	Dec ۱۹۴۶	۸۴۱،۵۷۷،۵۹۶،۴۶۱
Dec ۱۹۰۸	۸۹۴،۸۷۸،۴۲۵،۹۳۹	Dec ۱۹۴۷	۸۳۹،۲۰۸،۵۱۹،۵۶۶
Dec ۱۹۰۹	۸۹۴،۱۸۰،۸۵۴،۷۳۷	Dec ۱۹۴۸	۸۳۶،۷۷۹،۰۲۶،۰۱۱
Dec ۱۹۱۰	۸۹۳،۴۵۵،۷۷۳،۹۲۵	Dec ۱۹۴۹	۸۳۴،۲۸۸،۵۴۷،۷۸۲
Dec ۱۹۱۱	۸۹۲،۷۰۲،۳۹۱،۹۰۹	Dec ۱۹۵۰	۸۳۱،۷۳۶،۵۵۸،۵۴۳
Dec ۱۹۱۲	۸۹۱،۹۱۹،۹۰۰،۳۶۵	Dec ۱۹۵۱	۸۲۹،۱۲۲،۵۷۵،۷۰۵
Dec ۱۹۱۳	۸۹۱،۱۰۷،۴۷۴،۶۶۶	Dec ۱۹۵۲	۸۲۶،۴۴۶،۱۶۲،۴۰۶
Dec ۱۹۱۴	۸۹۰،۲۶۴،۲۷۵،۲۶۷	Dec ۱۹۵۳	۸۲۳،۷۰۶،۹۲۹،۴۱۵
Dec ۱۹۱۵	۸۸۹،۳۸۹،۴۴۸،۳۰۲	Dec ۱۹۵۴	۸۲۰،۹۰۴،۵۳۶،۹۳۶
Dec ۱۹۱۶	۸۸۸،۴۸۲،۱۲۶،۴۶۳	Dec ۱۹۵۵	۸۱۸،۰۳۸،۶۹۶،۲۹۷
Dec ۱۹۱۷	۸۸۷،۵۴۱،۴۲۹،۸۲۴	Dec ۱۹۵۶	۸۱۵،۱۰۹،۱۷۱،۵۲۱
Dec ۱۹۱۸	۸۸۶،۵۶۶،۴۶۶،۶۶۸	Dec ۱۹۵۷	۸۱۲،۱۱۵،۷۸۰،۷۶۱
Dec ۱۹۱۹	۸۸۵،۵۵۶،۳۳۴،۳۳۷	Dec ۱۹۵۸	۸۰۹،۰۵۸،۳۹۷،۵۸۳
Dec ۱۹۲۰	۸۸۴،۵۱۰،۱۲۰،۱۰۸	Dec ۱۹۵۹	۸۰۵،۹۳۶،۹۵۲،۱۰۴
Dec ۱۹۲۱	۸۸۳،۴۲۶،۹۰۲،۱۰۱	Dec ۱۹۶۰	۸۰۲،۷۵۱،۴۳۱،۹۶۲
Dec ۱۹۲۲	۸۸۲،۳۰۵،۷۵۰،۲۳۰	Dec ۱۹۶۱	۷۹۹،۵۰۱،۸۸۳،۱۱۶
Dec ۱۹۲۳	۸۸۱،۱۴۵،۷۲۷،۲۰۵	Dec ۱۹۶۲	۷۹۶،۱۸۸،۴۱۰،۴۹۲
Dec ۱۹۲۴	۸۷۹،۹۴۵،۸۸۹،۵۸۷	Dec ۱۹۶۳	۷۹۲،۸۱۱،۱۷۸،۴۲۵
Dec ۱۹۲۵	۸۷۸،۷۰۵،۲۸۸،۸۹۵	Dec ۱۹۶۴	۷۸۹،۳۷۰،۴۱۰،۸۷۷
Dec ۱۹۲۶	۸۷۷،۴۲۲،۹۷۲،۷۸۵	Dec ۱۹۶۵	۷۸۵،۸۶۶،۳۹۱،۴۰۰
Dec ۱۹۲۷	۸۷۶،۰۹۷،۹۸۶،۲۸۶	Dec ۱۹۶۶	۷۸۲،۲۹۹،۴۶۲،۷۷۵
Dec ۱۹۲۸	۸۷۴،۷۲۹،۳۷۳،۱۰۹	Dec ۱۹۶۷	۷۷۸،۶۷۰،۰۲۶،۴۹۵
Dec ۱۹۲۹	۸۷۳،۳۱۶،۱۷۷،۰۱۹	Dec ۱۹۶۸	۷۷۴،۹۷۸،۵۴۲،۷۶۰
Dec ۱۹۳۰	۸۷۱،۸۵۷،۴۴۳،۲۸۷	Dec ۱۹۶۹	۷۷۱،۲۲۵،۵۳۱،۰۷۸
Dec ۱۹۳۱	۸۷۰،۳۵۲،۲۲۰،۲۰۹	Dec ۱۹۷۰	۷۶۷،۴۱۱،۵۷۰،۹۸۳
Dec ۱۹۳۲	۸۶۸،۷۹۹،۵۶۰،۶۹۵	Dec ۱۹۷۱	۷۶۳،۵۳۷،۳۰۲،۶۸۳
Dec ۱۹۳۳	۸۶۷،۱۹۸،۵۲۳،۹۳۵	Dec ۱۹۷۲	۷۵۹،۶۰۳،۴۲۷،۵۱۹
Dec ۱۹۳۴	۸۶۵،۵۴۸،۱۷۷،۱۳۱	Dec ۱۹۷۳	۷۵۵،۶۱۰،۷۰۸،۳۴۱
Dec ۱۹۳۵	۸۶۳،۸۴۷،۵۹۷،۳۰۴	Dec ۱۹۷۴	۷۵۱،۵۵۹،۹۶۹،۸۵۹
Dec ۱۹۳۶	۸۶۲،۰۹۵،۸۷۳،۱۵۸	Dec ۱۹۷۵	۷۴۷،۴۵۲،۰۹۹،۰۱۴
Dec ۱۹۳۷	۸۶۰،۲۹۲،۱۰۷،۰۲۱	Dec ۱۹۷۶	۷۴۳،۲۸۸،۰۴۵،۳۵۳
Dec ۱۹۳۸	۸۵۸،۴۳۵،۴۱۶،۸۲۹	Dec ۱۹۷۷	۷۳۹،۰۶۸،۸۲۱،۴۳۲

ادامه جدول (۳-۴): مقدار منابع طبیعی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

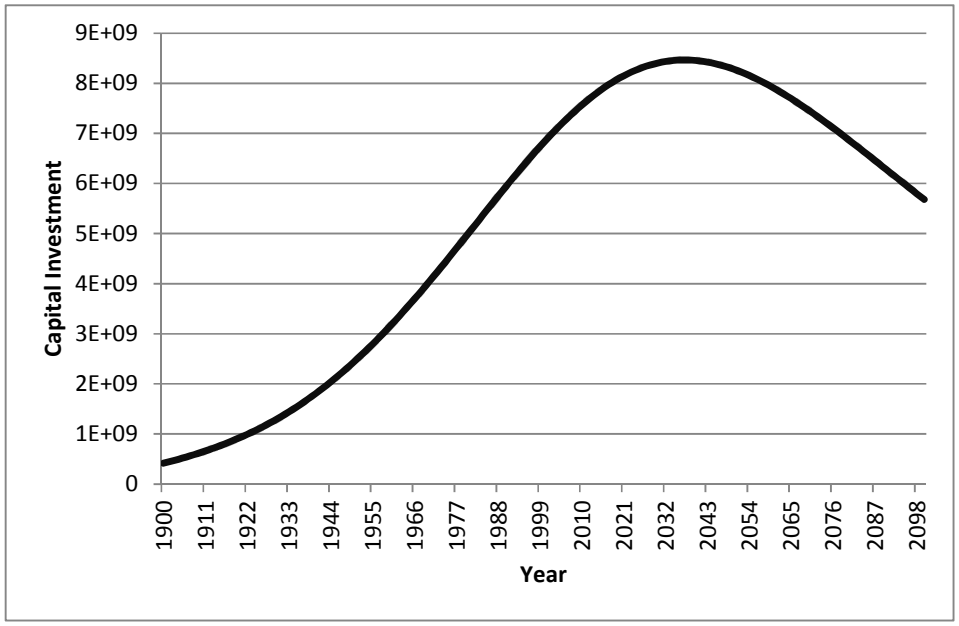
Year	NR	Year	NR
Dec ۱۹۷۸	۷۳٤،۷۹٥،٥۰۳،۲٤۲	Dec ۲۰۱۷	٥٤٤،۰٦۰،٤۸۷،٤۱۱
Dec ۱۹۷۹	۷۳۰،٤٦۹،۲۳۰،٦٦۸	Dec ۲۰۱۸	٥۳۹،۱۲۲،۷۱۹،۷٥٤
Dec ۱۹۸۰	۷۲٦،۰۹۱،۲۰۷،۹۸۷	Dec ۲۰۱۹	٥۳٤،۲۱۱،٥۷۹،۳٤٤
Dec ۱۹۸۱	۷۲۱،٦٦۲،۷۰٤،۳۹۲	Dec ۲۰۲۰	٥۲۹،۳۲۸،۸۷۳،۹۷٤
Dec ۱۹۸۲	۷۱۷،۱۸٥،۰٥٤،٥٦٦	Dec ۲۰۲۱	٥۲٤،٤۷٦،۳٥۳،٤۷٥
Dec ۱۹۸۳	۷۱۲،٦٥۹،٦٥۹،۲۷۷	Dec ۲۰۲۲	٥۱۹،٦٥٥،۷۰۷،۳٦۹
Dec ۱۹۸٤	۷۰۸،۰۸۷،۹۸٦،۰۰۹	Dec ۲۰۲۳	٥۱٤،۸٦۸،٥٦۲،٦٦۸
Dec ۱۹۸٥	۷۰۳،٤۷۱،٥٦۹،٦۰۹	Dec ۲۰۲٤	٥۱۰،۱۱٦،٤۸۱،۸۹٥
Dec ۱۹۸٦	٦۹۸،۸۱۲،۰۱۲،۹٥٥	Dec ۲۰۲٥	٥۰٥،٤۰۰،۹٦۱،۳٥٦
Dec ۱۹۸۷	٦۹٤،۱۱۰،۹۸۷،٦۱۱	Dec ۲۰۲٦	٥۰۰،۷۲۳،٤۲۹،٦٤٦
Dec ۱۹۸۸	٦۸۹،۳۷۰،۲۳٤،٤۷۸	Dec ۲۰۲۷	٤۹٦،۰۸٥،۲٤٦،٤۱۰
Dec ۱۹۸۹	٦۸٤،٥۹۱،٥٦٤،٤۰۸	Dec ۲۰۲۸	٤۹۱،٤۸۷،۷۰۱،۳٤۹
Dec ۱۹۹۰	٦۷۹،۷۷٦،۸٥۸،۷۷۳	Dec ۲۰۲۹	٤۸٦،۹۳۲،۰۱۳،٤۷۳
Dec ۱۹۹۱	٦۷٤،۹۲۸،۰٦۹،۹٥۲	Dec ۲۰۳۰	٤۸۲،٤۱۹،۳۳۰،٥۹۷
Dec ۱۹۹۲	٦۷۰،۰٤۷،۲۲۰،٥۲۹	Dec ۲۰۳۱	٤۷۷،۹٥۰،۷۲۹،۰۷۹
Dec ۱۹۹۳	٦٦٥،۱۳٦،۳۸۸،۸۰۱	Dec ۲۰۳۲	٤۷۳،٥۲۷،۲۱۳،۷۹۷
Dec ۱۹۹٤	٦٦۰،۱۹۷،٦۹۱،٥۸۱	Dec ۲۰۳۳	٤٦۹،۱٤۹،۷۱۸،۳٤۱
Dec ۱۹۹٥	٦٥٥،۲۳۳،۲۷۹،٦٤٦	Dec ۲۰۳٤	٤٦٤،۸۱۹،۱۰٥،٤٤۳
Dec ۱۹۹٦	٦٥۰،۲٤٥،۳۳٤،٤۹۹	Dec ۲۰۳٥	٤٦۰،٥۳٦،۱٦۷،٦۱۰
Dec ۱۹۹۷	٦٤٥،۲۳٦،۰٦٥،۰۳٤	Dec ۲۰۳٦	٤٥٦،۳۰۱،٦۲۷،۹٥٤
Dec ۱۹۹۸	٦٤۰،۲۰۷،۷۰٤،۰۹٥	Dec ۲۰۳۷	٤٥۲،۱۱٦،۱٤۱،۲۲۹
Dec ۱۹۹۹	٦۳٥،۱٦۲،٥۰٤،۹٤۱	Dec ۲۰۳۸	٤٤۷،۹۸۰،۲۹٥،۰۲٦
Dec ۲۰۰۰	٦۳۰،۱۰۲،۷۳۷،٦۲۱	Dec ۲۰۳۹	٤٤۳،۸۹٤،٦۱۱،۱٥۷
Dec ۲۰۰۱	٦۲٥،۰۳۰،٦۸٥،۲۷۷	Dec ۲۰٤۰	٤۳۹،۸٥۹،٥٤۷،۱۷۲
Dec ۲۰۰۲	٦۱۹،۹٤۸،٦٤۰،۳٦۸	Dec ۲۰٤۱	٤۳٥،۸۷٥،٤۹۸،۰۳۳
Dec ۲۰۰۳	٦۱٤،۸٥۸،۹۰۰،۷۹٦	Dec ۲۰٤۲	٤۳۱،۹٤۲،۷۹۷،۹۰۷
Dec ۲۰۰٤	٦۰۹،۷٦۳،۷٦٥،۹٤٥	Dec ۲۰٤۳	٤۲۸،۰٦۱،۷۲۲،۰٦٤
Dec ۲۰۰٥	٦۰٤،٦٦٥،٥۳۲،۷۱۱	Dec ۲۰٤٤	٤۲٤،۲۳۲،٤۸۸،۸۸۹
Dec ۲۰۰٦	٥۹۹،٥٦٦،٤۹۱،٥۲۲	Dec ۲۰٤٥	٤۲۰،٤٥٥،۲٦۱،۹٥۸
Dec ۲۰۰۷	٥۹٤،٤٦۸،۹۲۲،۳٥۹	Dec ۲۰٤٦	٤۱٦،۷۳۰،۱٥۲،۱۹۸
Dec ۲۰۰۸	٥۸۹،۳۷٥،۰۹۰،۷۷۹	Dec ۲۰٤۷	٤۱۳،۰٥۷،۲۲۰،۰۸۹
Dec ۲۰۰۹	٥۸٤،۲۸۷،۲٤۳،۹٥۹	Dec ۲۰٤۸	٤۰۹،٤۳٦،٤۷۷،۹۱۲
Dec ۲۰۱۰	٥۷۹،۲۰۷،٦۰٦،۷۹۳	Dec ۲۰٤۹	٤۰٥،۸٦۷،۸۹۲،۰۲۰
Dec ۲۰۱۱	٥۷٤،۱۳۸،۳۷۸،۰۳۲	Dec ۲۰٥۰	٤۰۲،۳٥۱،۳۸٥،۱۲۰
Dec ۲۰۱۲	٥٦۹،۰۸۱،۷۲٦،٥۱۱	Dec ۲۰٥۱	۳۹۸،۸۸٦،۸۳۸،٥٥۸
Dec ۲۰۱۳	٥٦٤،۰۳۹،۷۸۷،٤٥٦	Dec ۲۰٥۲	۳۹٥،٤۷٤،۰۹٤،٥۸۱
Dec ۲۰۱٤	٥٥۹،۰۱٤،٦٥۸،۹۰۹	Dec ۲۰٥۳	۳۹۲،۱۱۲،۹٥۸،٥۸۰
Dec ۲۰۱٥	٥٥٤،۰۰۸،۳۹۸،۲۷۲	Dec ۲۰٥٤	۳۸۸،۸۰۳،۲۰۱،۲۹۹
Dec ۲۰۱٦	٥٤۹،۰۲۳،۰۱۸،۹۹٥	Dec ۲۰٥٥	۳۸٥،٥٤٤،٥٦۰،۹۸۱

ادامه جدول (۳-۴): مقدار منابع طبیعی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

Year	NR	Year	NR
Dec ۲۰۵۶	۳۸۲،۳۳۶،۷۴۵،۴۷۹	Dec ۲۰۹۵	۲۹۱،۸۲۸،۵۴۶،۱۲۷
Dec ۲۰۵۷	۳۷۹،۱۷۹،۴۳۴،۲۷۹	Dec ۲۰۹۶	۲۹۰،۲۴۲،۰۹۸،۷۱۳
Dec ۲۰۵۸	۳۷۶،۰۷۲،۲۸۰،۴۶۵	Dec ۲۰۹۷	۲۸۸،۶۸۴،۵۰۳،۵۳۲
Dec ۲۰۵۹	۳۷۳،۰۱۴،۹۱۲،۶۰۱	Dec ۲۰۹۸	۲۸۷،۱۵۵،۲۲۱،۱۱۸
Dec ۲۰۶۰	۳۷۰،۰۰۶،۹۳۶،۵۲۵	Dec ۲۰۹۹	۲۸۵،۶۵۳،۷۱۸،۷۷۹
Dec ۲۰۶۱	۳۶۷،۰۴۷،۹۳۷،۰۶۰	Dec ۲۱۰۰	۲۸۴،۱۷۹،۴۷۰،۸۰۲
Dec ۲۰۶۲	۳۶۴،۱۳۷،۴۷۹،۶۳۳		
Dec ۲۰۶۳	۳۶۱،۲۷۵،۱۱۱،۸۰۹		
Dec ۲۰۶۴	۳۵۸،۴۶۰،۳۶۴،۷۰۳		
Dec ۲۰۶۵	۳۵۵،۶۹۲،۷۵۴،۲۸۵		
Dec ۲۰۶۶	۳۵۲،۹۷۱،۷۸۲،۵۷۹		
Dec ۲۰۶۷	۳۵۰،۲۹۶،۹۳۸،۷۸۶		
Dec ۲۰۶۸	۳۴۷،۶۶۷،۷۰۰،۳۲۴		
Dec ۲۰۶۹	۳۴۵،۰۸۳،۵۳۳،۸۲۰		
Dec ۲۰۷۰	۳۴۲،۵۴۳،۸۹۶،۰۴۱		
Dec ۲۰۷۱	۳۴۰،۰۴۸،۲۳۴،۷۹۷		
Dec ۲۰۷۲	۳۳۷،۵۹۵،۹۸۹،۷۹۵		
Dec ۲۰۷۳	۳۳۵،۱۸۶،۵۹۳،۴۷۲		
Dec ۲۰۷۴	۳۳۲،۸۱۹،۴۷۱،۸۰۴		
Dec ۲۰۷۵	۳۳۰،۴۹۴،۰۴۵،۰۸۸		
Dec ۲۰۷۶	۳۲۸،۲۰۹،۷۲۸،۷۱۰		
Dec ۲۰۷۷	۳۲۵،۹۶۵،۹۳۳،۸۹۱		
Dec ۲۰۷۸	۳۲۳،۷۶۲،۰۶۸،۴۱۸		
Dec ۲۰۷۹	۳۲۱،۵۹۷،۵۳۷،۳۶۰		
Dec ۲۰۸۰	۳۱۹،۴۷۱،۷۴۳،۷۶۴		
Dec ۲۰۸۱	۳۱۷،۳۸۴،۰۸۹،۳۳۲		
Dec ۲۰۸۲	۳۱۵،۳۳۳،۹۷۵،۰۸۳		
Dec ۲۰۸۳	۳۱۳،۳۲۰،۸۰۱،۹۹۵		
Dec ۲۰۸۴	۳۱۱،۳۴۳،۹۷۱،۶۲۰		
Dec ۲۰۸۵	۳۰۹،۴۰۲،۸۸۶،۶۸۴		
Dec ۲۰۸۶	۳۰۷،۴۹۶،۹۵۱،۶۶۱		
Dec ۲۰۸۷	۳۰۵،۶۲۵،۵۷۳،۳۱۹		
Dec ۲۰۸۸	۳۰۳،۷۸۸،۱۶۱،۲۴۴		
Dec ۲۰۸۹	۳۰۱،۹۸۴،۱۲۸،۳۳۸		
Dec ۲۰۹۰	۳۰۰،۲۱۲،۸۹۱،۲۸۸		
Dec ۲۰۹۱	۲۹۸،۴۷۳،۸۷۱،۰۰۴		
Dec ۲۰۹۲	۲۹۶،۷۶۶،۴۹۳،۰۴۲		
Dec ۲۰۹۳	۲۹۵،۰۹۰،۱۸۷،۹۸۰		
Dec ۲۰۹۴	۲۹۳،۴۴۴،۳۹۱،۷۸۲		

۳-۱۳-۵- خروجی مدل برای متغیر حالت سرمایه گذاری

شکل (۳-۳۶) خروجی مدل برای متغیر حالت سرمایه گذاری را نشان می دهد. همانطور که در شکل (۳-۳۶) مشاهده می شود، سرمایه گذاری طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۰۳۷ میلادی افزایش و سپس کاهش پیدا می کند. جدول (۳-۴) مقادیر سرمایه گذاری طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی را در واحد سرمایه گذاری[۱] نشان می دهد.



شکل (۳-۳۶): مقادیر سرمایه گذاری طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

[۱] Capital Units

جدول (۳-۵): مقادیر سرمایه گذاری طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

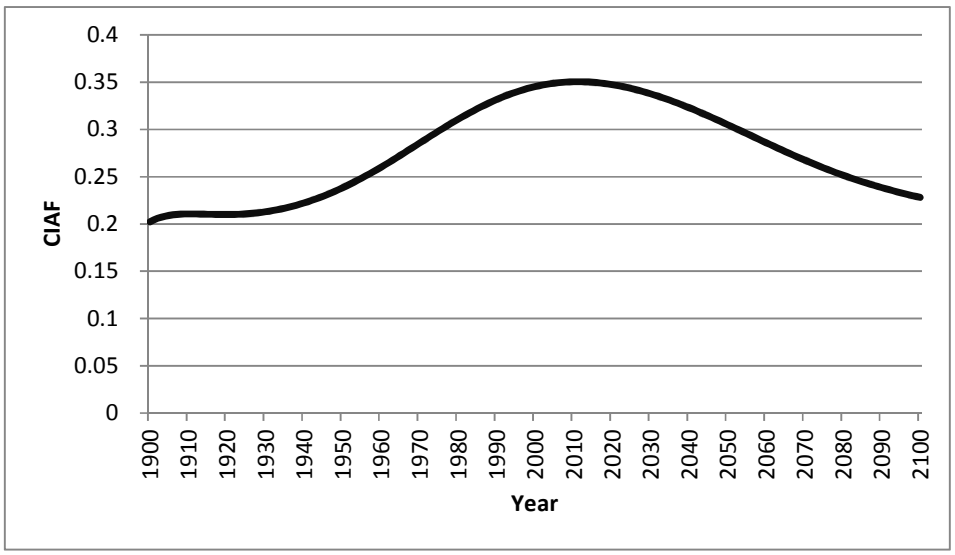
Year	CI	Year	CI	Year	CI
Dec ۱۹۰۰	٤۱۷،٦۹٤،۳۰۰	Dec ۱۹۳۹	۱،۷۵۱،۰۳۸،۳٦۵	Dec ۱۹۷۸	٤،۷۹۸،۸٦۰،٦۲٦
Dec ۱۹۰۱	٤۳۷،۳۷۸،٤۸۷	Dec ۱۹٤۰	۱،۸۰٦،۵۰۷،۹۸۷	Dec ۱۹۷۹	٤،۸۹۳،۷٦۲،۵٤۰
Dec ۱۹۰۲	٤۵۷،٤۸۹،٤۹۱	Dec ۱۹٤۱	۱،۸٦۳،۲۷٦،۹۰۰	Dec ۱۹۸۰	٤،۹۸۸،۸٦۲،۱۳۷
Dec ۱۹۰۳	٤۷۸،۰۵۷،٤۵٦	Dec ۱۹٤۲	۱،۹۲۱،۳۵۲،۷۱٦	Dec ۱۹۸۱	۵،۰۸٤،۰۹٤،۰٤۱
Dec ۱۹۰٤	٤۹۹،۱۱۲،٦۳۵	Dec ۱۹٤۳	۱،۹۸۰،۷٤۱،٦۲٦	Dec ۱۹۸۲	۵،۱۷۹،۳۹۱،۳۱۱
Dec ۱۹۰۵	۵۲۰،٦۸۵،۱۸۰	Dec ۱۹٤٤	۲،۰٤۱،٤٤۸،۳۲۹	Dec ۱۹۸۳	۵،۲۷٤،٦۸۵،٤۵۰
Dec ۱۹۰٦	۵٤۲،۸۰٤،۹۹۷	Dec ۱۹٤۵	۲،۱۰۳،٤۷۵،۹٦۰	Dec ۱۹۸٤	۵،۳٦۹،۹۰٦،٤۱۷
Dec ۱۹۰۷	۵٦۵،۵۰۱،٦٤۲	Dec ۱۹٤٦	۲،۱٦٦،۸۲٦،۰۲۲	Dec ۱۹۸۵	۵،٤٦٤،۹۸۲،٦٤۵
Dec ۱۹۰۸	۵۸۸،۸۰٤،۲٦۷	Dec ۱۹٤۷	۲،۲۳۱،٤۹۸،۳۱۸	Dec ۱۹۸٦	۵،۵۵۹،۸٤۱،۰٤۵
Dec ۱۹۰۹	٦۱۲،۷٤۱،۵۸٤	Dec ۱۹٤۸	۲،۲۹۷،٤۹۰،۸۸۹	Dec ۱۹۸۷	۵،٦۵٤،٤۰۷،۰۲۲
Dec ۱۹۱۰	٦۳۷،۳٤۱،۸۵۲	Dec ۱۹٤۹	۲،۳٦٤،۷۹۹،۹٤۸	Dec ۱۹۸۸	۵،۷٤۸،٦۰٤،٤۸۵
Dec ۱۹۱۱	٦٦۲،٦۳۲،۸۸۱	Dec ۱۹۵۰	۲،٤۳۳،٤۱۹،۸۲۲	Dec ۱۹۸۹	۵،۸٤۲،۳۵۵،۸۵۹
Dec ۱۹۱۲	٦۸۸،٦٤۲،۰۳۵	Dec ۱۹۵۱	۲،۵۰۳،۳٤۲،۸۹۷	Dec ۱۹۹۰	۵،۹۳۵،۵۸۲،۱۰۳
Dec ۱۹۱۳	۷۱۵،۳۹٦،۲٤۹	Dec ۱۹۵۲	۲،۵۷٤،۵۵۹،۵۷۰	Dec ۱۹۹۱	٦،۰۲۸،۲۰۲،۷۲۷
Dec ۱۹۱٤	۷٤۲،۹۲۲،۰٤٤	Dec ۱۹۵۳	۲،٦٤۷،۰۵۸،۱۹۷	Dec ۱۹۹۲	٦،۱۲۰،۱۳۵،۸۷۲
Dec ۱۹۱۵	۷۷۱،۲٤۵،۵٤۰	Dec ۱۹۵٤	۲،۷۲۰،۸۲۵،۰۵۸	Dec ۱۹۹۳	٦،۲۱۱،۲۹۹،۰۳٦
Dec ۱۹۱٦	۸۰۰،۳۹۲،٤٦۸	Dec ۱۹۵۵	۲،۷۹۵،۸٤٤،۳۲۲	Dec ۱۹۹٤	٦،۳۰۱،٦۰۹،۸۹۹
Dec ۱۹۱۷	۸۳۰،۳۸۸،۱۸۵	Dec ۱۹۵٦	۲،۸۷۲،۰۹۸،۰۱۵	Dec ۱۹۹۵	٦،۳۹۰،۹۸٦،۵٤۱
Dec ۱۹۱۸	۸٦۱،۲۵۷،٦۷۲	Dec ۱۹۵۷	۲،۹٤۹،۵٦٦،۰۰۷	Dec ۱۹۹٦	٦،٤۷۹،۳٤۷،۵۸۸
Dec ۱۹۱۹	۸۹۳،۰۲۵،۵٤٦	Dec ۱۹۵۸	۳،۰۲۸،۲۲۵،۹۹۰	Dec ۱۹۹۷	٦،۵٦٦،٦۱۲،۳٦٤
Dec ۱۹۲۰	۹۲۵،۷۱٦،۰۵۰	Dec ۱۹۵۹	۳،۱۰۸،۰۵۳،٤۷۹	Dec ۱۹۹۸	٦،٦۵۲،۷۰۱،۰۳۵
Dec ۱۹۲۱	۹۵۹،۳۵۳،۰۵۳	Dec ۱۹٦۰	۳،۱۸۹،۰۲۱،۸۱۲	Dec ۱۹۹۹	٦،۷۳۷،۵۳٤،۷٦۰
Dec ۱۹۲۲	۹۹۳،۹٦۰،۰۳٤	Dec ۱۹٦۱	۳،۲۷۱،۱۰۲،۱٦۱	Dec ۲۰۰۰	٦،۸۲۱،۰۳۵،۸٤٦
Dec ۱۹۲۳	۱،۰۲۹،۵٦۰،۰۷٤	Dec ۱۹٦۲	۳،۳۵٤،۲٦۳،۵٤٦	Dec ۲۰۰۱	٦،۹۰۳،۱۲۷،۸۸۹
Dec ۱۹۲٤	۱،۰٦٦،۱۷۵،۸۲۹	Dec ۱۹٦۳	۳،٤۳۸،٤۷۲،۸٦۳	Dec ۲۰۰۲	٦،۹۸۳،۷۳۵،۹۳۰
Dec ۱۹۲۵	۱،۱۰۳،۸۲۹،۵۱۳	Dec ۱۹٦٤	۳،۵۲۳،٦۹٤،۹۲۰	Dec ۲۰۰۳	۷،۰٦۲،۷۸٦،۵۹۸
Dec ۱۹۲٦	۱،۱٤۲،۵٤۲،۸٦۷	Dec ۱۹٦۵	۳،٦۰۹،۸۹۲،٤۸۳	Dec ۲۰۰٤	۷،۱٤۰،۲۰۸،۲۵۵
Dec ۱۹۲۷	۱،۱۸۲،۳۳۷،۱۲۸	Dec ۱۹٦٦	۳،٦۹۷،۰۲٦،۳٤۲	Dec ۲۰۰۵	۷،۲۱۵،۹۳۱،۱٤٤
Dec ۱۹۲۸	۱،۲۲۳،۲۳۲،۹۹۵	Dec ۱۹٦۷	۳،۷۸۵،۰۵۵،۳۸۰	Dec ۲۰۰٦	۷،۲۸۹،۸۸۷،۵۲۵
Dec ۱۹۲۹	۱،۲٦۵،۲۵۰،۵۸٦	Dec ۱۹٦۸	۳،۸۷۳،۹۳٦،٦۱۵	Dec ۲۰۰۷	۷،۳٦۲،۰۱۱،۸۱٦
Dec ۱۹۳۰	۱،۳۰۸،٤۰۹،٤۰۲	Dec ۱۹٦۹	۳،۹٦۳،٦۲۵،۲۱۰	Dec ۲۰۰۸	۷،٤۳۲،۲٤۰،۷۲٤
Dec ۱۹۳۱	۱،۳۵۲،۷۲۸،۲۷۲	Dec ۱۹۷۰	٤،۰۵٤،۰۷٤،٤۸۷	Dec ۲۰۰۹	۷،۵۰۰،۵۱۳،۳۷٦
Dec ۱۹۳۲	۱،۳۹۸،۲۲۵،۳۱۰	Dec ۱۹۷۱	٤،۱٤۵،۲۳۵،۹٤۱	Dec ۲۰۱۰	۷،۵٦٦،۷۷۱،٤٤۲
Dec ۱۹۳۳	۱،٤٤٤،۹۱۷،۸۵۹	Dec ۱۹۷۲	٤،۲۳۷،۰۵۹،۲٦۰	Dec ۲۰۱۱	۷،٦۳۰،۹۵۹،۲۵۵
Dec ۱۹۳٤	۱،٤۹۲،۸۲۲،٤۳٤	Dec ۱۹۷۳	٤،۳۲۹،٤۹۲،۳۵۸	Dec ۲۰۱۲	۷،٦۹۳،۰۲۳،۹۱۸
Dec ۱۹۳۵	۱،۵٤۱،۹۵٤،٦٦۹	Dec ۱۹۷٤	٤،٤۲۲،٤۸۱،٤۰۰	Dec ۲۰۱۳	۷،۷۵۲،۹۱۵،٤۱۳
Dec ۱۹۳٦	۱،۵۹۲،۳۲۹،۲٤۸	Dec ۱۹۷۵	٤،۵۱۵،۹۷۰،۸۲۹	Dec ۲۰۱٤	۷،۸۱۰،۵۸٦،٦۹۸
Dec ۱۹۳۷	۱،٦٤۳،۹۵۹،۸٤۸	Dec ۱۹۷٦	٤،٦۰۹،۹۰۳،۳۹٦	Dec ۲۰۱۵	۷،۸٦۵،۹۹۳،۷۹۳
Dec ۱۹۳۸	۱،٦۹٦،۸۵۹،۰٦۷	Dec ۱۹۷۷	٤،۷۰٤،۲۲۰،۱۸۲	Dec ۲۰۱٦	۷،۹۱۹،۰۹۵،۸٦۵

ادامه جدول (۳-۵): مقادیر سرمایه گذاری طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

Year	CI	Year	CI	Year	CI
Dec ۲۰۱۷	۷،۹۶۹،۸۵۵،۲۹٤	Dec ۲۰۵٦	۸،۰۸٤،٦۲۷،٦٦۸	Dec ۲۰۹۵	۵،۹۸۰،۵۱۷،٦٤۹
Dec ۲۰۱۸	۸،۰۱۸،۲۳۷،۷٤۰	Dec ۲۰۵۷	۸،۰٤٦،٦۵۳،٦۸٦	Dec ۲۰۹٦	۵،۹۲۰،۳۲۵،۳۲۸
Dec ۲۰۱۹	۸،۰٦٤،۲۱۲،۱۹٤	Dec ۲۰۵۸	۸،۰۰۷،۲٤٤،۳۱۵	Dec ۲۰۹۷	۵،۸٦۰،۲۵۲،۸٦۲
Dec ۲۰۲۰	۸،۱۰۷،۷۵۱،۰۱۷	Dec ۲۰۵۹	۷،۹٦٦،٤۵۲،۷۱۱	Dec ۲۰۹۸	۵،۸۰۰،۳۲۲،۱۰۱
Dec ۲۰۲۱	۸،۱٤۸،۸۲۹،۹۷۸	Dec ۲۰٦۰	۷،۹۲٤،۳۳۱،۸۷۰	Dec ۲۰۹۹	۵،۷٤۰،۵۵٤،۰۲۵
Dec ۲۰۲۲	۸،۱۸۷،٤۲۸،۲۷۹	Dec ۲۰٦۱	۷،۸۸۰،۹۳٤،۵۵۲	Dec ۲۱۰۰	۵،٦۸۰،۹٦۸،۷۵۹
Dec ۲۰۲۳	۸،۲۲۳،۵۲۸،۵۷٦	Dec ۲۰٦۲	۷،۸۳٦،۳۱۳،۱۹۷		
Dec ۲۰۲٤	۸،۲۵۷،۱۱٦،۹۸۹	Dec ۲۰٦۳	۷،۷۹۰،۵۱۹،۸۵۳		
Dec ۲۰۲۵	۸،۲۸۸،۱۸۳،۱۰۲	Dec ۲۰٦٤	۷،۷٤۳،٦۰٦،۱۰۳		
Dec ۲۰۲٦	۸،۳۱٦،۷۱۹،۹٤۹	Dec ۲۰٦۵	۷،٦۹۵،٦۲۳،۰۰۰		
Dec ۲۰۲۷	۸،۳٤۲،۷۲۳،۹۹۱	Dec ۲۰٦٦	۷،٦٤٦،٦۲۱،۰۱۲		
Dec ۲۰۲۸	۸،۳٦٦،۱۹۵،۰۸۰	Dec ۲۰٦۷	۷،۵۹٦،٦٤۹،۹۷۱		
Dec ۲۰۲۹	۸،۳۸۷،۱۳٦،٤۱٦	Dec ۲۰٦۸	۷،۵٤۵،۷۵۹،۰۲۹		
Dec ۲۰۳۰	۸،٤۰۵،۵۵٤،٤۸۸	Dec ۲۰٦۹	۷،٤۹۳،۹۹٦،٦۱۵		
Dec ۲۰۳۱	۸،٤۲۱،٤۵۹،۰۱۳	Dec ۲۰۷۰	۷،٤٤۱،٤۱۰،٤۰٤		
Dec ۲۰۳۲	۸،٤۳٤،۸٦۲،۸٦۱	Dec ۲۰۷۱	۷،۳۸۸،۰٤۷،۲۸۱		
Dec ۲۰۳۳	۸،٤٤۵،۷۸۱،۹٦۷	Dec ۲۰۷۲	۷،۳۳۳،۹۵۳،۳۱٦		
Dec ۲۰۳٤	۸،٤۵٤،۲۳۵،۲٤۷	Dec ۲۰۷۳	۷،۲۷۹،۱۷۳،۷۳۸		
Dec ۲۰۳۵	۸،٤٦۰،۲٤٤،٤۹۲	Dec ۲۰۷٤	۷،۲۲۳،۷۵۲،۹۱٤		
Dec ۲۰۳٦	۸،٤٦۳،۸۳٤،۲٦٦	Dec ۲۰۷۵	۷،۱٦۷،۷۳٤،۳۲۸		
Dec ۲۰۳۷	۸،٤٦۵،۰۳۱،۷۹۳	Dec ۲۰۷٦	۷،۱۱۱،۱٦۰،۵٦۵		
Dec ۲۰۳۸	۸،٤٦۳،۸٦٦،۸۳۹	Dec ۲۰۷۷	۷،۰۵٤،۰۷۳،۲۹۹		
Dec ۲۰۳۹	۸،٤٦۰،۳۷۱،۵۸۸	Dec ۲۰۷۸	٦،۹۹٦،۵۱۳،۲۷٤		
Dec ۲۰٤۰	۸،٤۵٤،۵۸۰،۵۱٤	Dec ۲۰۷۹	٦،۹۳۸،۵۲۰،۲۹۹		
Dec ۲۰٤۱	۸،٤٤٦،۵۳۰،۲۵٦	Dec ۲۰۸۰	٦،۸۸۰،۱۳۳،۲۳٤		
Dec ۲۰٤۲	۸،٤۳٦،۲۵۹،٤۷۷	Dec ۲۰۸۱	٦،۸۲۱،۳۸۹،۹۸۹		
Dec ۲۰٤۳	۸،٤۲۳،۸۰۸،۷۳٤	Dec ۲۰۸۲	٦،۷٦۲،۳۲۷،۵۱۰		
Dec ۲۰٤٤	۸،٤۰۹،۲۲۰،۳٤۰	Dec ۲۰۸۳	٦،۷۰۲،۹۸۱،۷۷۹		
Dec ۲۰٤۵	۸،۳۹۲،۵۳۸،۲۲۵	Dec ۲۰۸٤	٦،٦٤۳،۳۸۷،۸۱۳		
Dec ۲۰٤٦	۸،۳۷۳،۸۰۷،۸۰۰	Dec ۲۰۸۵	٦،۵۸۳،۵۷۹،٦۵٦		
Dec ۲۰٤۷	۸،۳۵۳،۰۷۵،۸۲۲	Dec ۲۰۸٦	٦،۵۲۳،۵۹۰،۳۸٤		
Dec ۲۰٤۸	۸،۳۳۰،۳۹۰،۲۵۵	Dec ۲۰۸۷	٦،٤٦۳،٤۵۲،۱۰۵		
Dec ۲۰٤۹	۸،۳۰۵،۸۰۰،۱۳۷	Dec ۲۰۸۸	٦،٤۰۳،۱۹۵،۹۵۹		
Dec ۲۰۵۰	۸،۲۷۹،۳۵۵،٤۵۱	Dec ۲۰۸۹	٦،۳٤۲،۸۵۲،۱۲٤		
Dec ۲۰۵۱	۸،۲۵۱،۱۰٦،۹۹٦	Dec ۲۰۹۰	٦،۲۸۲،٤٤۹،۸۱۸		
Dec ۲۰۵۲	۸،۲۲۱،۱۰٦،۲۵۷	Dec ۲۰۹۱	٦،۲۲۲،۰۱۷،۳۰۹		
Dec ۲۰۵۳	۸،۱۸۹،٤۰۵،۲۹۲	Dec ۲۰۹۲	٦،۱٦۱،۵۸۱،۹۱۷		
Dec ۲۰۵٤	۸،۱۵٦،۰۵٦،٦۰۵	Dec ۲۰۹۳	٦،۱۰۱،۱۷۰،۰۲٦		
Dec ۲۰۵۵	۸،۱۲۱،۱۱۳،۰٤۰	Dec ۲۰۹٤	٦،۰٤۰،۸۰۷،۰۹۲		

۳-۱۳-۶- خروجی مدل برای متغیر حالت کسری از سرمایه در بخش کشاورزی

شکل (۳-۳۷) خروجی مدل برای متغیر حالت کسری از سرمایه در بخش کشاورزی را نشان می دهد. در شکل (۳-۳۷) کسری از سرمایه در بخش کشاورزی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۱ افزایش و سپس کاهش پیدا کرده است. جدول (۳-۵) این مقادیر را به صورت سالانه نشان می دهد.



شکل (۳-۳۷): مقادیر کسری از سرمایه در بخش کشاورزی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

جدول (۳-۶): مقادیر کسری از سرمایه در بخش کشاورزی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

Year	CIAF	Year	CIAF	Year	CIAF
Dec ۱۹۰۰	۰,۲۰۲۲۲۷	Dec ۱۹۳۹	۰,۲۲۰۹۸	Dec ۱۹۷۸	۰,۳۰۵۸۷۹
Dec ۱۹۰۱	۰,۲۰۴۲۵۱	Dec ۱۹۴۰	۰,۲۲۲۲۱۸	Dec ۱۹۷۹	۰,۳۰۸۳۰۲
Dec ۱۹۰۲	۰,۲۰۵۹۰۱	Dec ۱۹۴۱	۰,۲۲۳۵۲۴	Dec ۱۹۸۰	۰,۳۱۰۶۸۶
Dec ۱۹۰۳	۰,۲۰۷۲۲۶	Dec ۱۹۴۲	۰,۲۲۴۸۹۷	Dec ۱۹۸۱	۰,۳۱۳۰۲۶
Dec ۱۹۰۴	۰,۲۰۸۲۶۸	Dec ۱۹۴۳	۰,۲۲۶۳۳۷	Dec ۱۹۸۲	۰,۳۱۵۳۲
Dec ۱۹۰۵	۰,۲۰۹۰۶۸	Dec ۱۹۴۴	۰,۲۲۷۸۴۴	Dec ۱۹۸۳	۰,۳۱۷۵۶۳
Dec ۱۹۰۶	۰,۲۰۹۶۶۳	Dec ۱۹۴۵	۰,۲۲۹۴۱۶	Dec ۱۹۸۴	۰,۳۱۹۷۵۳
Dec ۱۹۰۷	۰,۲۱۰۰۸۷	Dec ۱۹۴۶	۰,۲۳۱۰۵۳	Dec ۱۹۸۵	۰,۳۲۱۸۸۵
Dec ۱۹۰۸	۰,۲۱۰۳۶۸	Dec ۱۹۴۷	۰,۲۳۲۷۰۴	Dec ۱۹۸۶	۰,۳۲۳۹۵۸
Dec ۱۹۰۹	۰,۲۱۰۵۳۵	Dec ۱۹۴۸	۰,۲۳۴۵۱۸	Dec ۱۹۸۷	۰,۳۲۵۹۶۸
Dec ۱۹۱۰	۰,۲۱۰۶۱۱	Dec ۱۹۴۹	۰,۲۳۶۳۴۵	Dec ۱۹۸۸	۰,۳۲۷۹۱۱
Dec ۱۹۱۱	۰,۲۱۰۶۱۸	Dec ۱۹۵۰	۰,۲۳۸۲۳۲	Dec ۱۹۸۹	۰,۳۲۹۷۸۷
Dec ۱۹۱۲	۰,۲۱۰۵۷۴	Dec ۱۹۵۱	۰,۲۴۰۱۷۹	Dec ۱۹۹۰	۰,۳۳۱۵۹۱
Dec ۱۹۱۳	۰,۲۱۰۴۹۵	Dec ۱۹۵۲	۰,۲۴۲۱۸۵	Dec ۱۹۹۱	۰,۳۳۳۳۲۲
Dec ۱۹۱۴	۰,۲۱۰۳۹۷	Dec ۱۹۵۳	۰,۲۴۴۲۴۶	Dec ۱۹۹۲	۰,۳۳۴۹۷۷
Dec ۱۹۱۵	۰,۲۱۰۲۹۲	Dec ۱۹۵۴	۰,۲۴۶۳۶۳	Dec ۱۹۹۳	۰,۳۳۶۵۵۴
Dec ۱۹۱۶	۰,۲۱۰۱۹۱	Dec ۱۹۵۵	۰,۲۴۸۵۳۳	Dec ۱۹۹۴	۰,۳۳۸۰۵۲
Dec ۱۹۱۷	۰,۲۱۰۱۰۵	Dec ۱۹۵۶	۰,۲۵۰۷۵۴	Dec ۱۹۹۵	۰,۳۳۹۴۶۸
Dec ۱۹۱۸	۰,۲۱۰۰۴۱	Dec ۱۹۵۷	۰,۲۵۳۰۲۳	Dec ۱۹۹۶	۰,۳۴۰۸۰۲
Dec ۱۹۱۹	۰,۲۱۰۰۰۷	Dec ۱۹۵۸	۰,۲۵۵۳۳۸	Dec ۱۹۹۷	۰,۳۴۲۰۵۱
Dec ۱۹۲۰	۰,۲۱۰۰۰۹	Dec ۱۹۵۹	۰,۲۵۷۶۹۷	Dec ۱۹۹۸	۰,۳۴۳۲۱۶
Dec ۱۹۲۱	۰,۲۱۰۰۵۳	Dec ۱۹۶۰	۰,۲۶۰۰۹۶	Dec ۱۹۹۹	۰,۳۴۴۲۹۵
Dec ۱۹۲۲	۰,۲۱۰۱۴۲	Dec ۱۹۶۱	۰,۲۶۲۵۳۳	Dec ۲۰۰۰	۰,۳۴۵۲۸۸
Dec ۱۹۲۳	۰,۲۱۰۲۸۲	Dec ۱۹۶۲	۰,۲۶۵۰۰۴	Dec ۲۰۰۱	۰,۳۴۶۱۹۴
Dec ۱۹۲۴	۰,۲۱۰۴۷۶	Dec ۱۹۶۳	۰,۲۶۷۵۰۵	Dec ۲۰۰۲	۰,۳۴۷۰۱۳
Dec ۱۹۲۵	۰,۲۱۰۷۲۶	Dec ۱۹۶۴	۰,۲۷۰۰۳۴	Dec ۲۰۰۳	۰,۳۴۷۷۴۵
Dec ۱۹۲۶	۰,۲۱۱۰۳۵	Dec ۱۹۶۵	۰,۲۷۲۵۸۶	Dec ۲۰۰۴	۰,۳۴۸۳۹۱
Dec ۱۹۲۷	۰,۲۱۱۴۰۵	Dec ۱۹۶۶	۰,۲۷۵۱۵۶	Dec ۲۰۰۵	۰,۳۴۸۹۴۹
Dec ۱۹۲۸	۰,۲۱۱۸۳۸	Dec ۱۹۶۷	۰,۲۷۷۷۴	Dec ۲۰۰۶	۰,۳۴۹۴۲۲
Dec ۱۹۲۹	۰,۲۱۲۳۳۴	Dec ۱۹۶۸	۰,۲۸۰۳۳۵	Dec ۲۰۰۷	۰,۳۴۹۸۰۹
Dec ۱۹۳۰	۰,۲۱۲۸۹۶	Dec ۱۹۶۹	۰,۲۸۲۹۳۵	Dec ۲۰۰۸	۰,۳۵۰۱۱۱
Dec ۱۹۳۱	۰,۲۱۳۵۲۴	Dec ۱۹۷۰	۰,۲۸۵۵۳۶	Dec ۲۰۰۹	۰,۳۵۰۳۲۹
Dec ۱۹۳۲	۰,۲۱۴۲۱۸	Dec ۱۹۷۱	۰,۲۸۸۱۳۴	Dec ۲۰۱۰	۰,۳۵۰۴۶۳
Dec ۱۹۳۳	۰,۲۱۴۹۸	Dec ۱۹۷۲	۰,۲۹۰۷۲۴	Dec ۲۰۱۱	۰,۳۵۰۵۱۵
Dec ۱۹۳۴	۰,۲۱۵۸۰۹	Dec ۱۹۷۳	۰,۲۹۳۳۰۳	Dec ۲۰۱۲	۰,۳۵۰۴۸۵
Dec ۱۹۳۵	۰,۲۱۶۷۰۷	Dec ۱۹۷۴	۰,۲۹۵۸۶۶	Dec ۲۰۱۳	۰,۳۵۰۳۷۵
Dec ۱۹۳۶	۰,۲۱۷۶۷۳	Dec ۱۹۷۵	۰,۲۹۸۴۰۹	Dec ۲۰۱۴	۰,۳۵۰۱۸۷
Dec ۱۹۳۷	۰,۲۱۸۷۰۷	Dec ۱۹۷۶	۰,۳۰۰۹۲۸	Dec ۲۰۱۵	۰,۳۴۹۹۲۱
Dec ۱۹۳۸	۰,۲۱۹۸۰۹	Dec ۱۹۷۷	۰,۳۰۳۴۲	Dec ۲۰۱۶	۰,۳۴۹۵۷۹

ادامه جدول (۳-۶): مقادیر کسری از سرمایه در بخش کشاورزی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی

Year	CIAF	Year	CIAF	Year	CIAF
Dec ۲۰۱۷	۰,۳۴۹۱۶۲	Dec ۲۰۵۶	۰,۲۹۳۶۳۹	Dec ۲۰۹۵	۰,۲۳۳۰۱۲
Dec ۲۰۱۸	۰,۳۴۸۶۷۳	Dec ۲۰۵۷	۰,۲۹۱۷۱۳	Dec ۲۰۹۶	۰,۲۳۱۹۸۵
Dec ۲۰۱۹	۰,۳۴۸۱۱۲	Dec ۲۰۵۸	۰,۲۸۹۷۸۸	Dec ۲۰۹۷	۰,۲۳۰۹۸۲
Dec ۲۰۲۰	۰,۳۴۷۴۸۲	Dec ۲۰۵۹	۰,۲۸۷۸۶۸	Dec ۲۰۹۸	۰,۲۳۰۰۰۲
Dec ۲۰۲۱	۰,۳۴۶۷۸۴	Dec ۲۰۶۰	۰,۲۸۵۹۰۴	Dec ۲۰۹۹	۰,۲۲۹۰۴۴
Dec ۲۰۲۲	۰,۳۴۶۰۱۹	Dec ۲۰۶۱	۰,۲۸۴۰۴۷	Dec ۲۱۰۰	۰,۲۲۸۱۰۸
Dec ۲۰۲۳	۰,۳۴۵۱۹۱	Dec ۲۰۶۲	۰,۲۸۲۱۵۲		
Dec ۲۰۲۴	۰,۳۴۴۲۹۹	Dec ۲۰۶۳	۰,۲۸۰۲۶۸		
Dec ۲۰۲۵	۰,۳۴۳۳۴۸	Dec ۲۰۶۴	۰,۲۷۸۳۹۹		
Dec ۲۰۲۶	۰,۳۴۲۳۳۷	Dec ۲۰۶۵	۰,۲۷۶۰۴۵		
Dec ۲۰۲۷	۰,۳۴۱۲۶۹	Dec ۲۰۶۶	۰,۲۷۴۷۱		
Dec ۲۰۲۸	۰,۳۴۰۱۴۶	Dec ۲۰۶۷	۰,۲۷۲۸۹۴		
Dec ۲۰۲۹	۰,۳۳۸۹۶۹	Dec ۲۰۶۸	۰,۲۷۱۱		
Dec ۲۰۳۰	۰,۳۳۷۷۴۱	Dec ۲۰۶۹	۰,۲۶۹۳۲۸		
Dec ۲۰۳۱	۰,۳۳۶۴۶۳	Dec ۲۰۷۰	۰,۲۶۷۰۷۹		
Dec ۲۰۳۲	۰,۳۳۵۱۳۷	Dec ۲۰۷۱	۰,۲۶۵۸۰۶		
Dec ۲۰۳۳	۰,۳۳۳۷۶۰	Dec ۲۰۷۲	۰,۲۶۴۱۰۸		
Dec ۲۰۳۴	۰,۳۳۲۳۴۸	Dec ۲۰۷۳	۰,۲۶۲۴۸۷		
Dec ۲۰۳۵	۰,۳۳۰۸۸۹	Dec ۲۰۷۴	۰,۲۶۰۸۴۴		
Dec ۲۰۳۶	۰,۳۲۹۳۸۸	Dec ۲۰۷۵	۰,۲۵۹۲۲۹		
Dec ۲۰۳۷	۰,۳۲۷۸۴۹	Dec ۲۰۷۶	۰,۲۵۷۶۴۳		
Dec ۲۰۳۸	۰,۳۲۶۲۷۳	Dec ۲۰۷۷	۰,۲۵۶۰۸۶		
Dec ۲۰۳۹	۰,۳۲۴۶۶۱	Dec ۲۰۷۸	۰,۲۵۴۰۵۹		
Dec ۲۰۴۰	۰,۳۲۳۰۱۶	Dec ۲۰۷۹	۰,۲۵۳۰۶۱		
Dec ۲۰۴۱	۰,۳۲۱۳۳۹	Dec ۲۰۸۰	۰,۲۵۱۰۹۳		
Dec ۲۰۴۲	۰,۳۱۹۶۳۱	Dec ۲۰۸۱	۰,۲۵۰۱۰۵		
Dec ۲۰۴۳	۰,۳۱۷۸۹۶	Dec ۲۰۸۲	۰,۲۴۸۷۴۶		
Dec ۲۰۴۴	۰,۳۱۶۱۳۴	Dec ۲۰۸۳	۰,۲۴۷۳۶۷		
Dec ۲۰۴۵	۰,۳۱۴۳۴۸	Dec ۲۰۸۴	۰,۲۴۶۰۱۸		
Dec ۲۰۴۶	۰,۳۱۲۵۳۹	Dec ۲۰۸۵	۰,۲۴۴۶۹۷		
Dec ۲۰۴۷	۰,۳۱۰۷۱	Dec ۲۰۸۶	۰,۲۴۳۴۰۶		
Dec ۲۰۴۸	۰,۳۰۸۸۶۱	Dec ۲۰۸۷	۰,۲۴۲۱۴۳		
Dec ۲۰۴۹	۰,۳۰۶۹۹۶	Dec ۲۰۸۸	۰,۲۴۰۹۰۸		
Dec ۲۰۵۰	۰,۳۰۵۱۱۶	Dec ۲۰۸۹	۰,۲۳۹۷۰۱		
Dec ۲۰۵۱	۰,۳۰۳۲۲۴	Dec ۲۰۹۰	۰,۲۳۸۵۲۱		
Dec ۲۰۵۲	۰,۳۰۱۳۲	Dec ۲۰۹۱	۰,۲۳۷۳۶۷		
Dec ۲۰۵۳	۰,۲۹۹۴۰۸	Dec ۲۰۹۲	۰,۲۳۶۲۴۱		
Dec ۲۰۵۴	۰,۲۹۷۴۸۹	Dec ۲۰۹۳	۰,۲۳۵۱۳۹		
Dec ۲۰۵۵	۰,۲۹۵۰۶۵	Dec ۲۰۹۴	۰,۲۳۴۰۶۴		

۳-۱۳-۷- تطبیق خروجی های مدل با داده های دنیای واقعی

۳-۱۳-۷-۱- مقدمه

جهت تطبیق خروجی های مدل با داده های دنیای واقعی در ابتدا می بایست متغیری که در مدل مهمترین نقش را بازی می کند، انتخاب شود. در این مدل متغیر حالت جمعیت بنا به دلایل زیر می تواند مهمترین متغیر باشد:

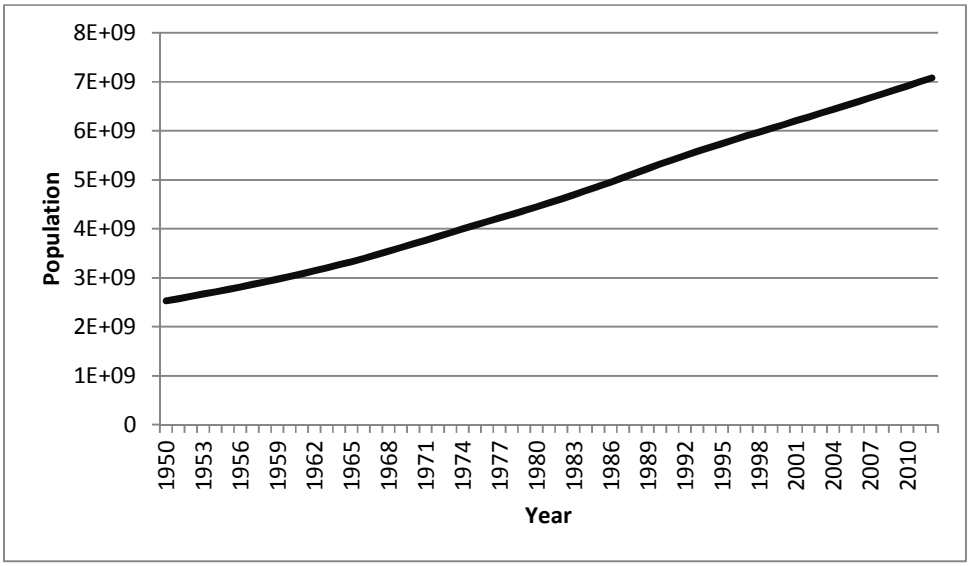
- این متغیر تنها متغیری است که واحد معلومی (Person) در دنیای واقعی دارد.
- تقریبا تمام متغیرهای حالت مدل به وسیله این متغیر معرفی شده اند. برای مثال مقدار اولیه برای متغیر حالت آلودگی حدود ۰,۱۲۵ مقدار جمعیت در سال ۱۹۰۰ تخمین زده شده است.

بنابراین با فرض صحیح بودن ضرایب و مقادیر این متغیر می توان گفت مقادیر دیگر متغیرها نیز صحیح می باشد.

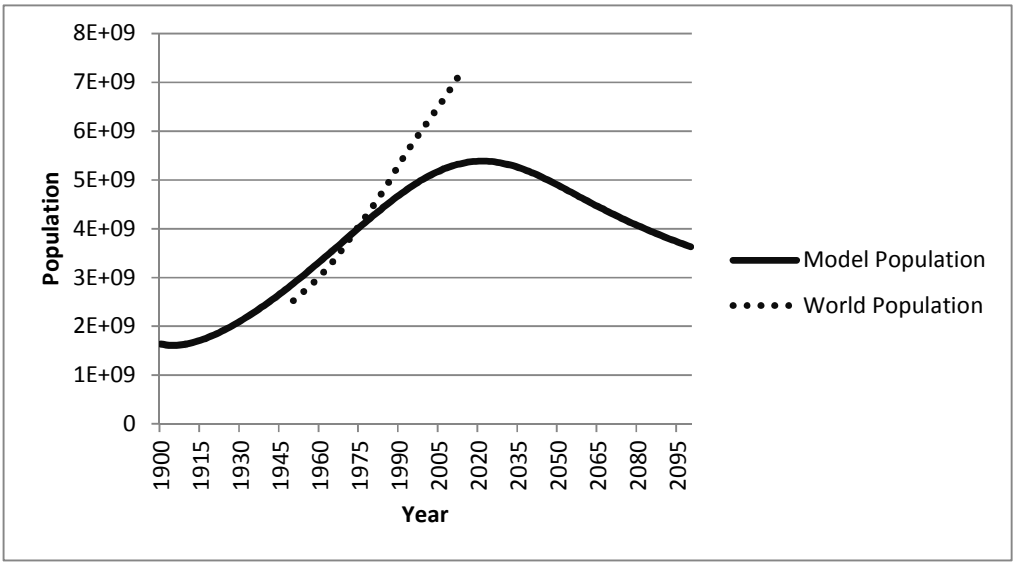
۳-۱۳-۷-۲- مقایسه مقادیر جمعیت با داده های دنیای واقعی

همانطور که در شکل (۳-۳۴) مشاهده می شود، در مدل پویایی های جهان آقای فارستر متغیر حالت جمعیت برای سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی شبیه سازی شده است اما در دنیای واقعی مقادیر جمعیت مربوط به سال های ۱۹۰۰ تا ۱۹۴۹ میلادی وجود ندارد. شکل (۳-۳۸) مقادیر جمعیت برای سال های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۲ میلادی را نشان می دهد (سازمان ملل). همانطور که در شکل (۳-۳۸) مشاهده می شود، جمعیت جهان طی این سال ها در حال افزایش است. شکل (۳-۳۹) مقادیر جمعیت مربوط به مدل و داده های واقعی را نشان می دهد. در این شکل مقادیر جمعیت مربوط به دنیای واقعی با شیب تندتری در حال افزایش است. طی سال های ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ میلادی تقریبا مقادیر جمعیت نزدیک به هم هستند ولی از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۲

میلادی مقادیر جمعیت مربوط به دنیای واقعی با شیب تندتری در حال افزایش است (اطلاعات بانک جهانی[1]، ۲۰۱۳)



شکل (۳-۳۸): مقادیر جمعیت در دنیای واقعی طی سال های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۲ میلادی



شکل (۳-۳۹): مقادیر جمعیت مربوط به مدل و دنیای واقعی

[1] Data World Bank

۳-۱۳-۷-۳- محاسبه خطای مدل

جدول (۳-۶) مقادیر جمعیت مدل و دنیای واقعی را طی سال های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۲ نشان می دهد. ستون سوم و آخر این جدول خطای موجود و درصد خطا را در مقادیر جمعیت مدل و دنیای واقعی نشان می دهد، به منظور محاسبه این خطا از فرمول (۳-۱) استفاده شده است.

$$\delta(\alpha) = \frac{|\beta - \alpha|}{|\beta|} \qquad (۱-۳)$$

که در آن δ خطای موجود، β مقادیر جمعیت مربوط به دنیای واقعی و α مقادیر جمعیت مربوط به مدل می باشد.

جدول (۳-۷): مقادیر مربوط به جمعیت مدل و دنیای واقعی و خطای موجود

Year	Model Population	Real World Population	Error	Percentage of Error
Dec ۱۹۵۰	۲،۸۷۵،۲۳۵،۰۸۷	۲،۵۲۵،۷۷۸،۶۶۹	۰,۱۳۸۳۵۶	۱۳,۸۳۵۵۹۱۴۸
Dec ۱۹۵۱	۲،۹۱۸،۶۷۰،۰۱۷	۲،۵۷۲،۸۵۰،۹۱۷	۰,۱۳۴۴۱۱	۱۳,۴۴۱۰۸۵۸۴
Dec ۱۹۵۲	۲،۹۶۲،۴۶۹،۷۹۲	۲،۶۱۹،۲۹۲،۰۶۸	۰,۱۳۱۰۱۹	۱۳,۱۰۱۹۲۶۶
Dec ۱۹۵۳	۳،۰۰۶،۶۱۷،۳۷۲	۲،۶۶۵،۸۶۵،۳۹۲	۰,۱۲۷۸۲	۱۲,۷۸۲۰۳۹۹۶
Dec ۱۹۵۴	۳،۰۵۱،۰۹۵،۵۰۸	۲،۷۱۳،۱۷۲،۰۲۷	۰,۱۲۴۵۴۹	۱۲,۴۵۴۹۲۲۸
Dec ۱۹۵۵	۳،۰۹۵،۸۸۶،۷۵۳	۲،۷۶۱،۶۵۰،۹۸۱	۰,۱۲۱۰۲۸	۱۲,۱۰۲۷۵۲۱
Dec ۱۹۵۶	۳،۱۴۰،۹۷۳،۴۶۱	۲،۸۱۱،۵۷۲،۰۳۱	۰,۱۱۷۱۵۹	۱۱,۷۱۵۹۱۶۴۶
Dec ۱۹۵۷	۳،۱۸۶،۳۳۷،۸۰۴	۲،۸۶۳،۰۴۲،۷۹۵	۰,۱۱۲۹۲	۱۱,۲۹۲۰۰۷۵۷
Dec ۱۹۵۸	۳،۲۳۱،۹۶۱،۷۷۷	۲،۹۱۶،۰۳۰،۱۶۷	۰,۱۰۸۳۴۳	۱۰,۸۳۴۳۰۵۲۷
Dec ۱۹۵۹	۳،۲۷۷،۸۲۷،۲۱۳	۲،۹۷۰،۳۹۵،۸۱۴	۰,۱۰۳۴۹۸	۱۰,۳۴۹۸۴۶۲۳
Dec ۱۹۶۰	۳،۳۲۳،۹۱۵،۷۷۴	۳،۰۲۶،۰۰۲،۹۴۲	۰,۰۹۸۴۵۱	۹,۸۴۵۰۹۳۹۴۶
Dec ۱۹۶۱	۳،۳۷۰،۲۰۸،۶۰۴	۳،۰۸۲،۸۳۰،۲۶۶	۰,۰۹۳۲۱۹	۹,۳۲۱۸۹۹۴۶۳
Dec ۱۹۶۲	۳،۴۱۶،۶۸۵،۸۹۷	۳،۱۴۱،۰۷۱،۵۳۱	۰,۰۸۷۷۴۵	۸,۷۷۴۵۳۳۲۴۸
Dec ۱۹۶۳	۳،۴۶۳،۳۲۶،۹۴۷	۳،۲۰۱،۱۷۸،۲۷۷	۰,۰۸۱۸۹۱	۸,۱۸۹۱۳۰۶۲
Dec ۱۹۶۴	۳،۵۱۰،۱۱۰،۲۶۸	۳،۲۶۳،۷۳۸،۸۳۲	۰,۰۷۵۴۸۷	۷,۵۴۸۷۴۸۵۰۶
Dec ۱۹۶۵	۳،۵۵۷،۰۱۳،۷۰۳	۳،۳۲۹،۱۲۲،۴۷۹	۰,۰۶۸۴۵۴	۶,۸۴۵۳۸۴۱۸۴
Dec ۱۹۶۶	۳،۶۰۴،۰۱۴،۵۳۲	۳،۳۹۷،۴۷۵،۲۴۷	۰,۰۶۰۷۹۲	۶,۰۷۹۱۹۹۱۲۱
Dec ۱۹۶۷	۳،۶۵۱،۰۸۹،۳۶۰	۳،۴۶۸،۵۲۱،۷۲۴	۰,۰۵۲۶۳۶	۵,۲۶۳۵۵۷۵۳۱
Dec ۱۹۶۸	۳،۶۹۸،۲۱۳،۶۰۳	۳،۵۴۱،۶۷۴،۸۹۱	۰,۰۴۴۱۹۹	۴,۴۱۹۹۰۶۳۰۱
Dec ۱۹۶۹	۳،۷۴۵،۳۶۱،۴۵۸	۳،۶۱۶،۱۰۸،۷۴۹	۰,۰۳۵۷۴۴	۳,۵۷۴۳۵۹۰۲۳
Dec ۱۹۷۰	۳،۷۹۲،۵۰۶،۰۲۱	۳،۶۹۱،۱۷۲،۶۱۶	۰,۰۲۷۴۵۳	۲,۷۴۵۲۹۰۳۴۵
Dec ۱۹۷۱	۳،۸۳۹،۶۱۹،۴۲۹	۳،۷۶۶،۷۵۴،۳۴۵	۰,۰۱۹۳۴۴	۱,۹۳۴۴۲۶۲۲

ادامه جدول (۳-۷): مقادیر مربوط به جمعیت مدل و دنیای واقعی و خطای موجود

Year	Model Population	Real World Population	Error	Percentage of Error
Dec ۱۹۷۲	۳،۸۸۶،۶۷۳،۰۱۱	۳،۸۴۲،۸۷۳،۶۱۱	۰,۰۱۱۳۹۸	۱,۱۳۹۷۵۶۴۵۹
Dec ۱۹۷۳	۳،۹۳۳،۶۳۷،۳۵۱	۳،۹۱۹،۱۸۲،۳۳۲	۰,۰۰۳۶۸۸	۰,۳۶۸۸۲۷۴۱۸
Dec ۱۹۷۴	۳،۹۸۰،۴۸۲،۳۱۸	۳،۹۹۵،۳۰۴،۹۲۲	۰,۰۰۳۷۱	۰,۳۷۱۰۰۰۵۷۸
Dec ۱۹۷۵	۴،۰۲۷،۱۷۷،۰۹۹	۴،۰۷۱،۰۲۰،۴۳۴	۰,۰۱۰۷۷	۱,۰۷۶۹۶۱۸۰۷
Dec ۱۹۷۶	۴،۰۷۳،۶۹۰،۲۲۵	۴،۱۴۶،۱۳۵،۸۵۰	۰,۰۱۷۴۷۳	۱,۷۴۷۳۰۴۶۶۹
Dec ۱۹۷۷	۴،۱۱۹،۹۸۹،۵۸۸	۴،۲۲۰،۸۱۶،۷۳۷	۰,۰۲۳۸۸۸	۲,۳۸۸۸۰۶۶۰۲
Dec ۱۹۷۸	۴،۱۶۶،۰۴۲،۴۵۸	۴،۲۹۵،۶۶۴،۸۲۵	۰,۰۳۰۱۷۵	۳,۰۱۷۵۱۵۸۴۲
Dec ۱۹۷۹	۴،۲۱۱،۸۱۵،۴۹۲	۴،۳۷۱،۵۲۷،۸۷۱	۰,۰۳۶۵۳۵	۳,۶۵۳۴۶۸۱۷۲
Dec ۱۹۸۰	۴،۲۵۷،۲۷۴،۷۳۶	۴،۴۴۹،۰۴۸،۷۹۸	۰,۰۴۳۱۰۵	۴,۳۱۰۴۵۰۸۵۴
Dec ۱۹۸۱	۴،۳۰۲،۳۸۵،۶۳۴	۴،۵۲۸،۲۳۴،۶۳۴	۰,۰۴۹۸۷۶	۴,۹۸۷۵۷۲۸۲۴
Dec ۱۹۸۲	۴،۳۴۷،۱۱۳،۰۱۹	۴،۶۰۸،۹۶۲،۴۱۸	۰,۰۵۶۸۱۳	۵,۶۸۱۳۰۹۰۵۷
Dec ۱۹۸۳	۴،۳۹۱،۴۲۱،۱۰۹	۴،۶۹۱،۵۵۹،۸۴۰	۰,۰۶۳۹۷۴	۶,۳۹۷۴۱۸۷۹۲
Dec ۱۹۸۴	۴،۴۳۵،۲۷۳،۵۰۰	۴،۷۷۶،۳۹۲،۸۲۸	۰,۰۷۱۴۱۸	۷,۱۴۱۷۷۷۰۶۶
Dec ۱۹۸۵	۴،۴۷۸،۶۳۳،۱۵۲	۴،۸۶۳،۶۰۱،۵۱۷	۰,۰۷۹۱۵۳	۷,۹۱۵۲۹۴۱۲۷
Dec ۱۹۸۶	۴،۵۲۱،۴۶۲،۳۷۲	۴،۹۵۳،۳۷۶،۷۱۰	۰,۰۸۷۱۹۶	۸,۷۱۹۵۹۳۹۹۶
Dec ۱۹۸۷	۴،۵۶۳،۷۲۲،۸۰۲	۵،۰۴۵،۳۱۵،۸۷۱	۰,۰۹۵۴۵۴	۹,۵۴۵۳۵۰۲۱
Dec ۱۹۸۸	۴،۶۰۵،۳۷۵،۳۹۸	۵،۱۳۸،۲۱۴،۶۸۸	۰,۱۰۳۷۰۱	۱۰,۳۷۰۱۲۵۰۸
Dec ۱۹۸۹	۴،۶۴۶،۳۸۰،۴۱۰	۵،۲۳۰،۴۵۲،۴۰۹	۰,۱۱۱۶۶۸	۱۱,۱۶۶۷۵۸۶۹
Dec ۱۹۹۰	۴،۶۸۶،۶۹۷،۳۶۴	۵،۳۲۰،۸۱۶،۶۶۷	۰,۱۱۹۱۷۷	۱۱,۹۱۷۷۰۶۲۹
Dec ۱۹۹۱	۴،۷۲۶،۲۸۵،۰۴۲	۵،۴۰۸،۹۰۸،۷۲۴	۰,۱۲۶۲۰۴	۱۲,۶۲۰۳۵۸۶۸
Dec ۱۹۹۲	۴،۷۶۵،۱۰۱،۴۸۵	۵،۴۹۴،۸۹۹،۵۷۰	۰,۱۳۲۸۱۴	۱۳,۲۸۱۳۷۲۵۸
Dec ۱۹۹۳	۴،۸۰۳،۱۰۴،۲۷۴	۵،۵۷۸،۸۶۵،۱۰۹	۰,۱۳۹۰۵۴	۱۳,۹۰۵۳۵۲۰۷
Dec ۱۹۹۴	۴،۸۴۰،۲۵۰،۸۸۱	۵،۶۶۱،۰۸۶،۳۴۶	۰,۱۴۴۹۹۶	۱۴,۴۹۹۶۱۰۴
Dec ۱۹۹۵	۴،۸۷۶،۴۹۸،۷۹۹	۵،۷۴۱،۸۲۲،۴۱۲	۰,۱۵۰۷۰۵	۱۵,۰۷۰۵۳۹۴۸
Dec ۱۹۹۶	۴،۹۱۱،۸۰۵،۶۳۸	۵،۸۲۱،۰۱۶،۷۵۰	۰,۱۵۶۱۹۵	۱۵,۶۱۹۴۵۵۳۵
Dec ۱۹۹۷	۴،۹۴۶،۱۲۹،۲۴۰	۵،۸۹۸،۶۸۸،۳۳۷	۰,۱۶۱۴۸۷	۱۶,۱۴۸۶۵۹۵۵
Dec ۱۹۹۸	۴،۹۷۹،۴۲۷،۷۹۰	۵،۹۷۵،۳۰۳،۶۵۷	۰,۱۶۶۶۶۵	۱۶,۶۶۶۵۳۱۵۱
Dec ۱۹۹۹	۵،۰۱۱،۶۵۹،۹۴۲	۶،۰۵۱،۴۷۸،۰۱۰	۰,۱۷۱۸۲۹	۱۷,۱۸۲۸۷۷۷۴
Dec ۲۰۰۰	۵،۰۴۲،۷۸۴،۹۴۳	۶،۱۲۷،۷۰۰،۴۲۸	۰,۱۷۷۰۵۱	۱۷,۷۰۵۰۹۹۹۴
Dec ۲۰۰۱	۵،۰۷۲،۷۶۲،۷۷۴	۶،۲۰۴،۱۴۷،۰۲۶	۰,۱۸۲۳۵۹	۱۸,۲۳۵۹۳۵۰۴
Dec ۲۰۰۲	۵،۱۰۱،۵۵۴،۲۸۷	۶،۲۸۰،۸۵۳،۸۱۷	۰,۱۸۷۷۶۱	۱۸,۷۷۶۱۰۲۱۷
Dec ۲۰۰۳	۵،۱۲۹،۱۲۱،۳۹۷	۶،۳۵۷،۹۹۱،۷۴۹	۰,۱۹۳۲۸	۱۹,۳۲۷۹۶۳۹۴
Dec ۲۰۰۴	۵،۱۵۵،۴۲۷،۳۱۰	۶،۴۳۵،۷۰۵،۵۹۵	۰,۱۹۸۹۳۴	۱۹,۸۹۳۳۶۳۱۴
Dec ۲۰۰۵	۵،۱۸۰،۴۳۶،۷۲۵	۶،۵۱۴،۰۹۴،۶۰۵	۰,۲۰۴۷۳۴	۲۰,۴۷۳۴۱۸۹۷
Dec ۲۰۰۶	۵،۲۰۴،۱۱۶،۰۰۷	۶،۵۹۳،۲۲۷،۹۷۷	۰,۲۱۰۶۸۸	۲۱,۰۶۸۷۶۸۹۷
Dec ۲۰۰۷	۵،۲۲۶،۴۳۳،۳۷۴	۶،۶۷۳،۱۰۵،۹۳۷	۰,۲۱۶۷۹۱	۲۱,۶۷۹۱۴۸۷۶
Dec ۲۰۰۸	۵،۲۴۷،۳۵۹،۰۶۸	۶،۷۵۳،۶۴۹،۲۲۸	۰,۲۲۳۰۳۴	۲۲,۳۰۳۳۵۱۹۹

ادامه جدول (۳-۷): مقادیر مربوط به جمعیت مدل و دنیای واقعی و خطای موجود

Year	Model Population	Real World Population	Error	Percentage of Error
Dec ۲۰۰۹	۵،۲۶۶،۸۶۵،۵۳۳	۶،۸۳۴،۷۲۱،۹۳۳	۰,۲۲۹۳۹۶	۲۲,۹۳۹۵۷۸۴۵
Dec ۲۰۱۰	۵،۲۸۴،۹۲۷،۵۷۴	۶،۹۱۶،۱۸۳،۴۸۲	۰,۲۳۵۸۶۱	۲۳,۵۸۶۰۷۰۴۴
Dec ۲۰۱۱	۵،۳۰۱،۵۲۲،۵۱۷	۶،۹۹۷،۹۹۸،۷۶۰	۰,۲۴۲۴۲۳	۲۴,۲۴۲۳۰۵۵۶
Dec ۲۰۱۲	۵،۳۱۶،۶۳۰،۳۵۴	۷،۰۸۰،۰۷۲،۴۱۷	۰,۲۴۹۰۷۱	۲۴,۹۰۷۱۱۹۰۲
Average of Error:				۰,۱۱۲۴۶۰۶۲
Percentage of Average of Error:				۱۱,۲۴۶۰۶۱۹۹

فصل چهارم

نتیجه گیری، تحلیل و پیش بینی

۴-۱- مقدمه

در این فصل ضمن تحلیل خطای به دست آمده در مدل به بررسی عوامل ایجاد کننده خطا پرداخته خواهد شد. سپس داده های ورودی برخی متغیرهای مدل با توجه به خطای موجود تغییر داده خواهد شد. پس از اعمال تغییرات مدل جدید اجرا و خروجی های آن با داده های دنیای واقعی تطبیق داده خواهد شد. در نهایت مدل به منظور پیش بینی های کلان اجرا و بررسی خواهد شد.

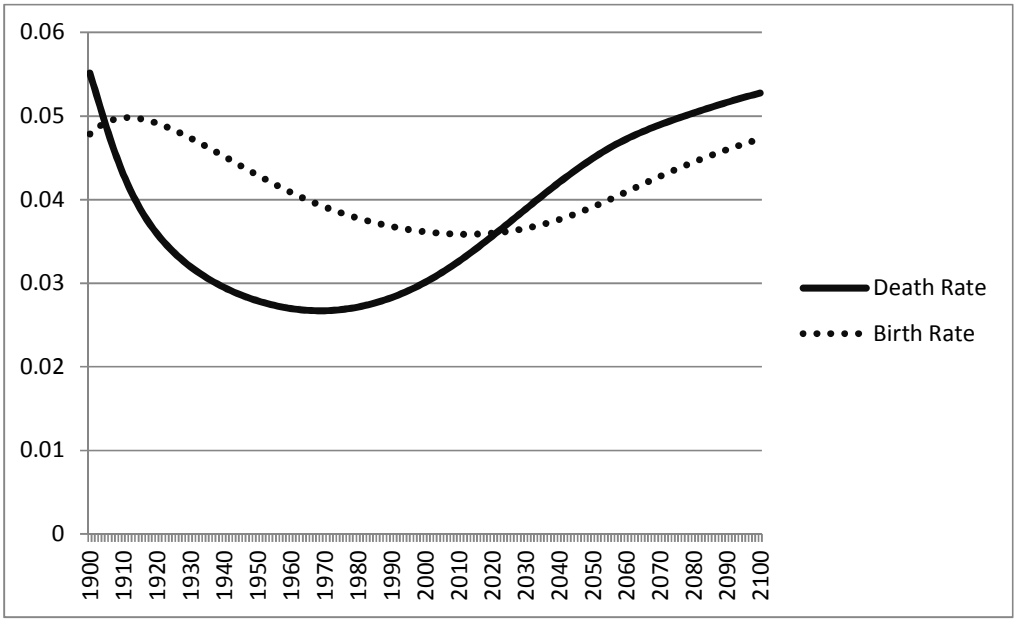
۴-۲- تحلیل خطای موجود در مدل

با توجه به خطای به دست آمده مربوط به متغیر حالت جمعیت و رشد بیشتر جمعیت دنیای واقعی نسبت به جمعیت مدل، می بایست نرخ های تولد و مرگ مدل و نرخ های تولد و مرگ دنیای واقعی با یکدیگر مقایسه شوند.

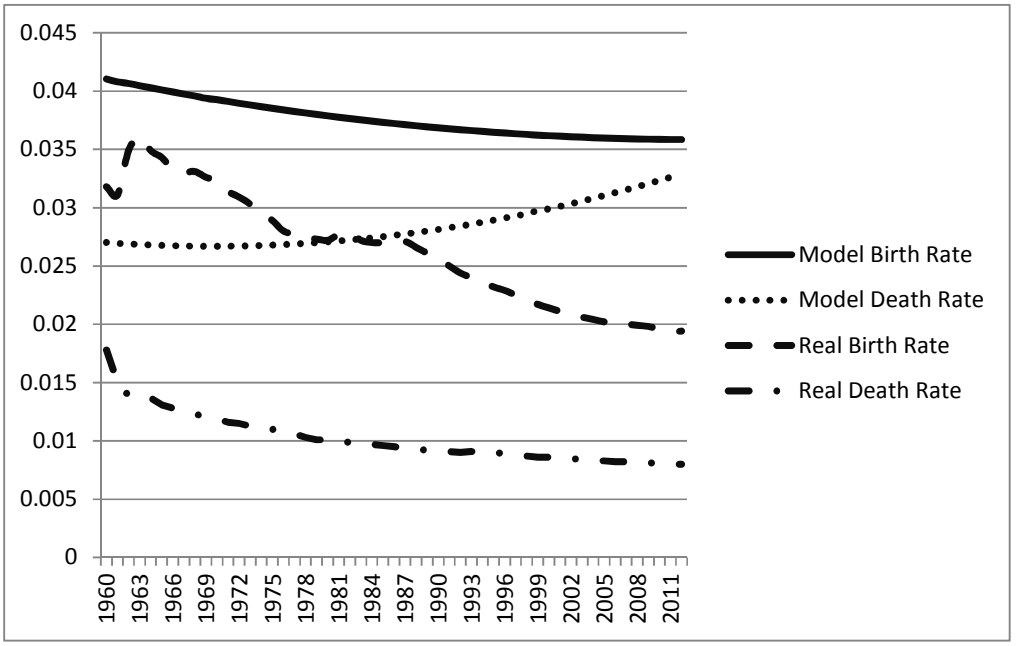
شکل (۴-۱) نرخ تولد و مرگ مدل را طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود نرخ مرگ تا حدود سال ۱۹۶۵ میلادی کاهش و سپس افزایش پیدا کرده است و نرخ تولد تا حدود سال ۱۹۱۰ میلادی افزایش و سپس تا حدود سال ۲۰۰۵ میلادی کاهش و سپس افزایش پیدا کرده است.

شکل (۴-۲) نرخ تولد و مرگ مدل و نرخ تولد و مرگ دنیای واقعی را طی سال های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۲ میلادی نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می شود، نرخ تولد و مرگ دنیای واقعی هر دو در حال کاهش هستند اما نرخ مرگ مدل در حال افزایش است. که این عامل سبب کاهش جمعیت در مدل شده است. البته نرخ تولد مدل نیز طی سال های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۲ میلادی با شیب کمتری نسبت به نرخ تولد دنیای واقعی در حال کاهش است (اطلاعات بانک جهانی، ۲۰۱۳).

نرخ تولد مدل و نرخ تولد دنیای واقعی در شکل (۴-۲) هر دو دارای روند کاهشی می باشند با این تفاوت که شیب کاهش این دو نرخ با یکدیگر برابر نیست.



شکل (۴-۱): مقادیر نرخ مرگ و تولد مدل طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی



شکل (۴-۲): مقادیر نرخ مرگ و تولد مدل و نرخ مرگ و تولد دنیای واقعی طی سال های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۲ میلادی

۴-۳- نتیجه گیری

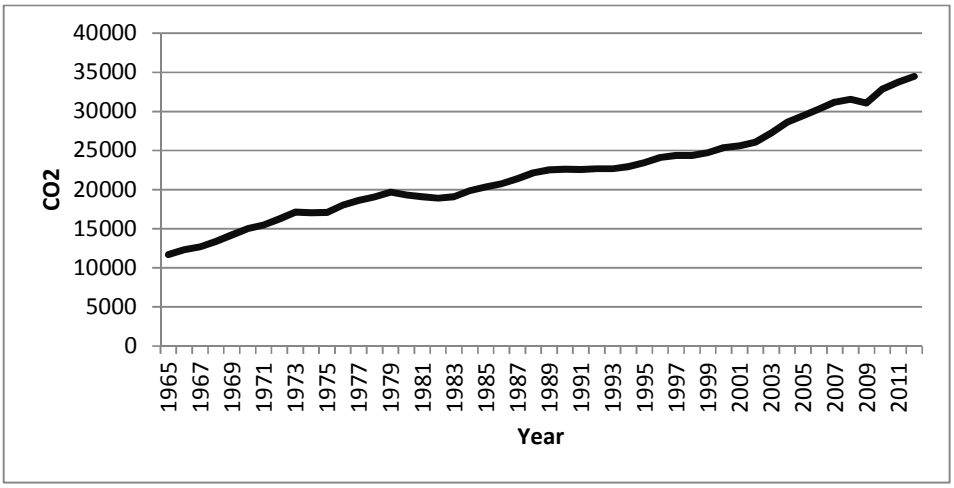
همانطور که در شکل (۴-۲) مشاهده می شود، نرخ تولد دنیای واقعی طی سال های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۲ میلادی کاهش پیدا کرده است و این بدان معنا است که تعداد زاد و ولد در یک سال نسبت به سال قبل کاهش پیدا کرده است. برای مثال در یک منطقه با مساحت ۱ کیلومتر مربع اگر ۱۰۰۰ نفر زندگی کنند و تعداد زاد و ولد آن ها ۵۰ نفر در یک سال باشد، سال بعد این مقدار به ۴۵ نفر خواهد رسید (اعداد مربوط به این مثال فرضی هستند). با توجه به این مثال می توان متغیر میزان تولد متاثر از ازدحام در مدل را تغییر داد.

فرضیه مدل بر این است که میزان BRCM در سال ۱۹۷۰ میلادی برابر یک، برای سال های کمتر از ۱۹۷۰ میلادی برابر ۱,۰۵ و برای سال های بعد از ۱۹۷۰ میلادی ۵۰ درصد مقدار پایه خود باشد. اما این مقدار می بایست کاهش پیدا کند. می توان این طور فرض کرد که برای سال های بعد از ۱۹۷۰ مقدار BRCM به اندازه ۶۰ درصد مقدار پایه خود کاهش پیدا کند.

شکل (۴-۳) میزان دی اکسید کربن[۱] موجود در جهان را طی سال های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۲ در واحد میلیون تن نشان می دهد. در اینجا میزان دی اکسد کربن به عنوان شاخصی برای میزان آلودگی در نظر گرفته شده است. همانطور که در شکل (۴-۳) مشاهده می شود، میزان دی اکسد کربن در حال افزایش است و این بدان معناست که آلودگی طی این سال ها بسیار افزایش پیدا کرده است. افزایش آلودگی می تواند تاثیرات بسیاری بر زندگی افراد داشته باشد. به طور مثال آلودگی باعث کاهش میزان زاد و ولد می شود. بنابراین می توان متغیر میزان تولد ناشی از آلودگی در مدل را کاهش داد. همانطور که در شکل (۳-۱۹) مشاهده می شود، میزان تولد ناشی از آلودگی طی سال های ۱۹۷۰ تا ۲۱۰۰ میلادی با شیب ملایمی در حال کاهش است، این شیب می بایست با شدت بیشتری کاهش پیدا کند (سایت بین المللی نفت امریکا، ۲۰۱۳).

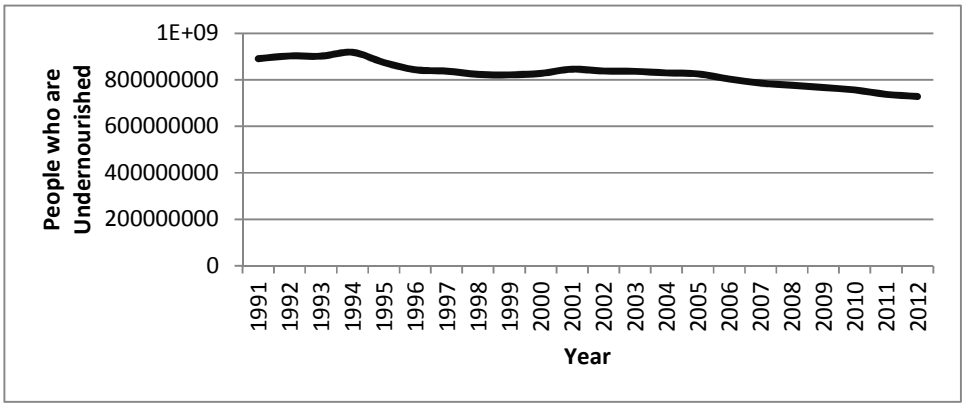
سازمان ملل در سال ۲۰۱۲ میلادی میزان مرگ و میر ناشی از آلودگی را ۷ میلیون نفر اعلام کرده است که این مقدار $\frac{۱}{۸}$ کل افرادی است که در سال ۲۰۱۲ مرده اند. با توجه به این آمار سازمان ملل می توان میزان متغیر مرگ و میر ناشی از آلودگی را در مدل تغییر داد. با توجه به شکل (۳-۱۴) میزان مرگ و میر ناشی از آلودگی طی سال های ۱۹۷۰ تا ۲۱۰۰ میلادی با شیب ملایمی در حال افزایش است، این شیب می بایست با شدت بیشتری افزایش پیدا کند.

[۱] $CO_۲$



شکل (۴-۳): تغییرات میزان دی اکسید کربن طی سال های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۲ میلادی

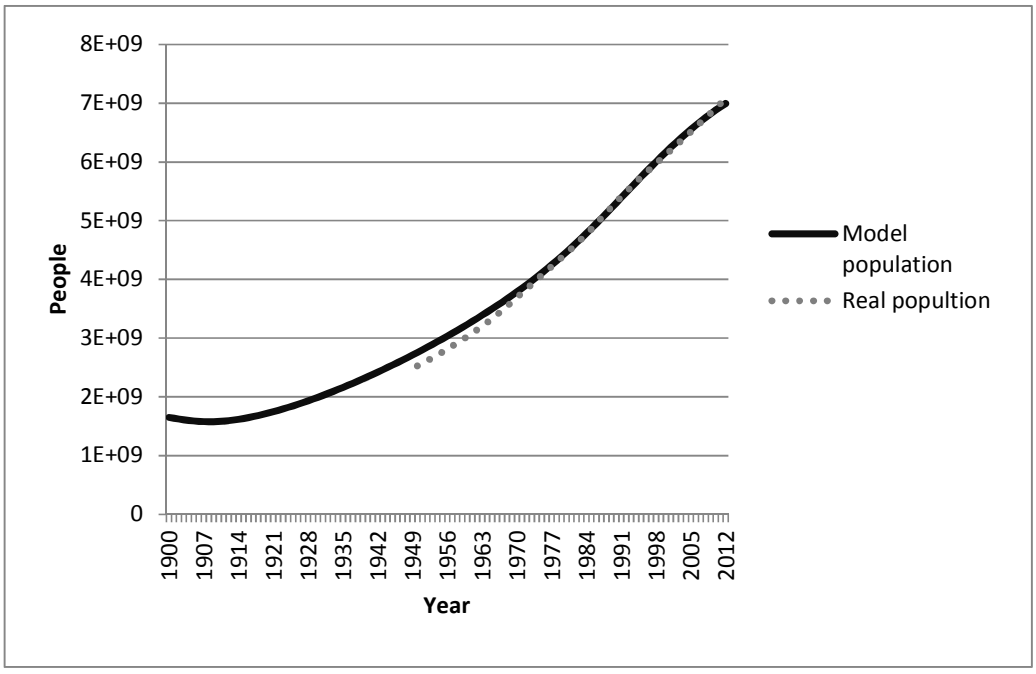
شکل (۴-۴) نشان دهنده تعداد افرادی است که دچار سوء تغذیه شده اند. همانطور که در شکل (۴-۴) مشاهده می شود تعداد افرادی که سالانه دچار سوء تغذیه شده اند، طی سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۲ میلادی کاهش پیدا کرده است. آمار نشان می دهد تعداد افرادی است که بر اثر بیماری های واگیر دار و تغذیه مرده اند نیز طی این سال ها کاهش پیدا کرده است. بنابراین می توان متغیر میزان مرگ و میر ناشی از تغذیه را در مدل تغییر داد. با توجه به پیشرفت تکنولوژی و بهداشت می توان فرض کرد که تعداد افرادی که در اثر کمبود غذا خواهند مرد کمتر خواهد شد (اطلاعات بانک جهانی، ۲۰۱۳).



شکل (۴-۴) میزان افرادی که دچار سوء تغذیه شده اند طی سال های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۲ میلادی

۴-۴- اجرای مجدد مدل پویایی های جهان آقای فارستر

با توجه به تغییرات اعمال شده در بخش (۴-۴) مدل طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی برای بار دوم شبیه سازی و اجرا خواهد شد. شکل (۴-۵) خروجی مدل برای متغیر حالت جمعیت و داده های دنیای واقعی در مورد جمعیت را طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۲ میلادی نشان می باشد. همانطور که در شکل (۴-۵) مشاهده می شود، جمعیت مدل به جمعیت دنیای واقعی نزدیک تر شده است. جدول (۴-۱) خروجی مدل و داده های دنیای واقعی را برای متغیر جمعیت طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ میلادی را نشان می دهد. ستون آخر این جدول خطای به وجود آمده را نشان می دهد، همانطور که مشاهده می شود خطای محاسبه شده در این بخش نسبت به خطای محاسبه شده در بخش (۳-۱۳-۷-۳) کاهش پیدا کرده است و این نشان می دهد که خروجی های مدل به داده های دنیای واقعی نزدیک تر شده است.



شکل (۴-۵): مقایسه مقادیر جمعیت در مدل و دنیای واقعی طی سال های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۲ میلادی

جدول (۴-۱): مقادیر مربوط به جمعیت مدل و دنیای واقعی و خطای موجود

Year	Model Population	Real Population	Error	Percentage of Error
Dec ۱۹۵۰	۲،۷۹۷،۷۲۶،۲۹۵	۲۵۲۵۷۷۸۶۶۹	۰,۱۰۷۶۶۸۸	۱۰,۷۶۶۸۸۲۶۷
Dec ۱۹۵۱	۲،۸۴۳،۰۳۴،۸۹۷	۲۵۷۲۸۵۰۹۱۷	۰,۱۰۵۰۱۳۵	۱۰,۵۰۱۳۴۶۱۳
Dec ۱۹۵۲	۲،۸۸۸،۹۵۶،۷۸۵	۲۶۱۹۲۹۲۰۶۸	۰,۱۰۲۹۵۳۳	۱۰,۲۹۵۳۲۸۲۷
Dec ۱۹۵۳	۲،۹۳۵،۴۹۸،۵۷۹	۲۶۶۵۸۶۵۳۹۲	۰,۱۰۱۱۴۲۸	۱۰,۱۱۴۲۸۳۶۳
Dec ۱۹۵۴	۲،۹۸۲،۶۶۹،۱۶۹	۲۷۱۳۱۷۲۰۲۷	۰,۰۹۹۳۲۹۲	۹,۹۳۲۹۱۷۵۹۵
Dec ۱۹۵۵	۳،۰۳۰،۴۸۰،۰۴۰	۲۷۶۱۶۵۰۹۸۱	۰,۰۹۷۳۴۳۶	۹,۷۳۴۳۶۰۳۹۱
Dec ۱۹۵۶	۳،۰۷۸،۹۴۵،۶۵۸	۲۸۱۱۵۷۲۰۳۱	۰,۰۹۵۰۹۷۶	۹,۵۰۹۷۵۵۰۴۶
Dec ۱۹۵۷	۳،۱۲۸،۰۸۳،۹۰۸	۲۸۶۳۰۴۲۷۹۵	۰,۰۹۲۵۷۳۲	۹,۲۵۷۳۲۲۷۷۲
Dec ۱۹۵۸	۳،۱۷۷،۹۱۶،۶۰۸	۲۹۱۶۰۳۰۱۶۷	۰,۰۸۹۸۰۹۲	۸,۹۸۰۹۲۳۵۷۲
Dec ۱۹۵۹	۳،۲۲۸،۴۷۰،۱۰۶	۲۹۷۰۳۹۵۸۱۴	۰,۰۸۶۸۸۲۱	۸,۶۸۸۲۱۲۲۱۳
Dec ۱۹۶۰	۳،۲۷۹،۷۷۵،۹۷۲	۳۰۲۶۰۰۲۹۴۲	۰,۰۸۳۸۶۴۱	۸,۳۸۶۴۱۰۵۵۳
Dec ۱۹۶۱	۳،۳۳۱،۸۷۱،۸۰۶	۳۰۸۲۸۳۰۲۶۶	۰,۰۸۰۷۸۳۴	۸,۰۷۸۳۴۰۹۴۸
Dec ۱۹۶۲	۳،۳۸۴،۸۰۲،۰۰۹	۳۱۴۱۰۷۱۵۳۱	۰,۰۷۷۵۹۴۷	۷,۷۵۹۴۶۹۱۸۶
Dec ۱۹۶۳	۳،۴۳۸،۶۱۵،۹۷۲	۳۲۰۱۱۷۸۲۷۷	۰,۰۷۴۱۷۲	۷,۴۱۷۱۹۶۸۵۶
Dec ۱۹۶۴	۳،۴۹۳،۳۶۴،۸۵۲	۳۲۶۳۷۳۸۸۳۲	۰,۰۷۰۳۵۶۷	۷,۰۳۵۶۷۳۸۵
Dec ۱۹۶۵	۳،۵۴۹،۱۰۰،۹۶۵	۳۳۲۹۱۲۲۴۷۹	۰,۰۶۶۰۷۷	۶,۶۰۷۷۰۱۷۹۱
Dec ۱۹۶۶	۳،۶۰۵،۸۷۷،۳۴۹	۳۳۹۷۴۷۰۲۴۷	۰,۰۶۱۳۴۰۳	۶,۱۳۴۰۲۸۰۴۷
Dec ۱۹۶۷	۳،۶۶۳،۷۴۷،۵۳۵	۳۴۶۸۵۲۱۷۲۴	۰,۰۵۶۲۸۵	۵,۶۲۸۵۰۱۸۹۱
Dec ۱۹۶۸	۳،۷۲۲،۷۶۶،۶۰۴	۳۵۴۱۶۷۴۸۹۱	۰,۰۵۱۱۳۱۷	۵,۱۱۳۱۶۵۹۱
Dec ۱۹۶۹	۳،۷۸۲،۹۹۱،۰۴۱	۳۶۱۶۱۰۸۷۴۹	۰,۰۴۶۱۴۹۸	۴,۶۱۴۹۸۲۶۶۳
Dec ۱۹۷۰	۳،۸۴۴،۴۸۰،۸۹۲	۳۶۹۱۱۷۲۶۱۶	۰,۰۴۱۵۳۳۸	۴,۱۵۳۳۷۵۹۴۸
Dec ۱۹۷۱	۳،۹۰۷،۲۹۴،۱۶۴	۳۷۶۶۷۵۴۳۴۵	۰,۰۳۷۳۱۰۶	۳,۷۳۱۰۵۸۸۰۱
Dec ۱۹۷۲	۳،۹۷۱،۴۹۰،۸۷۵	۳۸۴۲۸۷۳۶۱۱	۰,۰۳۳۴۶۹	۳,۳۴۶۹۰۳۳۰۸
Dec ۱۹۷۳	۴،۰۳۷،۱۲۹،۳۲۸	۳۹۱۹۱۸۲۳۳۲	۰,۰۳۰۰۹۴۸	۳,۰۰۹۴۷۹۶۷۶
Dec ۱۹۷۴	۴،۱۰۴،۲۶۵،۱۶۴	۳۹۹۵۳۰۴۹۲۲	۰,۰۲۷۲۷۲۱	۲,۷۲۷۲۰۷۱۶۵
Dec ۱۹۷۵	۴،۱۷۲،۹۴۹،۶۳۶	۴۰۷۱۰۲۰۴۳۴	۰,۰۲۵۰۳۷۸	۲,۵۰۳۷۷۵۲۵۷
Dec ۱۹۷۶	۴،۲۴۳،۲۲۷،۶۱۳	۴۱۴۶۱۳۵۸۵۰	۰,۰۲۳۴۱۷۴	۲,۳۴۱۷۴۱۰۰۵
Dec ۱۹۷۷	۴،۳۱۵،۱۳۵،۳۳۶	۴۲۲۰۸۱۶۷۳۷	۰,۰۲۲۳۴۶۱	۲,۲۳۴۶۰۵۴۰۸
Dec ۱۹۷۸	۴،۳۸۸،۶۹۷،۹۷۹	۴۲۹۵۶۶۴۸۲۵	۰,۰۲۱۶۵۷۵	۲,۱۶۵۷۴۵۱۷۳
Dec ۱۹۷۹	۴،۴۶۳،۹۲۷،۰۹۲	۴۳۷۱۵۲۷۸۷۱	۰,۰۲۱۱۳۶۶	۲,۱۱۳۶۵۹۶۵۷
Dec ۱۹۸۰	۴،۵۴۰،۸۱۸،۰۳۷	۴۴۴۹۰۴۸۷۹۸	۰,۰۲۰۶۲۶۷	۲,۰۶۲۶۷۱۰۰۳
Dec ۱۹۸۱	۴،۶۱۹،۳۴۷،۵۴۰	۴۵۲۸۲۳۴۶۳۴	۰,۰۲۰۱۲۱۱	۲,۰۱۲۱۰۶۵۵۸
Dec ۱۹۸۲	۴،۶۹۹،۴۷۱،۵۱۶	۴۶۰۸۹۶۲۴۱۸	۰,۰۱۹۶۳۷۶	۱,۹۶۳۷۶۲۹۹۱
Dec ۱۹۸۳	۴،۷۸۱،۱۲۳،۳۳۹	۴۶۹۱۵۵۹۸۴۰	۰,۰۱۹۰۹۰۳	۱,۹۰۹۰۳۴۵۷۵
Dec ۱۹۸۴	۴،۸۶۴،۲۱۲،۷۰۴	۴۷۷۶۳۹۲۸۲۸	۰,۰۱۸۳۸۶۲	۱,۸۳۸۶۲۳۴۰۲
Dec ۱۹۸۵	۴،۹۴۸،۶۲۵،۲۳۱	۴۸۶۳۶۰۱۵۱۷	۰,۰۱۷۴۸۱۶	۱,۷۴۸۱۶۳۶۵۵
Dec ۱۹۸۶	۵،۰۳۴،۲۲۲،۹۱۱	۴۹۵۳۳۷۶۷۱۰	۰,۰۱۶۳۲۱۴	۱,۶۳۲۱۴۳۱۹۴

ادامه جدول (۴-۱): مقادیر مربوط به جمعیت مدل و دنیای واقعی و خطای موجود

Dec ۱۹۸۷	۵،۱۲۰،۸۴۵،۴۳۶	۵۰۴۵۳۱۵۸۷۱	۰,۰۱۴۹۷۰۲	۱,۴۹۷۰۲۳۵۱۶
Dec ۱۹۸۸	۵،۲۰۸،۳۱۲،۳۹۲	۵۱۳۸۲۱۴۶۸۸	۰,۰۱۳۶۴۲۴	۱,۳۶۴۲۴۲۴۱
Dec ۱۹۸۹	۵،۲۹۶،۴۲۶،۲۱۱	۵۲۳۰۴۵۲۴۰۹	۰,۰۱۲۶۱۳۴	۱,۲۶۱۳۴۰۲۵۹
Dec ۱۹۹۰	۵،۳۸۴،۹۷۵،۷۲۷	۵۳۲۰۸۱۶۶۶۷	۰,۰۱۲۰۵۸۱	۱,۲۰۵۸۱۲۲۶۲
Dec ۱۹۹۱	۵،۴۷۳،۷۴۰،۱۰۹	۵۴۰۸۹۰۸۷۲۴	۰,۰۱۱۹۸۶	۱,۱۹۸۶۰۳۷۹۴
Dec ۱۹۹۲	۵،۵۶۲،۴۹۲،۹۴۱	۵۴۹۴۸۹۹۵۷۰	۰,۰۱۲۳۰۱۱	۱,۲۳۰۱۱۱۱۳۴
Dec ۱۹۹۳	۵،۶۵۱،۰۰۶،۲۵۲	۵۵۷۸۸۶۵۱۰۹	۰,۰۱۲۹۳۱۲	۱,۲۹۳۱۱۵۰۲۵
Dec ۱۹۹۴	۵،۷۳۹،۰۵۴،۲۳۶	۵۶۶۱۰۸۶۳۴۶	۰,۰۱۳۷۷۲۶	۱,۳۷۷۲۶۰۲۲۲
Dec ۱۹۹۵	۵،۸۲۶،۴۱۶،۴۲۳	۵۷۴۱۸۲۲۴۱۲	۰,۰۱۴۷۳۳	۱,۴۷۳۲۹۵۴۹۴
Dec ۱۹۹۶	۵،۹۱۲،۸۸۰،۲۴۸	۵۸۲۱۰۱۶۷۵۰	۰,۰۱۵۷۸۱۳	۱,۵۷۸۱۳۴۹۲۱
Dec ۱۹۹۷	۵،۹۹۸،۲۴۳،۰۰۵	۵۸۹۸۶۸۸۳۳۷	۰,۰۱۶۸۷۷۴	۱,۶۸۷۷۴۲۴۶۷
Dec ۱۹۹۸	۶،۰۸۲،۳۱۳،۱۷۱	۵۹۷۵۳۰۳۶۵۷	۰,۰۱۷۹۰۸۶	۱,۷۹۰۸۶۳۲۰۱
Dec ۱۹۹۹	۶،۱۶۴،۹۱۱،۱۷۴	۶۰۵۱۴۷۸۰۱۰	۰,۰۱۸۷۴۴۷	۱,۸۷۴۴۷۰۳۹۶
Dec ۲۰۰۰	۶،۲۴۵،۸۶۹،۶۸۵	۶۱۲۷۷۰۰۴۲۸	۰,۰۱۹۲۸۴۴	۱,۹۲۸۴۴۳۷۶۶
Dec ۲۰۰۱	۶،۳۲۵،۰۳۳،۵۶۵	۶۲۰۴۱۴۷۰۲۶	۰,۰۱۹۴۸۴۸	۱,۹۴۸۴۷۹۵۹۷
Dec ۲۰۰۲	۶،۴۰۲،۲۵۹،۵۷۶	۶۲۸۰۸۵۳۸۱۷	۰,۰۱۹۳۲۹۵	۱,۹۳۲۹۴۹۹۲۶
Dec ۲۰۰۳	۶،۴۷۷،۴۱۵،۹۸۸	۶۳۵۷۹۹۱۷۴۹	۰,۰۱۸۷۸۳۳	۱,۸۷۸۳۳۲۷۱
Dec ۲۰۰۴	۶،۵۵۰،۳۸۲،۱۷۹	۶۴۳۵۷۰۵۵۹۵	۰,۰۱۷۸۱۸۸	۱,۷۸۱۸۸۰۵۱۹
Dec ۲۰۰۵	۶،۶۲۱،۰۴۸،۳۳۱	۶۵۱۴۰۹۴۶۰۵	۰,۰۱۶۴۱۸۸	۱,۶۴۱۸۸۱۶۸۵
Dec ۲۰۰۶	۶،۶۸۹،۳۱۵،۸۹۶	۶۵۹۳۲۲۷۹۷۷	۰,۰۱۴۵۷۳۷	۱,۴۵۷۳۷۲۹۱۹
Dec ۲۰۰۷	۶،۷۵۵،۱۰۱،۳۳۵	۶۶۷۳۱۰۵۹۳۷	۰,۰۱۲۲۸۷۴	۱,۲۲۸۷۴۴۱۳
Dec ۲۰۰۸	۶،۸۱۸،۳۳۷،۶۸۳	۶۷۵۳۶۴۹۲۲۸	۰,۰۰۹۵۷۸۳	۰,۹۵۷۸۲۹۶۶
Dec ۲۰۰۹	۶،۸۷۸،۹۷۳،۴۵۹	۶۸۳۴۷۲۱۹۳۳	۰,۰۰۶۴۷۴۵	۰,۶۴۷۴۵۱۷۳۶
Dec ۲۰۱۰	۶،۹۳۶،۹۷۱،۵۹۴	۶۹۱۶۱۸۳۴۸۲	۰,۰۰۳۰۰۵۷	۰,۳۰۰۵۷۲۰۱۵
Dec ۲۰۱۱	۶،۹۹۲،۳۰۸،۵۱۶	۶۹۹۷۹۹۸۷۶۰	۰,۰۰۰۸۱۳۱	۰,۰۸۱۳۱۲۴۴۷
Dec ۲۰۱۲	۷،۰۴۴،۹۷۳،۳۱۳	۷۰۸۰۰۷۲۴۱۷	۰,۰۰۴۹۵۷۴	۰,۴۹۵۷۴۴۹۸۲

Average of Error:	۰,۰۳۸۲۷۹۹۸
Percentage of Average of Error:	۳,۸۲۷۹۹۷۹۸۳

۴-۵- تعیین شاخص برای دیگر متغیرهای حالت مدل

همانطور که در بخش (۳-۱۳-۷-۱) گفته شد، با نزدیک کردن خروجی های متغیر حالت جمعیت به داده های دنیای واقعی می توان فرض کرد که نتایج دیگر متغیرهای حالت موجود در مدل به داده های دنیای واقعی نزدیک شده است.

آقای فارستر از هیچ شاخصی برای تعیین دیگر متغیرهای حالت مدل نام نبرده است. بنابراین برای تطبیق خروجی های دیگر متغیرها با دنیای واقعی می بایست یک شاخص برای هر کدام از متغیرها تعیین کرد. شاخص ها می بایست در دنیای واقعی تعریف معینی داشته باشند و قابل اندازه گیری باشند.

۴-۵-۱- شاخص مربوط به منابع طبیعی

همانطور که گفته شد، منابع طبیعی شامل مواد غیر قابل تجدید[۱] بود به غیر از چوب و موادی که می توانستند رشد پیدا کنند. مواد غیر قابل تجدید در جهان شامل ذغال سنگ[۲]، نفت[۳]، گاز[۴] و انرژی هسته ای[۵] می باشد. در جهان تمام این مواد به علاوه انرژی های تجدید شدنی[۶] تحت عنوان انرژی های اولیه[۷] شناخته می شوند. بنابراین با تعیین مقادیر انرژی های اولیه و کسر مقادیر مواد تجدید شدنی، می توان مقادیر مربوط به متغیر منابع طبیعی را به دست آورد. جدول (۴-۲) مقادیر مربوط به مصرف منابع طبیعی در مدل قبل از اعمال تغییرات، مقادیر مربوط به انرژی های اولیه بدون مواد تجدید شدنی، نرخ رشد[۸] سالانه مقادیر مدل و دنیای واقعی و خطای موجود را نشان می دهد. جدول (۴-۳) تمام مقادیر جدول (۴-۲) را بعد از اعمال تغییرات نشان می دهد. همانطور که در جداول (۴-۲) و (۴-۳) مشاهده می شود، مقدار خطای محاسبه شده پس از اعمال تغییرات کاهش پیدا کرده است (دفتر تحقیقات تغییرات جهانی[۹]، ۲۰۱۳)

---

۱ Nonerenewable Materials
۲ Coal
۳ Oil
۴ Gas
۵ Nuclear Power
۶ Renewable Energy
۷ Primary Energy
۸ Growth Rate
۹ Global Change Research Information Office

جدول (۴-۲): مقادیر مربوط به مصرف منابع طبیعی، انرژی های اولیه بدون مواد تجدید شدنی، رشد سالانه و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات

Year	Natural Resource Consumption	Primary Energy without Renewable Energy	Growth of Model	Growth of Real
Dec ۱۹۶۵	۱,۱۴۱۳۴E+۱۱	۲۶۲۵,۰۴۳۴۶۱	۰,۰۳۱۲۵۲۲۲	۰,۰۵۴۸۸۸۰۸
Dec ۱۹۶۶	۱,۱۷۷۰۱E+۱۱	۲۷۶۹,۱۲۷۰۴۵	۰,۰۳۰۸۳۶۱۹۱	۰,۰۳۹۷۳۹۲۲
Dec ۱۹۶۷	۱,۲۱۳۳E+۱۱	۲۸۷۹,۱۶۹۹۹۶	۰,۰۳۰۴۲۵۱۵۹	۰,۰۶۶۹۴۲۶۷
Dec ۱۹۶۸	۱,۲۵۰۲۱E+۱۱	۳۰۷۱,۹۰۹۳۲۱	۰,۰۳۰۰۱۸۹۴	۰,۰۶۸۴۱۳۷
Dec ۱۹۶۹	۱,۲۸۷۷۴E+۱۱	۳۲۸۲,۰۷۰۰۰۸	۰,۰۲۹۶۱۷۳۶۲	۰,۰۵۵۷۵۰۲۵
Dec ۱۹۷۰	۱,۳۲۵۸۸E+۱۱	۳۴۶۵,۰۴۶۲۱۶	۰,۰۲۹۲۲۰۲۵۹	۰,۰۲۵۵۴۸۳۴
Dec ۱۹۷۱	۱,۳۶۴۶۳E+۱۱	۳۵۵۳,۵۷۲۳۹۱	۰,۰۲۸۸۲۷۴۷۶	۰,۰۴۸۳۴۵۹۵
Dec ۱۹۷۲	۱,۴۰۳۹۷E+۱۱	۳۷۲۵,۳۷۳۲۴۱	۰,۰۲۸۴۳۸۸۶۵	۰,۰۵۵۳۴۹۹۱
Dec ۱۹۷۳	۱,۴۴۳۸۹E+۱۱	۳۹۳۱,۵۷۲۳۱۵	۰,۰۲۸۰۵۴۲۸۶	-۰,۰۱۵۱۸۹۹۲
Dec ۱۹۷۴	۱,۴۸۴۴E+۱۱	۳۸۷۱,۸۵۲۰۵۲	۰,۰۲۷۶۷۳۶۰۶	-۰,۰۲۱۰۴۱۲۵
Dec ۱۹۷۵	۱,۵۲۵۴۸E+۱۱	۳۷۹۰,۳۸۳۴۴۱	۰,۰۲۷۲۹۶۶۹۶	۰,۰۵۴۰۰۴۶۱
Dec ۱۹۷۶	۱,۵۶۷۱۲E+۱۱	۳۹۹۵,۰۸۱۶۱۷	۰,۰۲۶۹۲۳۴۳۴	۰,۰۲۲۲۵۴۵۹
Dec ۱۹۷۷	۱,۶۰۹۳۱E+۱۱	۴۰۸۳,۹۹۰۵۰۹	۰,۰۲۶۵۵۳۷	۰,۰۱۵۳۱۷۶۳
Dec ۱۹۷۸	۱,۶۵۲۰۴E+۱۱	۴۱۴۶,۵۴۷۵۶۸	۰,۰۲۶۱۸۷۳۷۸	۰,۰۲۶۴۸۳۸۹
Dec ۱۹۷۹	۱,۶۹۵۳۱E+۱۱	۴۲۵۶,۳۶۴۲۹۳	۰,۰۲۵۸۲۴۳۵۴	-۰,۰۲۵۷۳۰۱۱
Dec ۱۹۸۰	۱,۷۳۹۰۹E+۱۱	۴۱۴۶,۸۴۷۵۶۳	۰,۰۲۵۴۶۴۵۱۸	-۰,۰۲۳۳۰۰۷۱
Dec ۱۹۸۱	۱,۷۸۳۳۷E+۱۱	۴۰۵۰,۲۲۳۰۶۴	۰,۰۲۵۱۰۷۷۵۹	-۰,۰۲۷۳۰۲۳۱
Dec ۱۹۸۲	۱,۸۲۸۱۵E+۱۱	۳۹۳۹,۶۴۲۶۲۸	۰,۰۲۴۷۵۳۹۶۸	-۰,۰۰۰۷۰۰۵۷
Dec ۱۹۸۳	۱,۸۷۳۴E+۱۱	۳۹۳۶,۸۸۲۶۳۸	۰,۰۲۴۴۰۳۰۳۷	۰,۰۴۷۳۰۲۷۳
Dec ۱۹۸۴	۱,۹۱۹۱۲E+۱۱	۴۱۲۳,۱۰۷۹۱۹	۰,۰۲۴۰۵۴۸۵۹	۰,۰۱۶۴۲۵۹۵
Dec ۱۹۸۵	۱,۹۶۵۲۸E+۱۱	۴۱۹۰,۸۳۳۸۶۸	۰,۰۲۳۷۰۹۳۲۶	۰,۰۱۱۸۳۷۳۵
Dec ۱۹۸۶	۲,۰۱۱۸۸E+۱۱	۴۲۴۰,۴۴۲۲۳۱	۰,۰۲۳۳۶۶۳۳۲	۰,۰۲۸۵۶۳۲۸
Dec ۱۹۸۷	۲,۰۵۸۸۹E+۱۱	۴۳۶۱,۵۶۳۱۷۲	۰,۰۲۳۰۲۵۷۷	۰,۰۳۳۶۹۳۷۶
Dec ۱۹۸۸	۲,۱۰۶۳E+۱۱	۴۵۰۸,۵۲۰۶۴۳	۰,۰۲۲۶۸۷۵۳۴	۰,۰۱۹۹۰۸۳۳
Dec ۱۹۸۹	۲,۱۵۴۰۸E+۱۱	۴۵۹۸,۲۷۷۷۸۲	۰,۰۲۲۳۵۱۵۱۹	۰,۰۰۷۳۲۱۰۴
Dec ۱۹۹۰	۲,۲۰۲۲۳E+۱۱	۴۶۳۱,۹۴۱۹۴	۰,۰۲۲۰۱۷۶۱۷	۰,۰۰۹۰۳۲۱۳
Dec ۱۹۹۱	۲,۲۵۰۷۲E+۱۱	۴۶۷۳,۷۷۸۲۲۶	۰,۰۲۱۶۸۵۷۳۱	۰,۰۱۱۰۸۹۰۹
Dec ۱۹۹۲	۲,۲۹۹۵۳E+۱۱	۴۷۲۵,۶۰۶۱۶۵	۰,۰۲۱۳۵۵۸۲۷	۰,۰۱۵۰۷۳۹۶
Dec ۱۹۹۳	۲,۳۴۸۶۴E+۱۱	۴۷۹۶,۸۳۹۷۵۸	۰,۰۲۱۰۲۷۹۳۷	۰,۰۱۸۶۰۲۸۹
Dec ۱۹۹۴	۲,۳۹۸۰۲E+۱۱	۴۸۸۶,۰۷۴۸۲	۰,۰۲۰۷۰۲۱۰۲	۰,۰۲۴۸۱۷۳۶
Dec ۱۹۹۵	۲,۴۴۷۶۷E+۱۱	۵۰۰۷,۳۳۴۲۹۶	۰,۰۲۰۳۷۸۳۶۳	۰,۰۳۴۲۷۲۲۶
Dec ۱۹۹۶	۲,۴۹۷۰۵E+۱۱	۵۱۷۸,۹۴۶۹۵۶	۰,۰۲۰۰۵۶۷۶	۰,۰۱۰۱۰۵۴۱۲
Dec ۱۹۹۷	۲,۵۴۷۶۴E+۱۱	۵۲۳۱,۵۳۴۶۰۵	۰,۰۱۹۷۳۷۳۳۴	۰,۰۰۳۸۲۱۳۶
Dec ۱۹۹۸	۲,۵۹۷۹۲E+۱۱	۵۲۵۱,۵۲۶۱۷۷	۰,۰۱۹۴۲۰۱۲۶	۰,۰۱۴۱۸۴۴۷
Dec ۱۹۹۹	۲,۶۴۸۳۷E+۱۱	۵۳۲۶,۰۱۶۲۸۹	۰,۰۱۹۱۰۵۱۷۷	۰,۰۲۱۷۰۳۷۹
Dec ۲۰۰۰	۲,۶۹۸۹۷E+۱۱	۵۴۴۱,۶۱۱۰۱	۰,۰۱۸۷۹۲۵۳	-۰,۰۰۵۷۶۰۸۷

ادامه جدول (۴-۲): مقادیر مربوط به مصرف منابع طبیعی، انرژی های اولیه بدون مواد تجدید شدنی، رشد سالانه و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات

Dec ۲۰۰۱	۲,۷۴۹۶۹E+۱۱	٥٤۱۰,۲٦۲٦۱٦	۰,۰۱۸٤۸۲۲۲٦	۰,۰۰۸۱٥٥٥۸
Dec ۲۰۰۲	۲,۸۰۰٥۱E+۱۱	٥٤٥٤,۳۸٦٤٦۲	۰,۰۱۸۱۷٤۳۰۸	۰,۰۱۱٦۰۰٤٥
Dec ۲۰۰۳	۲,۸٥۱٤۱E+۱۱	٥٥۱۷,٦٥۹۸۱	۰,۰۱۷۸٦۸۸۲	۰,۰۱۹۹۷۷۹۸
Dec ۲۰۰٤	۲,۹۰۲۳٦E+۱۱	٥٦۲۷,۸۹۱٥۰۸	۰,۰۱۷٥٦٥۸۰٥	۰,۰۰۸٦۲٤۳۳
Dec ۲۰۰٥	۲,۹٥۳۳٤E+۱۱	٥٦۷٦,٤۲۸۲۷۹	۰,۰۱۷۲٦٥۳۱	۰,۰۰۱۳٦۲٥
Dec ۲۰۰٦	۳,۰۰٤۳٤E+۱۱	٥٦۸٤,۱٦۲٤۱۳	۰,۰۱٦۹٦۷۳۷۹	۰,۰۰٦۸٤٦٦۳
Dec ۲۰۰۷	۳,۰٥٥۳۱E+۱۱	٥۷۲۳,۰۷۹۷۹۳	۰,۰۱٦٦۷۲۰٥۷	-۰,۰۰۹۳۸۲٤
Dec ۲۰۰۸	۳,۱۰٦۲٥E+۱۱	٥٦٦۹,۳۸۳٥٤٤	۰,۰۱٦۳۷۹۳۹۱	-۰,۰٤۷٦۰٤۹۳
Dec ۲۰۰۹	۳,۱٥۷۱۳E+۱۱	٥۳۹۹,٤۹۲۹۳۷	۰,۰۱٦۰۸۹٤۲٦	۰,۰۳٥۸٥۹۹٥
Dec ۲۰۱۰	۳,۲۰۷۹۲E+۱۱	٥٥۹۳,۱۱۸٤۹٦	۰,۰۱٥۸۰۲۲۱	-۰,۰۰۹۷۹٦۷۷
Dec ۲۰۱۱	۳,۲٥۸٦۲E+۱۱	٥٥۳۸,۳۲۳۹۹	۰,۰۱٥٥۱۷۷۸۸	-۰,۰۰۸۹۳۳۰٤
Dec ۲۰۱۲	۳,۳۰۹۱۸E+۱۱	٥٤۸۸,۸٤۹۹۰۸		
Average of Growth rate:			۰,۰۲۲۹۱۷۸٤٦	۰,۰۱٦۱۳۸۸۸
Error:			۰,٤۲۰۰۳۹٦۹٦	

جدول (۴-۳): مقادیر مربوط به مصرف منابع طبیعی، انرژی های اولیه بدون مواد تجدید شدنی، رشد سالانه و خطای موجود بعد از اعمال تغییرات

Year	Natural Resource Consumption	Primary Energy without Renewable Energy	Growth of Model	Growth of Real
Dec ۱۹٦٥	۱,۱٤٦٤E+۱۱	۲٦۲٥,۰٤۳٤٦۱	۰,۰۳۱۳۲۸٤۱٦	۰,۰٥٤۸۸۸۰۷٦
Dec ۱۹٦٦	۱,۱۸۲۳۲E+۱۱	۲۷٦۹,۱۲۷۰٤٥	۰,۰۳۰۸۹۹۷۸٥	۰,۰۳۹۷۳۹۲۲۱
Dec ۱۹٦۷	۱,۲۱۸۸٥E+۱۱	۲۸۷۹,۱٦۹۹۹٦	۰,۰۳۰٤۷٤٦۳٦	۰,۰٦٦۹٤۲٦٦۹
Dec ۱۹٦۸	۱,۲٥٥۹۹E+۱۱	۳۰۷۱,۹۰۹۳۲۱	۰,۰۳۰۰٥۲۷۰۱	۰,۰٦۸٤۱۳۷۰۱
Dec ۱۹٦۹	۱,۲۹۳۷٤E+۱۱	۳۲۸۲,۰۷۰۰۰۸	۰,۰۲۹٦۳۳۷۲۲	۰,۰٥٥۷٥۰۲٤٥
Dec ۱۹۷۰	۱,۳۳۲۰۸E+۱۱	۳٤٦٥,۰٤٦۲۱٦	۰,۰۲۹۲۱۷٤٥۳	۰,۰۲٥٥٤۸۳۳۹
Dec ۱۹۷۱	۱,۳۷۱E+۱۱	۳٥٥۳,٥۷۲۳۹۱	۰,۰۲۸۸۰۳٦٦۲	۰,۰٤۸۳٤٥۹٥٥
Dec ۱۹۷۲	۱,٤۱۰٤۹E+۱۱	۳۷۲٥,۳۷۳۲٤۱	۰,۰۲۸۳۹۲۱۳۳	۰,۰٥٥۳٤۹۹۱
Dec ۱۹۷۳	۱,٤٥۰٥٤E+۱۱	۳۹۳۱,٥۷۲۳۱٥	۰,۰۲۷۹۸۲٦٦٦	-۰,۰۱٥۱۸۹۹۲
Dec ۱۹۷٤	۱,٤۹۱۱۳E+۱۱	۳۸۷۱,۸٥۲۰٥۲	۰,۰۲۷٥۷٥۰۸٥	-۰,۰۲۱۰٤۱۲٥
Dec ۱۹۷٥	۱,٥۳۲۲٤E+۱۱	۳۷۹۰,۳۸۳٤٤۱	۰,۰۲۷۱٦۹۲۳۳	۰,۰٥٤۰۰٤٦۰۹
Dec ۱۹۷٦	۱,٥۷۳۸۷E+۱۱	۳۹۹٥,۰۸۱٦۱۷	۰,۰۲٦۷٦٤۹۸۱	۰,۰۲۲۲٥٤٥۸۷
Dec ۱۹۷۷	۱,٦۱٦E+۱۱	٤۰۸۳,۹۹۰٥۰۹	۰,۰۲٦۳٦۲۲۲۷	۰,۰۱٥۳۱۷٦۳۱
Dec ۱۹۷۸	۱,٦٥۸٦E+۱۱	٤۱٤٦,٥٤۷٥٦۸	۰,۰۲٥۹٦۰۹۰۲	۰,۰۲٦٤۸۳۸۹٤

ادامه جدول (۴-۳): مقادیر مربوط به مصرف منابع طبیعی، انرژی های اولیه بدون مواد تجدید شدنی، رشد سالانه و خطای موجود بعد از اعمال تغییرات

Dec ۱۹۷۹	۱,۷۰۱۶۶E+۱۱	٤۲٥٦,۳٦٤۲۹۳	۰,۰۲٥٥٦۰۹۷۱	-۰,۰۲٥۷۳۰۱۱
Dec ۱۹۸۰	۱,۷٤٥۱٥E+۱۱	٤۱٤٦,۸٤۷٥٦۳	۰,۰۲٥۱٦۲٤۳۷	-۰,۰۲۳۳۰۰۷۱
Dec ۱۹۸۱	۱,۷۸۹۰۷E+۱۱	٤۰٥۰,۲۲۳۰٦٤	۰,۰۲٤۷٦٥۳٤۲	-۰,۰۲۷۳۰۲۳۱
Dec ۱۹۸۲	۱,۸۳۳۳۷E+۱۱	۳۹۳۹,٦٤۲٦۲۸	۰,۰۲٤۳٦۹۷٦۹	-۰,۰۰۰۷۰۰٥۷
Dec ۱۹۸۳	۱,۸۷۸۰٥E+۱۱	۳۹۳٦,۸۸۲٦۳۸	۰,۰۲۳۹۷٥۸۳۸	۰,۰٤۷۳۰۲۷۲٦
Dec ۱۹۸٤	۱,۹۲۳۰۸E+۱۱	٤۱۲۳,۱۰۷۹۱۹	۰,۰۲۳٥۸۳۷۱۳	۰,۰۱٦٤۲٥۹٤٦
Dec ۱۹۸٥	۱,۹٦۸٤۳E+۱۱	٤۱۹۰,۸۳۳۸٦۸	۰,۰۲۳۱۹۳٥۸۸	۰,۰۱۱۸۳۷۳٤۹
Dec ۱۹۸٦	۲,۰۱٤۰۹E+۱۱	٤۲٤۰,٤٤۲۲۳۱	۰,۰۲۲۸۰٥٦۸۹	۰,۰۲۸٥٦۳۲۸۱
Dec ۱۹۸۷	۲,۰٦۰۰۲E+۱۱	٤۳٦۱,٥٦۳۱۷۲	۰,۰۲۲٤۲۰۲٦۳	۰,۰۳۳٦۹۳۷٦۲
Dec ۱۹۸۸	۲,۱۰٦۲۱E+۱۱	٤٥۰۸,٥۲۰٦٤۳	۰,۰۲۲۰۳۷٥۷٥	۰,۰۱۹۹۰۸۳۳٥
Dec ۱۹۸۹	۲,۱٥۲٦۲E+۱۱	٤٥۹۸,۲۷۷۷۸۲	۰,۰۲۱٦٥۷۸۹۳	۰,۰۰۷۳۲۱۰۳٦
Dec ۱۹۹۰	۲,۱۹۹۲٤E+۱۱	٤٦۳۱,۹٤۱۹٤	۰,۰۲۱۲۸۱٤۷۹	۰,۰۰۹۰۳۲۱۲۷
Dec ۱۹۹۱	۲,۲٤٦۰٥E+۱۱	٤٦۷۳,۷۷۸۲۲٦	۰,۰۲۰۹۰۸٥۸۷	۰,۰۱۱۰۸۹۰۸۸
Dec ۱۹۹۲	۲,۲۹۳۰۱E+۱۱	٤۷۲٥,٦۰٦۱٦٥	۰,۰۲۰٥۳۹٤۹۸	۰,۰۱٥۰۷۳۹٥۹
Dec ۱۹۹۳	۲,۳٤۰۱۱E+۱۱	٤۷۹٦,۸۳۹۷٥۸	۰,۰۲۰۱۷٤٥۲٤	۰,۰۱۸٦۰۲۸۸٦
Dec ۱۹۹٤	۲,۳۸۷۳۲E+۱۱	٤۸۸٦,۰۷٤۸۲	۰,۰۱۹۸۱۳۹٤۳	۰,۰۲٤۸۱۷۳٦
Dec ۱۹۹٥	۲,٤۳٤٦۲E+۱۱	٥۰۰۷,۳۳٤۲۹٦	۰,۰۱۹٤٥۷۹۹۱	۰,۰۳٤۲۷۲۲٥۹
Dec ۱۹۹٦	۲,٤۸۱۹۹E+۱۱	٥۱۷۸,۹٤٦۹٥٦	۰,۰۱۹۱۰٦۸٥٥	۰,۰۱۰۱٥٤۱۲
Dec ۱۹۹۷	۲,٥۲۹٤۱E+۱۱	٥۲۳۱,٥۳٤٦۰٥	۰,۰۱۸۷٦۰٦۷٤	۰,۰۰۳۸۲۱۳٥۹
Dec ۱۹۹۸	۲,٥۷٦۸۷E+۱۱	٥۲٥۱,٥۲٦۱۷۷	۰,۰۱۸٤۱۹٥٤٥	۰,۰۱٤۱۸٤٤٦۹
Dec ۱۹۹۹	۲,٦۲٤۳۳E+۱۱	٥۳۲٦,۰۱٦۲۸۹	۰,۰۱۸۰۸۳٥۲۳	۰,۰۲۱۷۰۳۷۸۷
Dec ۲۰۰۰	۲,٦۷۱۷۹E+۱۱	٥٤٤۱,٦۱۱۰۱	۰,۰۱۷۷٥۲٦۲۳	-۰,۰۰٥۷٦۰۸۷
Dec ۲۰۰۱	۲,۷۱۹۲۲E+۱۱	٥٤۱۰,۲٦۲٦۱٦	۰,۰۱۷٤۲٦۸۳٤	۰,۰۰۸۱٥٥٥۸۳
Dec ۲۰۰۲	۲,۷٦٦٦۱E+۱۱	٥٤٥٤,۳۸٦٤٦۲	۰,۰۱۷۱۰٦۱۱٦	۰,۰۱۱٦۰۰٤٥۲
Dec ۲۰۰۳	۲,۸۱۳۹٤E+۱۱	٥٥۱۷,٦٥۹۸۱	۰,۰۱٦۷۹۰٤۱۱	۰,۰۱۹۹۷۷۹۸
Dec ۲۰۰٤	۲,۸٦۱۱۸E+۱۱	٥٦۲۷,۸۹۱٥۰۸	۰,۰۱٦٤۷۹٦٤٦	۰,۰۰۸٦۲٤۳۲٦
Dec ۲۰۰٥	۲,۹۰۸۳۳E+۱۱	٥٦۷٦,٤۲۸۲۷۹	۰,۰۱٦۱۷۳۷٤۱	۰,۰۰۱۳٦۲٥
Dec ۲۰۰٦	۲,۹٥٥۳۷E+۱۱	٥٦۸٤,۱٦۲٤۱۳	۰,۰۱٥۸۷۲٦۱۲	۰,۰۰٦۸٤٦٦۳٤
Dec ۲۰۰۷	۳,۰۰۲۲۸E+۱۱	٥۷۲۳,۰۷۹۷۹۳	۰,۰۱٥٥۷٦۱۷٤	-۰,۰۰۹۳۸۲٤
Dec ۲۰۰۸	۳,۰٤۹۰٥E+۱۱	٥٦٦۹,۳۸۳٥٤٤	۰,۰۱٥۲۸٤۳٤۷	-۰,۰٤۷٦۰٤۹۳
Dec ۲۰۰۹	۳,۰۹٥٦٥E+۱۱	٥۳۹۹,٤۹۲۹۳۷	۰,۰۱٤۹۹۷۰٥٤	۰,۰۳٥۸٥۹۹٥۲
Dec ۲۰۱۰	۳,۱٤۲۰۷E+۱۱	٥٥۹۳,۱۱۸٤۹٦	۰,۰۱٤۷۱٤۲۲٦	-۰,۰۰۹۷۹٦۷۷
Dec ۲۰۱۱	۳,۱۸۸۳۱E+۱۱	٥٥۳۸,۳۲۳۹۹	۰,۰۱٤٤۳٥۷۹۸	-۰,۰۰۸۹۳۳۰٤
Dec ۲۰۱۲	۳,۲۳٤۳۳E+۱۱	٥٤۸۸,۸٤۹۹۰۸		
Average of Growth rate:			۰,۰۲۲۳۲٥٦۷۸	۰,۰۱٦۱۳۸۸۷۷
Error:			۰,۳۸۳۳٤۷٦۸۱	

۴-۵-۲- شاخص مربوط به آلودگی

در این بخش مقادیر دی اکسید کربن انتشار یافته[1] در جهان به عنوان شاخصی برای اندازه گیری آلودگی مورد استفاده قرار گرفته است. جدول (۴-۴) مقادیر مربوط به آلودگی مدل، دی اکسید کربن انتشار یافته در جهان، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود را قبل از اعمال تغییرات نشان می دهد. جدول (۴-۵) تمام مقادیر جدول (۴-۴) را بعد از اعمال تغییرات نشان می دهد. همانطور که در جداول (۴-۴) و (۴-۵) مشاهده می شود، مقدار خطای محاسبه شده بعد از اعمال تغییرات کاهش پیدا کرده است (سایت بین المللی نفت امریکا، ۲۰۱۳).

جدول (۴-۴): مقادیر مربوط به آلودگی مدل، دی اکسید کربن انتشار یافته در دنیای واقعی، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات

Year	Model Pollution	CO_2 Emission	Growth Rate of Model	Growth Rate of CO^2 Emission
Dec ۱۹۶۵	۲،۵۷٤،٤۷۸،۱۳٦	۱۱۷۰۷,۷۸٦۵۷	۰,۰۳۵٦۵۷۵۰۱	۰,۰۵۰۷۸۹۸۸۳
Dec ۱۹۶۶	۲،٦٦٦،۲۷۷،۵۹۲	۱۲۳۰۲,٤۲۳٦۸	۰,۰۳۵٤۹۸۱۵۳	۰,۰۳۱۲۲۸٦۳۱
Dec ۱۹۶۷	۲،۷٦۰،۹۲۵،۵۲۳	۱۲٦۸٦,٦۱۱۵٤	۰,۰۳۵۳۳۰٦۳٤	۰,۰۵٤٤۱٦٦۷۸
Dec ۱۹۶۸	۲،۸۵۸،٤۷۰،۷۷۱	۱۳۳۷٦,۹۷٤۸	۰,۰۳۵۱۵۵۲٦۲	۰,۰٦۰٦۱۹۱٤۷
Dec ۱۹۶۹	۲،۹۵۸،۹٦۱،۰۵۹	۱٤۱۸۷,۸۷۵٦	۰,۰۳٤۹۷۲٤۲۳	۰,۰۵۷٤۳٦۲
Dec ۱۹۷۰	۳،۰٦۲،٤٤۳،۰۹۸	۱۵۰۰۲,۷۷۳۲٦	۰,۰۳٤۷۸۲٤۹	۰,۰۳۲۳۹۳٤۵٦
Dec ۱۹۷۱	۳،۱٦۸،۹٦۲،٤۹۵	۱۵٤۸۸,۷٦٤۹٤	۰,۰۳٤۵۸۵۷۹۳	۰,۰٤۹۱۳۸٤۹۹
Dec ۱۹۷۲	۳،۲۷۸،۵٦۳،۵۷٦	۱٦۲٤۹,۸۵۹٦	۰,۰۳٤۳۸۲٦۲٤	۰,۰۵٤۸۷۹۷۰۱
Dec ۱۹۷۳	۳،۳۹۱،۲۸۹،۱۹۵	۱۷۱٤۱,٦٤۷۰٤	۰,۰۳٤۱۷۳۲٤۲	-۰,۰۰٤۲۳۰٦۱۱
Dec ۱۹۷٤	۳،۵۰۷،۱۸۰،۵٤۰	۱۷۰٦۹,۱۲۷۳۹	۰,۰۳۳۹۵۷۸۷۳	۰,۰۰۱۹۹۳۰۵۹
Dec ۱۹۷۵	۳،٦۲٦،۲۷٦،۹۳۱	۱۷۱۰۳,۱٤۷۱٦	۰,۰۳۳۷۳٦۷۱٤	۰,۰۵٤۲۸۲۲۵۹
Dec ۱۹۷٦	۳،۷٤۸،٦۱۵،۰۹۹	۱۸۰۳۱,۵٤٤٦٤	۰,۰۳۳۵۰۹۹۳	۰,۰۳۲۸٦۰۵۳
Dec ۱۹۷۷	۳،۸۷٤،۲۳۱،٤٤٦	۱۸٦۲٤,۰۷۰۷۵	۰,۰۳۳۲۷۷٦۵٦	۰,۰۲٤۱۰۷٦۵۱
Dec ۱۹۷۸	٤،۰۰۳،۱۵٦،۷۸٦	۱۹۰۷۳,۰۵۳۳۵	۰,۰۳۳۰۳۹۹۹٤	۰,۰۳۱۷۲۱۱۲٤
Dec ۱۹۷۹	٤،۱۳۵،٤۲۱،۰٦۳	۱۹٦۷۸,۰۷۲۰٤	۰,۰۳۲۷۹۷۰۱۸	-۰,۰۱۷۲۲۱۱٤۱
Dec ۱۹۸۰	٤،۲۷۱،۰۵۰،۵٤۲	۱۹۳۳۹,۱۹۳۱۸	۰,۰۳۲۵٤۸۷٦۹	-۰,۰۱۳۱۵۸۰٤۲
Dec ۱۹۸۱	٤،٤۱۰،۰٦۷،۹۷۹	۱۹۰۸٤,۷۲۷۲۷	۰,۰۳۲۲۹۵۲۵۸	-۰,۰۰۸۷۰۲۷۱
Dec ۱۹۸۲	٤،۵۵۲،٤۹۲،۲٦۱	۱۸۹۱۸,٦۳۸٤۳	۰,۰۳۲۰۳٦٤٦۵	۰,۰۰۸٦۲۹۷۵۷
Dec ۱۹۸۳	٤،٦۹۸،۳۳۸،۰۲۱	۱۹۰۸۱,۹۰۱٦۷	۰,۰۳۱۷۷۲۳٤۱	۰,۰٤۱۳۲۵۲۹٦

[1] CO_2 Emission

ادامه جدول (۴-۴): مقادیر مربوط به آلودگی مدل، دی اکسید کربن انتشار یافته در دنیای واقعی، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات

Dec ۱۹۸٤	٤،۸٤۷،٦۱٥،۲۱۹	۱۹۸۷۰,٤٦٦۹	۰,۰۳۱٥۰۲۸۰٦	۰,۰۲۳۷۱٥٤٥۷
Dec ۱۹۸٥	٥،۰۰۰،۳۲۸،۷۰۳	۲۰۳٤۱,۷۰٤۱۱	۰,۰۳۱۲۲۷۷٥۲	۰,۰۲۰٥۹۳۳۷۷
Dec ۱۹۸٦	٥،۱٥٦،٤۷۷،۷۲۷	۲۰۷٦۰,٦۰۸٤۹	۰,۰۳۰۹٤۷۰۳۹	۰,۰۳۱٦۳۸۳٤۲
Dec ۱۹۸۷	٥،۳۱٦،۰٥٥،٤٤٦	۲۱٤۱۷,٤۳۹۷٤	۰,۰۳۰٦٦۰٥۰٤	۰,۰۳۳٤۷۸۱٥۲
Dec ۱۹۸۸	٥،٤۷۹،۰٤۸،۳۸۳	۲۲۱۳٤,٤٥٦۰٤	۰,۰۳۰۳٦۷۹٥۱	۰,۰۱۸۳۰۹۸۲۹
Dec ۱۹۸۹	٥،٦٤٥،٤۳٥،۸٥۸	۲۲٥۳۹,۷۳٤۱٥	۰,۰۳۰۰٦۹۱٦٤	۰,۰۰۲۹٦۱۱٥٥
Dec ۱۹۹۰	٥،۸۱٥،۱۸۹،۳۹٦	۲۲٦۰٦,٤۷۷۸	۰,۰۲۹۷٦۳۸۹۸	-۰,۰۰۱٤۲٦٥٥۷
Dec ۱۹۹۱	٥،۹۸۸،۲۷۲،۰۹۸	۲۲٥۷٤,۲۲۸۳۷	۰,۰۲۹٤٥۱۸۸٦	۰,۰۰٤۰۲٤۰۳
Dec ۱۹۹۲	٦،۱٦٤،٦۳۸،۰۰۸	۲۲٦٦٥,۰٦۷۷٤	۰,۰۲۹۱۳۲۹۰۱	۳,۰۳٥۰۷E-۰٥
Dec ۱۹۹۳	٦،۳٤٤،۲۳۱،۷۹٤	۲۲٦٦٥,۷٥٥٦٥	۰,۰۲۸۸۰٦۸٥۹	۰,۰۱۲٥۳۹۰۰۷
Dec ۱۹۹٤	٦،٥۲٦،۹۸۹،۱۸۲	۲۲۹٤۹,۹٦۱۷۱	۰,۰۲۸٤۷۳۷۸۸	۰,۰۲۲۳۹۲۹٥
Dec ۱۹۹٥	٦،۷۱۲،۸۳۷،۲۸۷	۲۳٤٦۳,۸۷۹۰٥	۰,۰۲۸۱۳۳۷٥٥	۰,۰۲٦٦۸۰۷۳۱
Dec ۱۹۹٦	٦،۹۰۱،٦۹٤،٦۰٦	۲٤۰۸۹,۹۱۲٥	۰,۰۲۷۷۸٦۸۳۷	۰,۰۱۱۱۸٥۸۰٦
Dec ۱۹۹۷	۷،۰۹۳،٤۷۰،۸٦۹	۲٤۳٥۹,۳۷۷٥۹	۰,۰۲۷٤۳۳۱۰۸	۰,۰۰۱۳۷۹۸۷٥
Dec ۱۹۹۸	۷،۲۸۸،۰٦٦،۸۲۲	۲٤۳۹۲,۹۹۰٤۷	۰,۰۲۷۰۷۲٦۳٥	۰,۰۱۳٥۲۱٦۲۷
Dec ۱۹۹۹	۷،٤۸٥،۳۷۳،۹۹٤	۲٤۷۲۲,۸۲۳٤	۰,۰۲٦۷۰٥٤۷٤	۰,۰۲٦٦٥٦٤۲۱
Dec ۲۰۰۰	۷،٦۸٥،۲۷٤،٤٥٦	۲٥۳۸۱,۸٤٥۳۸	۰,۰۲٦۳۳۱٦۷۳	۰,۰۰۸٤٥۹۱٥٦
Dec ۲۰۰۱	۷،۸۸۷،٦٤۰،٥۸۸	۲٥٥۹٦,٥٥٤۳۸	۰,۰۲٥۹٥۱۲٦۷	۰,۰۱۸٤۳۳٤۸۲
Dec ۲۰۰۲	۸،۰۹۲،۳۳٤،۸٥٥	۲٦۰٦۸,۳۸۷۹۹	۰,۰۲٥٥٦٤۲۸۱	۰,۰٤٥٤۹٥٦۰٤
Dec ۲۰۰۳	۸،۲۹۹،۲۰۹،٥۷۹	۲۷۲٥٤,۳۸٥۰٥	۰,۰۲٥۱۷۰۷۲۲	۰,۰٤۹٤۷۰٦۰٥
Dec ۲۰۰٤	۸،٥۰۸،۱۰٦،٦۸۰	۲۸٦۰۲,٦۷٥۹۷	۰,۰۲٤۷۷۰٥۷۸	۰,۰۲۹۷۳٤۷۷۳
Dec ۲۰۰٥	۸،۷۱۸،۸٥۷،۳۹۸	۲۹٤٥۳,۱۷۰۰٥	۰,۰۲٤۳٦۳۸۱۷	۰,۰۲۹٤۳۷۱۰٥
Dec ۲۰۰٦	۸،۹۳۱،۲۸۲،۰٤٤	۳۰۳۲۰,۱۸٦۱	۰,۰۲۳۹٥۰۳۹٤	۰,۰۲۸۹۱۳۲۱۸
Dec ۲۰۰۷	۹،۱٤٥،۱۸۹،۷٦٦	۳۱۱۹٦,۸٤۰۲۳	۰,۰۲۳٥۳۰۲٤۷	۰,۰۱۱۰۱۱۰۲۲
Dec ۲۰۰۸	۹،۳٦۰،۳۷۸،۳٤۰	۳۱٥٤۰,۳٤۹۳٤	۰,۰۲۳۱۰۳۳۰۱	-۰,۰۱۳۹٥۰۷٤۳
Dec ۲۰۰۹	۹،٥۷٦،٦۳۳،۹۷۸	۳۱۱۰۰,۳۳۸۰٤	۰,۰۲۲٦٦۹٤٦۷	۰,۰٥٥۹۳٦۲۲۲
Dec ۲۰۱۰	۹،۷۹۳،۷۳۱،۱٦۱	۳۲۸۳۹,۹۷۳٤۷	۰,۰۲۲۲۲۸٦٤۲	۰,۰۲۷٤۹۳۸٥
Dec ۲۰۱۱	۱۰،۰۱۱،٤۳۲،٥۰۳	۳۳۷٤۲,۸۷۰۷۷	۰,۰۲۱۷۸۰۷۱۳	۰,۰۲۱٤۳۲۹۲۸
Dec ۲۰۱۲	۱۰،۲۲۹،٤۸۸،٦٤۱	۳٤٤٦٦,۰۷۹۲۹		
Average of Growth Rate:			۰,۰۲۹۷۹۷۰٥٥	۰,۰۲۳٤٤۸۰۲٤
Error:			۰,۲۷۰۷۷۰٤	

جدول (۴-۵): مقادیر مربوط به آلودگی مدل، دی اکسید کربن انتشار یافته در دنیای واقعی، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود بعد از اعمال تغییرات

Year	Model Pollution	CO_2 Emission	Growth Rate of Model	Growth Rate of CO^2 Emission
Dec ۱۹۶۵	۲،۵۹۲،۱۷۲،۴۰۷,۲۸	۱۱۷۰۷,۷۸۶۵۷	۰,۰۳۴۶۱۰۱۷۶	۰,۰۵۰۷۸۹۸۸۳
Dec ۱۹۶۶	۲،۶۸۱،۸۸۷،۹۵۱,۵۰	۱۲۳۰۲,۴۲۳۶۸	۰,۰۳۴۲۵۴۱۲۵	۰,۰۳۱۲۲۸۶۳۱
Dec ۱۹۶۷	۲،۷۷۳،۷۵۳،۶۷۷,۰۷	۱۲۶۸۶,۶۱۱۵۴	۰,۰۳۳۸۷۴۰۱۵	۰,۰۵۴۴۱۶۶۷۸
Dec ۱۹۶۸	۲،۸۶۷،۷۱۱،۸۵۰,۱۸	۱۳۳۷۶,۹۷۴۸	۰,۰۳۳۴۶۹۷۴۲	۰,۰۶۰۶۱۹۱۴۷
Dec ۱۹۶۹	۲،۹۶۳،۶۹۳،۴۲۷,۱۳	۱۴۱۸۷,۸۷۵۶	۰,۰۳۳۰۴۱۲۱۷	۰,۰۵۷۴۳۶۲
Dec ۱۹۷۰	۳،۰۶۱،۶۱۷،۴۶۵,۴۳	۱۵۰۰۲,۷۷۳۲۶	۰,۰۳۲۵۸۸۴۱۴	۰,۰۳۲۳۹۳۴۵۶
Dec ۱۹۷۱	۳،۱۶۱،۳۹۰،۷۲۳,۴۹	۱۵۴۸۸,۷۶۴۹۴	۰,۰۳۲۱۱۱۴۲۸	۰,۰۴۹۱۳۸۴۹۹
Dec ۱۹۷۲	۳،۲۶۲،۹۰۷،۴۹۲,۷۱	۱۶۲۴۹,۸۵۹۶	۰,۰۳۱۶۱۰۵۲۶	۰,۰۵۴۸۷۹۷۰۱
Dec ۱۹۷۳	۳،۳۶۶،۰۴۹،۷۱۴,۷۴	۱۷۱۴۱,۶۴۷۰۴	۰,۰۳۱۰۸۶۱۹۵	-۰,۰۰۴۲۳۰۶۱۱
Dec ۱۹۷۴	۳،۴۷۰،۶۸۷،۳۹۴,۱۶	۱۷۰۶۹,۱۲۷۳۹	۰,۰۳۰۵۳۹۱۸	۰,۰۰۱۹۹۳۰۵۹
Dec ۱۹۷۵	۳،۵۷۶،۶۷۹،۳۴۲,۶۹	۱۷۱۰۳,۱۴۷۱۶	۰,۰۲۹۹۷۰۵۲۲	۰,۰۵۴۲۸۲۲۵۹
Dec ۱۹۷۶	۳،۶۸۳،۸۷۴،۲۸۹,۴۸	۱۸۰۳۱,۵۴۴۶۴	۰,۰۲۹۳۸۱۵۹۳	۰,۰۳۲۸۶۰۵۳
Dec ۱۹۷۷	۳،۷۹۲،۱۱۲،۳۸۳,۵۴	۱۸۶۲۴,۰۷۰۷۵	۰,۰۲۸۷۷۴۱۲۳	۰,۰۲۴۱۰۷۶۵۱
Dec ۱۹۷۸	۳،۹۰۱،۲۲۷،۰۹۲,۹۱	۱۹۰۷۳,۰۵۳۳۵	۰,۰۲۸۱۵۰۲۱۶	۰,۰۳۱۷۲۱۱۲۴
Dec ۱۹۷۹	۴،۰۱۱،۰۴۷،۴۷۹,۳۵	۱۹۶۷۸,۰۷۲۰۴	۰,۰۲۷۵۱۲۳۴۴	-۰,۰۱۷۲۲۱۱۴۱
Dec ۱۹۸۰	۴،۱۲۱،۴۰۰،۷۹۸,۶۵	۱۹۳۳۹,۱۹۳۱۸	۰,۰۲۶۸۶۳۳۲۹	-۰,۰۱۳۱۵۸۰۴۲
Dec ۱۹۸۱	۴،۲۳۲،۱۱۵،۳۴۴,۲۳	۱۹۰۸۴,۷۲۷۲۷	۰,۰۲۶۲۰۶۲۹۸	-۰,۰۰۸۷۰۲۷۱
Dec ۱۹۸۲	۴،۳۴۳،۰۲۳،۴۱۹,۸۸	۱۸۹۱۸,۶۳۸۴۳	۰,۰۲۵۰۴۴۶۱۹	۰,۰۰۸۶۲۹۷۵۷
Dec ۱۹۸۳	۴،۴۵۳،۹۶۴،۲۹۹,۳۹	۱۹۰۸۱,۹۰۱۶۷	۰,۰۲۴۸۸۱۸۱۴	۰,۰۴۱۳۲۵۲۹۶
Dec ۱۹۸۴	۴،۵۶۴،۷۸۷،۰۱۰,۲۸	۱۹۸۷۰,۴۶۶۹	۰,۰۲۴۲۲۱۴۵	۰,۰۲۳۷۱۵۴۵۷
Dec ۱۹۸۵	۴،۶۷۵،۳۵۲،۷۷۲,۲۰	۲۰۳۴۱,۷۰۴۱۱	۰,۰۲۳۵۶۷۰۲۵	۰,۰۲۰۵۹۳۳۷۷
Dec ۱۹۸۶	۴،۷۸۵،۵۳۶،۹۲۸,۴۰	۲۰۷۶۰,۶۰۸۴۹	۰,۰۲۲۹۲۱۸۳۹	۰,۰۳۱۶۳۸۳۴۲
Dec ۱۹۸۷	۴،۸۹۵،۲۳۰،۲۳۵,۶۸	۲۱۴۱۷,۴۳۹۷۴	۰,۰۲۲۲۸۸۸۷۷	۰,۰۳۳۴۷۸۱۵۲
Dec ۱۹۸۸	۵،۰۰۴،۳۳۹،۴۲۰,۱۸	۲۲۱۳۴,۴۵۶۰۴	۰,۰۲۱۶۷۰۷۰۱	۰,۰۱۸۳۰۹۸۲۹
Dec ۱۹۸۹	۵،۱۱۲،۷۸۶،۹۶۲,۰۹	۲۲۵۳۹,۷۳۴۱۵	۰,۰۲۱۰۶۹۳۶۴	۰,۰۰۲۹۶۱۱۵۵
Dec ۱۹۹۰	۵،۲۲۰،۵۱۰،۱۳۳,۰۵	۲۲۶۰۶,۴۷۷۸	۰,۰۲۰۴۸۶۳۵۷	-۰,۰۰۱۴۲۶۵۵۷
Dec ۱۹۹۱	۵،۳۲۷،۴۵۹،۳۶۹,۴۱	۲۲۵۷۴,۲۲۸۳۷	۰,۰۱۹۹۲۲۵۸۳	۰,۰۰۴۰۲۴۰۳
Dec ۱۹۹۲	۵،۴۳۳،۵۹۶،۱۲۰,۰۹	۲۲۶۶۵,۰۶۷۷۴	۰,۰۱۹۳۷۸۴۱	۳,۰۳۵۰۷E-۰۵
Dec ۱۹۹۳	۵،۵۳۸،۸۹۰،۵۷۵,۰۳	۲۲۶۶۵,۷۵۵۶۵	۰,۰۱۸۸۵۳۸۲۷	۰,۰۱۲۵۳۹۰۰۷
Dec ۱۹۹۴	۵،۶۴۳،۳۱۹،۸۵۹,۱۱	۲۲۹۴۹,۹۶۱۷۱	۰,۰۱۸۳۴۸۴۶۸	۰,۰۲۲۳۹۲۹۵
Dec ۱۹۹۵	۵،۷۴۶،۸۶۶،۱۳۰,۵۵	۲۳۴۶۳,۸۷۹۰۵	۰,۰۱۷۸۶۱۶۱۷	۰,۰۲۶۶۸۰۷۳۱
Dec ۱۹۹۶	۵،۸۴۹،۵۱۴،۴۵۰,۹۹	۲۴۰۸۹,۹۱۲۵	۰,۰۱۷۳۹۲۲۵۹	۰,۰۱۱۱۸۵۸۰۶
Dec ۱۹۹۷	۵،۹۵۱،۲۵۰،۷۲۳,۶۶	۲۴۳۵۹,۳۷۷۵۹	۰,۰۱۶۹۳۹۱۵۳	۰,۰۰۱۳۷۹۸۷۵
Dec ۱۹۹۸	۶،۰۵۲،۰۵۹،۸۷۰,۶۵	۲۴۳۹۲,۹۹۰۴۷	۰,۰۱۶۵۰۰۹۰۴	۰,۰۱۳۵۲۱۶۲۷
Dec ۱۹۹۹	۶،۱۵۱،۹۲۴،۳۲۸,۹۴	۲۴۷۲۲,۸۲۳۴	۰,۰۱۶۰۷۶۰۳۶	۰,۰۲۶۶۵۶۴۲۱
Dec ۲۰۰۰	۶،۲۵۰،۸۲۲،۸۸۷,۵۷	۲۵۳۸۱,۸۴۵۳۸	۰,۰۱۵۶۶۳۰۵۲	۰,۰۰۸۴۵۹۱۵۶

ادامه جدول (۴-۵): مقادیر مربوط به آلودگی مدل، دی اکسید کربن انتشار یافته در دنیای واقعی، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود بعد از اعمال تغییرات

Dec ۲۰۰۱	٦،۳٤۸،۷۲۹،۸٥۰,۹۱	۲٥٥۹٦,٥٥٤۳۸	۰,۰۱٥۲٦۰٤۷٦	۰,۰۱۸٤۳۳٤۸۲
Dec ۲۰۰۲	٦،٤٤٥،٦۱٤،٤۸۷,۹٦	۲٦۰٦۸,۳۸۷۹۹	۰,۰۱٤۸٦٦۸۸۷	۰,۰٤٥٤۹٥٦۰٤
Dec ۲۰۰۳	٦،٥٤۱،٤٤۰،۷۱۳,۲۹	۲۷۲٥٤,۳۸٥۰٥	۰,۰۱٤٤۸۰۹٤۲	۰,۰٤۹٤۷۰٦۰٥
Dec ۲۰۰٤	٦،٦۳٦،۱٦٦،۹۳۸,٤۸	۲۸٦۰۲,٦۷٥۹۷	۰,۰۱٤۱۰۱۳۷۷	۰,۰۲۹۷۳٤۷۷۳
Dec ۲۰۰٥	٦،۷۲۹،۷٤٦،۰۳۳,٥۳	۲۹٤٥۳,۱۷۰۰٥	۰,۰۱۳۷۲۷۰۰۳	۰,۰۲۹٤۳۷۱۰٥
Dec ۲۰۰٦	٦،۸۲۲،۱۲٥،۲۷۸,٥۲	۳۰۳۲۰,۱۸٦۱	۰,۰۱۳۳٥٦٥٦٦	۰,۰۲۸۹۱۳۲۱۸
Dec ۲۰۰۷	٦،۹۱۳،۲٤٥،٤٤٦,۸۹	۳۱۱۹٦,۸٤۰۲۳	۰,۰۱۲۹۸۸٦۳٦	۰,۰۱۱۰۱۱۰۲۲
Dec ۲۰۰۸	۷،۰۰۳،۰۳۹،۰۷۸,۷۰	۳۱٥٤۰,۳٤۹۳٤	۰,۰۱۲٦۲۱۷٦۳	-۰,۰۱۳۹٥۰۷٤۳
Dec ۲۰۰۹	۷،۰۹۱،٤۲۹،۷۸۰,٤۸	۳۱۱۰۰,۳۳۸۰٤	۰,۰۱۲۲٥٤٥۹۸	۰,۰٥٥۹۳٦۲۲۲
Dec ۲۰۱۰	۷،۱۷۸،۳۳۲،٤۰۰,٦۷	۳۲۸۳۹,۹۷۳٤۷	۰,۰۱۱۸۸٥۹۳٤	۰,۰۲۷٤۹۳۸٥
Dec ۲۰۱۱	۷،۲٦۳،٦٥۳،٥۸۸,۲٦	۳۳۷٤۲,۸۷۰۷۷	۰,۰۱۱٥۱٤۷۱۸	۰,۰۲۱٤۳۲۹۲۸
Dec ۲۰۱۲	۷،۳٤۷،۲۹۲،٥۰۸,٤٤	۳٤٤٦٦,۰۷۹۲۹		
Average of Growth Rate:			۰,۰۲۲٤٤۰۲۲۸	۰,۰۲۳٤٤۸۰۲٤
Error:			۰,۰٤۲۹۸۰۰۲۲	

۴-۵-۳- شاخص مربوط به سرمایه گذاری کل

در این بخش جهت تعیین شاخص سرمایه گذاری کل از تولید ناخالص داخلی[۱] در دنیای واقعی استفاده خواهد شد. جدول (۴-۶) مقادیر مربوط به سرمایه گذاری مدل، رشد سالانه مدل، رشد سالانه تولید ناخالص داخلی در دنیای واقعی و خطای موجود را قبل از اعمال تغییرات نشان می دهد. جدول (۴-۷) تمام مقادیر جدول (۴-۶) را بعد از اعمال تغییرات نشان می دهد. همانطور که در جداول (۴-۶) و (۴-۷) مشاهده می شود، مقدار خطای محاسبه شده بعد از اعمال تغییرات حدود ۰,۰۲ افزایش پیدا کرده است (گزارش سرمایه گذاری جهانی[۲]، ۲۰۱۳)

[۱] Gross Domestic Product
[۲] World Investment Report

جدول (۴-۶): مقادیر مربوط به سرمایه گذاری مدل، رشد سالانه مدل، رشد سالانه تولید ناخالص داخلی دنیای واقعی و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات

Year	Capital Investment	Growth Rate of Capital Investment	Growth Rate of GDP
Dec ۱۹۷۰	٤،٠٥٤،٠٧٤،٤٨٧	۰,۰۲۲٤۸٦۳۷۹	۰,۰٤۱۹٥۸۷۸۸
Dec ۱۹۷۱	٤،۱٤٥،۲۳٥،۹٤۱	۰,۰۲۲۱٥۱٥۳	۰,۰٥٤۸۸۷۹۰۱
Dec ۱۹۷۲	٤،۲۳۷،۰٥۹،۲٦۰	۰,۰۲۱۸۱٥۳۸۹	۰,۰٦٤۸۱۷۹۸۹
Dec ۱۹۷۳	٤،۳۲۹،٤۹۲،۳٥۸	۰,۰۲۱٤۷۸۰٤۷	۰,۰۱۹۹۹۱۲٦۲
Dec ۱۹۷٤	٤،٤۲۲،٤۸۱،٤۰۰	۰,۰۲۱۱۳۹٥۸۷	۰,۰۰۸٥۸۰۱۷٦
Dec ۱۹۷٥	٤،٥۱٥،۹۷۰،۸۲۹	۰,۰۲۰۸۰۰۰۸۳	۰,۰٥۱۰٦۲۳٦٥
Dec ۱۹۷٦	٤،٦۰۹،۹۰۳،۳۹٦	۰,۰۲۰٤٥۹٦۰۲	۰,۰٤۰۲۸۳۹۹٦
Dec ۱۹۷۷	٤،۷۰٤،۲۲۰،۱۸۲	۰,۰۲۰۱۱۸۲	۰,۰٤۳۸٥۲٦۷٥
Dec ۱۹۷۸	٤،۷۹۸،۸٦۰،٦۲٦	۰,۰۱۹۷۷٥۹۲٦	۰,۰٤۰۱۸۸۹۲
Dec ۱۹۷۹	٤،۸۹۳،۷٦۲،٥٤۰	۰,۰۱۹٤۳۲۸۱۸	۰,۰۱۸۳٤۲۲۸۲
Dec ۱۹۸۰	٤،۹۸۸،۸٦۲،۱۳۷	۰,۰۱۹۰۸۸۹۰۳	۰,۰۱۹۰۰۱٦٦۳
Dec ۱۹۸۱	٥،۰۸٤،۰۹٤،۰٤۱	۰,۰۱۸۷٤٤۱۹۹	۰,۰۰٥٤۱۹٥۱۷
Dec ۱۹۸۲	٥،۱۷۹،۳۹۱،۳۱۱	۰,۰۱۸۳۹۸۷۱٤	۰,۰۲۸۰٦۸۱٥۱
Dec ۱۹۸۳	٥،۲۷٤،٦۸٥،٤٥۰	۰,۰۱۸۰٥۲٤٤٥	۰,۰٤٥۹۳۳٦۱۹
Dec ۱۹۸٤	٥،۳٦۹،۹۰٦،٤۱۷	۰,۰۱۷۷۰٥۳۷۹	۰,۰۳٦٥٤٤٥۹٦
Dec ۱۹۸٥	٥،٤٦٤،۹۸۲،٦٤٥	۰,۰۱۷۳٥۷٤۹۳	۰,۰۳۰۹۹۲۱٦٤
Dec ۱۹۸٦	٥،٥٥۹،۸٤۱،۰٤٥	۰,۰۱۷۰۰۸۷٥٦	۰,۰۳٤۳۳۲۰٥٦
Dec ۱۹۸۷	٥،٦٥٤،٤۰۷،۰۲۲	۰,۰۱٦٦٥۹۱۲۳	۰,۰٤٥۲٤٦٦٦۸
Dec ۱۹۸۸	٥،۷٤۸،٦۰٤،٤۸٥	۰,۰۱٦۳۰۸٥٤٥	۰,۰۳۸۱۲۸٦٦۷
Dec ۱۹۸۹	٥،۸٤۲،۳٥٥،۸٥۹	۰,۰۱٥۹٥٦۹٦۱	۰,۰۲۹۹۳۸۹٦
Dec ۱۹۹۰	٥،۹۳٥،٥۸۲،۱۰۳	۰,۰۱٥٦۰٤۳۰۳	۰,۰۱۱٦٤٥۷۸۹
Dec ۱۹۹۱	٦،۰۲۸،۲۰۲،۷۲۷	۰,۰۱٥۲٥۰٥۰۷	۰,۰۱۸۲٦۸۱۰۱
Dec ۱۹۹۲	٦،۱۲۰،۱۳٥،۸۷۲	۰,۰۱٤۸۹٥٦۱۱	۰,۰۱٥٤٤۱۱۳۹
Dec ۱۹۹۳	٦،۲۱۱،۲۹۹،۰۳٦	۰,۰۱٤٥۳۹۷۷۱	۰,۰۳۱۳۸۲٦۸۹
Dec ۱۹۹٤	٦،۳۰۱،٦۰۹،۸۹۹	۰,۰۱٤۱۸۳۱٤٤	۰,۰۲۸٤٦۲٦۹۸
Dec ۱۹۹٥	٦،۳۹۰،۹۸٦،٥٤۱	۰,۰۱۳۸۲٥۸۸٥	۰,۰۳۲٥۸۸۹۲٥
Dec ۱۹۹٦	٦،٤۷۹،۳٤۷،٥۸۸	۰,۰۱۳٤٦۸۱٤۲	۰,۰۳۷۲٤۳۳۸۱
Dec ۱۹۹۷	٦،٥٦٦،٦۱۲،۳٦٤	۰,۰۱۳۱۱۰۰٥۸	۰,۰۲٥۰٦۸٤۷٤
Dec ۱۹۹۸	٦،٦٥۲،۷۰۱،۰۳٥	۰,۰۱۲۷٥۱۷۷۲	۰,۰۳۳۸۲۲۲
Dec ۱۹۹۹	٦،۷۳۷،٥۳٤،۷٦۰	۰,۰۱۲۳۹۳٤۱۸	۰,۰٤۲۹۳٦۸٤۲
Dec ۲۰۰۰	٦،۸۲۱،۰۳٥،۸٤٦	۰,۰۱۲۰۳٥۱۲۹	۰,۰۱۸۸۳۱٤۷٥
Dec ۲۰۰۱	٦،۹۰۳،۱۲۷،۸۸۹	۰,۰۱۱٦۷۷۰۳۱	۰,۰۲۱۳۹٤۱۹۷
Dec ۲۰۰۲	٦،۹۸۳،۷۳٥،۹۳۰	۰,۰۱۱۳۱۹۲٥۲	۰,۰۲۷۸۳٤۲۸۸
Dec ۲۰۰۳	۷،۰٦۲،۷۸٦،٥۹۸	۰,۰۱۰۹٦۱۹۱٤	۰,۰٤۰۰۱۹۸۹۲
Dec ۲۰۰٤	۷،۱٤۰،۲۰۸،۲٥٥	۰,۰۱۰٦۰٥۱۳۷	۰,۰۳٥۳٤۱٥۸۷

ادامه جدول (۴-۶): مقادیر مربوط به سرمایه گذاری مدل، رشد سالانه مدل، رشد سالانه تولید ناخالص داخلی دنیای واقعی و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات

Dec ۲۰۰۵	۷،۲۱۵،۹۳۱،۱۴۴	۰,۰۱۰۲۴۹۰۴۲	۰,۰۴۱۰۹۷۹۹۷
Dec ۲۰۰۶	۷،۲۸۹،۸۸۷،۵۲۵	۰,۰۰۹۸۹۳۷۴۵	۰,۰۴۰۳۰۶۶۰۲
Dec ۲۰۰۷	۷،۳۶۲،۰۱۱،۸۱۶	۰,۰۰۹۵۳۹۳۶۴	۰,۰۱۳۷۸۸۷۵۴
Dec ۲۰۰۸	۷،۴۳۲،۲۴۰،۷۲۴	۰,۰۰۹۱۸۶۰۱۲	-۰,۰۲۱۰۷۸۱۷۶
Dec ۲۰۰۹	۷،۵۰۰،۵۱۳،۳۷۶	۰,۰۰۸۸۳۳۸۰۴	۰,۰۴۰۲۲۷۶۱۹
Dec ۲۰۱۰	۷،۵۶۶،۷۷۱،۴۴۲	۰,۰۰۸۴۸۲۸۵۳	۰,۰۲۷۳۸۸۸۱۸
Dec ۲۰۱۱	۷،۶۳۰،۹۵۹،۲۵۵	۰,۰۰۸۱۳۳۲۷۱	۰,۰۲۲۴۰۶۹
Dec ۲۰۱۲	۷،۶۹۳،۰۲۳،۹۱۸		
Average of Growth Rate:		۰,۰۱۵۳۷۸۰۳	۰,۰۳۰۵۲۳۶۳۳
Error:		۰,۴۹۶۱۹۲۶۹۱	

جدول (۴-۷): مقادیر مربوط به سرمایه گذاری مدل، رشد سالانه مدل، رشد سالانه تولید ناخالص داخلی دنیای واقعی و خطای موجود بعد از اعمال تغییرات

Year	Capital Investment	Growth Rate of Capital Investment	Growth Rate of GDP
Dec ۱۹۷۰	۴،۰۶۷،۹۸۳،۲۴۷	۰,۰۲۲۵۶۶۳۶۴	۰,۰۴۱۹۵۸۷۸۸
Dec ۱۹۷۱	۴،۱۵۹،۷۸۲،۸۳۸	۰,۰۲۲۲۰۴۰۹۷	۰,۰۵۴۸۸۷۹۰۱
Dec ۱۹۷۲	۴،۲۵۲،۱۴۷،۰۶۰	۰,۰۲۱۸۳۸۰۵	۰,۰۶۴۸۱۷۹۸۹
Dec ۱۹۷۳	۴،۳۴۵،۰۰۵،۶۵۸	۰,۰۲۱۴۶۸۲۵۶	۰,۰۱۹۹۹۱۲۶۲
Dec ۱۹۷۴	۴،۴۳۸،۲۸۵،۳۵۱	۰,۰۲۱۰۹۴۷۶۳	۰,۰۰۸۵۸۰۱۷۶
Dec ۱۹۷۵	۴،۵۳۱،۹۰۹،۹۲۸	۰,۰۲۰۷۱۷۶۳۶	۰,۰۵۱۰۶۲۳۶۵
Dec ۱۹۷۶	۴،۶۲۵،۸۰۰،۳۸۷	۰,۰۲۰۳۳۶۹۶۲	۰,۰۴۰۲۸۳۹۹۶
Dec ۱۹۷۷	۴،۷۱۹،۸۷۵،۱۱۲	۰,۰۱۹۹۵۲۸۵۵	۰,۰۴۳۸۵۲۶۷۵
Dec ۱۹۷۸	۴،۸۱۴،۰۵۰،۰۹۴	۰,۰۱۹۵۶۰۴۶۱	۰,۰۴۰۱۸۸۹۲
Dec ۱۹۷۹	۴،۹۰۸،۲۳۹،۲۰۲	۰,۰۱۹۱۷۴۹۶	۰,۰۱۸۳۴۲۲۸۲
Dec ۱۹۸۰	۵،۰۰۲،۳۵۴،۴۹۳	۰,۰۱۸۷۸۱۵۷۳	۰,۰۱۹۰۰۱۶۶۳
Dec ۱۹۸۱	۵،۰۹۶،۳۰۶،۵۸۱	۰,۰۱۸۳۸۵۵۶۱	۰,۰۰۵۴۱۹۵۱۷
Dec ۱۹۸۲	۵،۱۹۰،۰۰۵،۰۳۶	۰,۰۱۷۹۸۷۲۲۸	۰,۰۲۸۰۶۸۱۵۱
Dec ۱۹۸۳	۵،۲۸۳،۳۵۸،۸۳۸	۰,۰۱۷۵۸۶۹۱۸	۰,۰۴۵۹۳۳۶۱۹
Dec ۱۹۸۴	۵،۳۷۶،۲۷۶،۸۳۷	۰,۰۱۷۱۸۵۰۱۷	۰,۰۳۶۵۴۴۵۹۶
Dec ۱۹۸۵	۵،۴۶۸،۶۶۸،۲۴۸	۰,۰۱۶۷۸۱۹۴۳	۰,۰۳۰۹۹۲۱۶۴
Dec ۱۹۸۶	۵،۵۶۰،۴۴۳،۱۲۸	۰,۰۱۶۳۷۸۱۴۱	۰,۰۳۴۳۳۲۰۵۶

ادامه جدول (۴-۷): مقادیر مربوط به سرمایه گذاری مدل، رشد سالانه مدل، رشد سالانه تولید ناخالص داخلی دنیای واقعی و خطای موجود بعد از اعمال تغییرات

Dec ۱۹۸۷	۵،۶۵۱،۵۱۲،۸۴۹	۰,۰۱۵۹۷۴۰۷۲	۰,۰۴۵۲۴۶۶۸
Dec ۱۹۸۸	۵،۷۴۱،۷۹۰،۵۲۱	۰,۰۱۵۵۷۰۲۰۴	۰,۰۳۸۱۲۸۶۶۷
Dec ۱۹۸۹	۵،۸۳۱،۱۹۱،۳۷۱	۰,۰۱۵۱۶۶۹۹۸	۰,۰۲۹۹۳۸۹۶
Dec ۱۹۹۰	۵،۹۱۹،۶۳۳،۰۳۹	۰,۰۱۴۷۶۴۸۹۵	۰,۰۱۱۶۴۵۷۸۹
Dec ۱۹۹۱	۶،۰۰۷،۰۳۵،۷۹۹	۰,۰۱۴۳۶۴۳۰۹	۰,۰۱۸۲۶۸۱۰۱
Dec ۱۹۹۲	۶،۰۹۳،۳۲۲،۷۱۷	۰,۰۱۳۹۶۵۶۹۵	۰,۰۱۵۴۴۱۱۳۹
Dec ۱۹۹۳	۶،۱۷۸،۴۲۰،۲۰۴	۰,۰۱۳۵۶۹۵۶۲	۰,۰۳۱۳۸۲۶۸۹
Dec ۱۹۹۴	۶،۲۶۲،۲۵۸،۶۶۲	۰,۰۱۳۱۷۶۳۶۵	۰,۰۲۸۴۶۲۶۹۸
Dec ۱۹۹۵	۶،۳۴۴،۷۷۲،۴۶۸	۰,۰۱۲۷۸۶۴۸۳	۰,۰۳۲۵۸۸۹۲۵
Dec ۱۹۹۶	۶،۴۲۵،۸۹۹،۷۹۵	۰,۰۱۲۴۰۰۲۲۱	۰,۰۳۷۲۴۳۳۸۱
Dec ۱۹۹۷	۶،۵۰۵،۵۸۲،۳۷۴	۰,۰۱۲۰۱۷۸۰۸	۰,۰۲۵۰۶۸۴۷۴
Dec ۱۹۹۸	۶،۵۸۳،۷۶۵،۲۱۵	۰,۰۱۱۶۳۹۴۰۴	۰,۰۳۳۸۲۲۲
Dec ۱۹۹۹	۶،۶۶۰،۳۹۶،۳۱۹	۰,۰۱۱۲۶۵۱۰۳	۰,۰۴۲۹۳۶۸۴۲
Dec ۲۰۰۰	۶،۷۳۵،۴۲۶،۳۷۳	۰,۰۱۰۸۹۴۹۴۵	۰,۰۱۸۸۳۱۴۷۵
Dec ۲۰۰۱	۶،۸۰۸،۸۰۸،۴۷۰	۰,۰۱۰۵۲۸۹۱۸	۰,۰۲۱۳۹۴۱۹۷
Dec ۲۰۰۲	۶،۸۸۰،۴۹۷،۸۵۷	۰,۰۱۰۱۶۶۹۷۷	۰,۰۲۷۸۳۴۲۸۸
Dec ۲۰۰۳	۶،۹۵۰،۴۵۱،۷۱۹	۰,۰۰۹۸۰۹۰۴۵	۰,۰۴۰۰۱۹۸۹۲
Dec ۲۰۰۴	۷،۰۱۸،۶۲۹،۰۰۹	۰,۰۰۹۴۵۵۰۲۷	۰,۰۳۵۳۴۱۵۸۷
Dec ۲۰۰۵	۷،۰۸۴،۹۹۰،۳۳۳	۰,۰۰۹۱۰۴۸۱۸	۰,۰۴۱۰۹۷۹۹۷
Dec ۲۰۰۶	۷،۱۴۹،۴۹۷،۸۸۲	۰,۰۰۸۷۵۸۳۱۳	۰,۰۴۰۳۰۶۶۰۲
Dec ۲۰۰۷	۷،۲۱۲،۱۱۵،۴۲۵	۰,۰۰۸۴۱۵۴۱۵	۰,۰۱۳۷۸۸۷۵۴
Dec ۲۰۰۸	۷،۲۷۲،۸۰۸،۳۷۱	۰,۰۰۸۰۷۶۰۳۹	-۰,۰۲۱۰۷۸۱۷۶
Dec ۲۰۰۹	۷،۳۳۱،۵۴۳،۸۵۳	۰,۰۰۷۷۴۰۱۱۵	۰,۰۴۰۲۲۷۶۱۹
Dec ۲۰۱۰	۷،۳۸۸،۲۹۰،۸۴۸	۰,۰۰۷۴۰۷۵۹۱	۰,۰۲۷۳۸۸۸۱۸
Dec ۲۰۱۱	۷،۴۴۳،۰۲۰،۲۸۷	۰,۰۰۷۰۷۸۴۳۲	۰,۰۲۲۴۰۶۹
Dec ۲۰۱۲	۷،۴۹۵،۷۰۵،۱۹۷		
Average of Growth Rate:		۰,۰۱۴۶۶۹۱۰۸	۰,۰۳۰۵۲۳۶۳۳
Error:		۰,۵۱۹۴۱۸۰۲۵	

۴-۵-۴- شاخص مربوط به سرمایه گذاری در کشاورزی

در این بخش از ارزش افزوده کل در دنیای واقعی جهت تعیین سرمایه گذاری در کشاورزی استفاده خواهد شد. ارزش افزوده کل شامل سرمایه گذاری در کشاورزی، صنایع و خدمات می باشد، بنابراین می توان از بخش کشاورزی ارزش افزوده کل به عنوان شاخص استفاده کرد. جدول (۴-۸) مقادیر مربوط به سرمایه گذاری در کشاورزی مدل، دنیای واقعی، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود را قبل از اعمال تغییرات نشان می دهد. جدول (۴-۹) تمام مقادیر جدول (۴-۸) را بعد از اعمال تغییرات نشان می دهد. همانطور که در جداول (۴-۸) و (۴-۹) مشاهده می شود، مقدار خطای محاسبه شده بعد از اعمال تغییرات کاهش پیدا کرده است (اطلاعات بانک جهانی، ۲۰۱۳)

جدول (۴-۸): مقادیر مربوط به سرمایه گذاری درکشاورزی مدل، دنیای واقعی، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات

Year	Model Investment in Agriculture	Real Investment in Agriculture	Growth Rate of Model	Growth Rate of Real
Dec ۱۹۷۰	۱۱۰۷۵۸۲۹۴۶	۳۱۲۲۱۳,۱۴۳۶	۰,۰۳۱۷۸۹۰۹۱	۰,۰۵۰۱۱۱۳۴۲
Dec ۱۹۷۱	۱۱۹۴۳۸۱۴۵۶	۳۲۷۸۵۸,۵۶۳۲	۰,۰۳۱۳۴۱۱۹۲	۰,۱۱۴۸۲۳۸۵۳
Dec ۱۹۷۲	۱۲۳۱۸۱۴۷۹۴	۳۶۵۵۰۴,۵۴۶۷	۰,۰۳۰۸۷۹۴۳۱	۰,۲۹۰۹۴۹۸۸۲
Dec ۱۹۷۳	۱۲۶۹۸۵۲۵۳۳	۴۷۱۸۴۸,۰۵۱۶	۰,۰۳۰۴۰۴۴۸۷	۰,۰۶۳۱۴۶۶۴۹
Dec ۱۹۷۴	۱۳۰۸۴۶۱۷۴۸	۵۰۱۶۴۳,۶۷۴۸	۰,۰۲۹۹۱۷۰۳۲	۰,۰۶۹۵۸۱۹
Dec ۱۹۷۵	۱۳۴۷۶۰۷۰۴۰	۵۳۶۵۴۸,۹۹۴۶	۰,۰۲۹۴۱۷۷۳۱	۰,۰۳۳۹۴۷۵۸۷
Dec ۱۹۷۶	۱۳۸۷۲۵۰۵۸۲	۵۵۴۷۶۳,۵۳۸۳	۰,۰۲۸۹۰۷۲۳۵	۰,۰۹۶۴۷۶۷۰۹
Dec ۱۹۷۷	۱۴۲۷۳۵۲۱۶۱	۶۰۸۲۸۵,۲۹۸۸	۰,۰۲۸۳۸۶۱۸۴	۰,۱۵۰۰۶۷۱۵۵
Dec ۱۹۷۸	۱۴۶۷۸۶۹۲۴۲	۶۹۹۵۶۸,۹۴۳۱	۰,۰۲۷۸۵۵۲۰۱	۰,۱۱۹۸۵۵۵۴۷
Dec ۱۹۷۹	۱۵۰۸۷۵۷۰۳۴	۷۸۳۴۱۶,۱۶۱۴	۰,۰۲۷۳۱۴۸۹۲	۰,۰۳۹۴۸۳۰۱۸
Dec ۱۹۸۰	۱۵۴۹۹۶۸۵۶۹	۸۱۴۳۴۷,۷۹۵۵	۰,۰۲۶۷۶۵۸۴۲	۰,۰۲۰۹۹۹۸۱۴
Dec ۱۹۸۱	۱۵۹۱۴۵۴۷۸۳	۸۳۱۴۴۸,۹۴۷۹	۰,۰۲۶۲۰۸۶۱۶	-۰,۰۰۰۷۲۷۴۴۶
Dec ۱۹۸۲	۱۶۳۳۱۶۴۶۱۱	۸۳۰۸۴۴,۱۱۴	۰,۰۲۵۶۴۳۷۵۳	۰,۰۳۶۳۳۰۸۱۴
Dec ۱۹۸۳	۱۶۷۵۰۴۵۰۸۰	۸۶۱۰۲۹,۳۵۷۳	۰,۰۲۵۰۷۱۷۶۷	۰,۰۲۱۱۶۲۸۶۸
Dec ۱۹۸۴	۱۷۱۷۰۴۱۴۲۱	۸۷۹۲۵۱,۲۰۷۸	۰,۰۲۴۴۹۳۱۴۷	-۰,۰۴۱۱۰۱۰۶۶
Dec ۱۹۸۵	۱۷۵۹۰۹۷۱۶۸	۸۴۳۱۱۳,۰۴۶	۰,۰۲۳۹۰۸۳۴۹	۰,۰۵۰۰۳۸۸۶۴
Dec ۱۹۸۶	۱۸۰۱۱۵۴۲۷۷	۸۸۵۳۰۱,۴۶۵۴	۰,۰۲۳۳۱۷۸۰۳	۰,۰۵۸۸۲۸۱۱

ادامه جدول (۴-۸): مقادیر مربوط به سرمایه گذاری درکشاورزی مدل، دنیای واقعی، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود قبل از اعمال تغییرات

Dec ۱۹۸۷	۱۸٤۳۱٥۳۲۳۸	۹۳۷۳۸۲,۰۷۷۱	۰,۰۲۲۷۲۱۹۰۸	۰,۱۰۳۹٥٥۳٤۱
Dec ۱۹۸۸	۱۸۸٥۰۳۳۱۹۷	۱۰۳٤۸۲۷,۹٥۱	۰,۰۲۲۱۲۱۰۳۱	۰,۰۳۹٤۸٥۲۸۸
Dec ۱۹۸۹	۱۹۲٦۷۳۲۰۷٤	۱۰۷٥٦۸۸,٤۳۱	۰,۰۲۱٥۱٥٥۰٦	۰,۰٦٦۱۱۲٦٥۷
Dec ۱۹۹۰	۱۹٦۸۱۸٦٦۹۰	۱۱٤٦۸۰٥,۰٥۱	۰,۰۲۰۹۰٥٦۳۹	-۰,۰۲۹۹۱۰۸۸۷
Dec ۱۹۹۱	۲۰۰۹۳۳۲۸۹۰	۱۱۱۲٥۰۳,۰۹٥	۰,۰۲۰۲۹۱۷۲۳	-۰,۰۲٦۰۱٤۲
Dec ۱۹۹۲	۲۰٥۰۱۰٥۷۱٥	۱۰۸۳٥٦۲,۲۱٦	۰,۰۱۹٦۷٤۲۸۷	-۰,۰۱۸۸٤۳۷۹۱
Dec ۱۹۹۳	۲۰۹۰٤٤۰۰۸۳	۱۰٦۳۱٤۳,۷۹۷	۰,۰۱۹۰٥٤۰۹٤	۰,۰۳۹۷۸۲٤۲۲
Dec ۱۹۹٤	۲۱۳۰۲۷۱٥۲٤	۱۱۰٥٤۳۸,۲۳۲	۰,۰۱۸٤۳۱۸۷۷	۰,۰۷۸۷۹۲۳۲٥
Dec ۱۹۹٥	۲۱٦۹٥۳٦٤۲٦	۱۱۹۲٥۳۸,۲۸۱	۰,۰۱۷۸۰۸۳۱٦	۰,۰٥۹۲۱۲۲۷۸
Dec ۱۹۹٦	۲۲۰۸۱۷۲۲۱٦	۱۲٦۳۱٥۱,۱۸۹	۰,۰۱۷۱۸٤۰٤۲	-۰,۰۳٤۲۷۳٤۷۸
Dec ۱۹۹۷	۲۲٤٦۱۱۷٥٤۰	۱۲۱۹۸٥۸,٦۰٤	۰,۰۱٦٥٥۹٦٤۱	-۰,۰٥٥۹۹۱۳٤۸
Dec ۱۹۹۸	۲۲۸۳۳۱۲٤٤۰	۱۱٥۱٥٥۷,۰۷۷	۰,۰۱٥۹۳٥٦٥٥	-۰,۰۲۷۰۳۷۱۳
Dec ۱۹۹۹	۲۳۱۹٦۹۸٥۱۹	۱۱۲۰٤۲۲,۲۷۹	۰,۰۱٥۳۱۲٥۸۷	-۰,۰۲۰٥٦۰۷٤٥
Dec ۲۰۰۰	۲۳٥٥۲۱۹۱۰٥	۱۰۹۷۳۸٥,٥٦۲	۰,۰۱٤٦۹۰۹۰٤	-۰,۰۰۲٥٦۸۸۱۷
Dec ۲۰۰۱	۲۳۸۹۸۱۹٤۰۲	۱۰۹٤٥٦٦,٥۷۹	۰,۰۱٤۰۷۱۰۳٦	۰,۰۲۷۳۹۳۳۹۷
Dec ۲۰۰۲	۲٤۲۳٤٤٦٦۳۸	۱۱۲٤٥٥۰,٤۷٦	۰,۰۱۳٤٥۳۳۸٥	۰,۱۲۱٤۲٤٤۲۸
Dec ۲۰۰۳	۲٤٥٦۰٥۰۱۹۸	۱۲٦۱۰۹۸,۳۷٤	۰,۰۱۲۸۳۸۳۲۱	۰,۱٤۷۳۸۷۲۷۳
Dec ۲۰۰٤	۲٤۸۷٥۸۱۷٥۸	۱٤٤٦۹٦۸,۲۲٤	۰,۰۱۲۲۲٦۱۹۳	۰,۰۳٤٥۲۰۷۷
Dec ۲۰۰٥	۲٥۱۷۹۹٥٤۱٤	۱٤۹٦۹۱۸,٦۸۱	۰,۰۱۱٦۱۷۳۲۷	۰,۰۷۷٦۲۹٦۰۳
Dec ۲۰۰٦	۲٥٤۷۲٤۷۷۹۱	۱٦۱۳۱۲۳,۸۸٤	۰,۰۱۱۰۱۲۰۲۷	۰,۱۹۹٦۱٥۱٦۹
Dec ۲۰۰۷	۲٥۷٥۲۹۸۱٥۲	۱۹۳٥۱۲۷,۸۸۲	۰,۰۱۰٤۱۰٥۷۸	۰,۱٦٥۹٥۳٤۸۲
Dec ۲۰۰۸	۲٦۰۲۱۰۸٤۹٤	۲۲٥٦۲٦۹,۰۹۲	۰,۰۰۹۸۱۳۲٤۹	-۰,۰۲٥۳۹۷٤۱٤
Dec ۲۰۰۹	۲٦۲۷٦٤۳٦۳۳	۲۱۹۸۹٦٥,٦۹۲	۰,۰۰۹۲۲۰۲۹۲	۰,۱٥۷۸۱۱٥۹٤
Dec ۲۰۱۰	۲٦٥۱۸۷۱۲۷٥	۲٥٤٥۹۸۷,۹۷٤	۰,۰۰۸٦۳۱۹٤٦	۰,۱٤٦۲۸۳۸۳۹
Dec ۲۰۱۱	۲٦۷٤۷٦۲۰۸٦	۲۹۱۸٤۲٤,۸٦۸		
Average of Growth Rate:			۰,۰۲۰٦٦۱٥٤٤	۰,۰٥۸٥۰٥۷۹۷
Error:			۰,٦٤٦۸٤٦۲۰۱	

جدول (۴-۹): مقادیر مربوط به سرمایه گذاری درکشاورزی مدل، دنیای واقعی، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود بعد از اعمال تغییرات

Year	Model Investment in Agriculture	Real Investment in Agriculture	Growth Rate of Model	Growth Rate of Real
Dec ۱۹۷۰	۱۱۵۸۳٤٥٦۷۰	۳۱۲۲۱۳,۱٤۳٦	۰,۰۳٤۸٦۲۲۱۱	۰,۰٥۰۱۱۱۳٤۲
Dec ۱۹۷۱	۱۱۹۸۷۲۸۱٦۱	۳۲۷۸٥۸,٥٦۳۲	۰,۰۳٤٥۷۹٤۷۸	۰,۱۱٤۸۲۳۸٥۳
Dec ۱۹۷۲	۱۲٤۰۱۷۹٥٥٥	۳٦٥٥۰٤,٥٤٦۷	۰,۰۳٤۲۸۳٥۱۸	۰,۲۹۰۹٤۹۸۸۲
Dec ۱۹۷۳	۱۲۸۲٦۹۷۲۷۳	٤۷۱۸٤۸,۰٥۱٦	۰,۰۳۳۹۷۳٥۸۱	۰,۰٦۳۱٤٦٦٤۹
Dec ۱۹۷٤	۱۳۲٦۲۷٥۰۹۲	٥۰۱٦٤۳,٦۷٤۸	۰,۰۳۳٦٤۸٦۷۲	۰,۰٦۹٥۸۱۹
Dec ۱۹۷٥	۱۳۷۰۹۰۲٤۸۸	٥۳٦٥٤۸,۹۹٤٦	۰,۰۳۳۳۰۷٥٥۸	۰,۰۳۳۹٤۷٥۸۷
Dec ۱۹۷٦	۱٤۱٦٥٦۳۹۰۲	٥٥٤۷٦۳,٥۳۸۳	۰,۰۳۲۹٤۸۷۷۷	۰,۰۹٦٤۷٦۷۰۹
Dec ۱۹۷۷	۱٤٦۳۲۳۷۹٥۰	٦۰۸۲۸٥,۲۹۸۸	۰,۰۳۲٥۷۰٦٥۸	۰,۱٥۰۰٦۷۱٥٥
Dec ۱۹۷۸	۱٥۱۰۸۹٦٥۷۲	٦۹۹٥٦۸,۹٤۳۱	۰,۰۳۲۱۷۱۳٦٦	۰,۱۱۹۸٥٥٥٤۷
Dec ۱۹۷۹	۱٥٥۹٥۰٤۱۷۹	۷۸۳٤۱٦,۱٦۱٤	۰,۰۳۱۷٤۸۹٥۸	۰,۰۳۹٤۸۳۰۱۸
Dec ۱۹۸۰	۱٦۰۹۰۱٦۸۱۲	۸۱٤۳٤۷,۷۹٥٥	۰,۰۳۱۳۰۱٤٥۸	۰,۰۲۰۹۹۹۸۱٤
Dec ۱۹۸۱	۱٦٥۹۳۸۱۳۸۳	۸۳۱٤٤۸,۹٤۷۹	۰,۰۳۰۸۲٦۹٥۲	-۰,۰۰۰۷۲۷٤٤٦
Dec ۱۹۸۲	۱۷۱۰٥۳٥۰٥٤	۸۳۰۸٤٤,۱۱٤	۰,۰۳۰۳۲۳۷۰۲	۰,۰۳٦۳۳۰۸۱٤
Dec ۱۹۸۳	۱۷٦۲٤۰٤۸۰۹	۸٦۱۰۲۹,۳٥۷۳	۰,۰۲۹۷۹۰۲٥٦	۰,۰۲۱۱٦۲۸٦۸
Dec ۱۹۸٤	۱۸۱٤۹۰۷۳۰۰	۸۷۹۲٥۱,۲۰۷۸	۰,۰۲۹۲۲٥٥۷۸	-۰,۰٤۱۱۰۱۰٦٦
Dec ۱۹۸٥	۱۸٦۷۹٤۹۰۱٥	۸٤۳۱۱۳,۰٤٦	۰,۰۲۸٦۲۹۱٥۲	۰,۰٥۰۰۳۸۸٦٤
Dec ۱۹۸٦	۱۹۲۱٤۲٦۸۱۲	۸۸٥۳۰۱,٤٦٥٤	۰,۰۲۸۰۰۱۰۸٤	۰,۰٥۸۸۲۸۱۱
Dec ۱۹۸۷	۱۹۷٥۲۲۸۸٤٦	۹۳۷۳۸۲,۰۷۷۱	۰,۰۲۷۳٤۲۱٦٤	۰,۱۰۳۹٥٥۳٤۱
Dec ۱۹۸۸	۲۰۲۹۲۳٥۸۷۷	۱۰۳٤۸۲۷,۹٥۱	۰,۰۲٦٦٥۳۸۹٤	۰,۰۳۹٤۸٥۲۸۸
Dec ۱۹۸۹	۲۰۸۳۳۲۲۹۱٥	۱۰۷٥٦۸۸,٤۳۱	۰,۰۲٥۹۳۸٤۸۳	۰,۰٦٦۱۱۲٦٥۷
Dec ۱۹۹۰	۲۱۳۷۳٦۱۱٥۱	۱۱٤٦۸۰٥,۰٥۱	۰,۰۲٥۱۹۸۷۸۳	-۰,۰۲۹۹۱۰۸۸۷
Dec ۱۹۹۱	۲۱۹۱۲۲۰۰٥۰	۱۱۱۲٥۰۳,۰۹٥	۰,۰۲٤٤۳۸۲۱۱	-۰,۰۲٦۰۱٤۲
Dec ۱۹۹۲	۲۲٤٤۷٦۹٥٤۸	۱۰۸۳٥٦۲,۲۱٦	۰,۰۲۳٦٦۰۸۱۳	-۰,۰۱۸۸٤۳۷۹۱
Dec ۱۹۹۳	۲۲۹۷۸۸۲٦۲۰	۱۰٦۳۱٤۳,۷۹۷	۰,۰۲۲۸۷۱۱۳۹	۰,۰۳۹۷۸۲٤۲۲
Dec ۱۹۹٤	۲۳٥۰٤۳۷۸۱٤	۱۱۰٥٤۳۸,۲۳۲	۰,۰۲۲۰۷۳۸۳۱	۰,۰۷۸۷۹۲۳۲٥
Dec ۱۹۹٥	۲٤۰۲۳۲۰۹۸۱	۱۱۹۲٥۳۸,۲۸۱	۰,۰۲۱۲۷۳٤۳	۰,۰٥۹۲۱۲۲۷۸
Dec ۱۹۹٦	۲٤٥۳٤۲٦٥۸۹	۱۲٦۳۱٥۱,۱۸۹	۰,۰۲۰٤۷٤۲٤۳	-۰,۰۳٤۲۷۳٤۷۸
Dec ۱۹۹۷	۲٥۰۳٦٥۸٦٤۱	۱۲۱۹۸٥۸,٦۰٤	۰,۰۱۹٦۸۰۲۲٤	-۰,۰٥٥۹۹۱۳٤۸
Dec ۱۹۹۸	۲٥٥۲۹۳۱۲۰٤	۱۱٥۱٥٥۷,۰۷۷	۰,۰۱۸۸۹٤۸۸٦	-۰,۰۲۷۰۳۷۱۳
Dec ۱۹۹۹	۲٦۰۱۱٦۸٥٤۷	۱۱۲۰٤۲۲,۲۷۹	۰,۰۱۸۱۲۱۲۳۷	-۰,۰۲۰٥٦۰۷٤٥
Dec ۲۰۰۰	۲٦٤۸۳۰٤۹۳۸	۱۰۹۷۳۸٥,٥٦۲	۰,۰۱۷۳٦۱۷٤۸	-۰,۰۰۲٥٦۸۸۱۷
Dec ۲۰۰۱	۲٦۹٤۲۸٤۱٤۱	۱۰۹٤٥٦٦,٥۷۹	۰,۰۱٦٦۱۸۳٤٤	۰,۰۲۷۳۹۳۳۹۷
Dec ۲۰۰۲	۲۷۳۹۰٥۸٦۸۱	۱۱۲٤٥٥۰,٤۷٦	۰,۰۱٥۸۹۲٤۱۷	۰,۱۲۱٤۲٤٤۲۸
Dec ۲۰۰۳	۲۷۸۲٥۸۸۹٤٤	۱۲٦۱۰۹۸,۳۷٤	۰,۰۱٥۱۸٤۸٦	۰,۱٤۷۳۸۷۲۷۳

ادامه جدول (۴-۹): مقادیر مربوط به سرمایه گذاری درکشاورزی مدل، دنیای واقعی، رشد سالانه مدل و دنیای واقعی و خطای موجود بعد از اعمال تغییرات

Dec ۲۰۰٤	۲۸۲٤۸٤۲۱٦۸	۱٤٤٦۹٦۸,۲۲٤	۰,۰۱٤٤۹٦۱۱۱	۰,۰۳٤٥۲۰۷۷
Dec ۲۰۰٥	۲۸٦٥۷۹۱۳۹٥	۱٤۹٦۹۱۸,٦۸۱	۰,۰۱۳۸۲٦۲۱۲	۰,۰۷۷٦۲۹٦۰۳
Dec ۲۰۰٦	۲۹۰٥٤۱٤٤۳٤	۱٦۱۳۱۲۳,۸۸٤	۰,۰۱۳۱۷٤۸۷٤	۰,۱۹۹٦۱٥۱٦۹
Dec ۲۰۰۷	۲۹٤۳٦۹۲۹۰۲	۱۹۳٥۱۲۷,۸۸۲	۰,۰۱۲٥٤۱٥٥	۰,۱٦٥۹٥۳٤۸۲
Dec ۲۰۰۸	۲۹۸۰٦۱۱۳۷٥	۲۲٥٦۲٦۹,۰۹۲	۰,۰۱۱۹۲٥٥۳۹	-۰,۰۲٥۳۹۷٤۱٤
Dec ۲۰۰۹	۳۰۱٦۱٥٦۷۷۳	۲۱۹۸۹٦٥,٦۹۲	۰,۰۱۱۳۲٦۰۳۱	۰,۱٥۷۸۱۱٥۹٤
Dec ۲۰۱۰	۳۰٥۰۳۱۷۸٥۸	۲٥٤٥۹۸۷,۹۷٤	۰,۰۱۰۷٤۲۱٤٥	۰,۱٤٦۲۸۳۸۳۹
Dec ۲۰۱۱	۳۰۸۳۰۸٤۸۱٤	۲۹۱۸٤۲٤,۸٦۸		
Average of Growth Rate:			۰,۰۲٤۱۹۲۷۸٤	۰,۰٥۸٥۰٥۷۹۷
Error:			۰,٥۸٦٤۸۹۱۱۷	

۴-۶- محدودیت های رشد

تا بدین جا، نیروهای بزرگ جهان و ارتباط آن ها در یک مدل پویا شرح داده شد. قواعد و قوانین در نظر گرفته شده توضیح می دهد که چگونه هر بخش از سیستم در پاسخ به فشارها و اثرات دیگر بخش ها، عمل می کنند. قوانین این اجازه را به رایانه می دهند که نقش های عناصر مختلف را در سیستم بازی کند. با اجازه دادن به عناصر مدل، به ارتباط برقرار کردن، می توان پویایی طبیعت سیستم را که جزئیات آن توضیح داده شد، مشاهده کرد. به منظور به دست آوردن جزئیات شبیه سازی مدل، می توان هر روشی را انتخاب کرد. در اینجا از نرم افزار پاورسیم، به منظور شبیه سازی مدل استفاده شده است.

مدل و خروجی های پویای آن، هر دو چهارچوبی را برای سازماندهی اطلاعات واقعی جهان، شکل می دهند. نگرانی های زیادی در مورد محدود شدن جمعیت بیان می شود. اما جمعیت و نرخ رشد نمایی برای همیشه ادامه پیدا نخواهد کرد. رشد جمعیت و صنعتی شدن متوقف خواهد شد. اگر بشر یک عمل آگاهانه به منظور محدود کردن جمعیت و سرمایه گذاری انجام ندهد، نیروهای ذاتی در سیستم طبیعی و اجتماعی، به اندازه کافی به منظور محدود کردن رشد، افزایش پیدا خواهند کرد.

مدل جهانی شامل چهار نیروی ذاتی است که قادر به محدود کردن جمعیت، کاهش منابع طبیعی، افزایش آلودگی، افزایش ازدحام و کاهش غذا می باشد. بخش های بعدی این چهار نیرو را که در مسیر رشد ایستاده اند، بررسی خواهد کرد.

۴-۶-۱- کمبود منابع طبیعی

شکل های این بخش توسط نرم افزار پاورسیم ترسیم شده است. محور افقی بیانگر زمان می باشد که از سال ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ شبیه سازی شده است. شکل (۴-۶) رفتار مدل را بر اساس معادلات و مفروضات نوشته شده در فصل سوم، نشان می دهد. در شکل (۴-۶) پنج متغیر نشان داده شده است که شامل متغیر حالت جمعیت (Population)، سرمایه گذاری (Capital Investment)، منابع طبیعی (Natural Resources)، آلودگی (Pollution) و متغیر کمکی کیفیت زندگی (Quality of life) می باشد. همانطور که در شکل (۴-۶) مشاهده می شود جمعیت تا سال

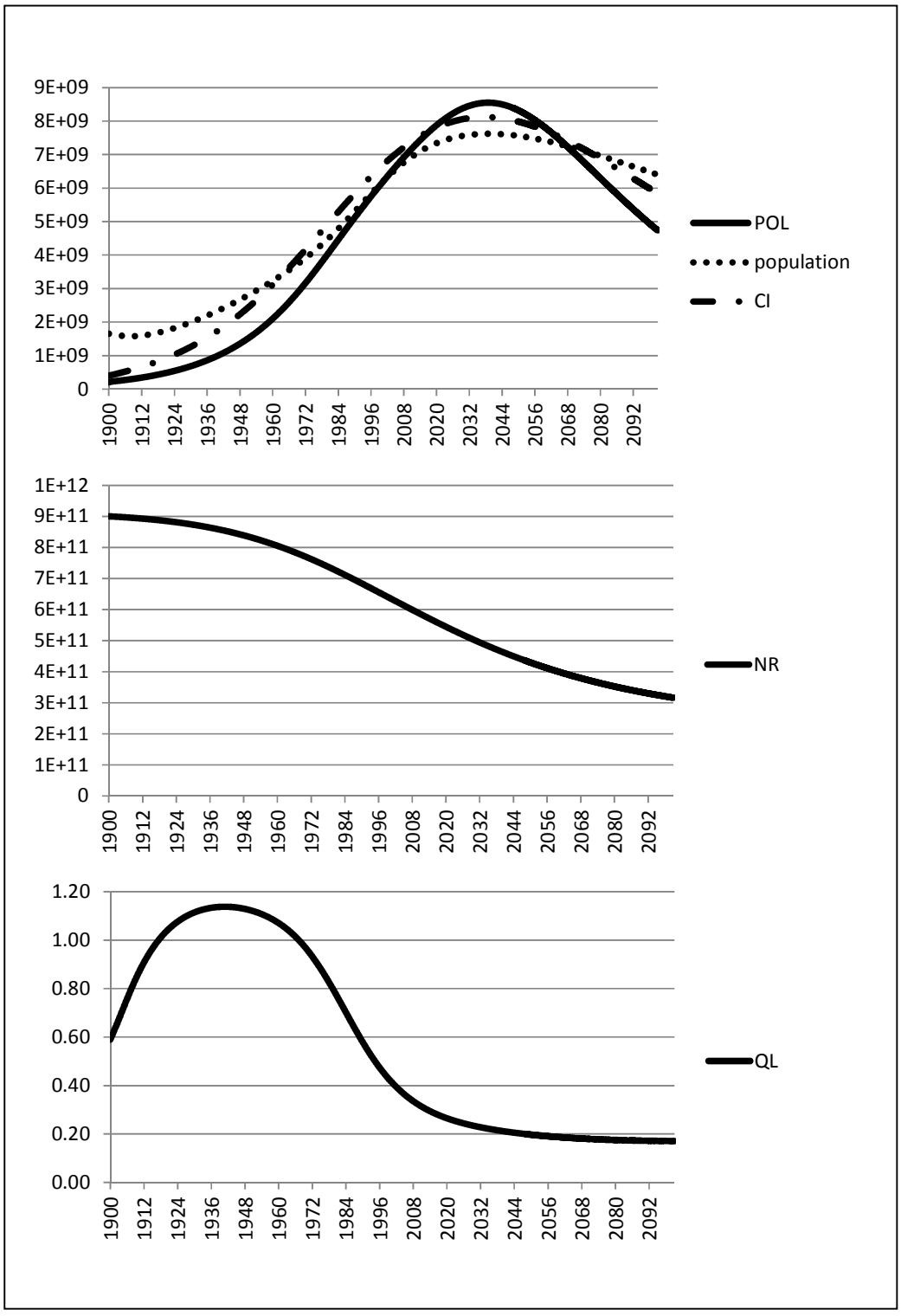
۲۰۴۰ افزایش می یابد و سپس کاهش پیدا می کند. این کاهش جمعیت به دلیل کاهش منابع طبیعی ایجاد می شود. کاهش منابع طبیعی باعث کاهش در مقادیر سرمایه گذاری و مایحتاج زندگی می شود که این خود باعث کاهش جمعیت خواهد شد. در حدود سال ۲۰۰۰ منابع طبیعی به شدت کاهش می یابد. شیب نمودار نشان می دهد، اگر کاهش منابع طبیعی با همین نرخ ادامه پیدا کند، منابع طبیعی در سال ۲۱۵۰ به اتمام خواهد رسید.

همانطور که در شکل (۴-۶) مشاهده می شود، مقدار آلودگی تا سال ۲۰۴۰ تقریبا به ۳ برابر مقدار خود در سال ۱۹۷۰ می رسد و کیفیت زندگی نیز تا حدود سال ۱۹۴۰ افزایش پیدا خواهد کرد.

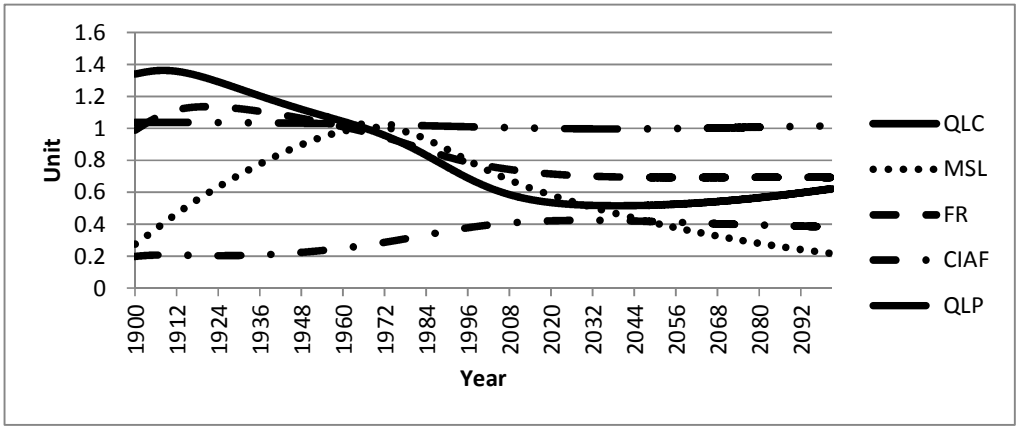
نمودار (۴-۷) چهار نسبت مربوط به کیفیت زندگی در همان فاصله زمانی و شرایط سیستم در نمودار (۴-۶) را نشان می دهد. این نمودار مقدار سرمایه گذاری را نیز نشان می دهد. مایحتاج استاندارد زندگی در حدود سال ۱۹۷۰ به حداکثر مقدار خود می رسد و سپس کاهش پیدا خواهد کرد. در اوج، سرمایه گذاری سرانه افزایش یافته است و کمبود منابع طبیعی هنوز به اندازه کافی به منظور کاهش اثر بخشی سرمایه گذاری، شدید نشده است.

در شکل (۴-۷) سرمایه گذاری در بخش کشاورزی در طی ۱۰۰ سال اول از ۰,۲ به ۰,۴ افزایش یافته است. این افزایش به دو دلیل اتفاق افتاده است، که در نمودار قابل مشاهده است، مایحتاج استاندارد زندگی افزایش پیدا کرده است، بنابراین سرمایه کمتری به این بخش تخصیص داده خواهد شد و بیشتر سرمایه گذاری در بخش کشاورزی صورت می گیرد. همچنین نسبت غذا به آرامی کاهش یافته است و چون نسبت غذا یک تعیین کننده قوی در تخصیص سرمایه به بخش پرورش مواد غذایی می باشد، سرمایه گذاری در این بخش افزایش می یابد. کیفیت زندگی ناشی از ازدحام جمعیت (QLC)، با افزایش جمعیت کاهش می یابد و دوباره با کاهش جمعیت افزایش پیدا خواهد کرد.

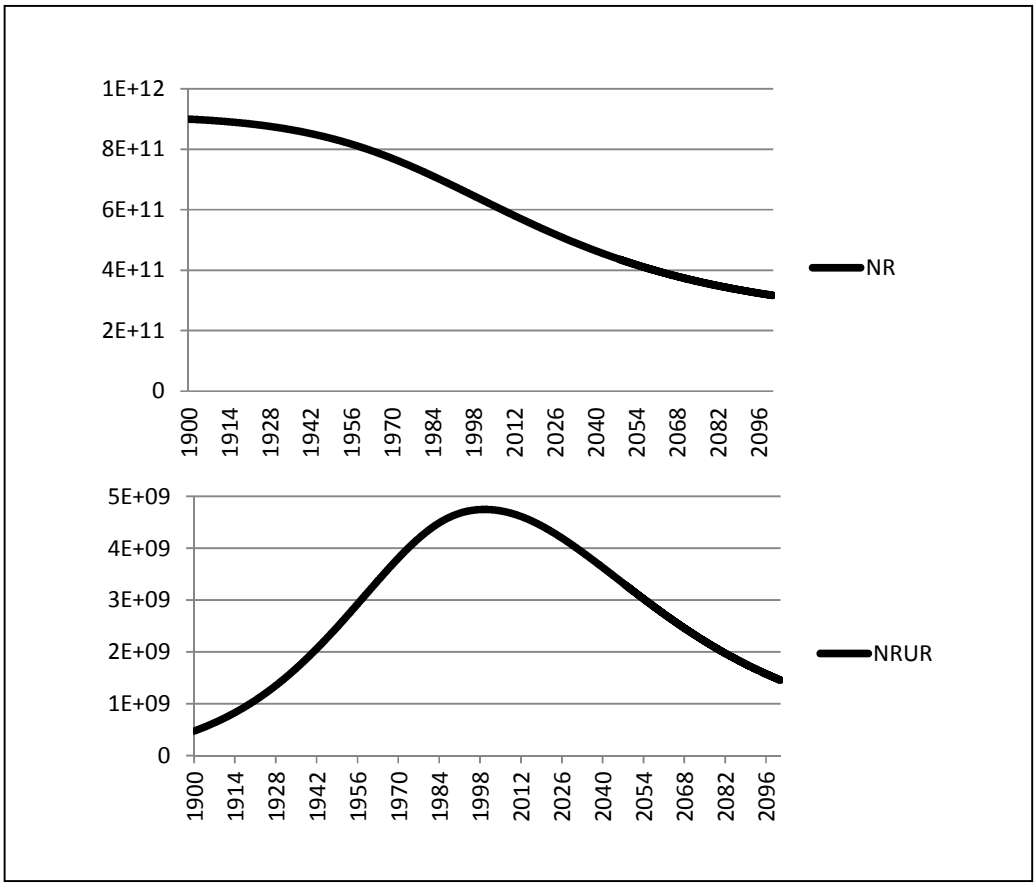
شکل (۴-۸) نرخ استفاده از منابع طبیعی (NRUR) و موجودی منابع طبیعی (NR) را نشان می دهد. همانطور که در شکل (۴-۸) مشاهده می شود، هنگامی که نرخ استفاده از منابع طبیعی افزایش می یابد، منابع طبیعی با سرعت بیشتری کاهش پیدا می کند.



شکل (۴-۶) : تغییرات جمعیت، آلودگی، سرمایه گذاری، منابع طبیعی و کیفیت زندگی

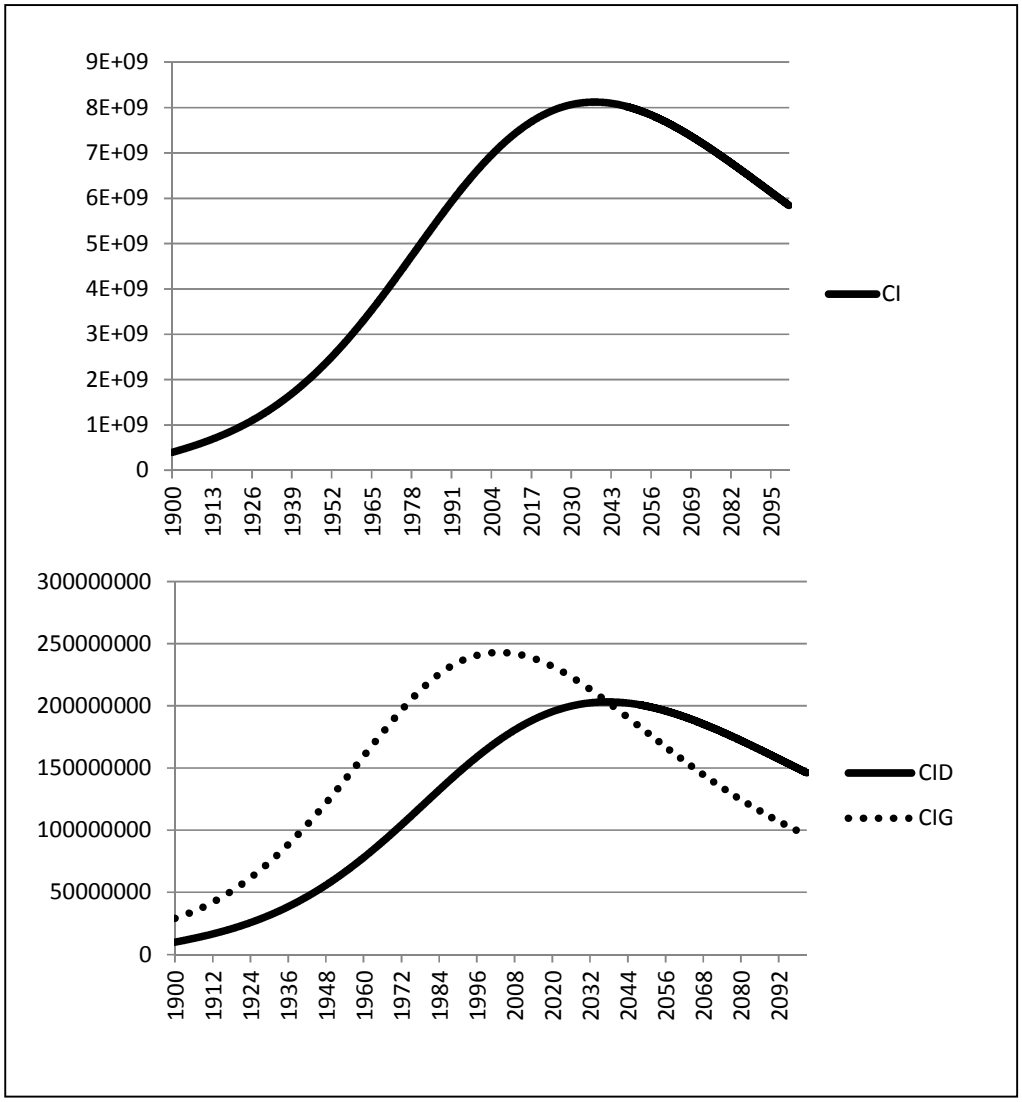


شکل (۴-۷): تغییرات متغیرهای کمکی QLC,MSL,FR,CIAF,QLP



شکل (۴-۸): تغییرات متغیرهای NR و NRUR

شکل (۴-۹) نرخ تشکیل سرمایه (CIG)، نرخ سرمایه مستهلک شده (CID) و سرمایه گذاری (CI) را نشان می دهد. تا سال ۲۰۴۰ به دلیل اینکه تشکیل سرمایه بیشتر از استهلاک سرمایه است، سرمایه گذاری افزایش می یابد. اوج سرمایه گذاری در جایی اتفاق می افتد که نرخ تولید و کاهش برابر شود. بعد از سال ۲۰۴۰، استهلاک سرمایه از تشکیل سرمایه تجاوز می کند و سرمایه گذاری کاهش پیدا خواهد کرد.



شکل (۴-۹): تغییرات متغیرهای CID,CIG,CI

می توان اینگونه استدلال کرد که تهی شدن منابع طبیعی به احتمال زیاد باعث محدودیت رشد جمعیت نخواهد شد. ممکن است موجودی واقعی منابع طبیعی بیشتر از ۲۵۰ سال باشد. علاوه بر این ممکن است پیشرفت علم به جایی برسد که این روند کاهشی منابع طبیعی را به تاخیر اندازد.

اگر منابع طبیعی، رشد جمعیت و کند کردن روند صنعتی شدن را محدود نکند، نیروهای موجود در سیستم جهان در نهایت این کار را انجام خواهند داد. اگر مایل به فرض این نکته باشیم که منابع طبیعی تمام نخواهد شد، می توان میزان استفاده از آن ها را کاهش داد، تا مشاهده شود که کدام حالت از رفتار ظاهر خواهد شد.

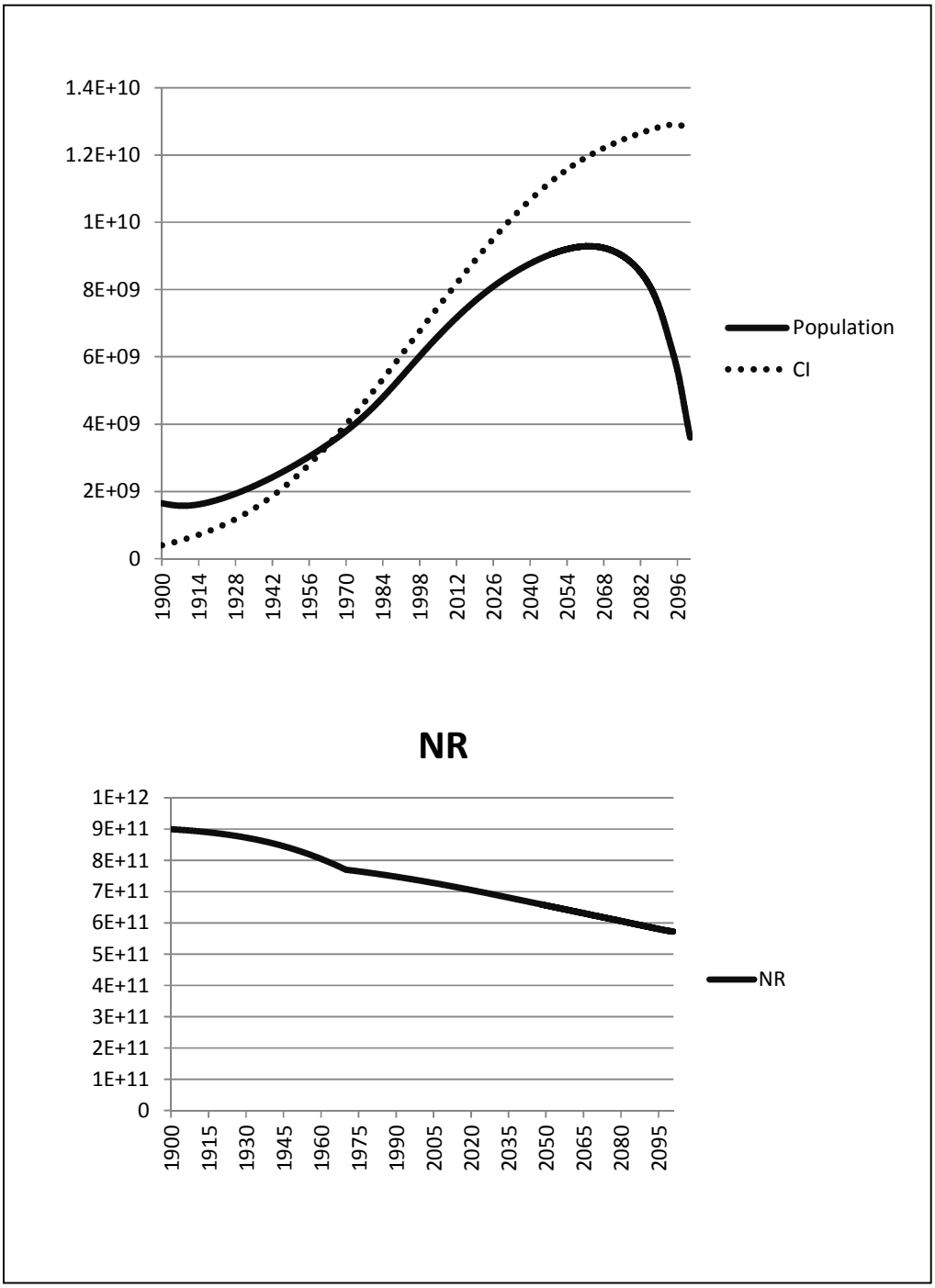
شکل های (۴-۶) تا (۴-۹) نباید به عنوان یک پیشبینی از این دوره حاضر جهان، در نظر گرفته شود. ساختار و مقادیر فرض شده در مدل به اندازه کافی با دقت مورد بررسی قرار نگرفته اند تا این اطمینان را ایجاد کنند که مدل اصلی درست شبیه همین مدل است. در عوض این شکل ها می بایست به عنوان یکی از حالت های ممکن از رفتار سیستم جهانی، تفسیر شود.

۴-۶-۲- بحران آلودگی

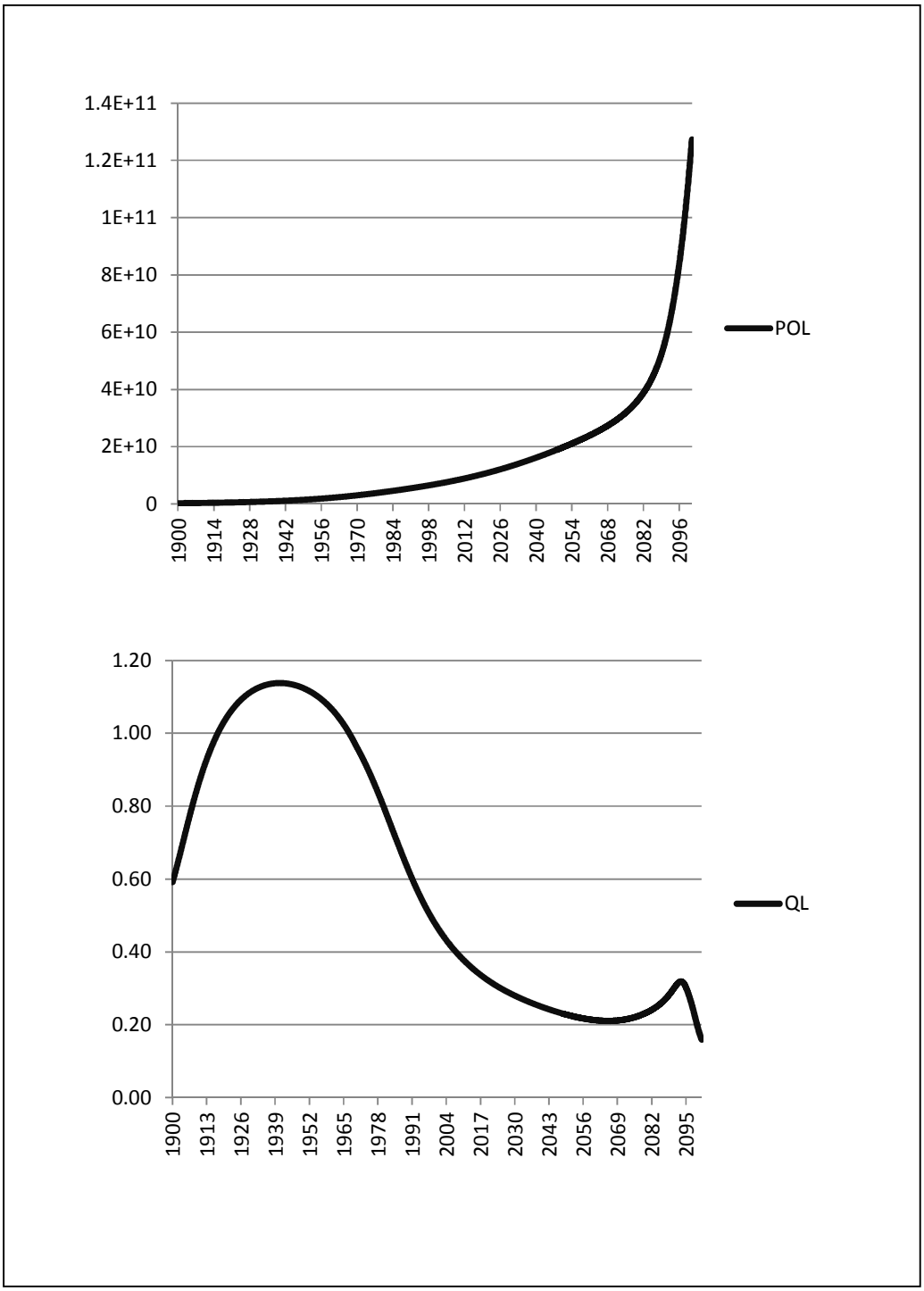
در یک مدل از سیستم اجتماعی، ساختار و ارزش های اسمی می توانند تغییر پیدا کنند، به منظور مشخص کردن این نکته که، چگونه رفتار سیستم به فرضیات گرفته شده در ساخت مدل، بستگی دارد. بعضی از تغییرات در مدل به منظور تست حساسیت سیستم نسبت به فرضیات، ایجاد می شود. تغییرات دیگر، سیاست های تغییر یافته در جستجوی راه هایی برای بهبود عملکرد سیستم واقعی را کشف می کنند. دسته سوم تغییرات به منظور جستجوی حالت های مختلف از رفتاری که سیستم می تواند نمایش دهد، انجام می گیرد.

در این بخش سه راه دیگر (علاوه برکاهش منابع) که می تواند باعث سرکوب رشد جمعیت شود، توضیح داده خواهد شد.

در شکل (۴-۱۰) و (۴-۱۱), NRUN به میزان ۲۵ درصد سال پایه خود رسیده است. این بدان معناست که اگر تمام موارد دیگر ثابت باقی بمانند، نرخ استفاده از منابع به $\frac{۱}{۴}$ مقدار خود درسال ۱۹۷۰ خواهد رسید.



شکل (۴-۱۰): تغییرات جمعیت، سرمایه گذاری و منابع طبیعی



شکل (۴-۱۱): تغییرات آلودگی و کیفیت زندگی

شکل های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) آلودگی را به عنوان مانع بعدی برای رشد نشان می دهند. در شکل (۴-۱۱) مقدار آلودگی به ۵۰ مرتبه بیشتر از مقدار آن در سال ۱۹۷۰ افزایش پیدا کرده است. شکل های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) می بایست با شکل (۴-۶) مقایسه شوند تا اثر کاهش مصرف منابع طبیعی دیده شود. جمعیت و سرمایه گذاری در راستای رشد خود، برای مدت زمان بیشتر افزایش پیدا خواهند کرد. جمعیت و سرمایه گذاری به رشد خود ادامه می دهند تا زمانیکه آلودگی به جایی برسد که منجر به نابودی محیط زیست شود.

آلودگی افزایش پیدا می کند و پس از رسیدن به نقطه اوج خود سقوط می کند. این کاهش آلودگی تا جایی ادامه می یابد که روند تولید آلودگی متوقف شود. در شکل (۴-۱۰) جمعیت در مدت ۳۰ سال به $\frac{۱}{۳}$ مقدار ماکزیمم خود می رسد.

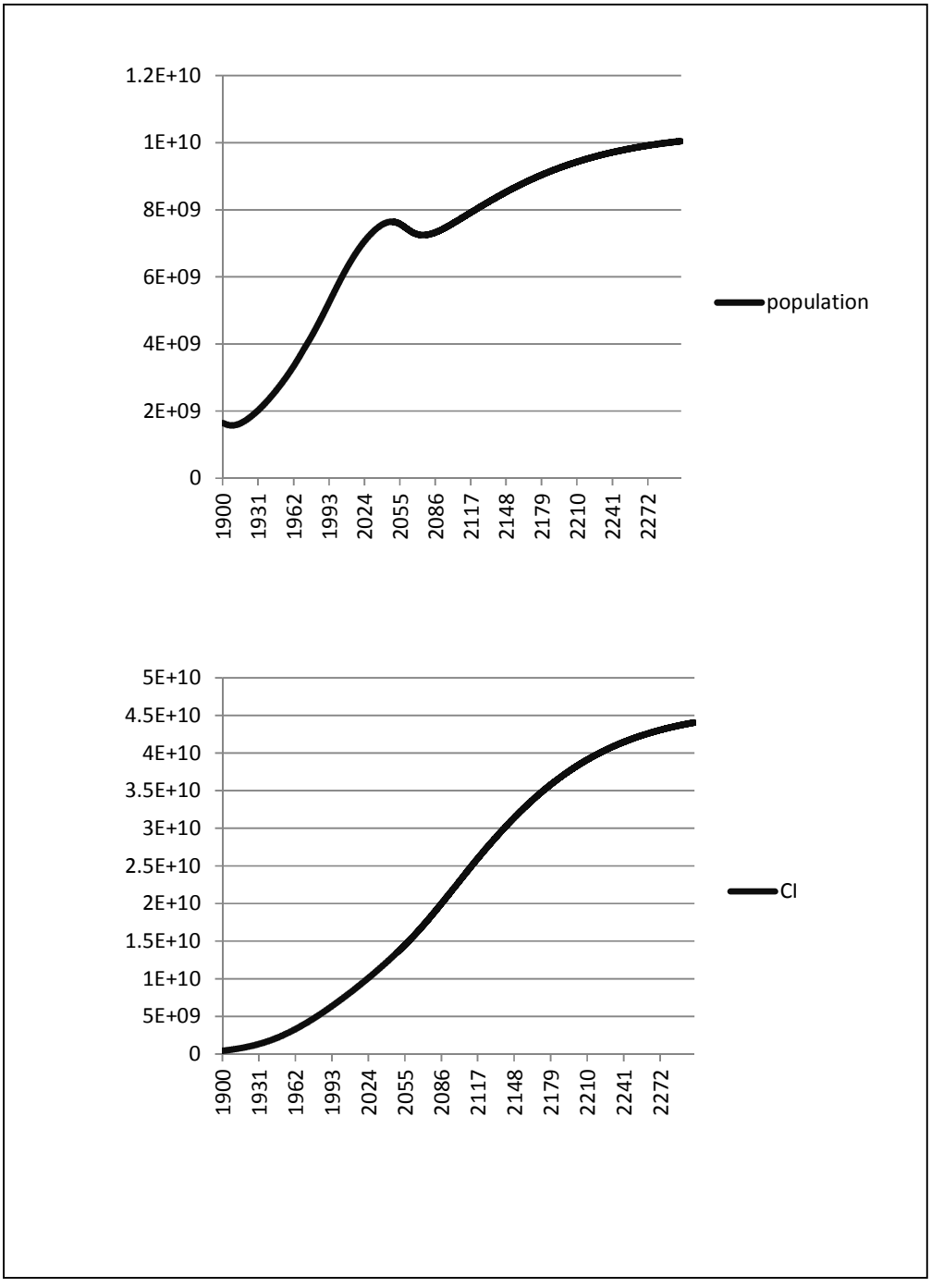
روند تولید آلودگی در مدل به وسیله کاهش مصرف منابع طبیعی دگرگون نشده است. برخی افراد اینگونه استدلال می کنند که آلودگی به طور مستقیم به مصرف منابع بستگی دارد، اما به نظر می رسد تنها بخشی از آن قابل توجیه است. به عنوان مثال یک تکنولوژی که از فلزات نادر محافظت می کند، ممکن است به مواد شیمیایی و پلاستیک هایی تبدیل شوند که خطر آلودگی بیشتر و یا مساوی با آن تکنولوژی دارند.

۴-۶-۳- ازدحام

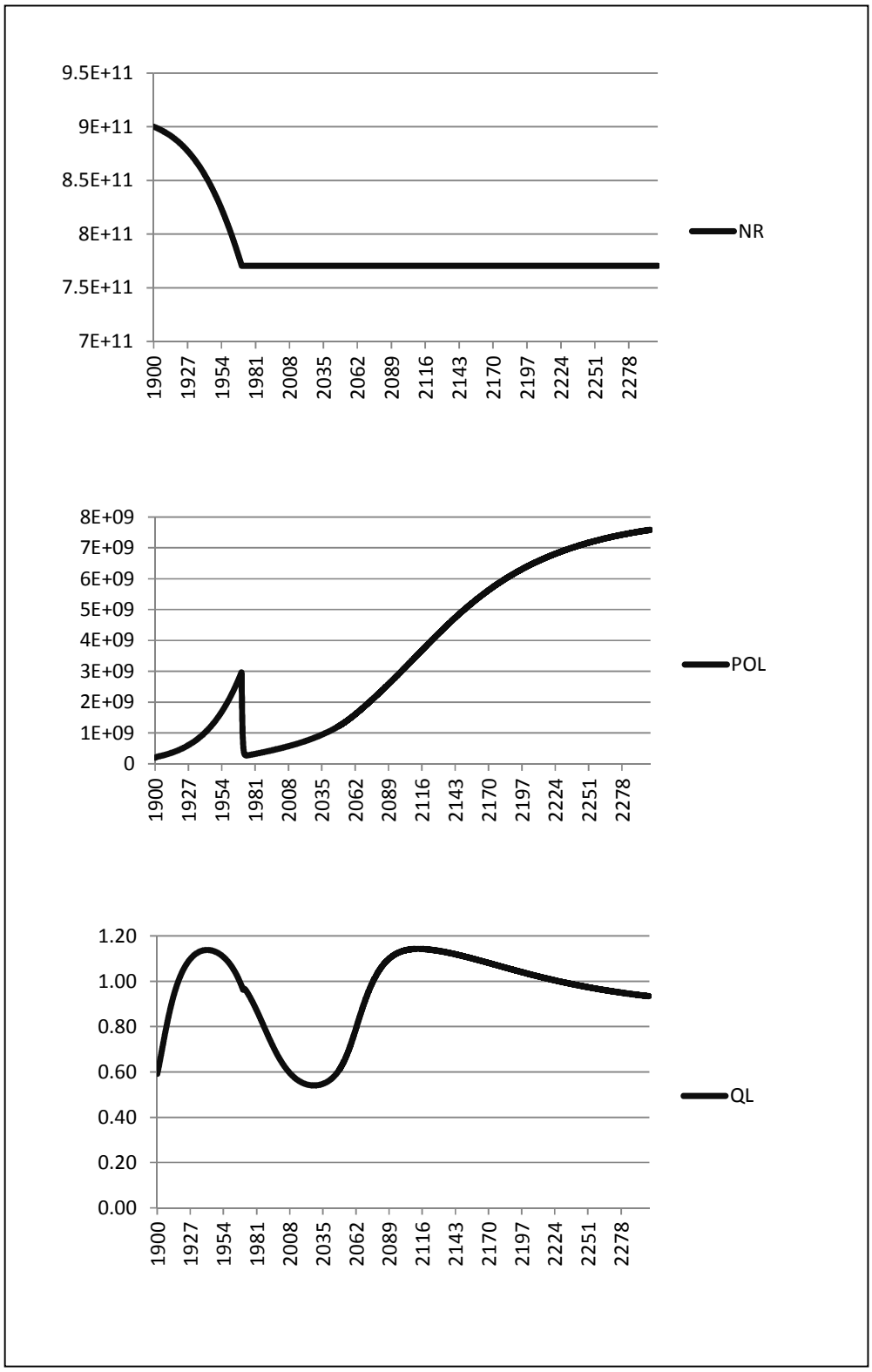
بخش (۴-۷-۱) حالتی را مورد بحث قرار داد که در آن رشد، با کاهش منابع طبیعی سرکوب شد. در بخش (۴-۷-۲) نرخ مصرف منابع طبیعی به اندازه کافی کاهش پیدا کرد تا آلودگی به عنوان عامل محدودکننده بعدی ظاهر شود. حال اگر تاثیرات منابع طبیعی و آلودگی، از مدل حذف شوند، سومین عامل محدودکننده رشد نمایان می شود. برای این منظور NRUN و POLN به ترتیب اعداد صفر و ۰,۱ را در سال ۱۹۷۰ خواهند گرفت. این بدان معناست که هیچ منابع طبیعی از سال ۱۹۷۰ به بعد، مصرف نخواهد شد. نتایج در شکل (۴-۱۲) و (۴-۱۳) نشان داده شده است.

جمعیت تا حدود ۱۰ میلیارد نفر افزایش پیدا می کند، جایی که ازدحام ۳ برابر مقدار خود در سال ۱۹۷۰ می باشد. تا سال ۲۰۲۰ کیفیت زندگی تا جایی کاهش پیدا می کند که نرخ رشد

جمعیت را کاهش می دهد. در نهایت جمعیت تا سال ۲۲۰۰ به پایداری خواهد رسید. در نمودار (۴-۱۲) سرمایه گذاری تا ۴۳ میلیارد افزایش پیدا می کند.



شکل (۴-۱۲): تغییرات جمعیت و سرمایه گذاری



شکل (۴-۱۳): تغییرات منابع طبیعی, آلودگی و کیفیت زندگی

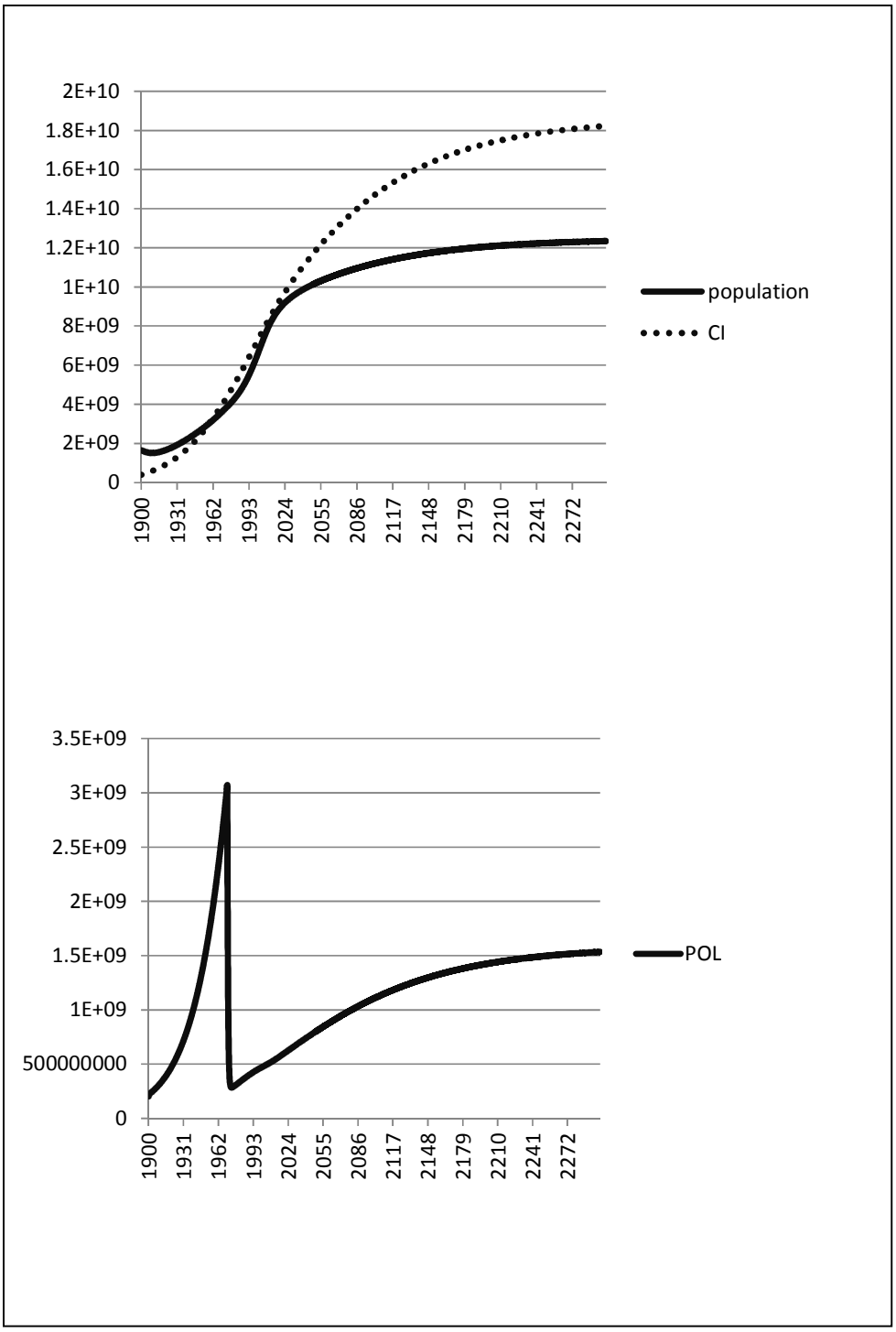
۴-۶-۴- کمبود غذا

در بخش (۴-۷-۳) تاثیرات آلودگی و کمبود منابع سرکوب شدند تا تاثیر ازدحام بر رشد، نشان داده شود. حال اگر تاثیر ازدحام هم حذف شود، کمبود غذا به عنوان عامل بعدی برای محدود کردن رشد جمعیت ظاهر خواهد شد. برای اعمال این تغییر در مدل، می بایست مقادیر NRUN و POLN همانند بخش قبلی در نظر گرفته شود و ارتباط ازدحام بر نرخ های تولد و مرگ قطع شود.

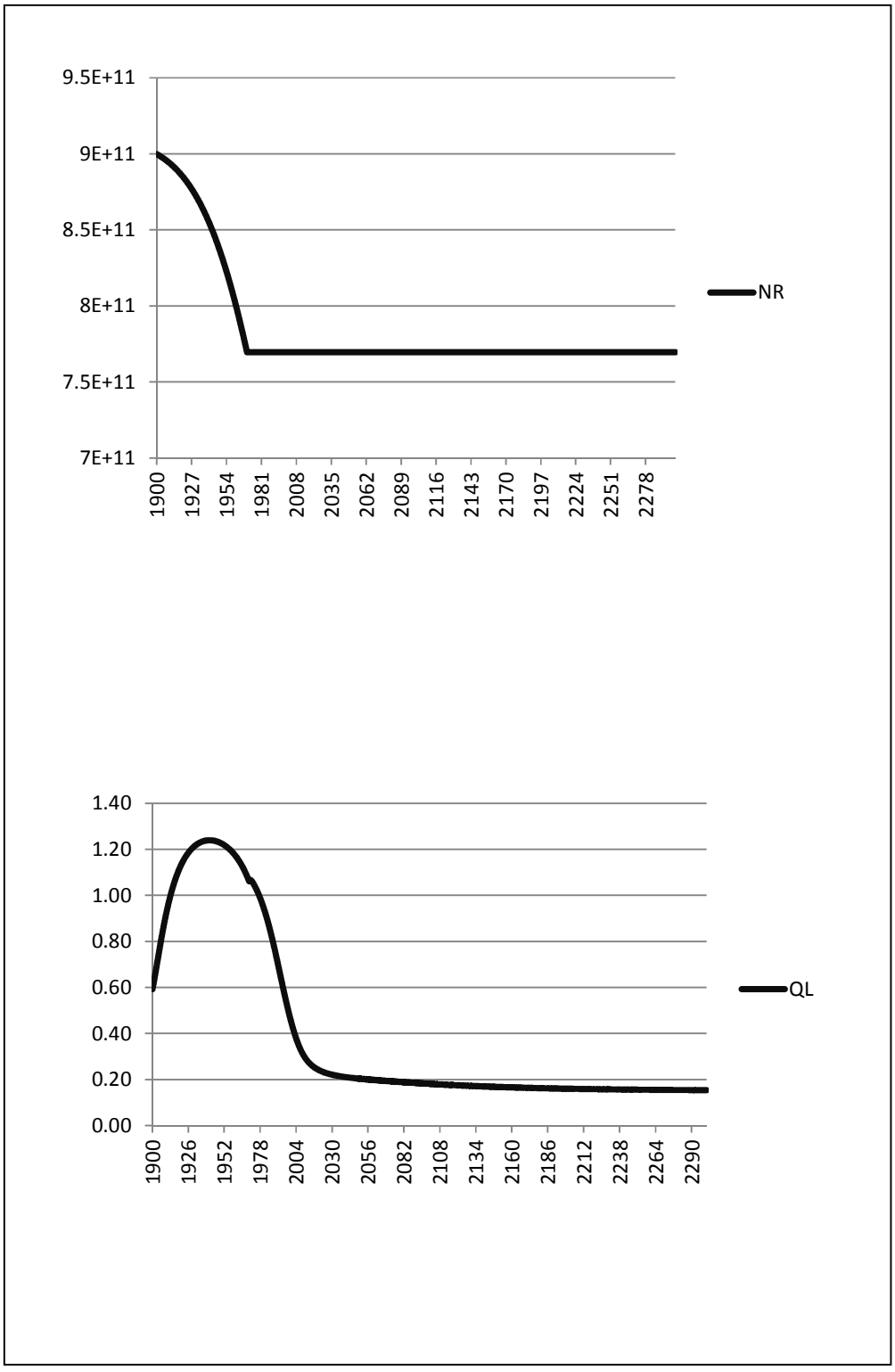
همانطور که در شکل (۴-۱۴) و (۴-۱۵) مشاهده می شود، جمعیت تا ۱۲ میلیارد نفر افزایش پیدا می کند. در مقایسه با شکل (۴-۱۲) شکل (۴-۱۴) نشان می دهد که جمعیت در ابتدا با شدت بیشتر افزایش می یابد. این روند، مایحتاج زندگی استاندارد و توانایی سرمایه گذاری را کاهش می دهد و تقاضا برای غذا، سرمایه را به سمت تولید غذا سوق می دهد. شکل (۴-۱۶)، مقدار مایحتاج غذا و نسبت غذای کمتری را نسبت به بخش قبل نشان می دهد. کیفیت زندگی در شکل (۴-۱۵) به طور قابل ملاحظه ای پایین تر است.

به سبب اینکه ازدحام به مدت کمی تاثیر مستقیم بر نرخ های تولد و مرگ داشته است، فاکتورهای نامطلوب دیگر به اندازه کافی قدرتمند شده اند تا رشد جمعیت را متوقف سازند. این امر توسط کمبود مواد غذایی ایجاد می شود. مایحتاج استاندارد زندگی نیز کاهش پیدا می کند اما تاثیر کمی دارد زیرا مایحتاج استاندارد زندگی، باعث افزایش نرخ های تولد و مرگ خواهد شد.

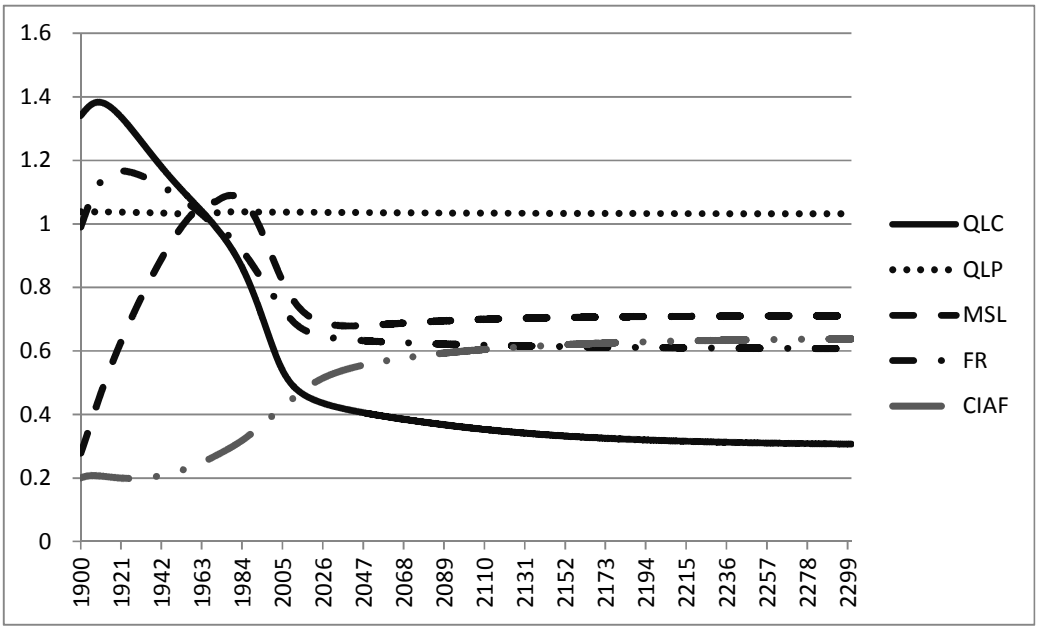
کاهش نسبت مواد غذایی به ۰,۷۷، کاهش قابل توجهی است و این خود برای متوقف کردن رشد جمعیت کافی است. بدون در نظر گرفتن فرضیات مربوط به حساسیت نرخ های تولد و مرگ نسبت به غذا، اگر تمام تاثیرات بر رشد را حذف کنیم، جمعیت به میزانی افزایش پیدا خواهد کرد تا مقدار کمبود غذا به جایی برسد که رشد جمعیت را سرکوب کند.



شگل (۴-۱۴): تغییرات جمعیت ، سرمایه گذاری و آلودگی



شکل (۴-۱۵): تغییرات منابع طبیعی و کیفیت زندگی



شکل (۴-۱۶): تغییرات کیفیت زندگی ناشی QLP,QLC,CIAF,FR,MSL

فهرست منابع

[۱] بریمن. (۱۳۶۷). مدیریت کلانشهر و استراتژی های نوین. (ی.محمدی، مترجم). تهران: سازمان مدیریت صنعتی.

[۲] سنگه,پ. (۱۳۷۷). پنجمین فرمان. (ه.روشن، مترجم). تهران: سازمان مدیریت صنعتی.

[۳] شنه,ک. (۱۳۷۲). دینامیک شهری و پویایی شهرها. (ا.نظریان). معاونت فرهنگی آستان قدس رضوی.

[۴] شاستلند,ش،شنه,ک. (۱۳۸۰). جمعیت جهان، چالش ها و مسائل آن. (م.میرزایی، مترجم).تهران: شهید بهشتی.

[۱] Barlas,Y.(۱۹۹۶).Formal Aspects of Model Validation in System Dynamics.System Dynamics Review.Vol۱۲.No۳.

[۲] Carpenter,B.(۱۹۹۰).Philsophical roots of model validation.system dynamics review,vol۶.

[۳] Davenzo,J.(۲۰۰۱).The Environmental Emplication of Population.Dynamics.

[۴] Forrester,J.(۱۹۸۹).The Beginning of System Dynamics.Banquate Talk at International Meeting of The System Dynamics Stuttgart. Germany.

[۵]Forrester,J.(۱۹۷۱).World Dynamics.USA:Allen Press.

[۶] Newton.P.(۱۹۹۹).An Introduction to System Dynamics. Presented Paper In Sustainable Green Bay Conference.

[۷] Qaulifield,(۲۰۰۲).C.A Case for System Dynamics, Global Journal of Engineering Education,Vol۶,Nom۱.

[۸] Sterman,J.(۲۰۰۰).Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World.New York: Irwin McGraw Hill.

Internet

[۱]www.cdiac.ornl.gov/trace -gas-emission

[۲]www.data.worldbank.org/indicator

[۳] www.data.un.org

[۴]www.fao.org

[۵] www.gcrio.org

[٦] WWW.IPCC.ch/publication-and-data

[٧]www.oecd.org/statistics

[٨]www.unstats.un.org

[٩]www.unctad.org/world-report-investment

[١٠] www.who.int/research

پیوست

Definition of terms

BR	Birth Rate (People/Year)
BRCM	Birth Rate From Crowding Multiplier (Dimensionless)
BRFM	Birth Rate From Food Multiplier (Dimensionless)
BRMM	Birth Rate From Material Multiplier (Dimensionless)
BRN	Birth Rate Normal (Fraction/Year)
BRPM	Birth Rate From Pollution Multiplier (Dimensionless)
CFIFR	Capital Fraction Indicated By Food Ratio (Dimensionless)
CI	Capital Investment (Capital Units)
CIAF	Capital Investment In Agriculture Fraction (Dimensionless)
CIAFI	Capital Investment In Agriculture Fraction, Initial (Dimensionless)
CIAFN	Capital Investment In Agriculture Fraction Normal (dimensionless)
CID	Capital Investment Discard (Capital Units/Year)
CIDN	Capital Investment Discard Normal (Fraction/Year)
CIG	Capital Investment Generation (Capital Units/Year)
CIGN	Capital Investment Generation Normal (Capital Units/Person/Year)
CII	Capital Investment, Initial (Capital Units)
CIM	Capital Investment Multiplier (Dimensionless)
CIQR	Capital Investment From Quality Ratio (Dimensionless)
CIR	Capital Investment Ratio (Capital Units/Person)
CIRA	Capital Investment Ratio In Agriculture (Capital Units/Person)
CR	Crowding Ratio (Dimensionless)
DR	Death Rate (People/Year)
DRCM	Death Rate From Crowding Multiplier (Dimensionless)
DRFM	Death Rate From Food Multiplier (Dimensionless)
DRMM	Death Rate From Material Multiplier (Dimensionless)
DRN	Death Rate Normal (Fraction/Year)
DRPM	Death Rate From Pollution Multiplier (Dimensionless)
ECIR	Effective Capital Investment Ratio (Capital Units/Person)
ECIRN	Effective Capital Investment Ratio Normal (Capital Units/Person)
FC	Food Coefficient (Dimensionless)
FCM	Food From Crowding Multiplier (Dimensionless)
FN	Food Normal (Food Units/Person/Year)
FPCI	Food Potential From Capital Investment (Food Units/Person/Year)
FPM	Food From Pollution Multiplier (Dimensionless)
FR	Food Ratio (Dimensionless)
LA	Land Area (Square Kilometers)
MSL	Material Standard Of Living (Dimensionless)
NR	Natural Resources (Natural Resource Units)

NREM Natural Resource Extraction Multiplier (Dimensionless)
NRFR Natural Resource Fraction Remaining (Dimensionless)
NRI Natural Resource, Initial (Natural Resource Units)
NRMM Natural Resource From Material Multiplier (Dimensionless)
NRUN Natural Resource Usage Normal (Natural Resource Units/Person/Year)
NRUR Natural Resource Usage Rate (Natural Resource Units/Year)
P Population (People)
PDN Pollution Density Normal (People/Square Kilometer)
PI Population, Initial (People)
POL Pollution (Pollution Units)
POLA Pollution Absorption (Pollution Units/Year)
POLCM Pollution From Capital Multiplier (Dimensionless)
POLG Pollution Generation (Pollution Units/Year)
POLI Pollution, Initial (Pollution Units)
POLN Pollution Normal (Pollution Units/Person/Year)
POLR Pollution Ratio (Dimensionless)
POLS Pollution Standard (Pollution Units)
QL Quality Of Life (Satisfaction Units)
QLC Quality Of Life From Crowding (Dimensionless)
QLF Quality Of Life From Food (Dimensionless)
QLM Quality Of Life From Material (Dimensionless)
QLP Quality Of Life From Pollution (Dimensionless)
QLS Quality Of Life Standard (Satisfaction Units)