

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب

استفاده از پویایی سیستم به عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم گیری برای مدیریت منابع  
آب و مدل سازی vensim برای حوضه هراز

نگارنده : معین حیدری

اساتید راهنما :

دکتر رمضان واقعی

دکتر سعید گلپان

شهریور 1396

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : عمران

گروه : آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای معین حیدری

تحت عنوان: استفاده از پویایی سیستم به عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم گیری برای

مدیریت منابع آب و مدل سازی vensim برای حوضه هراز

در تاریخ ..... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
			دکتر رمضان واقعی
			دکتر سعید گلپان

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	دکتر جلیل شفائی		دکتر احمد احمدی
			دکتر مهدی عجمی
			دکتر رمضان واقعی
			دکتر سعید گلپان

به نام مادر

بوسه ای بیدزد

دست بانی را

که می شویند غبار سختی روزگار را

و سیراب می کنند روح تشنه را

به نام پدر

بوسه ای بیدزد

دست بانی را

که می تاباند

نیرو را

و محکم می کنند

استواری پایه های زمین را

این پایان نامه را به

پدر و مادر عزیزم

تقدیم می کنم.

## مشکر و قدردانی

خداوند متعال را سپاسگذارم که ایجاب را مورد الطاف بی پایان خود قرار داده تا از محضر انسانهای فرهیخته و دستکار بهره برده و به اندازه توان خود، هرچند اندک، به تحقیق و تحصیل علم بپردازم.

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان میسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ بگیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. از پدر و مادر مهربانم و برادر عزیزم به خاطر ایثار و محبت- بایشان صمیمانه سپاسگذارم و بوسه سپاسم بردستان پر مهرشان جاریست.

از استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر واقعی به خاطر زحمات بی دریغ و فراوان، و راهنمایی‌های خردمندانه ایشان در جهت انجام پایان نامه، از صمیم قلب نهایت تشکر و قدردانی را ابراز میدارم. از استاد ارجمندم، جناب آقای دکتر گلکان که زحمت راهنمایی ایجاب را به عهده گرفته و مرا در این مسیر هدایت نمودند کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایم.

از جناب آقای دکتر علیرضا قاسمی، استاد مشاور این پایان نامه که وقت ارزشمند خود را در اختیار ایجاب قرار دادند کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای دکتر احمدی و آقای دکتر عجمی که زحمت داوری این پایان نامه را تقبل نمودند بسیار سپاس گذارم و توفیق روز افزون برایشان آرزو مندم.

از اساتید محترم گروه، آقای دکتر ساغر وانی و آقای دکتر عبدینی که در محضرشان کسب علم نمودم، تشکر نموده و توفیق روز

افزون آرزومندم.

## تعهد نامه

اینجانب معین حیدری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران - مدیریت منابع آب دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه استفاده از پویایی سیستم به عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم گیری برای مدیریت منابع آب و مدل سازی vensim برای حوضه هراز تحت راهنمایی آقای دکتر رمضان واقعی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

### تاریخ

### امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

## چکیده:

آب حیاتی‌ترین منبع طبیعی جهان است و بقای بشر به در دسترس بودن آب بستگی دارد. کمبود آب یکی از بزرگترین چالش‌های پیش روی تمدن بشری در قرن حاضر است که اکوسیستم را تهدید می‌کند. کاهش منابع آب ضرورت استفاده و به کارگیری بهینه و کارآمد آب را مهم کرده است. با رشد جمعیت، رشد کشاورزی و رشد صنعت، برداشت از منابع زیرزمینی و سطحی در اغلب مناطق رو به افزایش است. عدم تعادل بین عرضه و تقاضا در بخش آب شیوه‌های خلاقانه‌تر مدیریت منابع آب را خواستار است. برای مدیریت منابع آب می‌توان از روش پویایی سیستم استفاده کرد. پویایی سیستم یک رشته دانشگاهی است که در سال 1960 توسط محققان در موسسه تکنولوژی ماساچوست معرفی شده است. پویایی اشاره به تغییر در طول زمان دارد و اگر چیزی پویا باشد به طور مداوم در پاسخ به محرک‌های موثر بر آن در حال تغییر است. رویکرد شبیه سازی پویایی سیستم در درک روابط متقابل پیچیده میان عناصر مختلف در یک سیستم متکی است. در این روش ابتدا متغیرهای مرتبط با منابع آب مانند آب زیرزمینی، آب سطحی، جمعیت و غیره و روابط بین آن‌ها شناسایی و به صورت یک نمودار علت و معلولی رسم شد. سپس نمودار علت و معلولی به نمودار انباره و جریان در نرم افزار VENSIM تبدیل و روابط بین متغیرها و همچنین اعداد استخراجی از داده‌ها در مدل قرار داده شد و مدل به اجرا درآمد. نتایج بدست آمده از اجرای مدل به این صورت بود که بدون سرمایه گذاری در بخش آب حوضه هراز در بخش های شرب، صنعت و کشاورزی به ترتیب در سال 1410، 1429 و 1414 دچار کمبود آب خواهیم شد. 4 سناریوی پیشنهادی در مدل اجرا شد. سناریو 1 شرایط موجود بدون هیچ تغییری را مورد بررسی قرار می دهد. نتیجه آن به این صورت است که در سال 1410 در بخش آب شرب، حوضه هراز دچار کمبود آب شرب خواهد شد. سناریو 2 تاثیر کنترل جمعیت بر منابع آب حوضه هراز را مورد بررسی قرار می دهد و نشان می دهد که حوضه هراز در سال 1420 دچار کمبود آب شرب می شود. سناریو 3 استفاده از ابزارهای کاهنده دبی جریان را مورد بررسی قرار می دهد و نتیجه آن عنوان می دارد که در صورت استفاده از ابزارهای کاهنده دبی جریان تا سال 1435 حوضه هراز دچار کمبود



آب شرب نخواهد شد. سناریو 4 استفاده همزمان دو سناریو 2 و 3 را بررسی می‌کند و نتایج آن نشان می‌دهد که در دوره 50 ساله اجرای مدل در حوضه هراز کمبود آب شرب رخ نمی‌دهد.

### واژه‌های کلیدی:

مدیریت منابع آب، پویایی سیستم، نمودار علت و معلولی، نرم افزار Vensim

## فهرست

1	فصل اول: مقدمه
2	1-1- مقدمه
4	2-1- ضرورت تحقیق
4	3-1- اهداف انجام پایان نامه
5	4-1- ساختار پایان نامه
7	فصل دوم: بررسی منابع
8	1-2- مدیریت منابع آب
8	2-2- تاریخچه مدیریت منابع آب
10	3-2- پویایی سیستم و کاربردهای آن
11	4-2- مدل‌های شبیه سازی مبتنی بر روش پویایی سیستم
27	فصل سوم: مواد و روشها
28	1-3- منطقه تحقیق
29	2-3- مدل پویایی سیستم
29	3-3- توجیه کاربرد پویایی سیستم
30	4-3- مراحل مدل سازی
31	1-4-3- شناخت و تعریف مسئله
32	2-4-3- رسم نمودارهای مرجع
38	3-4-3- مرزهای مدل
38	4-4-3- بررسی زیر مدل‌های مدل پویایی آب شهری و رسم نمودار علت-معلولی
41	5-4-3- رسم نمودار جریان
60	6-4-3- اجرای مدل در نرم افزار Vensim
63	7-4-3- کالیبراسیون مدل
67	فصل چهارم: نتایج و بحث
68	1-4- نتایج شبیه سازی پویایی سیستم مدل محدوده دشت آمل-بابل

68.....	1-1-4- نتایج شبیه سازی در سناریو 1
70.....	2-1-4- نتایج شبیه سازی در سناریو 2
72.....	3-1-4- نتایج شبیه سازی در سناریو 3
74.....	4-1-4- نتایج شبیه سازی در سناریو 4
75.....	2-4- نتایج بخش صنعت
76.....	3-4- نتایج بخش کشاورزی
79 .....	فصل پنج: نتیجه گیری
80.....	1-5- نتیجه گیری
82.....	2-5- پیشنهادات
85 .....	منابع



# فصل اول: مقدمه

## 1-1- مقدمه

آب حیاتی‌ترین منابع طبیعی جهان است. این غیر قابل انکار است که بقای نوع بشر اساساً به در دسترس بودن آب با کیفیت بستگی دارد. کمبود آب شیرین و با کیفیت مناسب، به عنوان یکی از بزرگترین چالش‌ها و مسائل پیش روی تمدن بشری در قرن بیست و یک مطرح است که رفاه اجتماعی، بهداشت عمومی و سلامت اکوسیستم را تهدید می‌کند بررسی روند کاهش منابع آب در کشورهای مختلف از سال 1950 تا 2025 که به دو صورت بررسی سوابق تاریخی و پیش‌بینی آینده انجام پذیرفته به خصوص در مورد کشورهای در حال توسعه بسیار قابل توجه و بحرانی است [1].

توزیع نامتجانم زمانی و مکانی آب شیرین به لحاظ کمی از یک طرف و محدودیت‌ها و مشکلات روزافزون کیفی از طرف دیگر، تامین منابع آب را در بسیاری از کشورها به یکی از چالش‌های قرن حاضر تبدیل کرده است.

کاهش منابع آبی در سال‌های اخیر ضرورت استفاده و بکارگیری بهینه و کارآمد این منابع را بیش از پیش کرده است. امروزه با رشد روزافزون جمعیت، رشد کمی و کیفی بخش کشاورزی و صنعت، برداشت از منابع آب زیرزمینی و سطحی در اغلب مناطق از حد نصاب و مجاز گذشته و هزینه‌های نهایی تامین آب اضافی از منابع سطحی و زیرزمینی، رو به افزایش است [2].

البته توجه به مدیریت تقاضا در بعضی از کشورها شکاف بین عرضه و تقاضا را کم کرده است، نحوه کاهش استحصال آب در کشور آمریکا درستی بیانیه نشست سوم جهانی آب مبنی بر این که بحران آب در مدیریت آب است و نه در کمبود آب را تأیید می‌نماید [2, 3].

در سمت تقاضا، رشد سریع جمعیت و توسعه اقتصادی و توسعه کشاورزی منجر به تقاضای بالاتر برای آب در سراسر جهان خواهد شد. در سمت عرضه، تغییرات آب و هوایی باعث بارش با قابلیت پیش‌بینی کم و منابع طبیعی با قابلیت اعتماد کم شده است. عدم تعادل عرضه و تقاضا در بخش آب

شیوه های خلاقانه تر مدیریت آب را خواستار است، تا آب با کیفیت برای نسل حاضر و آینده ارائه دهد. این هدف نهایی از مدیریت منابع آب پایدار است [4].

پویایی سیستم یک رشته دانشگاهی که در سال 1960 توسط محققان در موسسه تکنولوژی ماساچوست معرفی شده است. پویایی سیستم در اصل در مدیریت و مهندسی، علوم ریشه دارد، اما به تدریج به یک ابزار مفید تجزیه و تحلیل سیستم‌های اجتماعی، اقتصادی، فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و زیست محیطی توسعه داده شده است [5].

پویایی اشاره به تغییر در طول زمان دارد. اگر چیزی پویا است، به طور مداوم در پاسخ به محرک های موثر بر آن در حال تغییر است. روشی که در آن عناصر یا متغیر شامل یک سیستم در طول زمان تغییر کند، به عنوان رفتار سیستم نامیده می شود. رویکرد شبیه سازی پویایی سیستم به درک روابط متقابل پیچیده میان عناصر مختلف در یک سیستم متکی است. شبیه سازی مدل در طول زمان برای درک پویایی سیستم ضروری است [6].

پیشرفت هایی در طول دهه های گذشته در نرم افزار کامپیوتر، ساده سازی قابل توجهی در توسعه مدل های شبیه سازی پویایی سیستم ارائه داده است. ابزارهای نرم افزاری مانند استلا<sup>1</sup> (سیستم‌های با عملکرد بالا ، 1992)، دینامو<sup>2</sup> (لینیس و همکاران، 1994)، ونسیم<sup>3</sup> (سیستم‌های ونتانا، 1996) و پاورسیم<sup>4</sup> (شرکت پاورسیم، 1996) با استفاده از اصول برنامه نویسی شی گرا برای توسعه برنامه های شبیه سازی پویایی سیستم استفاده می شوند. این ابزار با مجموعه ای از اشیاء گرافیکی با توابع ریاضی، ساختار سیستم و توسعه کد کامپیوتری را نمایش می دهند [6].

---

1 - stella

2 - dinamo

3 - vensim

4 - powersim

در این تحقیق از روش پویایی سیستم استفاده شده است که در بخش بررسی منابع بیشتر به آن پرداخته می‌شود.

### 1-2- ضرورت تحقیق

با توجه به نیاز روزافزون به آب به عنوان حیاتی ترین عنصر زندگی و با توجه به محدودیت منابع آب قابل استحصال در کشور، اهمیت ابزارهای پیشرفته مدیریتی برای برنامه ریزی آب بیش از پیش آشکار می‌شود. واضح است که در یک حوضه آبریز، سیستم های مختلف طبیعی و انسانی وجود دارد که در اندرکنش با یکدیگرند و در مدیریت جامع منابع آب در سطح حوضه آبریز، اندرکنش اجزای درونی هر سیستم و نیز اندرکنش سیستم ها باید در نظر گرفته شود. تجزیه و تحلیل سناریوهای مختلف برای شرایط متفاوت (مانند خشکسالی ها ، ترسالی ها و ...) و اندرکنش های مدیریتی متفاوت از ضروریات مدیریت جامع منابع آب به منظور تصمیم گیری ها می باشد [7].

مدل های مرسوم به مدل های مهندسی با بکارگیری تکنیک های ریاضی از قبیل روش های شبیه سازی، بهینه سازی و یا ترکیبی از هر دو روش ما را قادر به تحلیل مسائل موجود می نماید. امروزه هدف تکنیک های شبیه سازی تنها شرح سیستم های پیچیده بر اساس واقعیت نیست بلکه دخالت کاربر در توسعه مدل و جلب اطمینان در فرایند مدلسازی "بصیرت مشترک" از جمله الزامات روشهای شبیه سازی است. از این رو در سالهای اخیر استفاده از مدل های شیء گرا مورد توجه قرار گرفته است و نرم افزارهای انعطاف پذیری با قابلیت ارتباط آسان با کاربر و مدیریت داده تولید شده است [6].

### 1-3- اهداف انجام پایان نامه

هدف این پروژه بهبود کارایی سیستم تامین آب با یکپارچه سازی منابع آب در حوضه رودخانه هراز است. در این تحقیق به بررسی منابع آب موجود در حوضه هراز پرداخته می‌شود. در نتیجه اهداف تحقیق حاضر به شرح زیر است:



- پیشبینی وضعیت منابع آب حوضه هراز در سناریو های مختلف برداشت آب شرب
- بدون سرمایه گذاری در بخش آب آیا در حوضه مورد نظر دچار کمبود آب خواهیم شد؟
- کنترل جمعیت چه تاثیری در مدیریت آب دارد؟
- افزایش بازدهی آب شرب چه تاثیری در مدیریت منابع آب حوضه خواهد داشت؟

#### 1-4- ساختار پایان نامه

مطالب این پایان نامه در پنج فصل ارائه شده است. پس از مطالب ارائه شده در این فصل، در فصل دوم سابقه مطالعات انجام شده در زمینه موضوع تحقیق، شامل تحقیقات انجام شده در مورد حوضه هایی با وجود سد و بدون حضور سد و حوضه های خشک و غیره پرداخته می شود. در فصل سوم، ابتدا به تعریف پویایی سیستم پرداخته شده است. در ادامه به نحوه مدل سازی کردن حوضه هراز با نرم افزار ونسیم و کالیبراسیون مدل می پردازد.

در فصل چهارم، به نتایج بدست آمده از مدل شبیه سازی حوضه هراز پرداخته می شود و جواب های این مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد در فصل انتهایی به نتیجه گیری داده های بدست آمده از این مدل پرداخته می شود و با یکدیگر مقایسه می شود و فهرستی از پیشنهادات برای تحقیقات آتی ارائه می شود.



# فصل دوم: بررسی

## منابع

## 2-1- مدیریت منابع آب

مدیریت منابع آب فعالیت‌های برنامه ریزی، توسعه، توزیع و مدیریت استفاده از منابع آب است که این یکی از زیر مجموعه‌هایی از مدیریت چرخه آب است. در حالت ایده‌آل، برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب به تمام تقاضاهای آب توجه دارد و به دنبال تخصیص آب بر مبنای انصاف برای برآورده کردن تمام تقاضاها است. جامع‌نگری در مدیریت آب، به بیانی ساده بدین معناست که مسائل اقتصادی، زیست‌محیطی، فنی و اجتماعی، در عین تضمین پایداری منابع آب برای نسل‌های آتی مورد توجه قرار می‌گیرد [8].

مدیریت منابع آب مفهومی تجربی است که مبتنی بر تجربه جامعه برپا شده است. با اینکه سابقه این مفهوم به چند دهه قبل باز می‌گردد (نخستین کنفرانس جهانی آب در ماردل پلاتا در سال 1977)، ولی پس از دستور کار 21 و اجلاس سران زمین درباره توسعه پایدار در سال 1992 در ریودوژانیرو بود که پیاده‌سازی این مفهوم در عمل، موضوع مباحثات وسیع قرار گرفت. امروزه این مفهوم در سطح گسترده مورد توجه مدیران آب، تصمیم‌گیران و سیاست‌مداران در سراسر جهان قرار گرفته است.

نهاد همکاری جهانی آب<sup>5</sup>، مدیریت منابع آب را چنین تعریف می‌کند:

مدیریت منابع آب، فرایندی است که توسعه و مدیریت هماهنگ آب، خاک و منابع وابسته را به منظور حداکثرکردن رفاه اقتصادی و اجتماعی به شیوه‌ای عادلانه، بدون لطمه‌دیدن پایداری اکوسیستم‌های حیاتی ترویج می‌کند.

## 2-2- تاریخچه مدیریت منابع آب

توسعه اولین سکونتگاه‌های کشاورزی (6000-7000 سال پیش) می‌تواند به عنوان شروع یک چالش اصلی انسان با مسائل مربوط به آب مانند حفاظت از مردم در برابر سیل و حصول اطمینان از یک منبع مناسب و مداوم آب قابل استفاده باشد. این آغاز مهندسی منابع آب بود. مردم شروع به حل

<sup>5</sup> - Global water partnership

مشکلات مربوط به حمل و نقل آب و مدیریت آن برای آبیاری کردند. جدول زیر یک جدول زمانی از رویدادهای مهم در مهندسی منابع آب ارائه می‌دهد [6].

جدول 1-2- رویدادهای مهم مهندسی منابع آب

فعالیت	سال
پروژه‌های آبیاری در مصر و بین‌النهرین	4000 <sub>BC</sub>
تامین آب دره سند و زهکشی	2750 <sub>BC</sub>
آثار آب در چین	2200 <sub>BC</sub>
برنامه آب حمورابی	1750 <sub>BC</sub>
کشف قنات (دیواره و قنات)	714 <sub>BC</sub>
قنات رم	312 <sub>BC</sub>
ارشمیدس علم تعادل و شناوری را بررسی کرد	260 <sub>BC</sub>
تامین آب ماچو پیچو و زهکشی	1450
مشارکت لئوناردو داوینچی؛ اصل پیوستگی، توزیع سرعت، کتاب در مورد آب	-1452 1519
کمک Pierre Perrault برای اندازه‌گیری بارش و رواناب	-1608 1680
توسعه اصول فشارسنج و فشار هیدرولیک توسط Blaise Pascal	1662-1632
اسحاق نیوتن؛ مقاومت مایع	-1642 1727
معادله برنولی؛ فشار سنج de Pitot؛ فرمول Chezy؛ فشار مایع اویلر	قرن 18

قرن 19	تبخیر دالتون؛ روش معقول Mulvaney؛ جریان داری در محیط متخلخل؛ معادله حرکت ناویه؛ معادلات سنت ونانت؛ آثار فرود، استوکس، لرد کلوین، پلتن، رینولدز و دیگران
قرن 20	تجزیه و تحلیل فرکانس هازن؛ معادله جریان اشباع نشده ریچاردز؛ هیدروگراف آب شرمن؛ تئوری نفوذ هورتون؛ تجزیه و تحلیل سیستم‌های برنامه آب هاروارد

## 2-3- پویایی سیستم و کاربردهای آن

پویایی سیستم یک رویکرد برای درک رفتار سیستم‌های پیچیده در طول زمان است. این روش شامل حلقه‌های بازخورد داخلی و تاخیر زمان که روی رفتار کل سیستم تاثیر می‌گذارد، می‌باشد و توسط پروفیسور فورستر در سال 1960 توسعه داده شد و در سال 1970 توسط باشگاه Limits to Growth رم عمومی شد [9]، پویایی سیستم با موفقیت برای مطالعه جمعیتی [10]، رشد اقتصادی [11]، توسعه تجارت [12, 13]، مدیریت منابع آب و منابع طبیعی [14-17]، و سیستم‌های زیست محیطی [18, 19] به کار گرفته شده است. قابلیت‌های آن برای شبیه‌سازی کمی عواقب پویا سیاست‌های مختلف، آن را یک ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری ایده‌آل برای آزمایش سیاست‌های راهبردی و انتخاب ساخته است. به عنوان مثال، پویایی سیستم برای مطالعه منابع آب در کانادا [14-16]، رودخانه زرد در چین [20]، آب برای آبیاری در اسپانیا [21]، و تعادل آب در دریاچه مونو، کالیفرنیا [22] استفاده شده است. تا به امروز، هیچ مطالعه منتشر شده با استفاده از پویایی سیستم به عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم‌گیری برای تجزیه و تحلیل جامع منابع آب در حوضه‌ها وجود ندارد. این پروژه با هدف پر کردن این شکاف است.

"تحلیل پویایی سیستم" که یک روش شبیه‌سازی بر پایه بازخورد و اتفاقات شی‌گرا است، از جمله این روش‌ها می‌باشد. بیشتر هنر مدل‌سازی به این روش کشف و درک فرایندهای بازخوردی است، فرایندهایی که در آن ساختارهای ذخیره و جریان، تاخیرهای زمانی و رفتارهای غیر خطی تعیین

کننده پویایی سیستم می باشد. مهمترین ویژگی روش پویایی سیستم امکان تحلیل سریع تغییرات ناشی از منابع و مصارف و مشخصات سیستم می باشد. به عبارت دیگر، به دلیل وجود عدم قطعیتها در یک سیستم منابع آبی یک مدل برنامه ریزی می بایستی قابلیت سازگاری با تغییرات احتمالی را داشته باشد [6].

مراحل اصلی که در توسعه یک مدل شبیه سازی پویایی سیستم انجام می شود عبارتند:

- درک سیستم و مرزهای آن
- شناسایی متغیرهای کلیدی
- توصیف فرایندهای فیزیکی که متغیرها را از طریق روابط ریاضی تحت تأثیر قرار می دهد
- ترسیم ساختار مدل
- شبیه سازی مدل برای درک رفتار آن
- نتیجه گیری

## 2-4- مدل های شبیه سازی مبتنی بر روش پویایی سیستم

از میان مدل های متعدد در مدیریت منابع آب برخی از مدل ها دارای خصوصیت پویایی هستند. در این مدل ها درک مسائل و تغییرات به صورت حلقه ای و بازخورد است. به کمک این شیوه شبیه سازی، پیامدهای نامشخص و پیش بینی نشده تصمیم گیری ها آشکار می شود. هدف عمده این روش شبیه سازی رفتار سیستمها در شرایط فعلی و آینده برای تسریع و تسهیل یادگیری است. در ادبیات تحلیل پویایی سیستمها، مدل های زیر قابل توجه است:

مدل جهانی آب توسط سیمونویچ تهیه شده و ایشان از سال 1999 تا 2002 هر سال ویرایش جدیدی از آن ارائه کرده است. این مدل، بیلان آب را در مقیاس جهانی در پنج بخش صنعت، جمعیت، کشاورزی، منابع تجدید پذیر و آلودگی تحلیل می نماید.

اهداف اصلی این مدل عبارت‌اند از:

ارتقای روش پویایی سیستم برای مدل کردن سیستم‌های پیچیده منابع آب

بهره‌گیری از چارچوب مدل جهانی و توسعه یک مدل محلی

سعی در توانمندسازی تطابق سیستم منابع آب به صورت مدل ارزیابی منابع آب محلی.

نتیجه شبیه‌سازی مصارف آب دنیا در صد سال آینده با لحاظ رفتار مدل در صد سال گذشته

نشان می‌دهد که کیفیت آب از مهم‌ترین چالش‌های سال‌های آتی خواهد بود [23].

مدل جهانی توسط فارستر، بنیان‌گذار روش تحلیل پویایی سیستم، در سال 1973 تهیه شده

است [5]. این مدل به بررسی تغییرات منابع کانی، آلی و انسانی بر اساس فعالیت‌های بشر روی زمین

می‌پردازد. مدل جهانی بعداً توسط میدوز و همکاران در سال‌های 1974 و 1992 در موسسه تکنولوژی

ماساچوست تکمیل شد [11, 24].

مدل پویایی آب شهری توسط فارستر در کتابی به همین نام ارائه شد. این مدل به بررسی پویایی

سیستم اجتماعی و اقتصادی یک شهر و اثر آن بر منابع مربوط می‌شود [10].

مدل هدف توسط روتمنز و دووریه در سال 1997 در موسسه ملی بهداشت عمومی و زیست

محیطی هلند توسعه داده شده است [25]. این مدل از چندین قسمت تشکیل شده که عبارت است از:

جمعیت، بهداشت، انرژی، زمین، غذا، آب و گردش عناصر بیولوژیکی. بخش آب آن دارای توابعی شامل

تأمین آب شهری، کشاورزی، صنعت، نیروی برق و حفاظت سواحل می‌باشد. توابع محیطی شامل تأمین

آب برای اکوسیستم خشکی و حفظ کیفیت اکوسیستم آبی است و بخشی نیز شامل تنش‌های اجتماعی،

اقتصادی و زیست محیطی بر سیستم آب است. ساختار عملکرد این مدل عمدتاً وابسته به تغییرات اقلیم

است.



مدل آب کانادا کل منطقه کانادا و قسمتی از آمریکا در اطراف جزایر بزرگ را به وسعت 10 میلیون کیلومتر مربع در نظر می‌گیرد. برای این مدل منطقه‌ای از مدل جهانی استفاده شده است. مدل کانادا نه زیر مدل را به صورت پیوسته در نظر می‌گیرد. هدف این مدل شبیه سازی روابط بین کمیت و کیفیت آب کانادا با متغیرهای عمده اجتماعی - اقتصادی در یک بازه فراتر از صد سال است. دوازده سناریو برای سیاست‌های مختلف شبیه سازی شده است. نتایج این مدل کمبود گاز برای تولید انرژی و نیز افت شدید کیفیت آب در سال‌های آتی برای این کشور است [26].

سیمونویچ و همکاران در سال 1997 از روش مدل جهانی برای ارزیابی دراز مدت منابع آب و تحلیل سیاست‌های اعمالی در حومه رودخانه نیل بهره گرفته‌اند [27]. علاوه بر این سیمونویچ و احمد در سال 2000 با استفاده از این روش، بهره برداری از یک مخزن را برای سال پر آبی و چندین سیل رخ داده برای یک سد بررسی و رفتار مخزن را در برابر سیل شبیه سازی کردند [28].

سیمونویچ و راجاسکارام در سال 2013 یک مدل مدیریت منابع آب یکپارچه برای کانادا، با نام CanadaWater، با استفاده از روش شبیه سازی پویایی سیستم توسعه داده‌اند. مدل CanadaWater، تعامل پویا بین صفات کمی از منابع آب در دسترس و آب مورد استفاده را در نظر می‌گیرد که توسط سطح توسعه اجتماعی و اقتصادی، جمعیت و ویژگی‌های فیزیوگرافی از خاک کانادا تعیین می‌شود. این یک ابزار منحصر به فرد است که کمیت و کیفیت بخش آب با هفت بخش که منجر به رشد اقتصادی است ادغام می‌کند که این هفت بخش عبارت‌اند از: جمعیت؛ توسعه کشاورزی؛ تولید غذا؛ سرمایه گذاری؛ تولید انرژی؛ استفاده از منابع غیر قابل تجدید. و آلودگی. مدل CanadaWater یک مدل شبیه سازی پویایی سیستم که بررسی سناریوهای مختلف را فراهم می‌کند. شبیه سازی مدل برای 12 حالت طراحی شده برای بررسی گزینه‌ها در این منطقه از در دسترس بودن آب شیرین، تصفیه فاضلاب، رشد اقتصادی، رشد جمعیت، تولید انرژی و تولید مواد غذایی انجام شده است. اشاره نتیجه گیری به وابستگی بسیار

قوی از توسعه آینده و رفاه کانادا بر حفظ کیفیت قابل قبول منابع آب و کنترل سطح مصرف آب در بخش های مختلف است [16].

موضوع منابع آب یکی از مشکلات قابل توجهی است که در حوضه رودخانه زرد در این قرن وجود دارد، و توجه زیادی توسط مردم و دولت را دریافت کرده است. مقامات با چالش های بزرگ در آب مورد نیاز و تامین آب برای جمعیت در حال رشد، صنعت و کشاورزی مواجه هستند. به منظور بررسی پایداری سیستم منابع آب در منطقه مورد مطالعه، تاکاشی و همکاران (2002) از یک سیستم رویکرد پویایی شی گرا استفاده کرده اند و یک مدل برای سیستم منابع آب در حوضه رودخانه زرد توسعه داده اند. این مدل را برای شبیه سازی یک سیستم منابع آب و جمع آوری خصلت پویایی از عناصر اصلی موثر بر تقاضا و تامین آب در منطقه مورد مطالعه توسعه داده اند. منابع آب موجود و بالقوه از آب سطحی، سفره های آب زیرزمینی و تصفیه فاضلاب برآورد شده است، و مصرف آب بالقوه برای مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی پیش بینی شده است. سناریوهای مختلف عرضه و تقاضای آب با تغییر متغیرها و پارامترها بررسی شده است و شاخص پایداری سیستم تامین آب برای زیر مناطق مختلف در طول دوره های مختلف برآورد شده است [20].

ژی ژی و پو یک مدل پویایی سیستم به نام SingaporeWater توسعه داده اند و اثرات دراز مدت از طرح های سرمایه گذاری مختلف را مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهد. سنگاپور برای خودکفایی در آب در پروژه های آب شیرین کن، تصفیه فاضلاب، مدیریت آب حوضه آبریز و دیگر پروژه های مشابه سرمایه گذاری کرده است. در میان گزینه های بسیاری برای افزایش ذخیره آب در سنگاپور، تصمیم گیرندگان نیاز به دانستن یکی از پایدارترین طرح برای دنبال کردن داشتند. این پروژه تحقیقاتی با هدف نشان دادن سودمندی پویایی سیستم به عنوان یک ابزار پشتیبانی تصمیم گیری برای کمک به دستیابی مدیریت پایدار آب در سنگاپور است. آنها دریافتند که سرمایه گذاری در ذخیره سازی آب زیرزمینی و یا حوضه آب های سطحی به تنهایی برای کمک به رسیدن به خودکفایی در آب کافی

نیست. اگر سنگاپور به سرمایه گذاری در آب شیرین کن یا تصفیه فاضلاب تنها پس از ناکافی بودن آب شروع کند، حدود پنج سال کمبود آب پس از آن پنج سال دیگر فراوانی آب نتیجه می‌شود. نتایج نیاز به ساخت زیرساخت های آب به منظور پاسخگویی به تقاضای آب در آینده در سنگاپور را به خوبی نشان می‌دهد [29].

در طول دهه گذشته، روش‌های فرماندهی و کنترل برای دسترسی به یک سیاست تأمین آب سالم استفاده شد. با این حال، روش های سنتی مدیریت آب به ندرت فعل و انفعالات پیچیده و نتایج تخصیص آب که می تواند اثرات خود را در حلقه های بازخورد نشان دهد در نظر می‌گیرند. روش شبیه سازی پویا ابزار انعطاف پذیر برای به انجام رساندن یک تجزیه و تحلیل جامع فراهم می کند. این توانایی از روش پویایی سیستم در این تحقیق برای نشان دادن بازخورد تخصیص آب است. سد بوکان یکی از سدهای ساخته شده در حوضه آبریز بالادست دریاچه ارومیه که چهار سد در حال احداث دارد است. نتیجه احداث سد و اولویت‌های تامین آب در جریان سد بوکان بررسی شده است. تفاوت کاهش جریان به مخزن سد بوکان برای بهترین و بدترین سیاست حدود 18.4 میلیون متر مکعب بوده است که مقدار قابل توجهی است. همچنین بهترین اولویت تخصیص تقاضای آب برای چهار سد تقاضا کشاورزی، تقاضای خانگی، تقاضای صنعتی و تقاضا زیست محیطی تعریف شده است [30].

خشکسالی یک فاجعه طبیعی است که میلیون ها نفر در سراسر جهان را تحت تاثیر قرار داده است. کمبود بارندگی بازده محصول و بهره وری دام و به نوبه خود، در دسترس بودن غذا و درآمد را کاهش می دهد. در کشورهای در حال توسعه، این اثرات حتی مضرتر است. برای حمایت از توسعه سیاست های سازگاری خشکسالی، ترکیبی از یک مدل هیدرولوژیکی و پویایی سیستم برای یک منطقه در شرق آفریقا توسعه داده شد، با تمرکز بر شاخ آفریقا (به عنوان مثال، یک منطقه هم مرز با کنیا، سومالی و اتیوپی)، منطقه ای که خشکسالی های متعدد را در چند دهه گذشته تحمل کرده است. مدل وابستگی های متقابل بین آب قابل دسترس، فرسایش زمین، در دسترس بودن مواد غذایی و رفاه

اجتماعی و اقتصادی را شبیه سازی می‌کند. مدل برای یک دوره شبیه سازی 10 ساله با استفاده از اطلاعات آب و هوایی تاریخی مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد که ترکیب افزایش زیرساخت های هیدرولیکی و سیاست نوآورانه رویه کشاورزی می تواند کمبود آب خانگی را 54 تا 100 درصد کاهش دهد در حالی که سرانه درآمد تا 285 درصد طی 10 سال افزایش می‌یابد [7].

مدل پویایی سیستم اراهی توسط گو و همکاران (2001) برای بررسی تغییرات کیفیت آب دریاچه اراهی در کشور چین ایجاد شده است. اثرات منفی توسعه سریع اجتماعی - اقتصادی بر کیفیت دریاچه باعث نگرانی‌هایی در بین مدیران منطقه شده‌است. در این مدل سیستم جامعی از مولفه‌های زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی دریاچه تهیه شده و اثرات چهار برنامه مدیریتی بررسی شده است. حسن و توانایی این مدل، بازتاب نتایج شبیه سازی تصمیمات در کیفیت آب دریاچه برای مدیران است [31].

ژانگ و همکاران مدل پیچیده پویایی سیستم با تمرکز بر منابع آب را در منطقه تیانجین چین توسعه داده‌اند و آن را TianjinSD نامیده‌اند، برای مدیریت یکپارچه و علمی از منابع آب تیانجین طراحی شده است که شامل بازخورد اطلاعات است که بر اساس فعل و انفعالات در سیستم عمل می‌کند و قادر به ترکیب اجزاء سطح دانش در شبیه سازی رفتار سیستم در سطح یکپارچه است، در نتیجه نتایج پیش بینی معقول برای سیاست‌گذاری در تخصیص و مدیریت منابع آب را ارائه می‌دهد. در مورد شهر تیانجین، تعاملات بین 96 جزء برای مدت 12 سال مورد بررسی قرار گرفته است و چهار گزینه برنامه ریزی انتخاب شده است، که یکی از آنها در حالت معمولی الگوی موجود از فعالیت های انسانی غالب خواهد شد، در حالی که دیگر طرح‌های برنامه ریزی جایگزین بر اساس تعامل مقامات محلی و محققان برنامه ریزی می باشد. حالت مطلوب با توجه به سناریوهای مختلف حاصل می‌شود که نتایج شبیه سازی را برای ارزیابی تصمیمات مختلف و عواقب پویایی مقایسه می‌کند [32].

در این مطالعه، سیستم آب شهری تبریز با استفاده از یک رویکرد پویایی سیستم مدل شده است. مدل برای شبیه سازی شرایط در آینده نزدیک تا سال 2020 مورد استفاده قرار گرفت. مدل تبریز SD

منابع عرضه آب بالقوه (آب های زیرزمینی، آب شیرین وارداتی، و تصفیه پساب)، منابع بالقوه تقاضا برای منابع آب (استفاده خانگی، کشاورزی و صنعتی) و ابزارهای مدیریتی (استفاده مجدد از فاضلاب و بازیافت، انتقال آب بین حوضه، قیمت آب، ابزار و تجهیزات حفاظت) را مطرح می کند. قیمت آب شرب متغیر است به طوری که اثر آن بر کمبود آب می تواند تعیین شود. این مدل همچنین اثر گسترش شبکه فاضلاب در منابع آب زیرزمینی را تجزیه و تحلیل می کند. با توجه به نتایج مطالعه، هر دو ابزار انتقال آب میان حوضه ای و مدیریت تقاضا، کمبود آب را تا 45 درصد در سال 2020 کاهش می دهد اما انتقال آب موثرتر است. مدل ثابت کرده است که برای مقامات آب تبریز مفید است و این روش برای دیگر شهرستانها، به ویژه در مناطق خشک یا نیمه خشک است قابل اجرا است [33].

این مقاله روند ساخت مدل دینامیکی سیستم استراتژیک را با استفاده از مدیریت آب در لاس وگاس، نوادا، نشان می دهد. استیو برای تصمیم گیری مشارکتی در حل کمبود آب برای شهر لاس وگاس در ایالت نوادای آمریکا مدلی مبتنی بر پویایی سیستم ساخته است. هدف از این مدل افزایش درک عمومی از ارزش حفاظت از آب در لاس وگاس بود. تاثیرات سیاست ها بر تامین و تقاضای آب در سیستم به دلیل ساختار سیستم، ساده نیست. در این مدل روش های مختلف مدیریت تقاضا از دید مردم بررسی شده و نتایج و اثرات آنها بر کاهش شکاف بین عرضه و تقاضا بررسی شده است. روابط بازخورد چندگانه منجر به نتیجه تا حدودی غیرقابل انکار می شود که کاهش مصرف آب غیر خانگی نسبت به کاهش مصرف آب خانگی با همان مقدار تاثیر بسیار بیشتری بر روی تقاضای آب خواهد داشت. حسن این مدل توانایی آن در ارائه نتایج تصمیم گیری قبل اجرای تصمیم است [34].

راس و پیپر مدلی مبتنی بر پویایی سیستم برای بررسی شکل ساحل در ایالت ماساچوست آمریکا ساخته اند. این مدل با توجه به تغییر اقلیم در دنیا به پیشروی آب دریا در دماغه می پردازد. فرسایش ساحل، مسئله ای پویاست و مدل مبتنی بر پویایی سیستم کمک شایانی در شبیه سازی تغییرات این

فرآیند در سال‌های آینده می‌کند. این مطالعه در واقع تلفیق سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با پویایی سیستم است [35].

کاسل و کلاوسن مدلی به نام فسفر مزرعه را ارائه دادند. این مدل به بازخورد و شبیه‌سازی کاربرد مواد فسفوری در کشاورزی یک منطقه و تاثیر دراز مدت آن بر کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌پردازد. این مدل تاثیر برنامه‌های بهینه‌سازی کشاورزی را در کاهش فسفر در منابع آبی بررسی می‌کند [36].

سودهیر و همکاران برای مدیریت پایدار مواد زائد جامد، مدلی مبتنی بر پویایی سیستم ساخته‌اند. این مدل برای شهرهای هند تنظیم شده و در آن پویایی چرخه‌های بهداشت، اقتصاد، محیط‌زیست و رفتارهای انسانی تنظیم شده است. این مدل می‌تواند نتایج و آثار برنامه‌های مدیریتی را شبیه‌سازی کند [37].

مشایخی نیز در سال 1993 مدلی برای مدیریت مواد زائد جامد شهر نیویورک ساخته است. این مدل برای تجزیه و تحلیل مشکل دفع مواد زائد جامد در ایالت نیویورک است. بودجه مواد زائد جامد در طی انتقال به سرعت افزایش می‌یابد. هزینه‌های مواد زائد جامد توسط مالیات‌های محلی و کمک‌های مالی دولت تامین می‌شود. اگر دولتهای محلی و ایالتی با سرعت به الزامات بودجه بالاتر پاسخ ندهند، دفع غیر قانونی افزایش خواهد یافت و کل هزینه انتقال افزایش می‌یابد [38].

فورد در سال 1999 کتابی برای مدل‌سازی پویایی مسائل زیست‌محیطی نوشته است. در این کتاب آموزشی، مدل‌های بسیار متنوعی در مسائل مختلف آب و محیط‌زیست ارائه شده است. نویسنده این کتاب، برنده جایزه سال 1996 از بنیاد دینامیک سیستم بوده است [39].

ولفندن در سال 1999 مدلی برای مدیریت فرابخشی منابع در قلمرو حوضه آبریز تهیه کرده است. خصوصیات این مدل عبارت‌اند از: مدل سازی محیط‌های پیچیده، مشارکت مردمی و یادگیری آنان و نیز در نظر گرفتن معیارهای چندگانه [40].

هیورتا و همکاران در سال 2004 از روش پویایی سیستم در مدیریت یک حوضه آبریز در مکزیک استفاده کردند. مدل تهیه شده ابزار توانمندی در حل اختلاف بین پنج استان و ادارات آب ملی بر سر توزیع آب سطحی بوده است [41].

هو و همکاران در سال 2005 از روش تحلیل پویایی سیستم برای بررسی اثرات تصمیم‌های مدیریت آب برای جنوب تایوان استفاده کرده‌اند. تقاضا برای آب در جنوب تایوان در سال‌های اخیر به دلیل رشد صنعتی و افزایش سطح زندگی افزایش یافته است. با این حال، به دلایل مالی، در یک حوضه رودخانه تنها گسترش محدودی از امکانات موجود در سطح آب امکان پذیر است. بنابراین، یک استراتژی مناسب برای در نظر گرفتن هزینه‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی برای گسترش مورد نیاز است. از سوی دیگر، استفاده مشترک از آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌تواند قابلیت اطمینان منابع آب را با فراهم آوردن منابع مستقل افزایش دهد و تحقیقات در مورد استفاده مشترک از جمله هزینه‌های ثابت و عملیاتی مهم باشد. بنابراین، مقامات دولتی باید فوراً تنش بین کمبود آب و سود اقتصادی را در حین حصول اطمینان از توسعه پایدار منابع آب حل کنند. بر این اساس، این تحقیق پیشنهاد یک فرآیند برای ترکیب پویایی سیستم و تجزیه و تحلیل تاثیر برای ارزیابی استراتژی آب، با اشاره به کمبود آب و سود اقتصادی به عنوان ارتباط برنامه ریزی و مدیریت منابع آب منطقه ای را می‌دهد. مدل تهیه شده تاثیر افزایش ظرفیت تاسیسات آب، تصفیه آب و آب زیرزمینی را ارائه می‌کند [42].

اورز در سال 2005 مدلی برای تخصیص بهینه آب در حوضه آبریز سان وان بین ایالت کلرادو و نیومکزیکو در آمریکا بین ذی‌نفعان مختلف تهیه کرده است. تامین آب یک پدیده هیدرولوژیکی است، اما تقاضای آب عمدتاً به واسطه نیازهای انسانی است. ترکیبی از این دو سیستم، هیدرولوژی و اقتصاد،

برای مدل سازی دقیق منابع آب ضروری است. علاوه بر این، در زمان خشکسالی یا کمبود آب، مولفه های رفتاری انسان است که تعیین می کند که آیا تامین آب می تواند پایدار باشد. این مدل می تواند برای اندازه گیری اختلافات اقتصادی بین استفاده های رقابتی و سنجش اثرات تغییرات آب و هوایی در جریان رودخانه ها در حوضه سان وان استفاده شود. این مدل اندر کنش های اقتصادی برای مصارف مختلف آب را کمی می کند. به علاوه، این مدل، اثر تغییر اقلیم را در بر آورد رودخانه اصلی نیز در نظر می گیرد [43].

سلک و جکوبسن در سال 2005 مدل پویایی سیستم برای حوضه بیر که در سه ایالت واقع شده ساخته اند. این مدل برای مدیریت جامع آب سطحی و زیرزمینی این حوضه با تلفیق اطلاعات هیدرولوژیکی با سایر اطلاعات (اجتماعی، اقتصادی و سیاسی) ساخته شده است. این مدل می تواند پشتیبانی لازم برای تصمیم گیری در مورد سناریوهای مدیریتی را ارائه کند [44].

مجتهد زاده در سال 1370 مدلی برای شبیه سازی دینامیکی مسائل آب شهر یزد در محیط نرم افزار دینامو تهیه کرده است. این مدل رفتار متغیرهای مهم مدل تحت سیاست های کنترل جمعیت، کنترل صنعت، انتقال آب، محدود کردن گسترش بخش کشاورزی و بهبود روش های آبیاری را مورد بررسی قرار می دهد [45].

صادقی در سال 1383 پویایی سیستم را برای مدل سازی بهره برداری مخازن مورد استفاده قرار داد. از جمله نقاط قوت این روش شبیه سازی، به افزایش سرعت توسعه مدل سازی، افزایش اعتماد بر اثر مشارکت کاربر و ارتباط موثر با نتایج می توان اشاره نمود. آسانی ایجاد تغییر در مدل و توانایی انجام آنالیز حساسیت، این روش را از سایر روش های تحلیل مدل سازی بهره برداری از مخازن، متمایز کرده است. گام های مدل سازی روش تحلیل پویایی سیستم برای کنترل سیل رودخانه سیستان با دبی 2200 متر مکعب در ثانیه بر روی مخازن توسعه داده شده است. در نهایت اعتبار مدل به روش های مختلفی چون تحلیل حساسیت، آزمون های حدی و غیره صحت سنجی شده است [46].



گلیان و همکاران در سال 1386 سیاست‌های مختلف در حوضه دریاچه ارومیه و حوضه رودخانه آجی چای در شرق دریاچه ارومیه برای تعیین تاثیرات آن‌ها بر سطح آب دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار داده‌اند. برای این منظور حوضه آجی چای به سه زیر حوضه تقسیم شده است. 3 سناریو در این تحقیق برای حوضه مورد نظر مطرح شده است که سناریو 1 احداث سد شهید مدنی را مورد بررسی قرار می‌دهد که نتایج آن نشان می‌دهد که دبی ورودی به دریاچه در این حالت کمتر از حالتی است که سدی احداث نشود و تراز آب دریاچه بر اثر اجرای این سناریو کاهش چشمگیری نخواهد داشت. سناریو 2 کاهش نیاز آبی را بررسی می‌کند که حجم آب ورودی به دریاچه در ماه‌های مختلف افزایش خواهد یافت که این افزایش به دلیل کاهش مصرف است و تغییرات تراز آب دریاچه ناچیز و به طور میانگین 3 سانتی‌متر است. سناریو 3 ترکیب سناریو 1 و 2 را بررسی می‌کند که با اجرای همزمان این دو سناریو، تراز آب دریاچه در بیشتر ماه‌ها تغییر نکرده یا در جهت افزایش است [47].

جلالی و افشار در سال 1383 مدلی برای بهره برداری از سدهای برقابی بر اساس پویایی سیستم ارائه کردند [48]. در این مدل به راحتی می‌توان سناریوهای مدیریتی و منحنی‌های فرمان را اعمال کرده و با سرعت پردازش بالایی به حل مسئله پرداخت. قابلیت‌های تحلیل حساسیت و فضای تصویری از اجزای مختلف سیستم منابع آب در یک سد از امتیازهای این روش نسبت به روش‌های متداول مدیریت مخازن سدهاست [49].

جلالی و همکاران در سال 2005 در مطالعه دیگری، به کمک تحلیل پویایی سیستم، روندیابی سیل را در سیستم‌های چند مخزنی (دریچه‌دار و بدون دریچه) بر روی رودخانه کارون شبیه سازی کرده و توانایی این روش را نسبت به روش‌های متداول نشان دادند [50].

این مقاله قصد دارد نشان دهد که می‌توان یک نمونه اولیه از مدل پویایی سیستم ساخته شود که به مدیران منابع آب برای تصمیم‌گیری خود بر اساس سیاست و یا اقتصاد کمک خواهد کرد. در ابتدا یک مدل ریاضی بسیار ساده ارائه شده است، که تمام پتانسیل برای تکامل را از نسخه‌ای به نسخه دیگر

دارد. اجرای آن در Vensim PLE بوده است. Vensim PLE یک ابزار بسیار آسان و شهودی برای اجرای شبیه سازی است، یک زبان برنامه نویسی بصری بر اساس سه شاخصه اصلی - متغیرهای ظرف، متغیرهای کمکی، و متغیرهای شار است. این نشان می دهد که با یک نسخه نرم افزار رایگان در دسترس و کمی تخیل ما قادر به ساخت مدل های جالب برای کمک به مدیریت آب خواهیم بود [51].

لی چنگ یک مدل از ظرفیت منابع آب سوژو با استفاده از روش پویایی سیستم تشکیل داده است. در این مدل، سه برنامه استفاده از منابع مختلف آب تصویب شد: 1- تداوم استفاده از آب موجود، 2- حفاظت از آب و صرفه جویی 3- بهره برداری آب. تغییر پویا منابع آب سوژو با اصل عرضه - تصمیم برای مدت زمان از سال 2001 تا 2030 شبیه سازی شد و نتایج بر اساس عوامل اجتماعی و اقتصادی مشخص شد. بر اساس این نتایج، راه های مناسب برای بهبود مدل ارائه شده است. این مدل همچنین یک طرح بهینه سازی تولید کرده است، که می تواند یک مبنای علمی برای بهره برداری پایدار از منابع آب سوژو و برای توسعه هماهنگ از منابع جامعه، اقتصاد، و آب تهیه کند [52].

شیوه های احیای آب و استفاده مجدد به تازگی مورد توجه و رو به رشد است، به دلیل افزایش کمبود آب، نگرانی در مورد اثر تخلیه فاضلاب در دریافت آب، و در دسترس بودن آب با عملکرد بالا و فن آوری مقرون به صرفه تصفیه آب وجود دارد. با این حال، ادغام طرح آب تصفیه شده با سیستم های آب / زیرساخت فاضلاب یک فرآیند تصمیم گیری پیچیده است، که شامل معیارهای مختلف اقتصادی، تکنولوژیکی و زیست محیطی است. پویایی سیستم مدل سازی سیستم های پیچیده را اجازه می دهد و اطلاعات در مورد رفتار موقتی و بازخورد از سیستم را فراهم می کند. فوژان نصیری و همکاران یک مدل پویایی سیستم از سیستم آب / فاضلاب موجود در کالامازو میشیگان، یک منطقه شهری در منطقه دریاچه های بزرگ، با الحاق فرضی از آب تصفیه شده ساخته اند. مدل هزینه های سیستم آب (از جمله آب، فاضلاب و اجزای تصفیه آب)، حسابداری برای سناریوهای آینده از جمعیت، رشد اقتصادی و تغییر آب و هوا را شبیه سازی و بهینه سازی کرده است. نتایج سطح قابل توجهی از آب تصفیه شده پس از

یک تاخیر ساخت زیرساخت را نشان می دهد. این مدل همچنین نشان می دهد که تصمیم برای اجرای تصفیه آب، به میزان قابل توجهی مصرف آب را کاهش می دهد. این مطالعه بر این واقعیت تأکید دارد که درک درستی از تصفیه آب بدون در نظر گرفتن پارامترهای منطقه ای و اقلیمی نمی تواند به دست آید [53].

مدیریت منابع آب نیازمند تصمیم گیری آینده نگر با رویکردی جامع است. در این مقاله صلوی تبار و همکاران در سال 1385 مدل منابع و مصارف آب شهری با روش پویایی سیستم برای ارزیابی روند مصرف و مصارف و عوامل اثر گذار بر آن را تهیه و توسعه داده اند. اندر کنش منابع آب شهری با جنبه های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی تامین و تقاضای آب، سیستم پیچیده ای را ایجاد می کند که تحلیل آن صرفاً با نگرشی جامع و با روش پویایی سیستم مقدور می باشد. نتایج تحلیل پویایی سیستم آب شهری تهران، مدیران را به یک ابزار قابل فهم و تصویری برای درک علل کاهش منابع آب رهنمون خواهد کرد. همچنین این مدل روند تغییرات بیلان آب در آینده و تاثیر سناریوهای مدیریتی انتقال بین حوضه ای آب، اجرای طرح جمع آوری و تصفیه فاضلاب و مدیریت تقاضا را ارائه می کنند [54].

تهران به عنوان پر جمعیت ترین شهر ایران نیز با مسئله کمبود منابع آبی در سال های اخیر مواجه شده است که در صورت عدم مدیریت صحیح آن به یک بحران تهدید آمیز برای منطقه تبدیل خواهد شد. در این پژوهش فرتوک زاده و همکاران با به کار گیری مدل سازی پویا و روش تحلیل پویایی سیستم، تلاش کردند با دیدی جامع نسبت به سیستم آب منطقه تهران و با استفاده از شبیه سازی رفتاری در محیط نرم افزار ونسیم به مدیریت یکپارچه منابع آب در این حوضه کمک کنند. نتایج شبیه سازی نشان داد که سیاست های کنترل جمعیت و فناوری نسبت به سایر سیاست ها تاثیر قابل توجهی بر بهبود وضعیت آب منطقه دارند. با این حال سیاست های کنترل جمعیت و فناوری می توانند همزمان با سیاست هایی همچون اعمال مالیات و تعرفه ها همراه شوند تا موثرتر عمل نمایند [55].

افزایش روزافزون نیازهای آبی به دلیل توسعه جمعیت انسانی و پیشرفت صنعت و کشاورزی در دنیای امروز امری اجتناب ناپذیر است. از طرفی محدودیت منابع آبی و اصل پایداری در مدیریت آن، تامین آب کلیه نیازهای موجود را غیرممکن ساخته است. لذا به منظور تامین و عرضه آب با اطمینان پذیری بالا و رعایت اولویت‌های تخصیص به صورت شرب، حقابه کشاورزی، محیط زیست و صنعت و نیاز به برنامه‌ای دقیق و کامل می‌باشد. در این تحقیق پس از ارزیابی و برآورد منابع آب موجود در محل طرح‌ها و حوضه‌های میانی آنها و تدقیق مقادیر منابع و مصارف در بخش‌های مختلف موجود در حوضه آبریز به مدلسازی طرح‌ها و حوضه آبریز آنها با استفاده از مدل علیت و معلولی ونسیم پرداخته می‌شود. در این مرحله با تهیه شبکه جریان رودخانه‌های حوضه آبریز و موقعیت طرح‌ها نسبت به یکدیگر، طرح‌های توسعه منابع آب در سرشاخه‌ها مدل شده و به تدریج کلیه طرح‌های واقع در پایین دست آن حوضه به مدل اضافه می‌شوند و به این ترتیب مدلی جامع با نگرشی سیستمی از یک حوضه آبریز ساخته می‌شود. مقادیر منابع و مصارف در حوضه هر یک از سدها در مقیاس‌های زمانی ماهانه به مدل وارد گردیده و عملکرد حوضه آبریز زنجانرود و درصد تامین زمانی و حجمی نیازهای شرب، حقابه کشاورزی، محیط زیست و صنعت در شرایط مختلف کم آبی و پرآبی حوضه به عنوان خروجی مدل بدست می‌آید [56].

حسن‌زاده و همکاران در سال 2014 با استفاده از یک رویکرد پویایی سیستم، یک مدل یکپارچه منابع آب برای تجزیه و تحلیل سناریو در بخش ساسکاچوان از حوضه رودخانه ساسکاچوان در غرب کانادا، توسعه داده‌اند. اجزاء منابع آب با تقلید از یک مدل مدیریت منابع آب موجود ساخته شده‌است. ارتقاء مدل، یک زیر مدل آبیاری برای ارزیابی تقاضای پویای آبیاری، برآورد تبخیر تعرق بالقوه متناوب، و یک زیر مدل اقتصادی برای تخمین ارزش آب مصرفی برای بخش‌های مختلف اقتصاد است را شامل می‌شود. نتایج اولیه نشان می‌دهد که گسترش آبیاری تولید انرژی برق آبی را کاهش دهد، اما ممکن

است کل منافع اقتصادی مستقیم ساسکاچوان را افزایش دهد. با این حال، هزینه های غیر مستقیم شامل کاهش سطح دریاچه ها و جریان های رودخانه می شود [57].

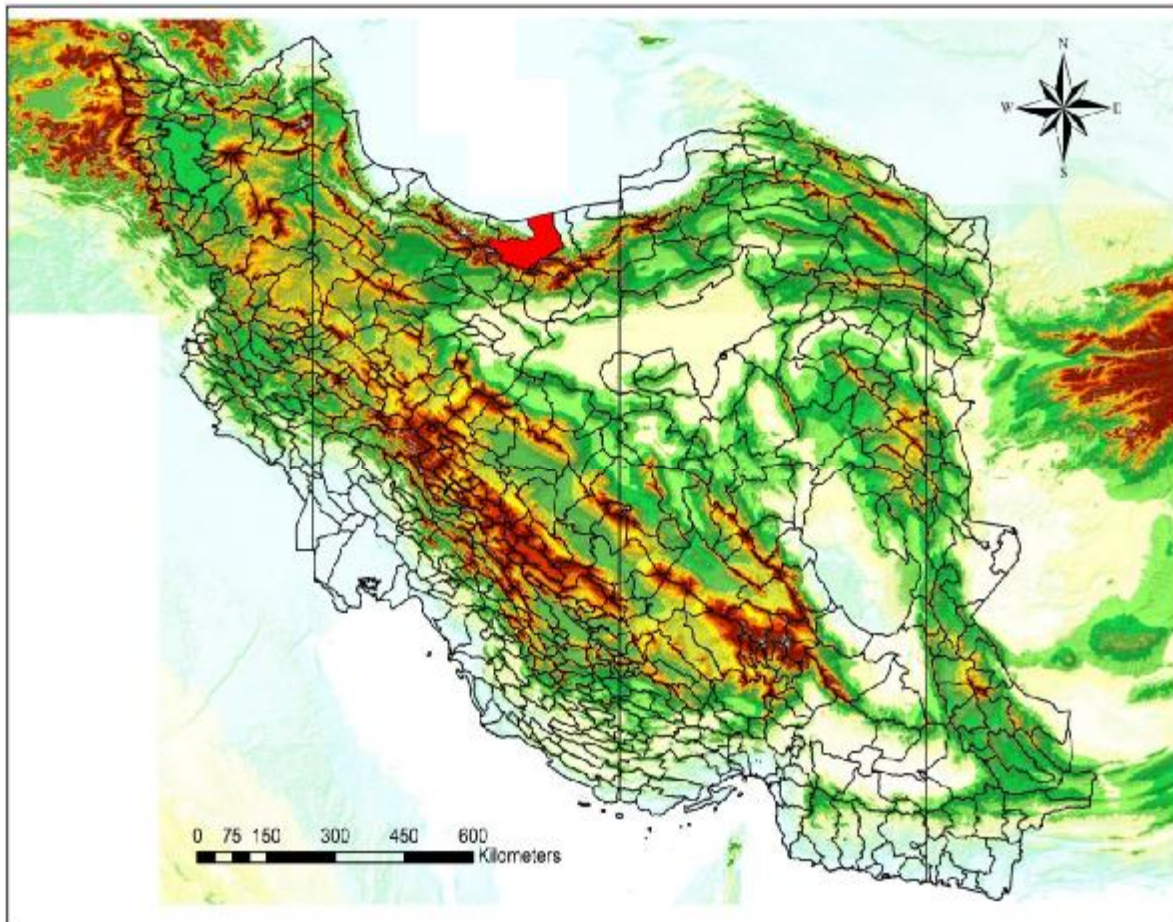


فصل سوم: مواد و

روش‌ها

### 3-1- منطقه تحقیق

محدوده‌ی مطالعاتی بابل-آمل بین دو محدوده نوشهر-نور در غرب و قائمشهر-جویبار در شرق با مساحت حدود 6804.11 کیلومتر مربع واقع شده است که 1448.6 کیلومتر مربع مساحت آن را دشت و 5355.5 کیلومتر مربع آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. بالاترین نقطه ارتفاعی این محدوده 5671 و پایین‌ترین نقطه با ارتفاع 26- متر از سطح دریای آزاد در خروجی حوزه واقع شده است. این حوزه با نام حوزه هراز شناخته می‌شود. این محدوده دارای دو رودخانه بزرگ به نام‌های هراز و بابلرود است. از مراکز جمعیتی مهم این محدوده مطالعاتی می‌توان شهرهای بابل، آمل، بابلسر، فریدونکنار و محمودآباد را نام برد.



شکل 3-1- موقعیت حوزه هراز در ایران





شکل 3-2- موقعیت حوزه هرز در استان مازندران

### 3-2- مدل پویایی سیستم

در تحقیق حاضر به منظور شناخت ماهیت بخش آب این حوزه، یک مدل شبیه سازی مبتنی بر روش پویایی سیستم ایجاد می‌شود. این مدل از سال 1390 تا سال 1440 اجرا شده تا اثرات بلند مدت طرح های پیشنهادی را نشان دهد. این مدل با نرم افزار Vensim Personal Learning Edition که یک نرم افزار رایگان با رابط کاربری گرافیکی بصری است، ایجاد شده است. این نرم افزار به مفهوم سازی، ساخت و آزمایش مدل های پویایی سیستم کمک می کند [4].

### 3-3- توجیه کاربرد پویایی سیستم

رویکرد پویایی سیستم برای هر سیستم متغیر با زمان مشخص شده با وابستگی متقابل، تعامل متقابل، بازخورد اطلاعات و رابطه علت و معلولی مناسب است [58]. این یک ابزار بسیار عالی برای مطالعه مشکلات در سیستم های با حلقه های بسته است. از توانایی روش پویایی سیستم برای شناخت وابستگی های متقابل و بازخورد بین سیستم های مختلف می تواند به طور کامل مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، بسیاری از اطلاعات مرتبط برای ساخت مدل در وب سایت های دولتی، گزارش

سالانه شرکت ها و بسیاری از منابع در دسترسی وجود دارد. این داده های معتبر، اعتبار مدل را به طور قابل توجهی افزایش می دهند. بنابراین پویایی سیستم یک ابزار ایده آل برای تجزیه و تحلیل جامع سیستم منابع آب این حوزه است [4].

### 3-4- مراحل مدل سازی

مراحل مدل سازی در تحلیل پویایی سیستم به ترتیب زیر است:

1. شناخت و تعریف مسئله
2. رسم نمودارهای مرجع: نمودار مرجع به نمودار رفتارهای عمده سیستم گفته می شود. این نمودارها لزوماً با اعداد واقعی رسم نمی شوند بلکه بیانگر رفتار کلی سیستم از دید متغیرها هستند.
3. تعریف متغیرهای عمده مطرح در مسئله
4. تعریف ارتباط بین متغیرها
5. رسم نمودار علت و معلولی بین متغیرها
6. تعریف مرزهای مدل
7. ساخت نمودار جریان برای مدل: در این نمودار متغیرهای نرخ و انبارهای از هم تفکیک شده و سپس مبتنی بر نمودار علت و معلولی و ارتباط بین متغیرها شکل کاملی از مدل رسم می گردد. در این نمودار خصوصیات مسئله مانند تاخیر، رفتارهای غیر خطی، شروط و غیره اعمال می شود.
8. اجرای مدل
9. بررسی اعتبار مدل و بعد ارزیابی اعتبار مدل گام بعدی کالیبره کردن مدل برای پارامتر-هاست [59].

### 3-4-1- شناخت و تعریف مسئله

حوزه مورد مطالعه یکی از پر جمعیت‌ترین حوزه‌های استان مازندران است. دو شهر بزرگ استان، آمل و بابل در این حوزه قرار دارند که به حوزه آمل-بابل معروف است. این حوزه دارای دو رود بزرگ به نام‌های هراز و بابلرود است. جمعیت این حوزه در سرشماری سال 1390 برابر با 1144568 نفر بوده است. برای نمایان ساختن مسئله لازم است دو عامل اصلی تقاضا و عرضه آب در این حوزه بررسی شود.

### 3-4-1-1- تقاضای آب

تقاضای آب بر حسب کاربری‌های وسیع آن به سه دسته تقاضای آب شرب، کشاورزی و صنعتی تقسیم می‌شود. تقاضای آب در بخش صنعت و کشاورزی به سرعت در حال افزایش است تا پاسخگوی تقاضای فزاینده جمعیت باشد [60]. در بخش شرب نیز آمار و اطلاعات بیانگر تقاضای رو به افزایش آب شرب هستند. با توجه به رشد صنعت و کشاورزی در این محدوده تقاضای صنعت و کشاورزی در این محدوده در حال افزایش است.

### 3-4-1-2- عرضه آب

بر اساس اطلاعات اداره آب منطقه‌ای مازندران منبع اصلی آب شرب و صنعت سفره‌های آب زیرزمینی است البته بخشی از آب شرب و صنعت از آب سطحی تامین می‌شود. برای تامین آب کشاورزی منبع اصلی آب‌های سطحی است ولی بخشی از آب کشاورزی از سفره‌های زیرزمینی تامین می‌شود. آب زیرزمینی توسط تعداد زیادی چاه که در محدوده هراز حفر شده استخراج می‌شود و در مصارف مختلف استفاده می‌شود. در جدول شماره 3-1 تعداد چاه‌ها و چشمه‌ها و میزان تخلیه از آنها نشان داده شده است.

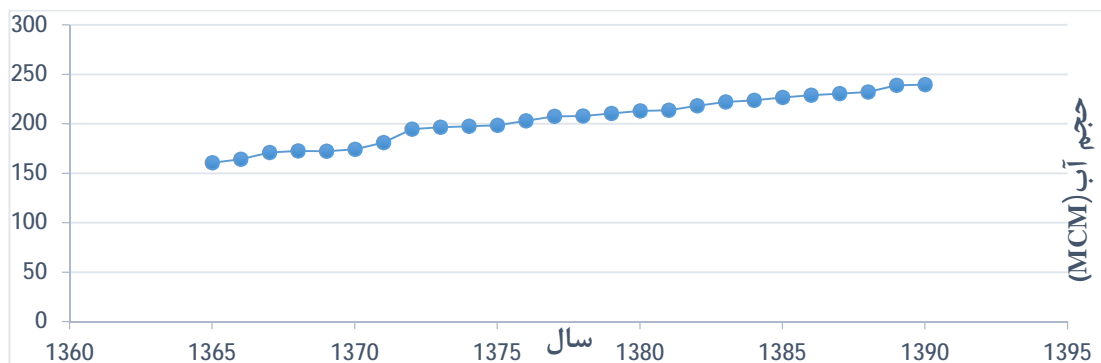
جدول 3-1- تعداد و تخلیه منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی بابل-آمل

نوع منبع	دشت		ارتفاعات		جمع	
	تعداد	تخلیه (MCM)	تعداد	تخلیه (MCM)	تعداد	تخلیه (MCM)
چاه	61794	238.17	483	1.45	62277	239.62
چشمه	131	18.08	7739	291.15	7870	309.23
قنات	-	-	-	-	0	0
جمع کل	61925	256.25	8222	292.60	70147	548.85

بطور کلی رودخانه‌های دائمی و فصلی متعددی در این حوزه وجود دارد که برای سیراب کردن دشت و استفاده آن برای کشاورزی، شرب و صنعت بهره‌برداری می‌شود.

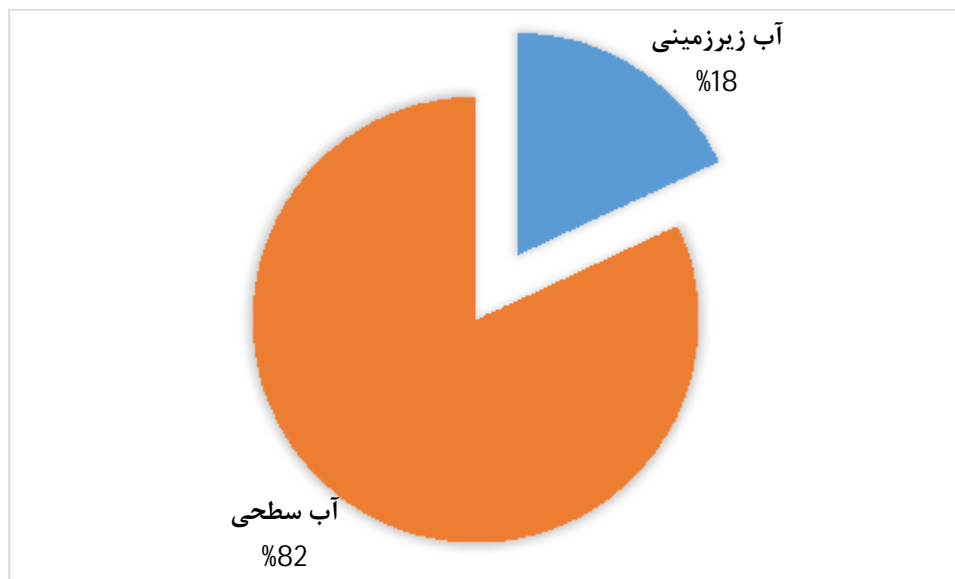
### 3-4-2- رسم نمودارهای مرجع

شکل 3-3 براساس داده‌های اداره آب منطقه‌ای مازندران میزان افزایش استفاده از آب زیرزمینی در دشت هراز که را نشان می‌دهد.



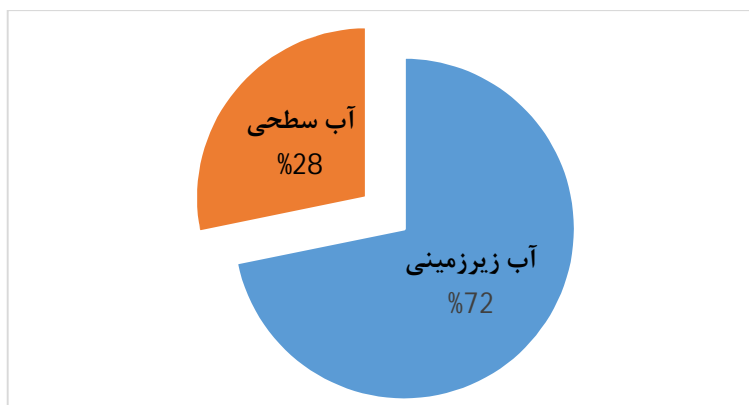
شکل 3-3- روند استفاده از آب زیرزمینی

شکل 3-4 میزان استفاده از آب زیرزمینی و سطحی در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل 3-4 ملاحظه می‌شود 18 درصد عرضه از آب‌های زیرزمینی و مابقی از آب‌های سطحی تامین می‌شود.

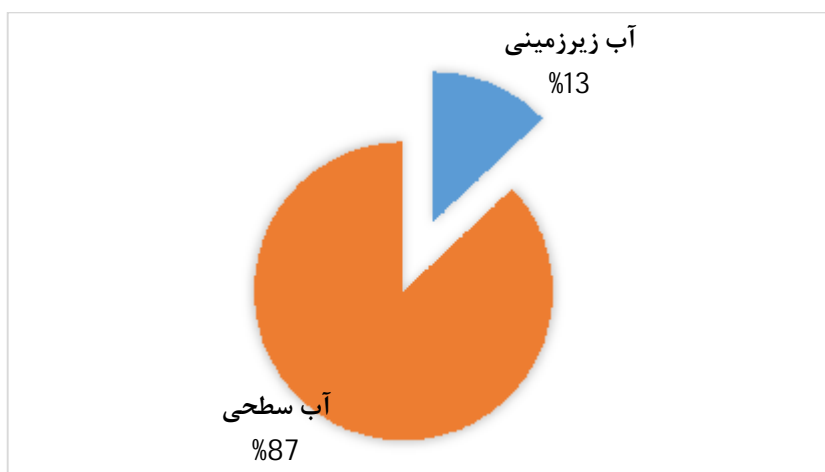


شکل 3-4- سهم منابع آب در تامین تقاضای آب

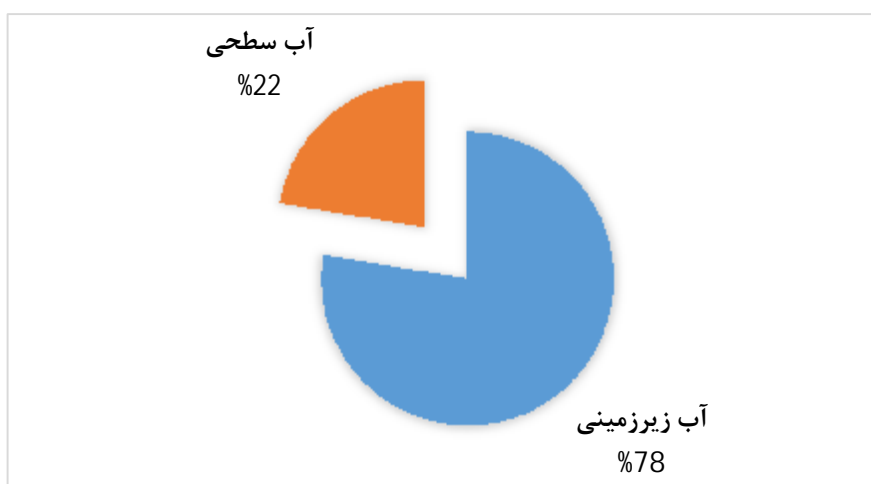
شکل 3-5، 3-6 و 3-7 میزان استفاده از منابع مختلف برای تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت را نشان می‌دهد. میزان آب سطحی و آب زیرزمینی در تامین آب شرب به ترتیب برابر با 28 و 72 درصد است. میزان آب سطحی و آب زیرزمینی در تامین آب کشاورزی 87 و 13 درصد است و میزان آب سطحی و آب زیرزمینی در تامین آب صنعت 22 و 78 درصد است. شکل‌های 3-4، 3-5، 3-6 و 3-7 با توجه به داده‌های اداره آب منطقه‌ای مازندران رسم شده‌اند.



شکل 3-5- سهم منابع آب در تامین آب شرب



شکل 3-6- سهم منابع آب در تامین آب کشاورزی



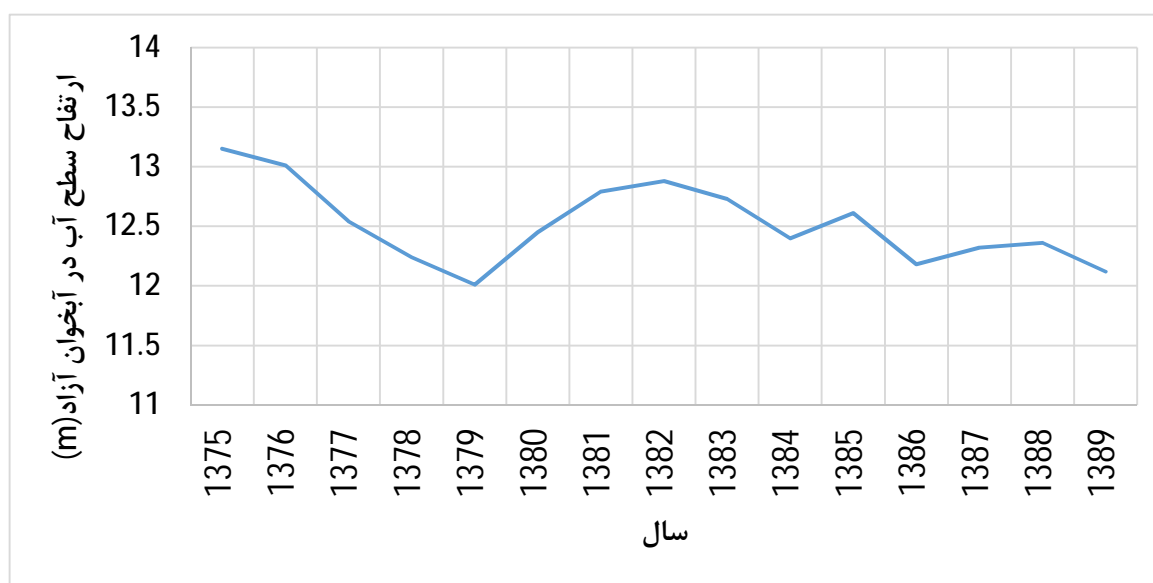
شکل 3-7- سهم منابع آب در تامین آب صنعت

بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری چاه‌های مشاهده‌ای که بر اساس اطلاعات اداره آب منطقه‌ای در جدول شماره 3-2 از سال آبی 76-1375 تا 90-1389 نشان داده شده است شکل 3-8 هیدروگراف سطح آب زیرزمینی تهیه شده است. این هیدروگراف نشان دهنده افت سطح آب زیرزمینی به میزان 1.13 متر طی دوره 15 ساله مذکور می‌باشد که متوسط سالانه آن برابر 8 سانتی متر می‌باشد. با توجه به کم بودن افت سطح آب زیرزمینی، میتوان آبخوان آبرفتی موجود در این دشت را در حالت تعادل فرض نمود.

جدول 3-2- متوسط تراز سطح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی آزاد محدوده مطالعاتی بابل - آمل

سال آبی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
-76 75	13.15	13.61	13.55	13.24	13.29	13.26	13.3	13.16	12.91	12.77	12.82	12.85
-77 76	12.95	13.17	13.17	13.27	13.16	13.13	13.28	13.19	13.07	12.84	12.62	12.37
-78 77	12.61	12.82	12.87	12.89	12.77	12.63	12.87	12.71	12.42	12.38	11.81	11.78
-79 78	12.32	12.62	12.64	12.69	12.74	12.66	12.89	12.46	11.78	11.5	11.05	11.55
-80 79	11.96	12.33	12.61	12.67	12.74	12.7	12.6	12.08	11.46	10.82	10.65	11.54
-81 80	11.81	12.01	12.42	12.43	12.55	12.72	12.84	13.09	12.81	12.4	12.2	12.19
-82 81	12.28	12.79	13.1	13.09	12.86	12.9	12.94	13.02	12.94	12.73	12.46	12.46
-83 82	12.69	12.93	13.15	13.11	12.89	12.73	13.07	13.06	12.88	12.91	12.7	12.54
-84 83	12.56	12.59	12.94	12.92	12.86	12.75	12.89	12.86	12.86	12.77	12.36	12.4

-85 84	12.55	12.65	12.63	12.64	12.51	12.38	12.46	12.54	12.27	12.2	12.05	11.93
-86 85	12.25	12.27	12.64	12.77	12.59	12.69	12.93	12.93	12.76	12.68	12.41	12.42
-87 86	12.56	12.62	12.8	12.79	12.82	12.69	12.55	12.1	11.55	11.14	11.21	11.36
-88 87	11.85	12.19	12.25	12.38	12.34	12.41	12.43	12.63	12.59	12.36	12.2	12.25
-89 88	12.41	12.41	12.62	12.54	12.6	12.64	13.04	12.57	12.61	11.82	11.46	11.63
-90 89	11.88	12.14	12	12.13	12.42	12.63	12.563	12.42	12.26	11.18	11.84	12.02



شکل 3-8- هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی آزاد بابل - آمل

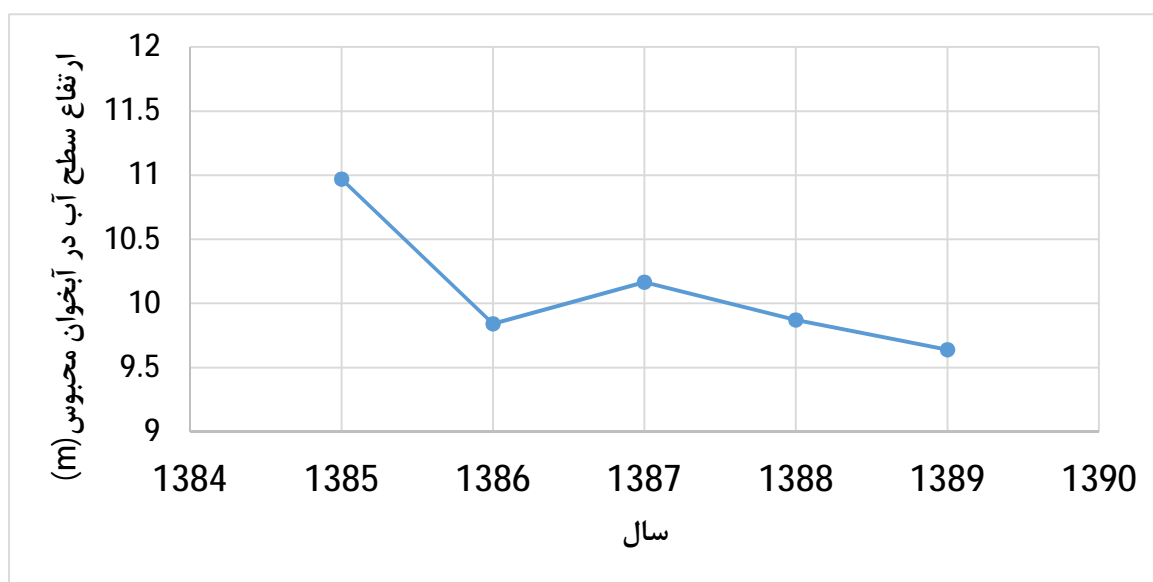
بر اساس اطلاعات اندازه گیری چاه‌های پیزومتری که از اداره آب منطقه‌ای مازندران تهیه شده است. از سال آبی 86-1385 تا 90-1389 در جدول شماره 3-3 اطلاعات مربوط به چاه‌های پیزومتری نشان داده شده است. بر اساس این اطلاعات شکل 3-9، هیدروگراف تغییرات فشار پیزومتری رسم



می‌شود. این هیدروگراف نشان‌دهنده افت فشار پیزومتری به میزان 2.33 متر طی دوره 5 ساله مذکور می‌باشد که متوسط سالانه آن برابر 47 سانتیمتر می‌باشد.

جدول 3-3- متوسط فشارپیزومتری در آبخوان آبرفتی محبوس محدوده مطالعاتی بابل - آمل

سال آبی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
85-86	11.09	10.99	11.1	11.27	11.29	11.31	11.20	11.11	10.9	10.17	10.44	10.86
86-87	11.09	11.22	11.54	11.36	11.34	11.29	10.52	9.07	7.09	6.76	7.50	9.30
87-88	10.19	10.71	10.69	10.78	10.82	10.4	10.32	9.60	9.84	9.02	9.57	10.04
88-89	10.46	10.56	10.78	10.73	10.77	10.81	10.46	9.83	8.60	8.04	8.26	9.11
89-90	10.06	10.35	10.22	10.57	10.98	11.18	10.09	9.04	7.92	8.07	8.51	8.76



شکل 3-9- هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی محبوس بابل-آمل

با توجه به شکل‌های 3-8 و 3-9 این سوال پیش می‌آید در سال‌های آتی با توجه به افزایش جمعیت و در نتیجه افزایش برداشت از سفره زیرزمینی، آب زیرزمینی به لحاظ کمی چه حالتی خواهد یافت.

### 3-4-3- مرزهای مدل

1. مرزهای سیستم منابع آب زیرزمینی دشت بابل-آمل
  - مرز شمال به دریاچه خزر
  - مرز شرقی به قائمشهر-جویبار
  - مرز غربی به نوشهر-نور
  - مرز جنوبی به دامنه ارتفاعات البرز
2. مرزهای سیستم مصارف آب در دشت بابل-آمل شامل کلیه ذی‌نفعان منابع آب در محدوده این دشت شامل مصرف‌کنندگان آب شهری، صنعتی و کشاورزی است.
3. مرز زمانی، تغییرات عوامل طبیعی و انسانی را تا افق سال 1440 مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهد.

### 3-4-4- بررسی زیر مدل‌های مدل پویایی آب شهری و رسم نمودار علت-معلولی

این مدل از یک چارچوب عرضه و تقاضا آغاز می‌شود. در بخش تقاضا، سطح جمعیت، رشد صنعت و رشد کشاورزی کل تقاضا برای آب را مشخص می‌کند. در بخش عرضه منابع آب زیرزمینی و سطحی مصارف خانگی، صنعت و کشاورزی را تامین می‌کند. مدل منابع و مصارف آب محدوده آمل-بابل شامل چهار زیر مدل مخزن آب زیرزمینی، مخازن آب سطحی، جمعیت و نیاز آبی است. زیرمدل و متغیرهای آن‌ها در مدل پویایی آب عبارتند از [54]:

### 3-4-4-1- سیستم سفره آب زیرزمینی

شامل منابع تغذیه‌کننده با متغیرهای نفوذ بارش، جریان ورودی، نفوذ آب سطحی و آب برگشتی از شرب، صنعت و کشاورزی است و منابع کاهش دهنده شامل تبخیر از آبخوان، جریان خروجی، زهکشی، تخلیه از چشمه‌ها و آب استخراج شده می‌باشد [54].

### 3-4-4-2- سیستم آب سطحی

این سیستم شامل متغیرهایی مانند رودخانه‌ها، رواناب بارش، تبخیر از آب سطحی، نفوذ آب سطحی، جریان خروجی و مقدار مصارف از آب سطحی است.

### 3-4-4-3- سیستم جمعیت

جمعیت یکی از مهم‌ترین و تاثیرگذارترین عواملی است که بر فرآیند چرخه آب تاثیر می‌گذارد. متغیر جمعیت اشاره به تاثیر انسان در فرآیند چرخه آب دارد [55] و تابعی از نرخ تولد، مهاجرت و نرخ مرگ و میر دارد [54]. متغیر جمعیت خود متاثر از عوامل مختلف اجتماعی، فرهنگی، آموزشی و غیره است [55].

### 3-4-4-4- سیستم تقاضای آب

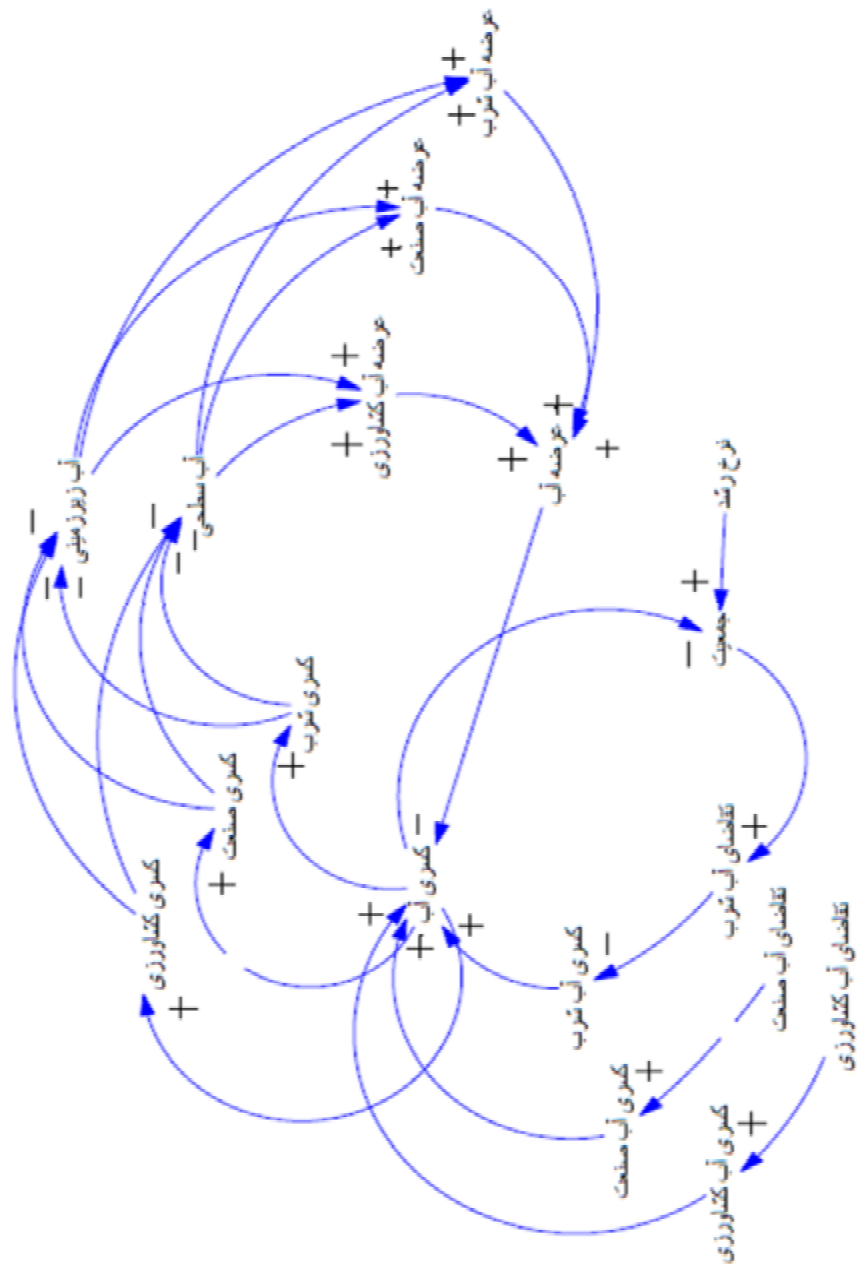
شامل تقاضاهای آب شرب، صنعت و کشاورزی می‌باشد. نیاز صنعت تابعی از تعداد واحدهای صنعتی و نیاز متوسط هر واحد می‌باشد. نیاز کشاورزی شامل اراضی در دست کشاورزی و الگوی مصرف برای هر هکتار می‌باشد. تقاضای آب شرب، صنعت و کشاورزی هر سه هم از آب زیرزمینی و هم از آب سطحی تامین می‌شود [54].

با افزایش جمعیت، تقاضا برای آب شرب افزایش می‌یابد و تقاضا برای آب کشاورزی و صنعت با یک نرخ رشد در حال افزایش است که با بالا رفتن تقاضای آب، فاصله عرضه و تقاضای آب به طور منفی افزایش می‌یابد [55].

بر اساس این مولفه‌ها و روابط بین آنها، نمودار علت و معلولی در شکل 3-10 نشان داده شده است.

در نمودار شکل 3-10 ملاحظه می‌شود که علامت مثبت نشان دهنده تاثیر مثبت یک متغیر بر

متغیر بعدی است و علامت منفی تاثیر منفی یک متغیر بر متغیر بعدی را نشان می‌دهد.

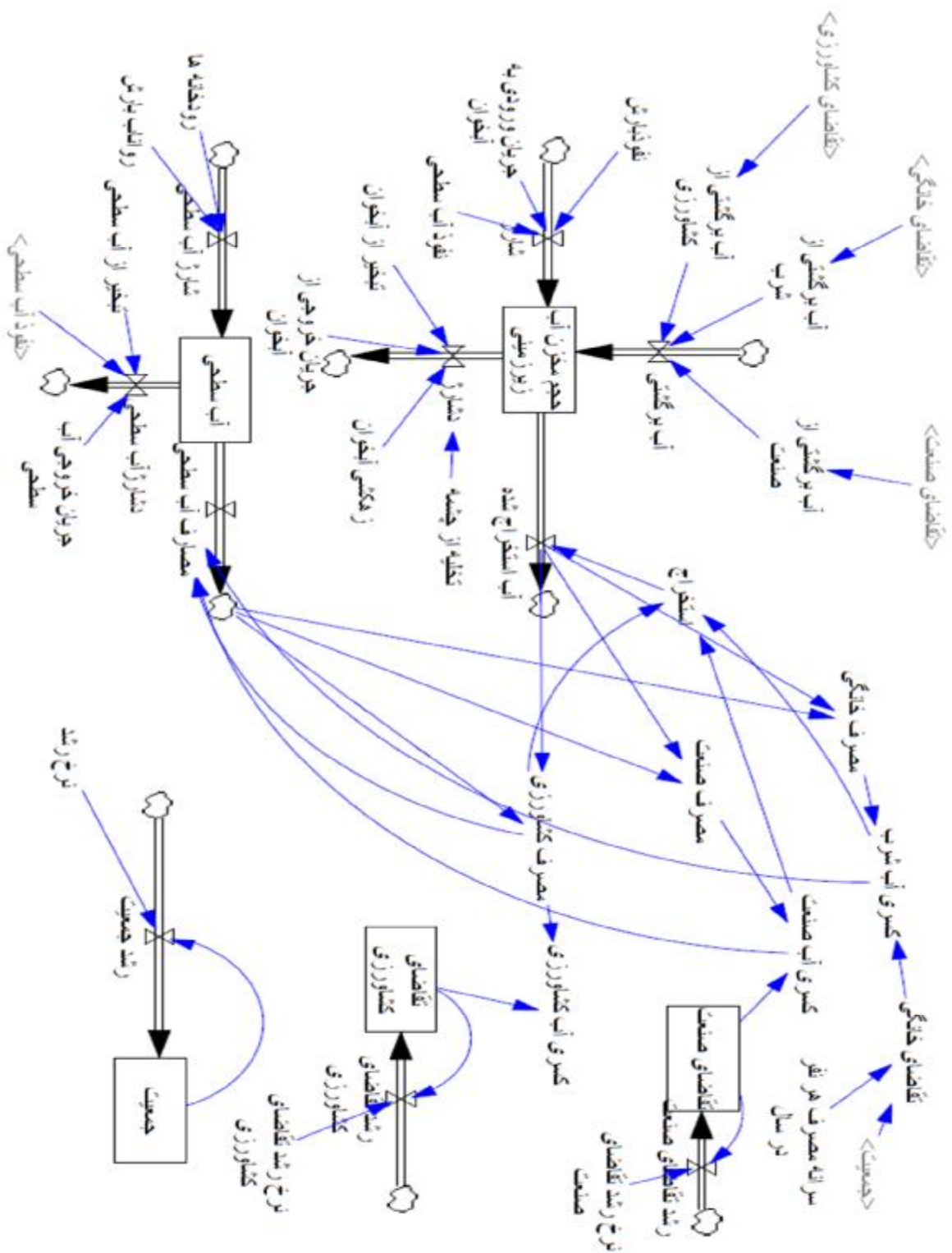


شکل 3-10- نمودار علت و معلولی

### 3-4-5- رسم نمودار جریان

نمودارهای علت و معلولی، ادراکی تصویری از ساختار الگو ارائه می‌کنند. برای درک از رفتار نظام لازم است روابط بین متغیرهای نظام تدوین شده و با استفاده از رایانه، مقادیر متغیرها در طول زمان شبیه سازی شود [55].

از حلقه بسته آب در شکل 3-10 نمودار انباره - جریان را برای دشت آمل-بابل ساخته شده است. شکل 3-11 موجودی و جریان کلیدی را در مدل نشان می‌دهد. نمودار انباره - جریان در واقع تبدیل شکل 3-10 به سیستمی مرکب از انباره‌ها، متغیرهای نرخ و روابط بین آنها می‌باشد. نمودار انباره - جریان مدل دشت آمل-بابل همه متغیرهای مطرح در نمودار علت و معلولی است در محیط نرم افزار ونسیم در شکل 3-11 رسم شده است. نرم افزارهایی مانند ونسیم شبیه‌سازی مبتنی بر پویایی سیستم را انجام داده و تحلیل حساسیت نتایج را به صورت تصویری به همراه قابلیت‌های مختلف پشتیبانی تصمیم‌گیری، ارائه می‌دهند.



شکل 3-11- نمودار جریان مدل پویایی سیستم آب دشت آمل-بایل

اکثر داده‌های ورودی از منابع منتشر شده توسط اداره آب منطقه‌ای مازندران، اداره جهاد کشاورزی مازندران و اداره آمار ایران تهیه شده است. به دلیل اطلاعات محدود و عدم اطمینان ذاتی تقریباً در تمام سیستم‌های واقعی، فرض‌ها باید در طول ساخت مدل ساخته شوند.

اولین فرضیه این است که هر دو بخش خصوصی و دولتی تنها در صورت کسری آب در بخش آب سرمایه گذاری کنند.

دومین فرضیه بیا می‌کند که پس از کسری آب، از حوضه‌های مجاور آبی وارداتی وارد حوضه هراز نشود. برای مطالعه طولانی مدت در بخش آب، منطقی است که آب وارداتی در برنامه ریزی استراتژیک حذف گردد.

در ادامه ارقام کلیدی مورد کاربرد در مدل محاسبه می‌شود و در انتها در جدول 3-16 ارقام بدست آمده نشان داده می‌شود.

### 3-4-5-1- مخزن آب زیرزمینی

بر اساس مطالعات هیدروژئولوژی قبلی متوسط ضریب ذخیره سفره آزاد و محبوس در این دشت به ترتیب 5 و 0.3 درصد است.

بر اساس شکل‌های 3-8 و 3-9 که ارتفاع سطح آب در آبخوان‌های آزاد و محبوس را نشان می‌دهد و با توجه به مساحت آبخوان‌ها که به ترتیب 1405.5 و 957.25 کیلومتر مربع است می‌توان حجم آب ذخیره شده در آبخوان دشت آمل-بابل را محاسبه کرد که در جدول شماره 3-4 نشان داده شده است.

جدول 3-4- حجم آبخوان دشت آمل- بابل

	1385	1386	1387	1388	1389	1390
حجم آبخوان آزاد (MCM)	821.27	871.41	801.135	860.87	822.22	843.3
حجم آبخوان محبوس (MCM)	31.88	31.59	28.72	30.15	30.15	25.27
حجم کل (MCM)	853.15	903	829.855	891.02	852.37	968.57

تعیین اجزاء مختلف بیلان آب در بررسی فرآیندهای هیدرولوژیکی در سطح یک حوضه آبریز و یا محدوده مطالعاتی اهمیت فراوانی دارد. همچنین اتخاذ تصمیمات مناسب و موثر توسط مدیران بخش آب براساس نتایج این گونه مطالعات باید صورت گیرد. به همین سبب لازم است کلیه اجزاء و مؤلفه های بیلان با دقت بالایی مورد محاسبه قرار گیرند.

یکی از عوامل بسیار مهم در دقت بیلان، آمار و اطلاعات استفاده شده در محاسبه و برآورد مؤلفه های بیلان می باشد که باید از ویژگیهایی مانند صحت و دقت، مداومت و پیوستگی و بهنگام بودن برخوردار باشد. در تهیه بیلان آب یک محدوده مطالعاتی لحاظ کردن کلیه ورودیها و خروجی ها و مصارف منطبق با واقعیت های موجود، یک ضرورت اجتناب ناپذیر است. در این خصوص اصل بقای جرم و پیوستگی در چرخه آب باید مورد توجه و نظر قرار گیرد.

### 3-4-5-2- بیلان آب

بیلان، تراز نامه بین داشته ها و برداشتها و در مورد منابع آب بین عوامل ورودی و عوامل خروجی آب در یک حوضه آبریز، یک محدوده مطالعاتی و یا یک آبخوان در زمان معین می باشد. در بیلان بایستی موازنه بین این دو گروه عوامل برقرار گردد، در محدوده ها یا آبخوانهایی که مجموع حجم آبهای ورودی با مجموع حجم آبهای خروجی تقریباً یکسان می باشد، بیلان حالت تعادل را نشان می دهد. ولی چنانچه در یک محدوده یا یک آبخوان تعادل بین این دو گروه موجود نباشد و مجموع حجم



عوامل خروجی که برداشت آب برای مصارف مهمترین آن است، بیش از حجم عوامل ورودی باشد، بیلان آب متعادل نبوده و اضافه برداشت از ذخایر ثابت آب به کمک عوامل ورودی می آید، تا موازنه برقرار گردد. در این حالت بیلان را منفی می نامند. با برقراری بیلان وضعیت پتانسیل آب در یک محدوده مطالعاتی یا آبخوان معلوم شده و براساس نتایج آن می توان امکان توسعه بهره برداری از منابع آب را برآورد نمود و همچنین در محدوده های دارای بیلان منفی چگونگی کنترل اضافه برداشت را بررسی کرد.

برخی از عوامل بیلان آب مستقیماً قابل اندازه گیری و محاسبه بوده، ولی برخی عوامل با توجه به معلوم بودن عوامل دیگر و اطلاعات موجود از شرایط هیدرولوژی و هیدروژئولوژیکی محدوده یا آبخوان برآورد می شود.

بیلان آب در محدوده مطالعاتی بابل-آمل با استفاده از اطلاعات مختلف موجود، بصورت بیلان هیدروکلیماتولوژی برای ارتفاعات و دشت، بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی محدوده مطالعاتی تهیه گردیده است.

لازم به ذکر است ، محدوده بیلان هیدروکلیماتولوژی (دشت و ارتفاعات) در محدوده مطالعاتی بابل-آمل منطبق بوده و بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی نیز در سطح آبخوان آبرفتی (سفره آزاد) تهیه شده که بر 97.03 درصد از گستره دشت بابل-آمل منطبق می باشد.

محدوده بیلان هیدروکلیماتولوژی به دو بخش دشت و ناحیه ارتفاعات تقسیم شده که وسعت ناحیه ارتفاعات 5355.5 کیلومترمربع و مساحت ناحیه دشتی نیز 1448.6 کیلومترمربع می باشد. براساس آمار و اطلاعات مربوط به چاه‌های بهره برداری و چاه‌های مشاهده ای و نیز اطلاعات بدست آمده از بررسی‌های اکتشافی، حدود آبخوان آبرفتی آزاد، مشخص شده است. وسعت سفره مذکور 1405.5 کیلومتر مربع می باشد.

### 3-4-5-3- بیلان هیدروکلیماتولوژی

معادله عمومی بیلان هیدروکلیماتولوژی به شرح زیر می باشد:

$$P=Er+(R+I)$$

1-3

P: متوسط بارندگی سالانه

Er: تبخیر و تعرق از بارندگی

R: جریان سطحی

I: نفوذ از بارندگی است که مجموع این دو را بارندگی مفید می نامند. برای محاسبه تبخیر-تعرق

در رابطه بیلان هیدروکلیماتولوژی روش تورنت وایت استفاده شد.

بیلان هیدروکلیماتولوژی به تفکیک دشت و ارتفاعات و نیز در سطح کل محدوده مطالعاتی بابل -

آمل تهیه و در زیر تشریح گردیده است.

**بارندگی:** بارش در هر محدوده عامل اصلی تولید آب می باشد، در این محدوده مطالعاتی وسعت

ارتفاعات برابر 5355.5 کیلومتر مربع و وسعت دشت برابر 1448.6 کیلومتر مربع بوده، همانطور که در

جدول شماره 3-5 نشان داده شده است متوسط ارتفاع بارندگی که از نقشه منحنی های هم باران

محاسبه شده، برای ارتفاعات 567.27 میلیمتر و برای دشت 754.57 میلیمتر حاصل شده است. از

حاصل ضرب مساحت در ارتفاع بارندگی میزان حجم بارندگی برای ارتفاعات برابر 3038.04 میلیون

متر مکعب در سال و دشت 1093.05 میلیون متر مکعب در سال محاسبه شده است.

جدول 3-5- توزیع ماهانه باران در ارتفاعات و دشت محدوده مطالعاتی بابل-آمل - میلیمتر

سالانه	ماه												دشت و ارتفاعات
	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
567.3	19.8	13.6	9.6	28.6	51.7	82.1	73.4	68.3	56.6	70.1	63.3	30.3	ارتفاعات
754.6	86.6	28.9	18.5	22.1	21.3	40.2	61.9	51.0	70.9	99.5	154.3	99.3	دشت

**تبخیر و تعرق واقعی:** در این مطالعات برای رسیدن به تبخیر و تعرق حقیقی مطابق دستورالعمل

از روش تورنت وایت استفاده شده است. در این روش ابتدا با استفاده از متوسط درجه حرارت (دما) ماهانه و ضرایبی که براساس عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر که در یک جدول تنظیم شده، تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه می شود. سپس با مقایسه بین تبخیر و تعرق پتانسیل و بارندگی متوسط ماهانه تبخیر و تعرق حقیقی حاصل می شود. در بیان آبی ماهانه به روش تورنت وایت ابتدا تبخیر و تعرق پتانسیل طبق معادله های زیر محاسبه می‌گردد.

$$ET_P = 16(10t_n / I)^a \quad 2-3$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{t_n}{5}\right)^{1.514} \quad 3-3$$

$$a = (0.0675I^3 - 77.1I^2 + 17920I + 492390) 10^{-6} \quad 3-4$$

$$i_n = \left(\frac{t_n}{5}\right)^{1.514} \quad 3-5$$

$ET_P$ : تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه به میلیمتر

$t_n$ : درجه حرارت متوسط ماهانه به درجه سانتیگراد

$I$ : شاخص حرارتی سالانه که از مجموع شاخص های حرارتی ماهانه بدست می‌آید.

$i_n$ : شاخص حرارتی ماهانه که براساس درجه حرارت متوسط ماهانه و معادله شماره 3-5 برآورد می شود.

a: ضریبی است که از نقطه‌های به نقطه دیگر متفاوت بوده و به شاخص حرارتی سالانه بستگی داشته و از معادله شماره 3-4 بدست می‌آید.

پس از محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، جدولی تنظیم می شود که در آن مقادیر بارندگی هر ماه با تبخیر و تعرق پتانسیل همان ماه مقایسه می شود. اگر میزان بارندگی مساوی یا کمتر از میزان تبخیر و تعرق پتانسیل باشد، کل بارش به عنوان تبخیر و تعرق واقعی در نظر گرفته می شود. اگر میزان بارندگی از تبخیر و تعرق پتانسیل بیشتر باشد، مازاد بارندگی پس از کسر آب مورد نیاز رطوبت خاک به عنوان بارندگی مفید تعیین می گردد.

در محدوده مطالعاتی بابل-آمل، متوسط درجه حرارت و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه محاسبه شده برای ارتفاعات و دشت در ردیفهای اول و سوم جداول شماره 3-6 و 3-7 آورده شده است. براین اساس مجموع تبخیر و تعرق پتانسیل 12 ماه برای ارتفاعات و دشت به ترتیب 593.19 و 853.93 میلیمتر می باشد. همچنین در ردیف دوم جداول مذکور، توزیع ماهانه بارش ارائه شده است که مقدار سالانه آن برای ارتفاعات و دشت به ترتیب برابر 567.27 و 754.57 میلیمتر می باشد. در این محدوده مطالعاتی با توجه به وضعیت اقلیمی، سنگ شناسی و پوشش گیاهی، میزان بارندگی مورد نیاز جهت تامین رطوبت خاک برابر 50 میلیمتر در ارتفاعات و 150 میلیمتر در دشت برآورد شده است. از مقایسه بارندگی ماهانه با تبخیر و تعرق پتانسیل و کسر آب مورد نیاز رطوبت خاک، مقادیر تبخیر و تعرق حقیقی ماهانه حاصل گردیده که مجموع 12 ماه برابر 284.2 میلیمتر در سال برای ارتفاعات و 545.65 میلیمتر در سال برای دشت حاصل گردیده است.

جدول 3-6- محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی از بارندگی به روش تورنت وایت در دشت آمل- بابل ارقام به میلیمتر

مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه	مولفه‌های بیان دما(سانتیگراد)
8.2	13.3	9.5	7.6	7.9	9.8	14.0	18.9	23.0	25.3	25.4	22.7	16.3	بارندگی
9.3	154.3	99.5	70.9	51.0	61.9	40.2	21.3	22.1	18.5	28.9	86.6	754.6	تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه
8.5	35.9	19.57	14.00	14.45	25.60	50.2	91.68	128.1	153.6	144.9	107.4	853.9	تبخیر و تعرق واقعی
0.8	149.3	150	150	150	150	140.04	69.71	0.0	0.0	0.0	0.0		ذخیره رطوبت خاک
0.0	0.0	79.2	56.8	36.6	36.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	208.9	مازاد

جدول 3-7- محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی از بارندگی به روش تورنت وایت در ارتفاعات مشرف به دشت آمل- بابل ارقام به میلیمتر

مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه	مولفه‌های بیان دما(سانتیگراد)
11.35	6.6	1.0	-1.9	-0.4	2.6	7.9	12.6	16.2	17.7	17.9	15.9	8.9	بارندگی
30.3	63.3	70.1	56.6	68.3	73.4	82.1	51.7	28.6	9.6	13.6	19.8	567.3	تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه
52.4	26	3.2	0.0	0.0	11.3	40.2	73.2	99	108	102.3	80.6	593.2	تبخیر و تعرق واقعی
30.3	26	3.2	0.0	0.0	11.3	40.2	73.2	57	9.6	13.6	19.8	284.2	ذخیره رطوبت خاک
0.0	37.3	50	50	50	50	50	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0		مازاد
0.0	0.0	54.2	53.6	68.3	62.1	41.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	283.1	

**بارندگی مفید:** بارندگی مفید به مجموع رواناب و نفوذ حاصل از بارندگی در ارتفاعات یا دشت یک محدوده اطلاق می شود. طبق جدول تورنت وایت علاوه بر تبخیر و تعرق حقیقی بخشی از بارش نیز صرف تامین رطوبت خاک می شود که میزان سالانه آن با توجه به شرایط اقلیمی، دانه بندی خاک سطحی و وضعیت پوشش گیاهی منطقه بین کمتر از 50 میلی متر برای نواحی خشک و نیمه خشک بدون پوشش گیاهی تا 200 میلیمتر برای نواحی مرطوب با پوشش گیاهی، متغییر می باشد. بارندگی مفید از تفاضل بارش با تبخیر و تعرق حقیقی و نیاز رطوبت خاک حاصل می شود. میزان بارندگی مفید نیز به ترتیب برای ارتفاعات و دشت محدوده مطالعاتی بابل-آمل به ترتیب برابر 283.07 میلیمتر و 207.92 میلیمتر در سال حاصل شده است.

جهت محاسبه نفوذ از بارش در سطح دشت بابل-آمل با توجه به پارامترهای بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل و درجه حرارت و معادله زیر میزان نفوذ از بارش در سطح دشت، مشخص گردیده و در جدول شماره 3-4 ارائه شده است.

$$F = 0.8(P - C \log E)^{0.5} \quad 3-6$$

$$C = \frac{\log t}{0.6} \quad 3-7$$

E: تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه بر حسب میلیمتر

C: ضریب ثابتی که اندیس نفوذ یا اندیس حرارتی نفوذ نامیده می شود و به درجه حرارت بستگی دارد.

P: بارندگی ماهیانه بر حسب میلیمتر

F: میزان نفوذ ماهیانه بر حسب میلیمتر

جدول 3-8- محاسبه نفوذ به روش فائو در دشت بابل-آمل

سالانه	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	ماه پارامتر
16.3	22.7	25.4	25.3	23	18.9	14	9.8	7.9	7.6	9.5	13.3	18.2	درجه حرارت (سانتیگراد)
754.6	77.6	43.1	55.2	45.4	55.3	52.9	73.8	63.7	52	65.3	72.1	88.3	بارندگی (mm)
853.9	107.4	144.9	153.6	128.2	91.7	50.2	25.6	14.4	14	19.6	35.8	68.5	تبخیر و تعرق پتانسیل (mm)
-	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2	1.8	1.67	1.6	1.8	1.9	2.1	ضریب C
73.5	6.8	4.9	5.7	5.1	5.7	6.2	6.7	6.3	5.7	6.3	6.7	7.4	نفوذ (mm)

میزان کل بارندگی سالانه در سطح محدوده مطالعاتی بابل-آمل 4131.09 میلیون مترمکعب بوده

که 2312.46 میلیون مترمکعب آن بصورت تبخیر و تعرق واقعی از دسترس خارج می شود. حجم

رواناب ناشی از بارندگی 1335.25 میلیون مترمکعب در سال بوده است.

### 3-4-5-4-3- بیان آب زیرزمینی

برای محاسبه بیان آب زیرزمینی باید عوامل ورودی و خروجی از آبخوان را بدست آورد که طبق

داده‌های بدست آمده از شرکت آب منطقه‌ای مازندران میزان این اعداد در جداول زیر داده شده است و

در نهایت در جدول شماره 3-7 بیان آب زیرزمینی محاسبه شده است.

### جریان زیرزمینی ورودی و خروجی

جریانهای زیرزمینی ورودی جانبی یا خروجی از آبخوان با استفاده از معادله دارسی به شرح زیر

محاسبه می شود.

$$Q = L \times i \times T \times t$$

3-8

L: طول مقطع ورودی یا خروجی بر حسب متر

i: گرادیان هیدرولیکی که از تقسیم اختلاف ارتفاعی بین دو منحنی هم تراز مقطع بر عرض متوسط مقطع به دست می‌آید و بدون بعد است.

T: ضریب قابلیت انتقال متوسط مقطع بر حسب متر مربع در روز

t: زمان دوره بیلان بر حسب روز

محاسبات جریان زیرزمینی ورودی و خروجی طبق جدول شماره 3-9 انجام گرفته که براساس آن مقدار جریان ورودی جانبی برابر 35.96 میلیون مترمکعب در سال و جریان زیرزمینی خروجی برابر 7.94 میلیون مترمکعب حاصل شده و نشان می‌دهد که 7.52 میلیون متر مکعب از خروجی زیرزمینی دشت بابل-آمل وارد دریای مازندران شده و مابقی وارد سفره حاوی آب شور واقع در شمال شرقی دشت می‌شود.

حجم جریان زیرزمینی خروجی از سفره حاوی آب شور واقع در شمال شرقی دشت به دریای مازندران بر اساس محاسبات ارائه شده در جدول شماره 3-9 برابر با 0.08 میلیون متر مکعب در سال است. بنابراین حجم کل جریان زیرزمینی خروجی از دشت بابل-آمل به دریای مازندران برابر با 7.6 میلیون متر مکعب در سال است.



جدول 3-9- حجم جریانات زیرزمینی ورودی به و خروجی از آبخوان آبرفتی دشت بابل-آمل

نوع جبهه	شماره جبهه	شیب هیدرولیکی (در هزار)	طول (متر)	قابلیت انتقال (متر مربع در روز)	حجم جریان (میلیون متر مکعب)
ورودی	1	9.0	950	300	0.94
	2	11.2	900	400	1.47
	3	7.6	3700	750	7.7
	4	8.3	3100	400	3.76
	5	6.8	4340	400	4.31
	6	8.1	4050	300	3.59
	7	7.12	4500	250	2.92
	8	9.0	7800	250	6.41
	9	7.6	2200	350	2.14
	10	7.6	1900	300	1.58
	11	5.9	1800	300	1.16
ورودی زیرزمینی جمع کل					35.96
خروجی	1	1.1	1500	200	0.12
	2	0.5	8000	200	0.29
	3	1.2	13500	300	1.77
	4	2.1	25000	300	5.75
خروجی زیرزمینی جمع کل					7.94

### نفوذ از بارندگی

نفوذ از بارندگی در سطح آبخوان جزئی از تغذیه سطحی می باشد. طبق بیلان هیدروکلیماتولوژی که به روش بیلان آبی ماهانه تورنت وایت جدول شماره 7-3 محاسبه شده است، مقدار بارندگی مفید شامل جریان سطحی و نفوذ در دشت بابل-آمل معادل با 302.64 میلیون مترمکعب است. میزان نفوذ از بارش در سطح دشت بابل-آمل برابر با 67.91 میلیمتر معادل با 98.37 میلیون مترمکعب درسال است. با توجه اینکه بخشی از نیمه شمالی دشت تحت پوشش رسوبات ریزدانه بوده و درنیمه جنوبی دشت که آبخوان آبرفتی گسترش دارد رسوبات دانه درشت می باشند، لذا در سطح آبخوان آبرفتی

میزان نفوذ از بارش برابر با 97.5 میلیون متر مکعب در سال در نظر گرفته شده است و مابقی مربوط به ناحیه دشتی اطراف آبخوان آبرفتی می باشد، که می تواند باعث تغذیه جانبی آبخوان آبرفتی گردد.

جدول 3-10- بیلان هیدروکلیماتولوژی دشت و ارتفاعات در محدوده مطالعاتی بابل-آمل

نفوذ		رواناب		تبخیر و تعرق از بارندگی		بارندگی		وسعت (کیلوم تر مربع)	ناحیه بیلان
ارتفاع mm	حجم MC M	ارتفاع mm	حجم MCM	ارتفاع mm	حجم MCM	ارتفاع mm	حجم MCM		
67.9	98.37	141.0	204.27	545.6	790.41	754.5	1093.0	1448.6	دشت
1		1		5		7	5		
71.8	385.0	211.1	1130.9	284.2	1522.0	567.2	3038.0	5355.5	ارتفاعات
9	1	8	8		5	7	4		ت
71.0	483.3	196.2	1335.2	339.8	2312.4	607.1	4131.0	6804.11	جمع کل
4	8	4	5	6	6	5	9		
11.7		32.32		55.98		100		درصد	

### تبادل آب رودخانه و آبخوان آبرفتی

رودخانه ها بخصوص در ناحیه ورود به دشت، تغذیه کننده آبخوان بوده و برخی از آنها بویژه در نواحی خروجی از دشت که سطح آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین می باشد، زهکش آبخوان هستند. ساده ترین راه محاسبه میزان تغذیه یا زهکش اندازه گیری آبدهی آب رودخانه در دو نقطه به فاصله معین در مسیر آن می باشد. بدین صورت که تفاوت آبدهی بین این دو نقطه مقدار تغذیه و زهکشی را معلوم می نماید. کاهش آبدهی در نقطه پایین دست نسبت به میزان آن در بالادست نشانه تغذیه و افزایش آبدهی در نقطه پایین دست، مشخص کننده زهکشی می باشد.

$$Q_d = L \times b \times K \times \frac{\Delta H}{\Delta X}$$

9-3

Qd: حجم زه آب یا تغذیه (متر مکعب در روز)

L: طول قسمت زهکشی یا تغذیه کننده رودخانه (متر)

b: متوسط محیط یا عرض ناحیه زهکش یا تغذیه (متر)

$\Delta H$ : اختلاف ارتفاع سطح آب رودخانه با سطح آبخوان بر حسب متر

$\Delta X$ : فاصله متوسط چاه‌های مورد اندازه‌گیری با منحنی تراز از رودخانه (متر)

میزان نفوذ از جریان‌های سطحی ورودی به دشت بابل-آمل برابر با 31.71 میلیون مترمکعب در سال و میزان زهکشی آبخوان آبرفتی دشت بابل-آمل توسط رودخانه‌های جاری در سطح دشت برابر با 36.14 میلیون متر مکعب در سال برآورد گردیده است. در جدول شماره 3-11 نحوه محاسبه زهکشی آبخوان آبرفتی توسط تعدادی از رودخانه‌های جاری در سطح دشت بابل-آمل ارائه گردیده است.

جدول 3-11- محاسبه زهکشی آبخوان آبرفتی توسط تعدادی از رودخانه‌های جاری در سطح دشت بابل-آمل

رودخانه	طول (متر)	شیب (در هزار)	هدایت هیدرولیکی (متر در روز)	عرض بستر خیس شده (متر)	زمان (روز)	حجم (میلیون متر مکعب)
تاج	14500	4.06	4	50	365	4.3
هراز	18544	2.64	5	100	365	1.93
کیسه	12000	4.17	5	50	365	4.57
باعورود	16750	1.7	4	25	365	1.04
باریک	18500	1.6	3	50	365	1.62
کاری	10000	1	4	25	365	0.37
خوش	6100	1.2	4	25	365	0.27
کلارود	2350	4.1	4	25	365	0.35
متالون	1500	3.3	4	25	365	0.18
رود بابل	25500	1.49	4	50	365	2.77
حجم کل						24.4

## مصارف آب و نفوذ از آن

مصارف آب شامل مصرف کشاورزی، مصرف شرب و مصرف صنعت می باشد. در این محدوده مطالعاتی جمع مصارف سالانه آب برابر 1326.97 میلیون مترمکعب است که 239.62 میلیون متر مکعب آن از منابع آب زیرزمینی شامل چاه و قنات و مابقی از منابع آب سطحی تامین می گردد.

در سطح آبخوان آبرفتی دشت بابل-آمل حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی و بخشهای شرب و صنعت به ترتیب 1109.96 و 80.35 میلیون مترمکعب در سال است. با توجه به بافت خاک، بالا بودن عمق سطح آب زیرزمینی و شرایط خاص منطقه میزان آب برگشتی زراعی برابر با 98.63 میلیون مترمکعب در سال در نظر گرفته شده است، که باعث تغذیه آبخوان آبرفتی می گردد.

مقدار آب نفوذ یافته از مصارف شرب و صنعت بدلیل اینکه دفع پساب آنها عمدتاً از طریق جذبی صورت می گیرد، برابر با 48.21 میلیون مترمکعب حاصل شده است.

## تخلیه و برداشت از آب زیرزمینی

تخلیه و برداشت از آب زیرزمینی مهمترین عامل خروجی آب بوده که شامل برداشت توسط چاه و تخلیه بوسیله قنات و چشمه می باشد. در محدوده مطالعاتی بابل-آمل جمع تخلیه از آبخوان آبرفتی بوسیله چاه و چشمه برابر با 253.81 میلیون مترمکعب در سال می باشد که 80.98 درصد مجموع عوامل خروجی بیلان آب زیرزمینی را شامل می گردد.

## تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی

تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی به عمق سطح آب، نوع و بافت خاک، درجه حرارت محیط، پوشش گیاهی، شدت باد، رطوبت نسبی هوا و غلظت املاح آب بستگی دارد. این تبخیر طبق اصل کشش لوله های موئینه انجام می گیرد.

در شکل 3-12 حجم تبخیر از آب زیرزمینی برابر با 15.52 میلیون متر مکعب محاسبه شده است. خاطر نشان می‌سازد در دشت بابل-آمل به دلیل غرقابی بودن در فصول کشاورزی تبخیر از آب زیرزمینی صورت نمی‌گیرد.

جدول 3-12- وسعت مناطق تبخیری آب زیرزمینی در دشت بابل-آمل

تبخیر (میلیون متر مکعب)				وسعت (کیلومتر مربع)			نام آبخوان
حجم کل	3 تا 5	1 تا 3	کمتر از 1	3 تا 5	1 تا 3	کمتر از 1	
15.52	1.44	11.48	2.6	242.17	644.35	87.4	آبخوان شیرین

در سفره محبوس دشت بابل-آمل میزان تغییرات فشار پیژومتری از ابتدای دوره تهیه هیدروگراف تا انتها 2.33- متر و متوسط تغییرات سالانه سطح آب زیرزمینی 0.47- متر می‌باشد. با توجه به افت دراز مدت، کسری حجم مخزن سفره محبوس دشت بابل-آمل برابر با 1.35 میلیون متر مکعب در سال می‌باشد.

کسری حجم مخزن در این دشت با توجه به هیدروگراف معرف آبخوان آبرفتی آزاد و آبخوان آبرفتی تحت فشار، تنها مربوط به آبخوان آبرفتی تحت فشار می‌باشد و آبخوان آزاد در حالت تعادل است.

در جدول 3-13 بیلان آب زیرزمینی در دشت آمل- بابل به تفکیک عوامل ورودی و خروجی نشان

می دهد.

جدول 3-13- بیلان آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت بابل-آمل ارقام برحسب میلیون متر مکعب در سال

عوامل ورودی						عوامل خروجی				
جریان زیرزمینی	نفوذ از بارندگی	تفوذ جریان های سطحی	نفوذ از پساب کشاورزی	نفوذ از پساب شرب و صنعت	جمع	تخلیه و برداشت	جریان زیرزمینی	زهکش	تبخیر از آبخوان	جمع
35.96	97.5	31.71	98.63	48.2	312.0	253.8	7.94	36.14	15.5	313.4
				1	1	1			2	1

### 3-4-5-5- بیلان عمومی آب

مجموع عوامل خروجی از بیلان عمومی آب محدوده مطالعاتی بابل-آمل برابر 4132.49 میلیون مترمکعب در سال و مجموع عوامل ورودی به بیلان عمومی آب در این محدوده مطالعاتی 4131.09 میلیون مترمکعب در سال است. بنابراین تفاوت ورودی ها و خروجی های در این محدوده مطالعاتی 1.4- میلیون مترمکعب در سال است که معادل تغییرات حجم مخزن سفره محبوس دشت بابل-آمل می باشد.

### 3-4-5-6- بیلان آب سطحی

برای محاسبه آب سطحی باید عوامل ورودی و خروجی به آب سطحی را محاسبه کرد. طبق داده های شرکت آب منطقه ای میزان آب ورودی از رودخانه ها و رواناب بارندگی به ترتیب برابر با 719.65 و 1093.05 میلیون متر مکعب است و آب خروجی از طریق تبخیر و نفوذ و جریان خروجی به ترتیب برابر با 64.69، 31.71 و 752.2 میلیون متر مکعب است.

## 3-4-5-7- جمعیت

جدول 3-14 جمعیت محدوده مورد مطالعه با توجه به داده‌های اداره آمار را نشان می‌دهد.

جدول 3-14- جمعیت

سال	1365	1375	1385	1390
جمعیت	824659	957512	1082170	1144568

با توجه به داده‌های اداره آمار نرخ رشد جمعیت برابر با 1.4 درصد در نظر گرفته می‌شود.

## 3-4-5-8- تقاضای آب

برای محاسبه تقاضای آب شرب باید جمعیت در سرانه مصرف آب شرب برای هر نفر ضرب شود عدد بدست آمده تقاضای آب شرب را نشان می‌دهد. سرانه مصرف آب شرب برای هر نفر در سال 73 متر مکعب است. با توجه به رشد جمعیت تقاضای آب افزایش می‌یابد.

تقاضای آب صنعت و کشاورزی طبق اطلاعات برابر با 3.77 و 325 میلیون متر مکعب در سال است. با توجه به نرخ افزایش تقاضا در هر سال تقاضای آب برای هر دو بخش افزایش می‌یابد. میزان مصرف بخش‌های مختلف در محدوده مورد مطالعه در جدول شماره 3-15 شرح داده شده است.

جدول 3-15- مصارف و منابع تامین آب در محدوده مطالعاتی بابل - آمل به تفکیک دشت و ارتفاعات -حجم میلیون متر مکعب

منبع	دشت			ارتفاعات			جمع		
	شرب	کشاورزی	صنعت	شرب	کشاورزی	صنعت	شرب	کشاورزی	صنعت
آب زیرزمینی	76.17	156.95	5.04	1.06	0.37	0.01	77.23	157.33	5.06
آب سطحی	0.0	970.87	0.0	30.34	84.68	1.46	30.34	1055.55	1.46
جمع کل	76.17	1127.83	5.04	31.4	85.05	1.47	107.58	1212.88	6.52

### 3-4-6- اجرای مدل در نرم افزار Vensim

ابتدا شماتیک مدل در نرم افزار Vensim رسم می‌شود. برای این کار باید ابتدا متغیرهای مدل را شناسایی و رابطه بین متغیرها مشخص شود. سپس ارقام اولیه که در جدول 3-16 ملاحظه می‌شود در مدل قرار داده شود. سپس روابط بین متغیرها که در ادامه این روابط مشاهده خواهد شد در مدل تعریف می‌شود. سپس بعد از تعریف روابط بین متغیرها در نرم افزار Vensim، مدل اجرا خواهد شد و با بررسی نمودارهای بدست آمده از مدل زمان و میزان کسری آب در حوضه بررسی خواهد شد و با اتخاذ تصمیمات مختلف و تغییر در روابط بین متغیرها در مدل، کسری آب را مورد بررسی قرار می‌دهد و در آخر می‌توان نمودارهای مختلف بدست آمده از تصمیمات مختلف را با هم مقایسه قرار داد.

ارقام بدست آمده اولیه مورد نیاز برای ورودی به مدل در جدول 3-16 نشان داده می‌شود. این ارقام باید به عنوان ورودی اولیه به مدل اضافه شوند.

جدول 3-16- ارقام اولیه ورودی به مدل

متغیر	مقدار بر حسب میلیون متر مکعب
حجم مخزن زیرزمینی	968.57
آب سطحی	533.4
مصرف خانگی	107.58
مصرف کشاورزی	1212.88
مصرف صنعت	6.52
تقاضای صنعت	3.77



تقاضای کشاورزی	325
----------------	-----

در مرحله بعد، اعداد بدست آمده و روابط بین متغیرها در نرم افزار ونسیم وارد شد. این روابط به شرح زیر است. تمام داده‌های ورودی مدل، فرمول‌ها و توضیحات دقیق در زیر آورده شده است.

$$1- \text{حجم مخزن آب زیرزمینی} = (\text{شارژ} + \text{آب برگشتی از مصارف}) - (\text{دشارژ} + \text{آب استخراج شده})$$

$$2- \text{حجم مخزن زیرزمینی کنونی: } 968.57$$

$$3- \text{واحد: میلیون متر مکعب}$$

$$4- \text{شارژ} = \text{نفوذ بارش} + \text{جریان ورودی به آبخوان} + \text{نفوذ آب سطحی}$$

$$5- \text{آب برگشتی} = \text{آب برگشتی از شرب} + \text{آب برگشتی از صنعت} + \text{آب برگشتی از کشاورزی}$$

$$6- \text{دشارژ} = \text{تبخیر از آبخوان} + \text{جریان خروجی} + \text{زهکشی آبخوان} + \text{تخلیه از چشمه‌ها}$$

$$7- \text{آب سطحی} = (\text{رودخانه‌ها} + \text{رواناب بارش}) - (\text{تبخیر آب سطحی} + \text{نفوذ آب سطحی} + \text{جریان خروجی زمینی})$$

$$8- \text{حجم مخزن سطحی کنونی: } 533.4$$

$$9- \text{واحد: میلیون متر مکعب}$$

$$10- \text{رشد جمعیت} = \text{جمعیت} \times (\text{نرخ رشد جمعیت}/100)$$

$$11- \text{واحد: نفر در سال}$$

$$12- \text{جمعیت اولیه} = \text{در سال } 1390 \text{ برابر با } 1144568 \text{ نفر است}$$

$$13- \text{جمعیت} = \text{جمعیت اولیه} + \text{رشد جمعیت}$$

$$14- \text{تقاضای خانگی} = \text{جمعیت} \times \text{سرانه مصرف خانگی}$$

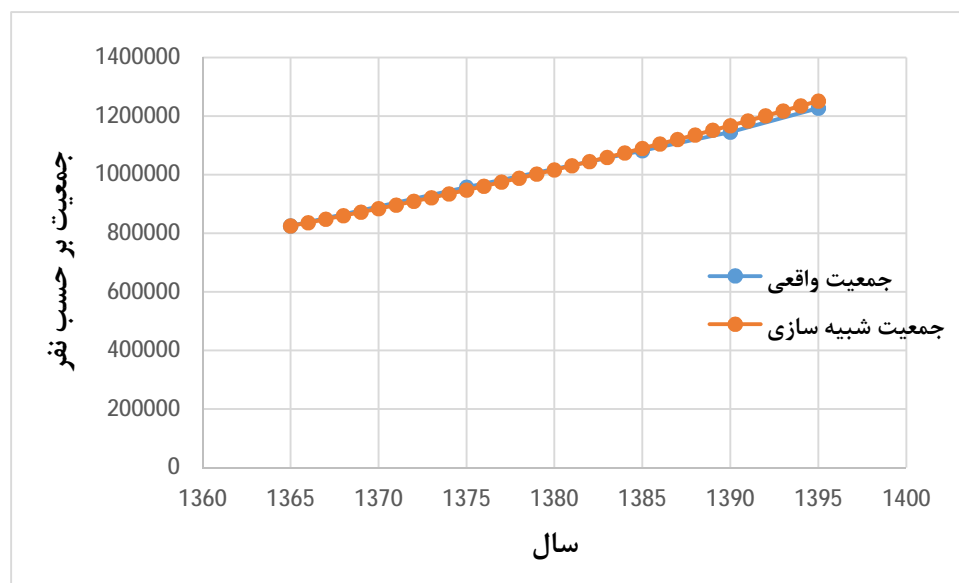
$$15- \text{واحد: میلیون متر مکعب}$$

- 16- سرانه مصرف خانگی = 200
- 17- واحد: لیتر در روز
- 18- سرانه مصرف خانگی = 73
- 19- واحد: متر مکعب
- 20- رشد تقاضای کشاورزی = تقاضای کشاورزی × (نرخ رشد تقاضای کشاورزی) 5.7  
(درصد/100)
- 21- واحد: میلیون متر مکعب در سال
- 22- تقاضای اولیه کشاورزی = 325 میلیون متر مکعب
- 23- تقاضای کشاورزی = تقاضای اولیه + رشد تقاضای کشاورزی
- 24- رشد تقاضای صنعت = تقاضای صنعت × (نرخ رشد تقاضای صنعت) 1.4 (درصد/100)
- 25- واحد: میلیون متر مکعب در سال
- 26- تقاضای اولیه صنعت = 3.77 میلیون متر مکعب
- 27- تقاضای صنعت = تقاضای اولیه + رشد تقاضای صنعت
- 28- کسری آب شرب = مصرف خانگی - تقاضای شرب
- 29- کسری آب صنعت = مصرف صنعت - تقاضای صنعت
- 30- کسری آب کشاورزی = مصرف کشاورزی - تقاضای کشاورزی
- 31- زمان اولیه = 1390
- 32- زمان نهایی = 1440
- 33- بارش اولیه = 4131.1
- 34- واحد: میلیون متر مکعب

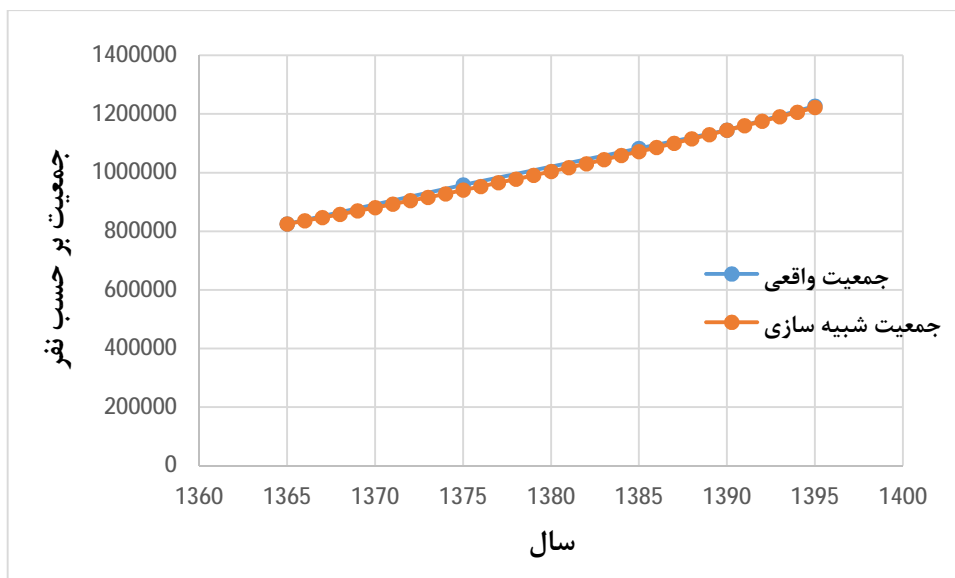
## 3-4-7- کالیبراسیون مدل

برای افزایش اعتماد به مدل، کالیبراسیون مدل انجام شد. کالیبراسیون مدل فرایند تخمین پارامترهای مدل برای به دست آوردن یک مقایسه بین رفتار مشاهده شده و شبیه سازی شده است [61].

برای کالیبراسیون مدل می‌توان سطح جمعیت را در حالت واقعی و شبیه سازی با هم مقایسه کرد اگر بر هم منطبق نباشند می‌توان با تغییر نرخ رشد جمعیت، تفاوت را به حداقل رساند. همانطور که در شکل 3-11 ملاحظه می‌شود، جمعیت شبیه سازی شده با نرخ رشد 1.4 درصد در سال 1390 با مقدار واقعی تفاوت دارد و این تفاوت در دراز مدت بیشتر می‌شود. همانطور که در شکل 3-12 ملاحظه می‌شود با روش سعی و خطا با نرخ رشد 1.32 که دو نمودار جمعیت در حالت واقعی و شبیه سازی شده انطباق بیشتری با هم دارند.



شکل 3-11- مقایسه جمعیت واقعی و شبیه‌سازی شده با نرخ رشد 1.4



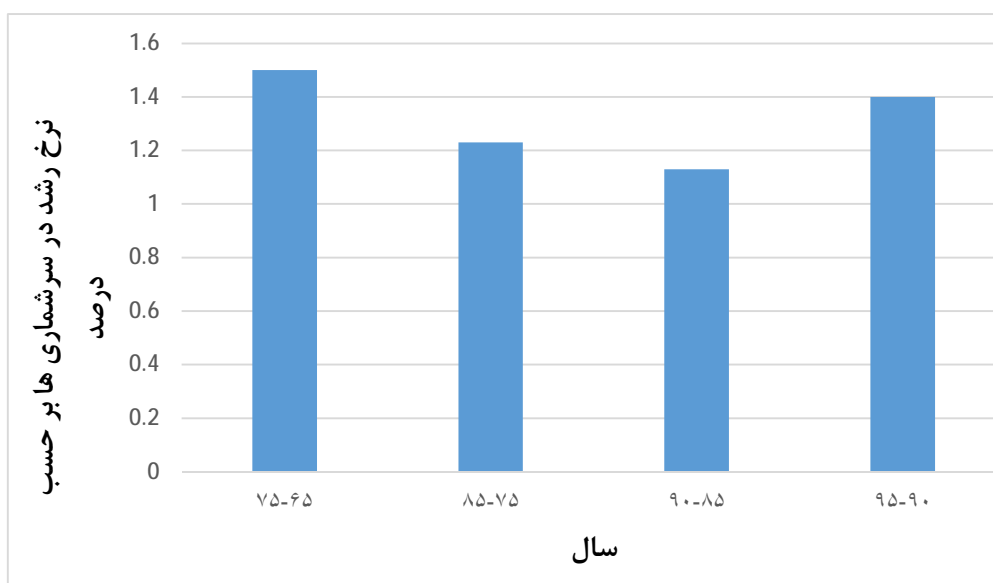
شکل 3-12- مقایسه جمعیت واقعی و شبیه‌سازی شده با نرخ رشد 1.32

پس برای کالیبره کردن جمعیت باید در بخش نرخ رشد، عدد 1.32 درصد را استفاده شود.

شکل 3-13 نرخ رشد در سرشماری‌ها از سال 1365 تا سال 1395 را نشان می‌دهد که با میانگین

گیری این مقادیر عدد 1.32 درصد برای نرخ رشد بدست می‌آید که با این نرخ رشد طبق شکل 3-

12 مدل از نظر جمعیت کالیبره است.



شکل 3-13- نرخ رشد در سرشماری‌های سال 1365 تا 1395

در رابطه با کالیبره کردن آب زیرزمینی می‌توان گفت که میزان تغییر حجم آب زیرزمینی طبق شبیه سازی 1.4- میلیون متر مکعب است که این عدد از تفاضل ورودی و خروجی آب زیرزمینی در جدول 3-13 بدست می‌آید که با توجه به هیدروگراف آبخوان به مقدار واقعی کاهش حجم آبخوان نزدیک است که نشان دهنده صحت مدل است.

در صورتی که میزان تغییر حجم آب زیرزمینی طبق شبیه سازی و میزان تغییر حجم آبخوان با توجه به هیدروگراف آب زیرزمینی با هم تطابق نداشته باشند نیاز به کالیبراسیون مدل از نظر آب زیرزمینی وجود دارد برای این کار باید تعدادی از ضرایب را تغییر داده شوند تا هیدروگراف شبیه سازی شده با هیدروگراف واقعی بر هم منطبق شوند. در جدول 3-16 این ضرایب را مشاهده می‌شود که در صورت نیاز به کالیبراسیون مدل با تغییر این ضرایب کالیبراسیون مدل در حجم آب زیرزمینی انجام می‌پذیرد.

	ضریب
آب برگشتی از شرب	0.8
آب برگشتی از صنعت	0.4
آب برگشتی از کشاورزی	0.2



فصل چہارم:

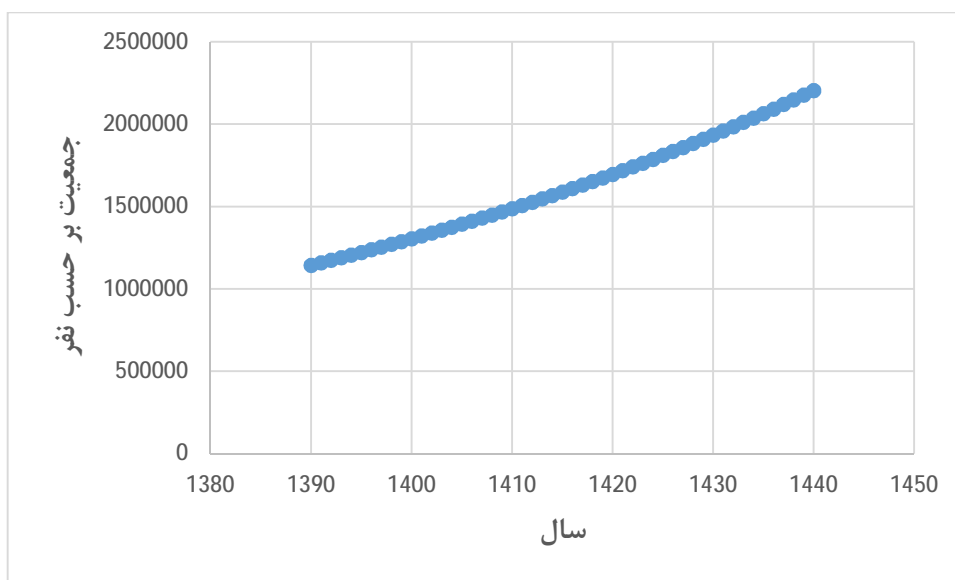
نتایج و بحث

این فصل نتایج شبیه سازی از مدل در نرم افزار ونسیم را نشان می دهد. بعد از وارد کردن اعداد و روابط مورد نظر در مدل در نرم افزار ونسیم، مدل را اجرا شد که نتایج آن به شرح زیر می باشد.

#### 4-1- نتایج شبیه سازی پویایی سیستم مدل محدوده دشت آمل-بابل

##### 4-1-1- نتایج شبیه سازی در سناریو 1

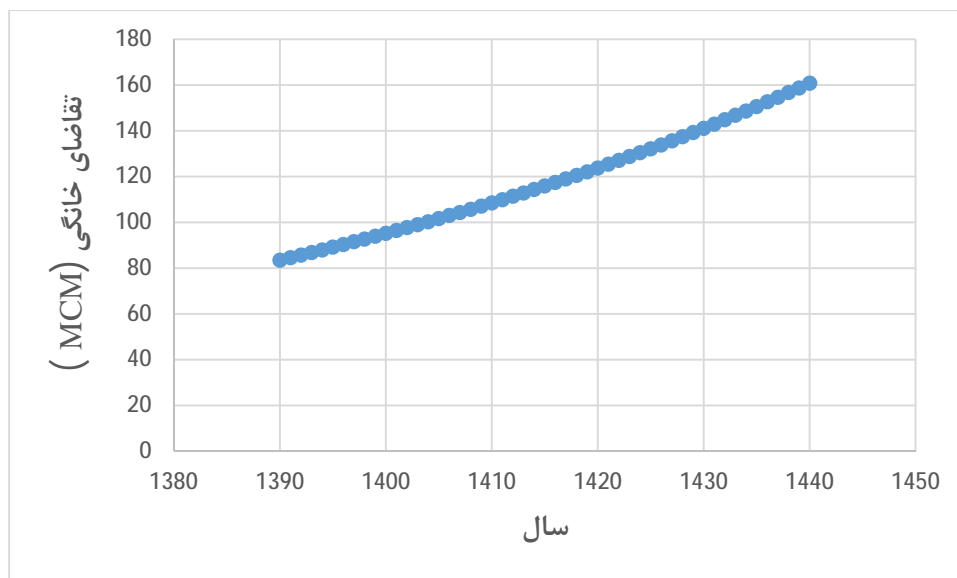
در سناریو 1، جمعیت با همین نرخ رشد در سال 1390 افزایش می یابد. شکل 4-1 نشان می دهد که جمعیت از 1144568 در سال 1390 به 2204960 در سال 1440 افزایش می یابد.



شکل 4-1- جمعیت - سناریو 1

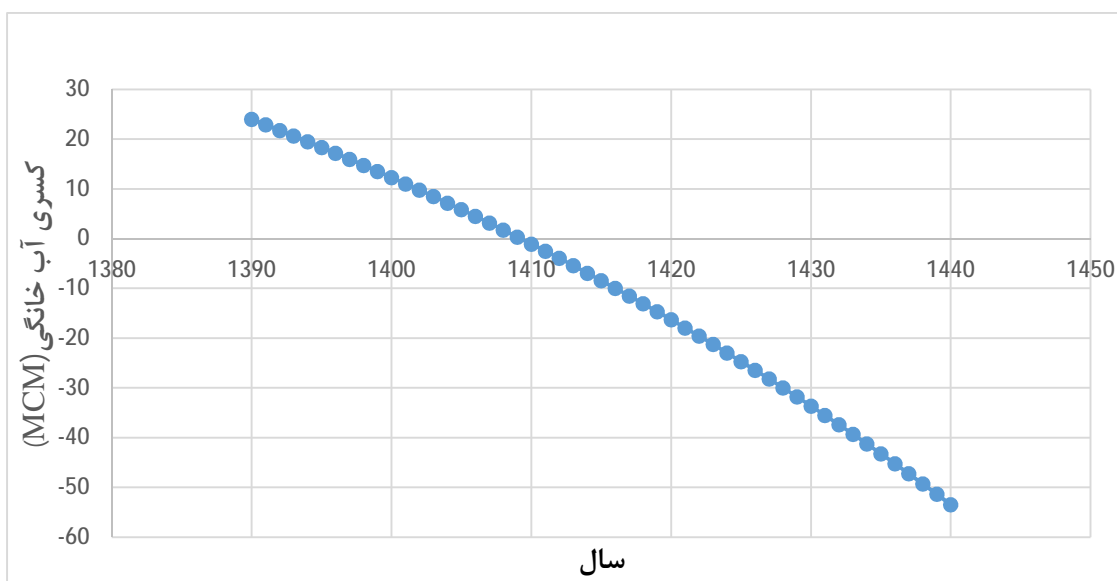
با افزایش جمعیت تقاضای آب شرب افزایش می یابد که این افزایش تقاضا باعث کم شدن فاصله عرضه و تقاضا می شود تا زمانی که دیگر عرضه جوابگوی تقاضا نباشد. در شکل 4-2 ملاحظه می شود که تقاضای آب شرب در سال 1390، 83.55 میلیون متر مکعب در سال بود که این رقم با افزایش جمعیت به رقم 160.962 میلیون متر مکعب رسیده است.





شکل 2-4- تقاضای خانگی - سناریو 1

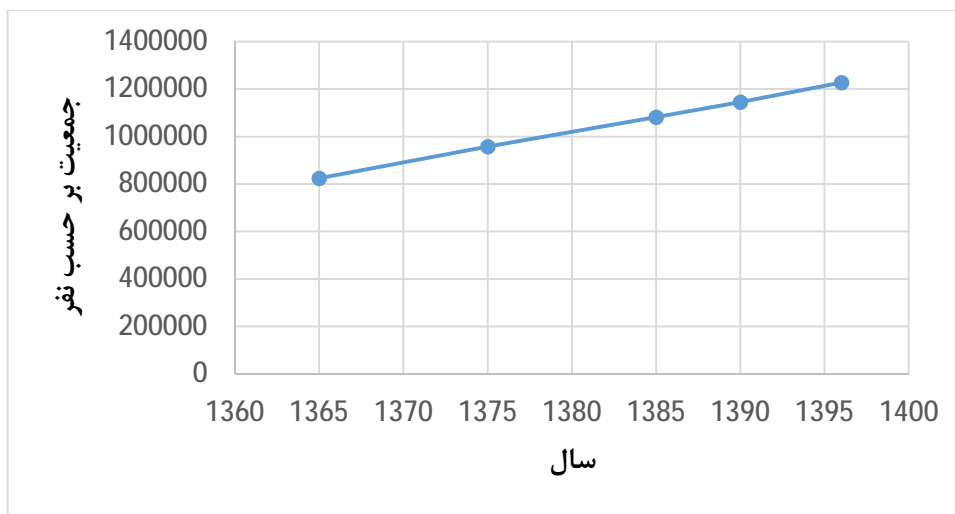
شکل 3-4 فاصله عرضه و تقاضای آب شرب را نشان می‌دهد که طبق شکل این فاصله کمتر و کمتر می‌شود تا به صفر می‌رسد. در حالتی که صفر باشد به این معناست که تمام آبی که برای مصرف شرب استخراج می‌شود به طور کامل استفاده می‌شود و وقتی این عدد منفی شود به معنای کمبود آب شرب است. طبق شکل 3-4 در سال 1410 محدوده دشت آمل-بابل در بخش آب شرب دچار کمبود می‌شود که باید با راهکارهایی این کمبود برطرف کرد یا اینکه زمان آن را به تعویق انداخت.



شکل 3-4- کسری آب شرب - سناریو 1

#### 4-1-2- نتایج شبیه سازی در سناریو 2

همانطور که در اطلاعات مندرج در جدول 3-14 مشاهده شد جمعیت حوضه هراز از سال 1365 تا 1395 روند افزایشی قابل توجهی را داشته است. برای شفاف نمودن روند افزایشی جمعیت حوضه هراز اطلاعات مربوط به جمعیت از سال 1365 تا 1395 به تفکیک با استفاده از اطلاعات ارائه شده در مرکز آمار ایران در شکل 4-4 نشان داده شده است.



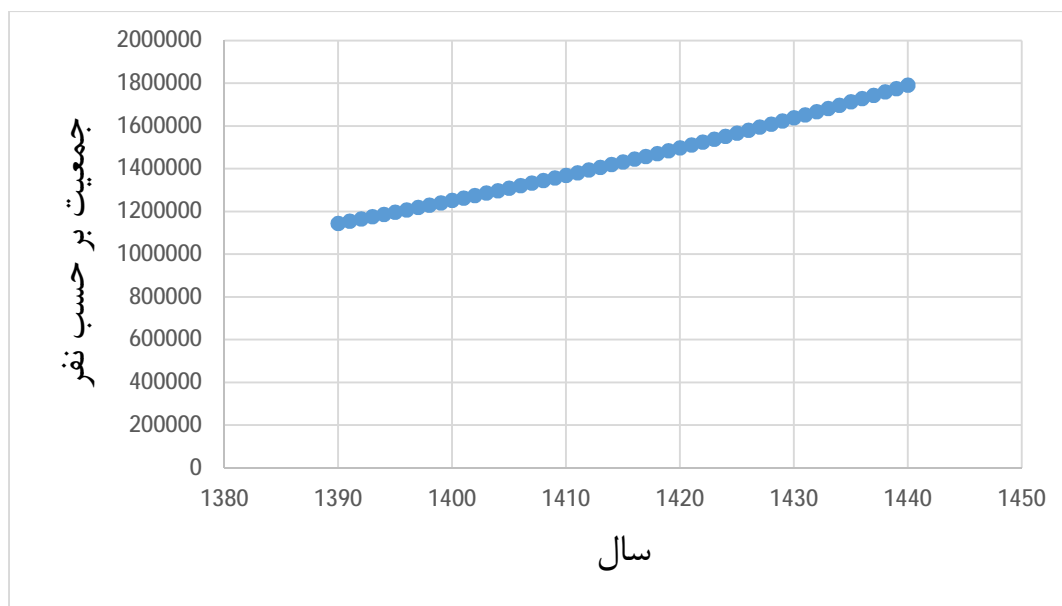
شکل 4-4- تغییرات جمعیتی حوضه هراز از سال 1365 تا 1395

با افزایش جمعیت سطح تقاضای آب به طور قابل توجهی روند افزایشی داشته است. میزان رشد جمعیت به طور مستقیم باعث افزایش تقاضای آب شرب می شود و بطور غیر مستقیم بر تقاضای آب در بخش صنعت و کشاورزی تاثیر می گذارد.

با اعمال سیاست های کاهش جمعیت، می توان نرخ رشد در منطقه را کاهش داد. در صورتی که نرخ رشد کاهش یابد فاصله عرضه و تقاضا آب کاهش می یابد

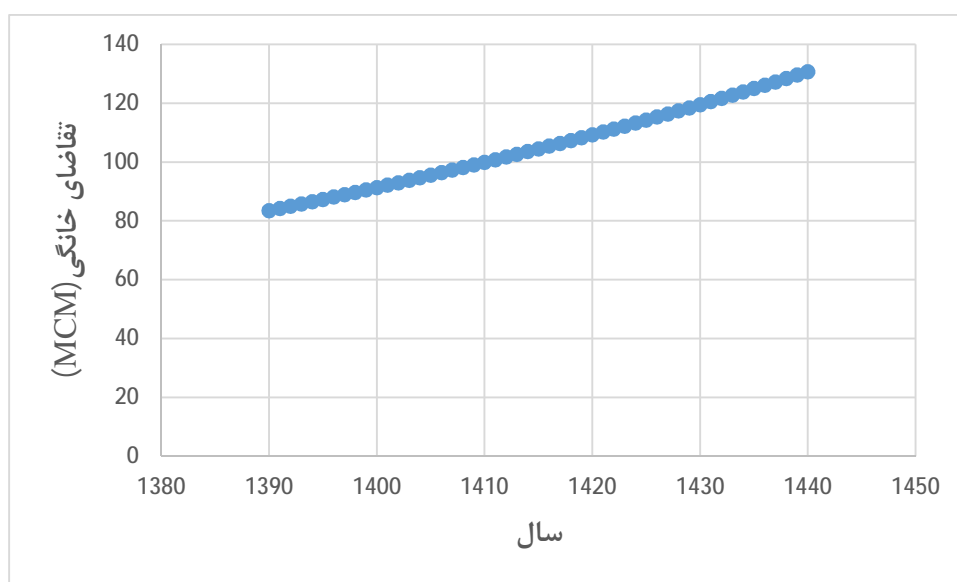
با استفاده از فرهنگ سازی نرخ رشد جمعیت را از 1.32 درصد به 0.9 درصد کاهش یابد. در سناریو 2 جمعیت به تدریج از 1144568 نفر در سال 1390 به 1800000 نفر در سال 1440 می رسد.

شکل 4-5 جمعیت حاصل از اجرای سناریو 2 را نشان می‌دهد.



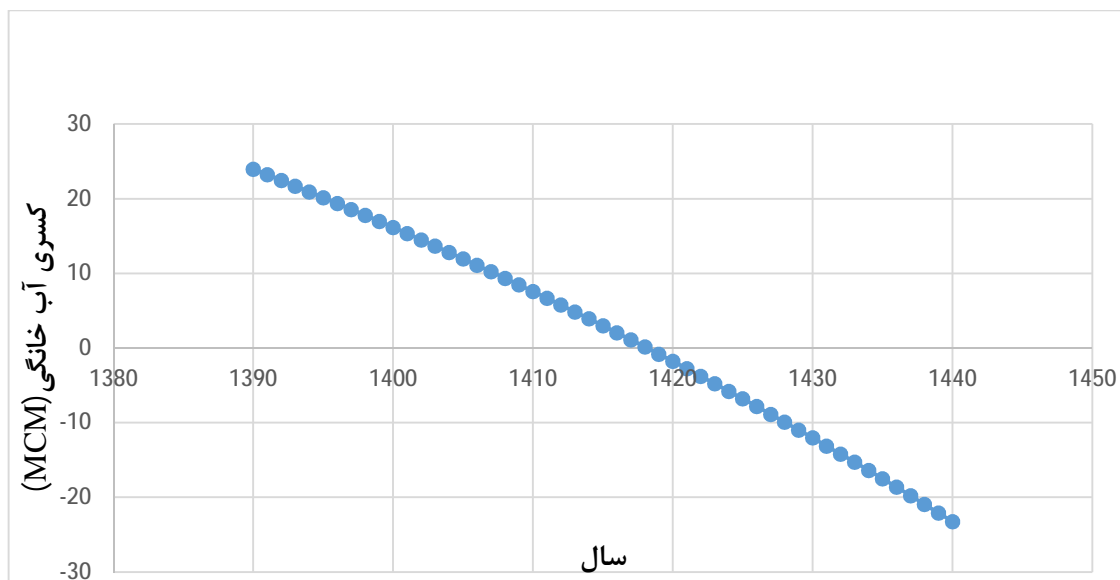
شکل 4-5- جمعیت - سناریو 2

با توجه به شکل 4-6 مقدار تقاضای آب شرب در سال 1390، 83.55 میلیون متر مکعب است که طبق سناریو 2 در سال 1440 به 130.774 میلیون متر مکعب می‌رسد. که این عدد حدود 30 میلیون متر مکعب نسبت به تقاضای آب شرب در سال 1440 در سناریو 1 کمتر است.



شکل 4-6- تقاضای خانگی - سناریو 2

با توجه به شکل 4-7 محدودیته مورد مطالعه در سال 1419 دچار کمبود آب شرب خواهد شد. که این کمبود 9 سال دیرتر نسبت سناریو 1 اتفاق می‌افتد. این نشان دهنده کارآمدتر بودن سناریو 2 نسبت 1 است.



شکل 4-7- کسری آب شرب - سناریو 2

#### 4-1-3- نتایج شبیه سازی در سناریو 3

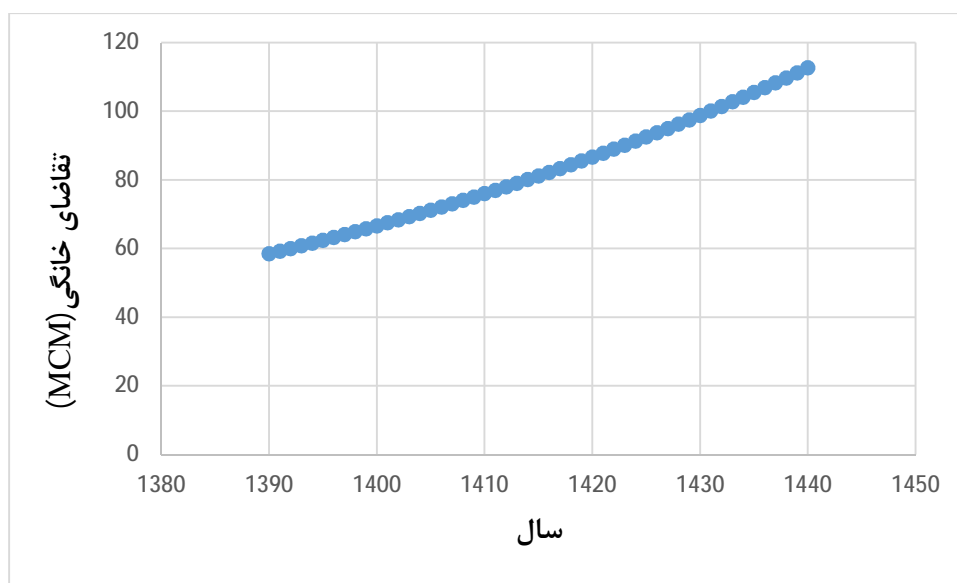
واحدهای مصرف کننده می‌توانند از طریق به کار گیری و استفاده از ابزار کاهنده، به کاهش مصرف آب مبادرت ورزند. این ابزار به طور کلی شامل وسایل کاهنده دبی جریان، کاهنده فشار، افزایش دهنده سرعت خروجی آب (اسپری کننده)، کاهنده حجم مخزن، اندازه گیر جریان، سیستم تصفیه جریان و ابزار استفاده مجدد از آب می‌باشد.

اندازه گیری جریان باعث ایجاد حساسیت در مصرف کننده نسبت به میزان مصرف هر فعالیت و قیمت آب متناظر با آن فعالیت می‌شود و در نهایت می‌تواند منجر به تشویق به کاهش مصرف در مصرف کننده شود. ابزارهای کنترل دبی جریان، به شکل فیزیکی باعث ایجاد مانع و محدودیت در میزان حجم جریان خروجی و قابل دسترس مصرف کننده می‌شوند. کنترل مورد نظر هم می‌تواند با کاهش واقعی دبی جریان و هم با افزودن هوا به آب و اشغال حجمی از آب با هوا صورت گیرد.

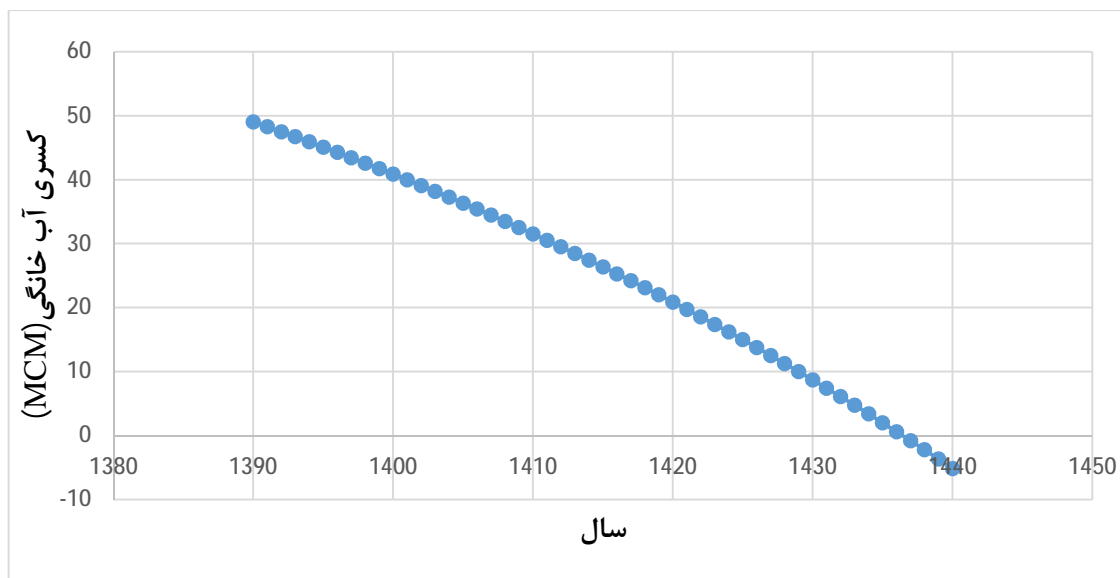
استفاده از ابزارهای کاهنده مصرف آب می تواند درصد بالایی از مصارف خانگی و شهری را کاهش دهد. مجهز کردن شیرآلات به درفشان های کاهنده باعث یکنواخت و ملایم کردن جریان آب، کنترل پاشیدن آب به اطراف و با مخلوط کردن هوا با آب و کاهش 30 درصدی مصرف آب می شود.

با توجه به شکل 4-8 ملاحظه می شود با اجرای سناریو 3 میزان تقاضای خانگی در سال 1390 برابر با 58 میلیون متر مکعب است که در سال 1440 به رقم 112 میلیون متر مکعب خواهد رسید.

با توجه به شکل 4-9 ملاحظه می شود که در سال 1437 در بخش آب شرب حوضه هزار دچار کمبود آب خواهید شد.



شکل 4-8- تقاضای خانگی-سناریو 3



شکل 4-9- کسری آب شرب-سناریو 3

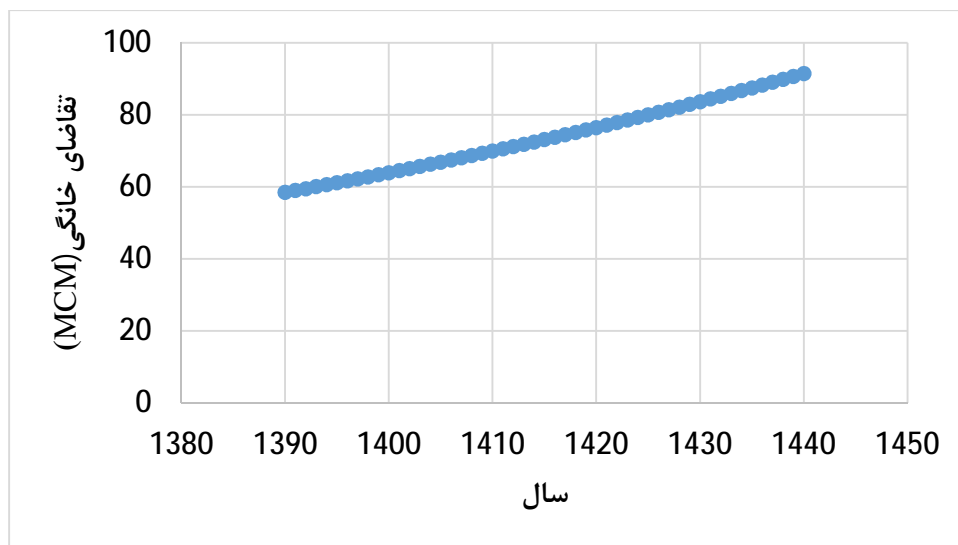
#### 4-1-4- نتایج شبیه سازی در سناریو 4

همانطور که ملاحظه شد فناوری، تاثیر قابل توجهی در کاهش فاصله عرضه و تقاضای آب دارد و همچنین کاهش جمعیت در کاهش فاصله بین عرضه و تقاضا موثر است. با اعمال همزمان این دو سیاست با هم تغییر چشمگیر و قابل توجهی در فاصله عرضه و تقاضای آب دیده می شود. همانطور که مشاهده می شود، اعمال همزمان این سیاست در بلند مدت باعث می شود که این روند رو به کاهش را دنبال کند.

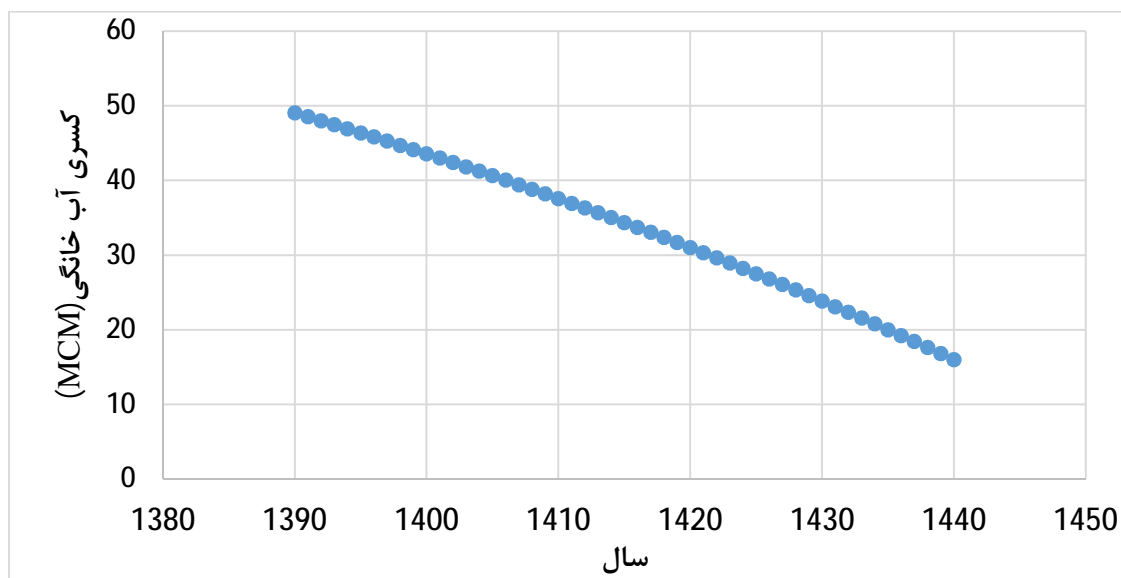
در این حالت اجرای همزمان سناریوهای 2 و 4 یعنی افزایش تدریجی جمعیت از 1144568 نفر در سال 1390 به 1800000 نفر در سال 1440 و استفاده از ابزار کاهنده مصرف آب در نظر گرفته می شود.

با توجه به شکل 4-10 مشاهده می شود که تقاضای آب خانگی در سال 1390 برابر با 58 میلیون متر مکعب است که این رقم در سال 1440 به 91 میلیون متر مکعب می رسد.

با توجه به شکل 4-11 ملاحظه می شود که با اعمال همزمان سناریو 2 و 4 در محدوده مورد مطالعه در بخش آب شرب کمبود آب رخ نخواهد داد.



شکل 4-10- تقاضای خانگی - سناریو 4

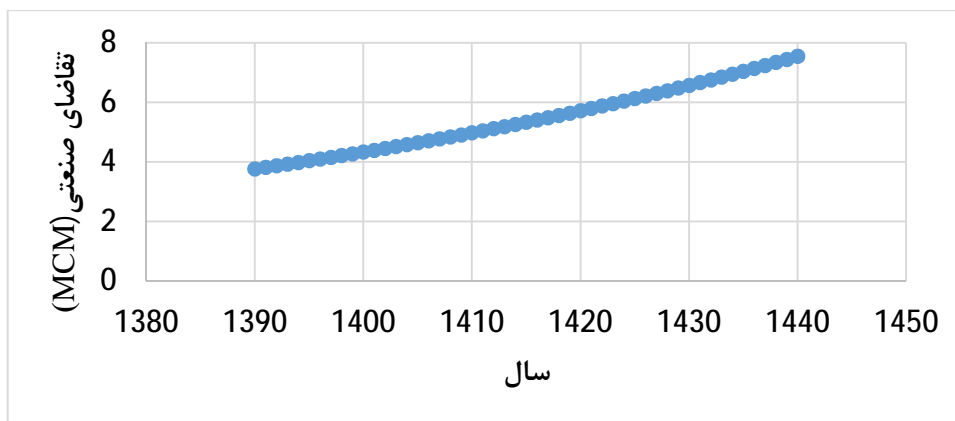


شکل 4-11- کسری آب شرب - سناریو 4

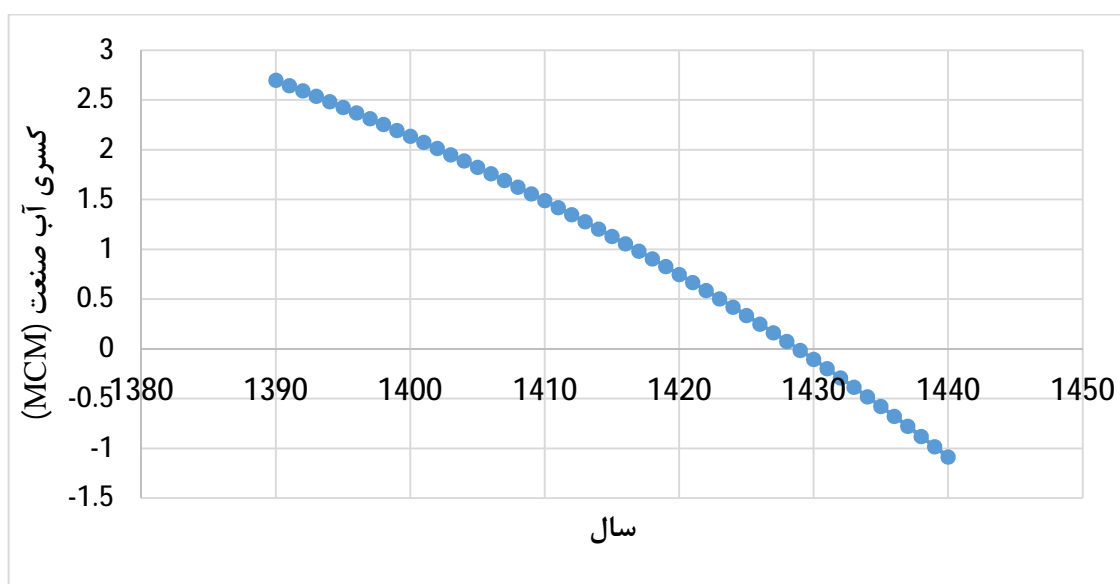
#### 2-4- نتایج بخش صنعت

با توجه به نرخ رشد تقاضای آب صنعت، تقاضای آب صنعت افزایش می‌یابد که در شکل 4-12 ملاحظه می‌شود که تقاضای آب صنعت از 3.77 میلیون متر مکعب در سال 1390 به 7.55 میلیون متر مکعب در سال 1440 می‌رسد.

با توجه به افزایش تقاضای آب برای صنعت فاصله عرضه و تقاضا در این بخش کمتر خواهد شد. بر اساس شکل 4-13 در سال 1429 دشت آمل-بابل دچار کمبود آب در بخش صنعت خواهد شد.



شکل 4-12- تقاضای صنعت

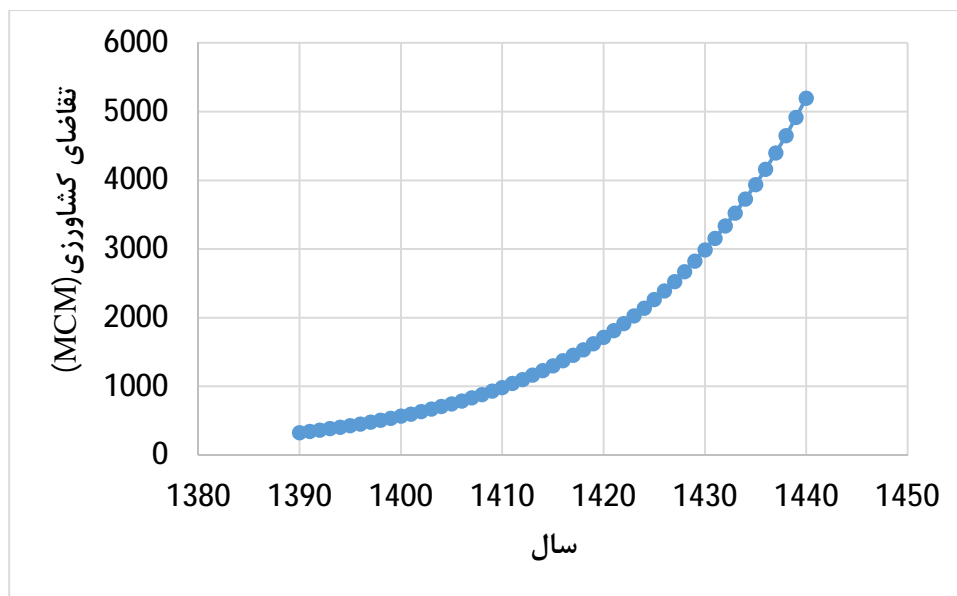


شکل 4-13- کسری آب صنعت

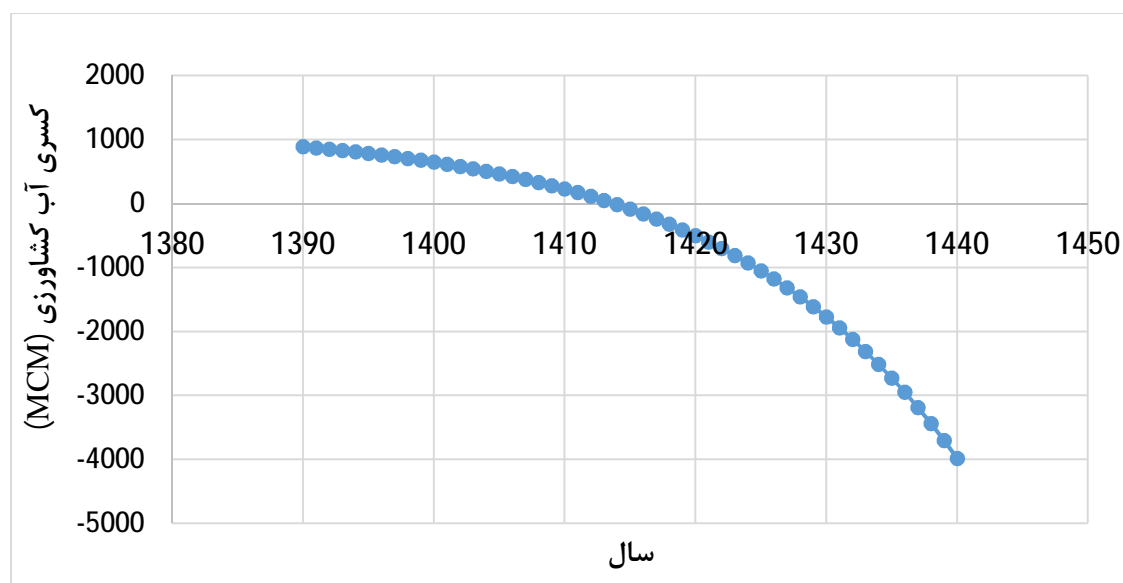
#### 4-3- نتایج بخش کشاورزی

با توجه به نرخ رشد تقاضای آب کشاورزی، تقاضای آب کشاورزی افزایش می‌یابد که در شکل 4-14 ملاحظه می‌شود که تقاضای آب صنعت از 325 میلیون متر مکعب در سال 1390 به 5195 میلیون متر مکعب در سال 1440 می‌رسد. رشد تقاضای آب کشاورزی در دراز مدت باعث کمبود آب در بخش کشاورزی خواهد شد با توجه به شکل 4-15 ملاحظه می‌شود که تقاضای کشاورزی اگر با همین روند افزایش یابد حوضه هراز در سال 1414 دچار کمبود آب در بخش کشاورزی خواهد شد.





شکل 4-14- تقاضای کشاورزی



شکل 4-15- کسری آب کشاورزی



# فصل پنجم: نتیجه

## گیری

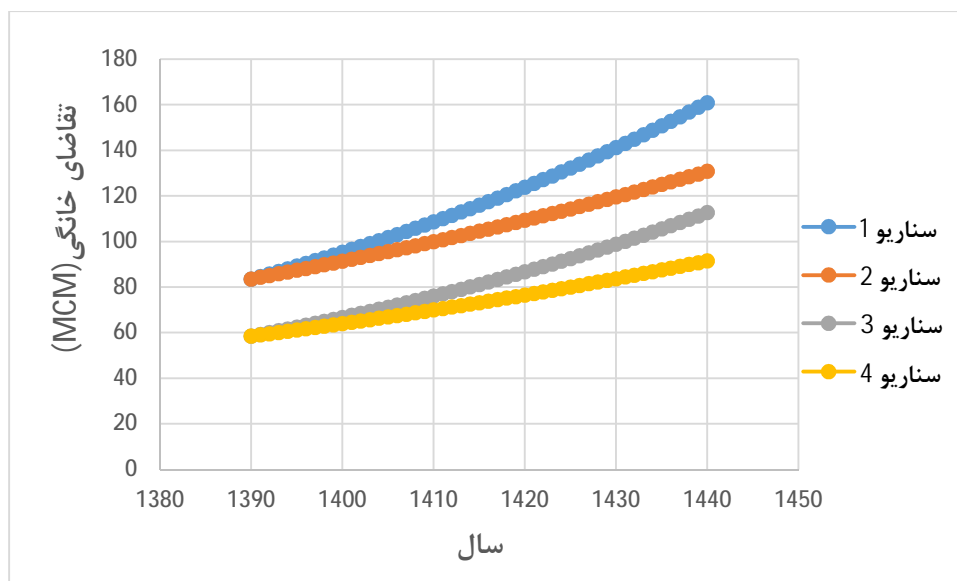
## 5-1- نتیجه گیری

مدل اجرا شده در نرم افزار ونسیم، اساساً یک مدل شبیه سازی منابع آب یکپارچه در دشت هراز است. کاربرد موفقیت آمیز آن در سیستم‌های منابع آب، همانطور که در پایان نامه نشان داده شده، می‌تواند نقطه شروع برای برنامه‌های گسترده‌تر در سایر سیستم‌های یکپارچه مشابه مانند سیستم آموزش، سیستم حمل و نقل، سیستم مراقبتی بهداشتی و غیره باشد.

ایجاد نگرشی سیستمی در تحلیل مسائل، منجر به شناخت همه جانبه و درک بهتر مسئله می‌شود. چنین رویکردی در شناخت مسئله آب نیز به درک پویایی‌ها و پیچیدگی‌های نهفته در آن کمک کرده و با درک متغیرهای تاثیر گذار به تدوین سیاست‌های موثرتر در حل آن منجر شد.

آینده تامین آب شهری دشت هراز با چالش عمده‌ای که جمعیت است که باعث افزایش تقاضای آب شده روبرو است. این مدل اثرات تغییر جمعیت و سایر عوامل بر حجم آب زیرزمینی در سفره آب زیرزمینی را ارائه می‌کند.

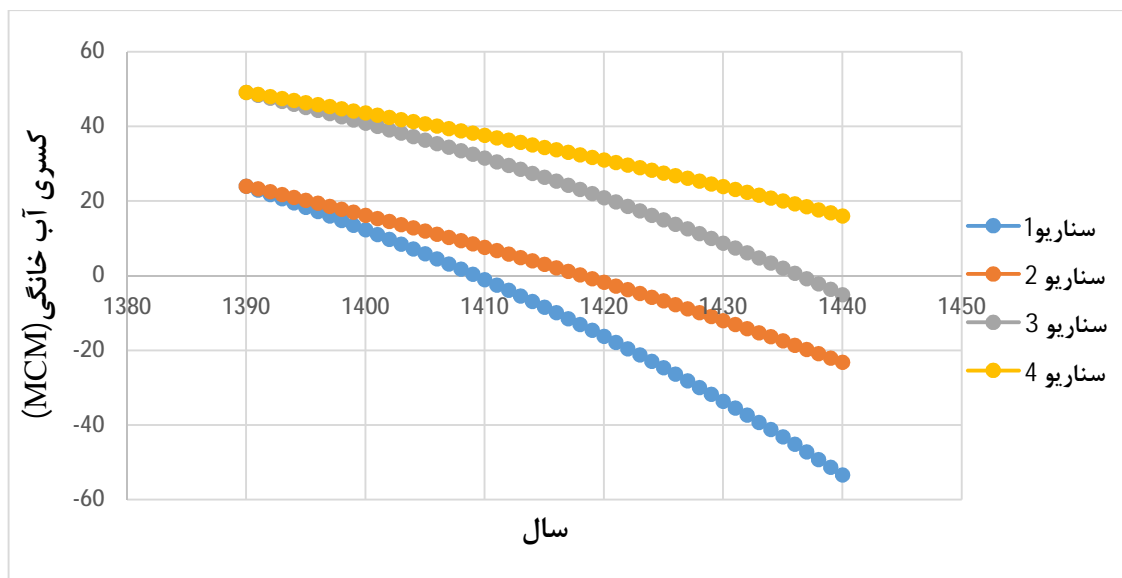
4 سناریو در این پایان نامه مطرح شد که هر کدام نتیجه‌ای متفاوت از هم داده‌اند. در شکل 5-1 ملاحظه می‌شود که مقدار تقاضای آب در 4 سناریو با هم مقایسه شد. همانطور که ملاحظه می‌شود سناریو 2 مقدار تقاضای آب خانگی را نسبت به سناریو 1 کاهش داده است و سناریو 3 تقاضای آب خانگی را نسبت به سناریو 2 کاهش داده است و در سناریو 4 تقاضای خانگی نسبت به سناریو 3 کاهش قابل توجهی دارد. این نمودار نشان می‌دهد که ترکیب همزمان کنترل جمعیت و استفاده از فناوری تاثیر قابل توجهی در کاهش تقاضای آب خانگی دارد.



شکل 5-1- مقایسه تقاضای آب خانگی تحت 4 سناریو بکار رفته

در شکل 5-2 مقدار کسری آب خانگی تحت 4 سناریو با هم مقایسه شده است که در سناریو 4 فاصله عرضه و تقاضا نسبت به 3 سناریوی قبلی کمتر است پس سناریو 4 نسبت به 3 سناریو دیگر کارآمدتر خواهد بود.

همانطور که در شکل زیر مشاهده می شود حوضه هراز تحت سناریو 1 از سال 1410 و تحت سناریو 2 از سال 1420 و تحت سناریو 3 از سال 1435 دچار کمبود آب شرب خواهد شد ولی تحت سناریو 4 در 50 سال آینده دچار کمبود آب شرب نخواهد شد که نشان دهنده کارآمدتر بودن سناریو 4 نسبت به سناریو های قبلی است.



شکل 5-2- کسری آب خانگی تحت 4 سناریو بکار رفته

## 5-2- پیشنهادات

ما در این پایان نامه فقط بخش تقاضای آب شرب را بررسی کردیم و راهکارهای پیشنهادی فقط برای بهبود وضعیت آب در بخش شرب بود ولی در کارهای آینده می‌توان با پیشنهاد راهکارهایی دیگر در بخش‌های کشاورزی و صنعت وضعیت این دو بخش را هم مورد بررسی قرار داد.

همچنین می‌توان مدل پیشنهادی را از لحاظ مفاهیم و روابط بکار رفته در بخش‌های مختلف بهبود داد. هر چه مدل به واقعیت نزدیک‌تر باشد و متغیرهای تاثیرگذار بر مسئله با دیدی جامع‌تر در نظر گرفته شوند. دقت نتایج حاصل از مدل بالاتر خواهد رفت. در این راستا لازم است در پژوهش‌های آتی، تلاش‌هایی در راستای سنجش تاثیر سایر متغیرهایی باشد که در پژوهش حاضر ثابت فرض شد یا در نظر گرفته نشد. برای مثال جریان ورودی و خروجی آب زیرزمینی و سطحی به حوزه دارای رژیم هیدرولوژیکی طبیعی نمی‌باشد فرض اینکه سری زمانی دبی ورودی و خروجی به حوزه در آینده عینا تکرار می‌شود، فرض درستی نیست. بنابراین اگر چندین سری زمانی برای آوردها به حوزه ایجاد شود و مدل با آن‌ها اجرا شود نتایج بهتری حاصل خواهد شد.

همچنین تغییر اقلیم ممکن است بر سیکل و رژیم هیدرولوژیکی حوزه از جمله تراز آب زیرزمینی و آب سطحی تاثیر بگذارد.

با توجه به اینکه سفره آب زیرزمینی محدوده مورد مطالعه در کنار دریاچه خزر قرار دارد و با توجه به نفوذ فاضلاب خانگی، صنعتی و کشاورزی به سفره زیرزمینی در نظر گرفتن و مدل کردن پارامترهای کیفی مدل از جمله شوری و آلودگی آب ضروری است.

در حوضه هراز سدی در حال احداث وجود دارد که می‌توان با مدل کردن این سد تاثیر آن بر مدیریت منابع آب حوضه بررسی کرد. همچنین می‌توان بررسی کرد در صورت سرمایه گذاری در بخش تصفیه فاضلاب چه تاثیری در مدیریت منابع آب حوضه ایجاد می‌شود. برای این کار می‌توان فرض کرد که آبی که از تصفیه فاضلاب بدست می‌آید در کشاورزی و صنعت به کار رود و مقدار آبی که از آب زیرزمینی در کشاورزی و صنعت بکار می‌رود در بخش آب شرب استفاده شود.

همچنین می‌توان تاثیر تخصیص آب کشاورزی و صنعت را به آب شرب در مدیریت منابع آب حوضه بررسی کرد.





- .1 Shiklomanov, I.A., *Appraisal and assessment of world water resources*. Water international, 2000. 25(1): p. 11-32.
- .2 ZARGAR, P.R. and A. NOORZAD, *A CONCEPTUAL MODEL OF INTEGRATED WATER RESOURCE MANAGEMENT FOR NATIONAL WATER SECURITY*. 2010.
- .3 Ghaderi, K., H. Islami, and S. Mousavi. *Optimal combining exploitation of surface and groundwater resources of Tehran-Shahriyar plain*. in *2nd Water Resources Conference*. 2006.
- .4 Xi, X., *Decision Support for Sustainable Water Resources Management in Singapore*. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of Engineering, Department of Industrial and Systems Engineering, National University of Singapore. Retrieved from [http://www.gps.caltech.edu/~xixi/my\\_site/Welcome\\_files/FYP\\_Final\\_Report\\_XiXi\\_Dec2012.pdf](http://www.gps.caltech.edu/~xixi/my_site/Welcome_files/FYP_Final_Report_XiXi_Dec2012.pdf).
- .5 Forrester, J.W. and J.W. Forrester, *World dynamics*. Vol. 59. 1971: Wright-Allen Press Cambridge, MA.
- .6 Simonovic, S.P., *Managing water resources: methods and tools for a systems approach*. 2012: Routledge-681.
- .7 Gies, L., D.B. Agusdinata, and V. Merwade, *Drought adaptation policy development and assessment in East Africa using hydrologic and system dynamics modeling*. Natural Hazards, 2014. 74(2): p. 789-813.
- .8 *USGS - Earth's water distribution* <http://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>.
- .9 *SDS (System Dynamics Society) (2012) The Field of System Dynamics*. <http://www.systemdynamics.org/what-is-s/>. Accessed 20 August 2012.
- .10 Forrester, J.W. and J.W. Forrester, *Urban dynamics*. Vol. 114. 1969: mlt press Cambridge.
- .11 Meadows, D.H., et al., *The limits to growth*. New York, 1972. 102.
- .12 Roberts, E.B. and E.B. Roberts, *Managerial applications of system dynamics*. 1981.

Karlsson, R., J. Nasir, and P. Dandekar. <i>Sustainable Business Development</i> . in <i>The 18th International Conference of The System Dynamics Society</i> . 2000.	.13
Simonovic, S.P., <i>World water dynamics: global modeling of water resources</i> . Journal of Environmental Management, 2002. 66(3): p. 249-267.	.14
Simonovic, S.P. <i>Assessment of water resources through system dynamics simulation: from global issues to regional solutions</i> . in <i>System Sciences, 2003. Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on</i> . 2003. IEEE.	.15
Simonovic, S.P. and V. Rajasekaram, <i>Integrated analyses of Canada's water resources: A system dynamics approach</i> . Canadian Water Resources Journal, 2004. 29(4): p. 223-250.	.16
Winz, I., G. Brierley, and S. Trowsdale, <i>The use of system dynamics simulation in water resources management</i> . Water resources management, 2009. 23(12): p. 1301-1323.	.17
Ford, F.A., <i>Modeling the environment: an introduction to system dynamics models of environmental systems</i> . 1999: Island Press.	.18
Liu, R., <i>Using system dynamics in decision support for sustainable waste management</i> . National University of Singapore, 2004.	.19
Xu, Z., et al., <i>Sustainability analysis for Yellow River water resources using the system dynamics approach</i> . Water Resources Management, 2002. 16(3): p. 239-261.	.20
Fernández, J.M. and M.A.E. Selma, <i>The dynamics of water scarcity on irrigated landscapes: Mazarrón and Aguilas in south-eastern Spain</i> . System Dynamics Review, 2004. 20(2): p. 117-137.	.21
Vorster, P., <i>A water balance forecast model for Mono Lake, California</i> . 1985, Calif. State University, Hayward.	.22
Simonovic, S., <i>WorldWater: A Tool for Global Modeling of Water Resources</i> . Canadian Civil Engineer, 2001. 18(3): p. 6-12.	.23
Meadows, D.H., D.L. Meadows, and J. Randers, <i>Beyond the limits: global collapse or a sustainable future</i> . 1992: Earthscan Publications Ltd.	.24
Rotmans, J. and B. De Vries, <i>Perspectives on global change: The TARGETS approach</i> . 1997: Cambridge University Press.	.25

Simonovic, S. <i>CanadaWater: a tool for modeling Canadian water resources</i> . in <i>Canadian</i>	.26
۲۰۰۳. <i>Commission for UNESCO (CCU), Annual General Meeting</i> .	
Simonovic, S.P., H. Fahmy, and A. El-Shorbagy, <i>The use of object-oriented modeling for</i>	.27
<i>water resources planning in Egypt</i> . <i>Water Resources Management</i> , 1997. 11(4): p. 243-	
261.	
Ahmad, S. and S.P. Simonovic, <i>System dynamics modeling of reservoir operations for</i>	.28
<i>flood management</i> . <i>Journal of Computing in Civil Engineering</i> , 2000. 14(3): p. 190-198.	
Xi, X. and K.L. Poh, <i>Using system dynamics for sustainable water resources management</i>	.29
<i>.in Singapore</i> . <i>Procedia Computer Science</i> , 2013. 16: p. 157-166	
Ghashghaie, M., S. Marofi, and H. Marofi, <i>Using system dynamics method to determine</i>	.30
<i>the effect of water demand priorities on downstream flow</i> . <i>Water resources</i>	
<i>management</i> , 2014. 28(14): p. 5055-5072.	
<i>regional environmental planning and</i> Guo, H., et al., <i>A system dynamics approach for</i>	.31
<i>management: a study for the Lake Erhai Basin</i> . <i>Journal of Environmental Management</i> ,	
2001. 61(1): p. 93-111.	
Zhang, X., et al., <i>Water resources planning based on complex system dynamics: a case</i>	.32
<i>Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, study of Tianjin city</i> .	
2008. 13(10): p. 2328-2336.	
Zarghami, M. and S. Akbariyeh, <i>System dynamics modeling for complex urban water</i>	.33
<i>systems: Application to the city of Tabriz, Iran</i> . <i>Resources, Conservation and Recycling</i> ,	
2012. 60: p. 99-106.	
Stave, K.A., <i>A system dynamics model to facilitate public understanding of water</i>	.34
<i>management options in Las Vegas, Nevada</i> . <i>Journal of Environmental Management</i> ,	
2003. 67(4): p. 303-313.	
Ruth, M. and F. Pieper, <i>Modeling spatial dynamics of sea-level rise in a coastal area</i> .	.35
<i>System Dynamics Review</i> , 1994. 10(4): p. 375-389.	
Cassell, E. and J. Clausen, <i>Dynamic simulation modelling for evaluating water quality</i>	.36
<i>Technology</i> , 1993. <i>response to agricultural BMP implementation</i> . <i>Water Science and</i>	
28(3-5): p. 635-648.	

- Sudhir, V., G. Srinivasan, and V. Muraleedharan, *Planning for sustainable solid waste management in urban India*. System Dynamics Review, 1997. 13(3): p. 223-246. .37
- Mashayekhi, A.N., *Transition in the New York State solid waste system: a dynamic analysis*. System Dynamics Review, 1993. 9(1): p. 23-47. .38
- Ford, A., *Modeling the environment: an introduction to system dynamics modeling of environmental systems*. International Journal of Sustainability in Higher Education, 2000. 1(1). .39
- Wolfenden, J.A.J., *A transdisciplinary approach to integrated resource management: a pragmatic application of ecological economics*. 1999: University of New England. .40
- Huerta, J.M. *A systems dynamics approach to conflict resolution in water resources: the model of the Lerma-Chapala watershed*. in *22nd International conference of the Systems Dynamics Society*. 2004. .41
- Ho, C.-C., et al. *The application of system dynamics modeling to study impact of water resources planning and management in Taiwan*. in *The 23rd International Conference of The System Dynamics Society*. 2005. .42
- Ewers, M. *Combining hydrology and economics in a system dynamics approach: modeling water resources for the San Juan Basin*. in *Proc., 23rd International Conference of the System Dynamics Society, July*. 2005. .43
- Sehlke, G. and J. Jacobson, *System dynamics modeling of transboundary systems: the Bear River basin model*. Ground water, 2005. 43(5): p. 722-730. .44
- مجتهدزاده، م.م.، یک مدل دینامیک برای برنامه ریزی توسعه مناطق کم آب. برنامه و توسعه، ۱۳۷۱. موسسه عالی پژوهش در برنامه ریزی و توسعه ۲(۴).
- تجربیشی، م.، ص.ن.ا.ج.ا.و.، مدل سازی بهره برداری از مخزن به منظور کنترل سیلاب با استفاده از روش تحلیل دینامیک سیستم. اولین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۸۳. دانشگاه صنعتی شریف
- Golian, S., A. Abrishamchi, and M. Tajrishy, *A System dynamics-based analysis of operation policies for water resources at river basin scale*. Water Wastewater J, 2007. 62: p. 70-80. .47
- جلالی، م.ر.، وافشار، ع.، شبیه سازی بویایی سیستم تولید انرژی مخازن برقابی. کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب، ۱۳۸۳. دانشگاه فنی دانشگاه تهران. .48

- Yeh, W.W.G., *Reservoir management and operations models: A state-of-the-art review*. 49  
*Water resources research*, 1985. 21(12): p. 1797-1818.
- SYSTEM DYNAMICS MODELING APPROACH FOR ,JALALI, M., A. Afshar, and A. Mokhtare 50  
 GATED AND UNGATED FLOOD ROUTING IN A CASCADE MULTI-RESERVOIRS SYSTEM.  
 2004.
- Pereira, R., N. Haie, and G. Machado. *Modelling water resources using Vensim PLE*. in 51  
*Mathematical Models for Proceedings of the 2nd international conference on  
 Engineering Science, and proceedings of the 2nd international conference on  
 Development, Energy, Environment, Economics, and proceedings of the 2nd  
 international conference on Communication and Management in Technological  
 Innovation and Academic Globalization*. 2011. World Scientific and Engineering  
 Academy and Society (WSEAS).
- Cheng, L., *System dynamics model of Suzhou water resources carrying capacity and its* 52  
*application*. *Water Science and Engineering*, 2010. 3(2): p. 144-155.
- Nasiri, F., et al., *A system dynamics approach for urban water reuse planning: a case* 53  
*study from the Great Lakes region*. *Stochastic environmental research and risk  
 assessment*, 2013. 27(3): p. 675-691.
- Salavitarbar, A., M. Zarghami, and A. Abrishamchi, *System dynamic model in Tehran* 54  
*urban water management*. *J. of Water and Wastewater*, 2006. 59: p. 12-28.
- Fartookzadeh, H.R., S. Ghojvand, and M.R. Nohooji, *Dynamic Modeling of the Water* 55  
*Supply System in Tehran Region Aimed at a More Effective Management*. 2015.
- محمدی، س. امیراصلانی، ش. ومهدینزاد، ج.، برنامه ریزی تخصیص بهینه منابع آب با استفاده 56  
 از مدل ونسیم مطالعه موردی حوضه آبریز زنجانرود. دومین همایش ملی سد سازی، ۱۳۸۸.  
 دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان.
- Hassanzadeh, E., et al., *Managing water in complex systems: An integrated water* 57  
*resources model for Saskatchewan, Canada*. *Environmental Modelling & Software*,  
 2014. 58: p. 12-26.
- MacDonald, R., M. Mojtahedzadeh, and H. Kim, *System Dynamics Modeling*. 2001. 58
- systems thinking and modeling for a complex :Sterman, J.D.J.D., *Business dynamics* 59  
*world*. 2000.

- Larijani, K.M., *Irans Water Crisis; Inducers, Challenges and Counter-Measures*. 2005. .60
- Oliva, R., *Model calibration as a testing strategy for system dynamics models*. European .61  
Journal of Operational Research, 2003. 151(3): p. 552-568.



## **Abstract:**

Water is the most vital natural resource in the world, and human survival depends on the availability of water. Water scarcity is one of the greatest challenges facing human civilization in the present century, which threatens the ecosystem. Reducing water resources has made it essential for water to be used efficiently and efficiently. With increasing population growth, agricultural growth and industry growth, the use of underground and surface resources is increasing in most regions. The imbalance between supply and demand in the water sector calls for more creative management of water resources. The system dynamics can be used to water resources management. The dynamics of the system is a university degree introduced in 1960 by researchers at the Massachusetts Institute of Technology. Dynamics refers to a change over time, and if something is dynamic, it constantly changes in response to the stimuli that affect it. The simulation approach of the system relies on understanding complex interactions between elements in a system. In this method, first, variables related to water resources such as groundwater, surface water, population, etc., were identified and identified as causation and disability graphs. Then the cause and effect charts converted to the storage and flow charts in the VENSIM software, and the relationships between the variables as well as the extraction numbers of the data were put in the model and the model was implemented. The results obtained from the implementation of the model were such that without investing in the water sector in the Haraz basin in the domestic, industrial and agricultural sectors in 1410, 1429 and 1414, respectively, will be deficient in water. The proposed scenario was implemented in the model. Scenario 1 examines the conditions without any changes. The result is that in the year 1410, in the drinking water sector, the Haraz basin will suffer from a lack of domestic water. Scenario 2 examines the impact of population control on water



resources in the Haraz basin, and shows that the basin of Haraz in 1420 suffers from lack of domestic water. Scenario 3 examines the use of flow-decreasing instruments, and the result is that if flood-reducing instruments are used up to 1435, the Haraz basin will not be affected by water scarcity. Scenario 4 examines the scenarios 2 and 3 at the same time, and the results show that during the 50-year period, implementation of the model in the basin will not occur.

**Key word:** water resource management, System dynamics, Causal Loop Diagram, Vensim software



**Faculty of Civil Engineering**

**M.Sc. Thesis in Water Resources Engineering and Management**

**Using system dynamics as a decision support tool for water resources  
management and modeling vensim for Haraz basin**

**By: Moein heidari**

Supervisors:

**Dr. ramezan Vagheei**

**Dr. saeed Golian**

**September 2017**