

توسعه مدل پویایی سیستم برای مدیریت پایدار منابع آب با استفاده از رویکرد پایتون در سطح حوضه آبریز تجن

سیده فاطمه هاشمی^۱، علی شاهنظری^{۲*}، روزبه مصطفوی اشکلک^۳ و سونیا صادقی^۴

۱- پژوهشگر پسادکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- نویسنده مسئول، استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (A.shahnazari@Sanru.ac.ir)

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد کامپیوتر- نرم افزار، دانشگاه آزاد واحد لاهیجان

۴- پژوهشگر پسادکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

دریافت:

بازنگری:

پذیرش:

چکیده

در این تحقیق به منظور تخصیص منابع آب به محصولات حوضه آبریز تجن، مدل سیستم پویایی VENSIM ساخته و مورد اعتبارسنجی قرار گرفته است. سپس مدل با استفاده از رویکرد کدنویسی توسعه و مدلی به نام PySD ساخته شد. هدف اولیه شبیه‌سازی مدل PySD، پیش‌بینی میزان آب تخصیص یافته از منابع حوضه به تقاضاهای شرب، صنعت، کشاورزی و زیست‌محیطی است و برآورد کمبود احتمالی است. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل PySD نشان داد که مقادیر RMSE، nRMSE و T-test در همه موارد پیشنهادی به جز ضرایب پیشنهادی برای مخزن سد زارم و تقاضای کشاورزی در این منطقه (agri coe1.5 و Zr0) بهترین تطابق را بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای نشان داده است که میزان RMSE و nRMSE آن از یک سو به ترتیب ۰/۰۸+ و ۱۲ درصد و از سوی دیگر میزان T-test آن ۰/۰۵۱+ محاسبه شد. بررسی نتایج نشان داد گندم در اکثر ماه‌های فصل زراعی با کمبود مواجه بوده به طوری که از مجموع ۱/۵۶ میلیون مترمکعب تقاضای آبی آن تنها ۰/۳ میلیون متر مکعب تأمین شده است. از طرفی براساس اصل قابلیت تأمین‌پذیری نیازهای کشاورزی، تنها برای سه محصول سیاه‌ریشه، شالی و مرکبات بیش از ۸۵ درصد نیازها تأمین شده و باقی محصولات قابلیت تأمین‌پذیری بسیار اندکی دارند. نتایج ارزیابی معیارهای اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری، آسیب‌پذیری و پایداری در تخمین کارایی سیستم منابع آب در تأمین مصارف کشاورزی حوضه آبریز تجن، نشان می‌دهد که مرکبات، جالیز و دانه‌های روغنی در منطقه شهید رجایی، زارم و فینسک در محدوده قابل قبولی قرار دارند و این پارامتر برای محصولات سیاه‌ریشه کم‌ترین میزان پایداری را دارا هستند.

کلید واژه‌ها: توسعه مدل، متن باز، مدل‌سازی سیستم دینامیک.

مقدمه

گذشته و چشم‌انداز در آینده، یک استراتژی منطقی و مؤثر برای تخصیص عادلانه آب است که می‌تواند برای کمک به مدیران منابع آب منطقه‌ای لحاظ گردد. تخصیص منابع آب می‌تواند عرضه و تقاضا را بین بخش‌های مختلف مصرف آب در میان ذینفعان متعادل نماید (Hu, 2014; Read et al., 2008; Cai, 2008; and Modarres, 1999). تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه ارزیابی تخصیص منابع آب منطقه‌ای برای حداکثر منافع اجتماعی- اقتصادی با حداقل اثرات زیست‌محیطی انجام شده است (Tabari and Soltani, 2013; Habibi Davijani et al., 2016; Yu and Lu, 2018; He et al., 2020). Flinn و Guise (1970) مفهوم تعادل فضایی‌ای را پیشنهاد نمودند که از آن برای دستیابی به تخصیص و قیمت منطقی آب استفاده شد. Marin و Smith (1988) نیز رویکردی را برای انتخاب سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌های منابع آب مبتنی بر رعایت قانون عادلانه تخصیص ارائه کردند.

کمبود آب ناشی از توزیع نابرابر مکانی منابع آب به یک مسئله کلیدی در جهان تبدیل شده است. به طوری که امنیت آب (Security Water) را تهدید و توسعه پایدار جامعه و اقتصاد را محدود می‌نماید (Sun et al., 2016; Guo et al., 2020; Ma et al., 2021; Hou et al., 2021). از سوی دیگر، این مسئله به شدت بر توسعه همه‌جانبه سیستم‌های اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی در مقیاس منطقه‌ای تأثیرگذار است (Cosgrove and Loucks, 2015; Sun et al., 2016). برای دستیابی به امنیت آبی و توسعه پایدار، اجرای تخصیص عادلانه منابع آب در مناطق حیاتی است (Fu et al., 2017; Ma et al., 2020). علاوه بر این، با رشد چشمگیر جمعیت، تقاضای آب روندی رو به رشد دارد. از طرفی دیگر، کمبود آب ناشی از توزیع نابرابر منابع آب، تضادهای آبی بین ذینفعان را تشدید نموده و بدین ترتیب، مشکلات آب را پیچیده‌تر می‌نماید (Naghdi et al., 2021). بر همین اساس، در نظر گرفتن شرایط فعلی با عنایت به تجربیات

پیش‌بینی حجم آب در دسترس و تقاضای آب مبنای تخصیص منابع آب را تشکیل می‌دهد (Wei et al., 2020). متداول‌ترین روش پیش‌بینی عرضه و تقاضای آب استفاده از روش پویایی سیستم (SD) است (Forrester, 1987; Honti et al., 2019). مدل SD ساخته شده از طریق تخمین پارامترهای دقیق و معادله‌های عددی می‌تواند به‌طور مؤثر عدم قطعیت را کاهش دهد و دقت را بهبود بخشد و به‌طور گسترده در مدل‌سازی مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است (Raman and Sunilkumar, 1995; Al-Zahrani and Abo-Monasar, 2015). در مقایسه با سایر روش‌ها، برجسته‌ترین مزیت مدل SD این است که می‌تواند به صراحت مشکلات چند بازخوردی را تشریح نماید و به‌طور مؤثر ویژگی‌های تکامل بلندمدت و ارتباطات بین سامانه تلفیقی (به‌عنوان مثال سامانه تلفیقی منابع آب، اجتماعی-اقتصادی و محیطی) را به تصویر بکشد.

همچنین از دیگر قابلیت‌هایی که تاکنون به آن اضافه شده است، توسعه مدل با استفاده از متن باز (Open Source) است. متن باز بخشی از نرم‌افزار است که برای اکثر کاربران قابل مشاهده نبوده اما در واقع از منبع کد (Source Code) آن می‌توان نرم‌افزار را مشاهده، ویرایش و یا توسعه داد. در واقع با نوشتن سورس کد نحوه عمل بخش‌های مختلف یک نرم‌افزار تعیین می‌شود و این امکان را می‌دهد تا با دسترسی به آن، قابلیت‌هایی خاص به آن افزود و عملکرد برنامه را بهبود بخشید و یا مشکلات آن را برطرف نمود. در واقع مستندات آن از طریق لایه ذخیره (Repository) عمومی تحت مجوز مجاز (Repositories under a permissive license) (EURL) ارائه می‌شود که امکان دسترسی به آن برای عموم رایگان است. همچنین علاوه بر امکان تلفیق با مدل‌های مختلف از طریق متن باز (Inam et al 2017a)، از بروز مشکلات در تصمیم‌گیری استراتژی‌های طولانی‌مدت جلوگیری می‌نماید (Malard et al., 2017). تاکنون مدل‌های یکپارچه مختلفی در زمینه کدنویسی توسعه یافته است. در اکثر این تحقیقات چگونگی استفاده از این مدل‌های توسعه یافته در تلفیق با مدل‌های سیستم پویا اشاره شده است (Prodanovic and Simonovic, 2010; Malard et al., 2017; Inam et al., 2017a; Shrestha et al., 2013; Liao et al., 2012; Bulatewicz et al., 2013; Hashemi et al., 2014; Peck et al., 2020). برای نمونه (Malard et al., 2017). Inam et al (2017b) و et al (2017b) مدل حرکت آب زیرزمینی SAHYSMOD را برای منطقه پنجاب پاکستان با استفاده از زبان کدنویسی پایتون توسعه دادند.

بررسی تحقیقات صورت گرفته در حوضه آبریز تجن نیز نشان می‌دهد جنبه‌های مدیریت مشارکت‌مدار (Hosseinpour et al., 2016) و عملکرد آن‌ها در فرایند انتقال مدیریت آبیاری مورد بررسی قرار گرفته است (Madani, 2014). همچنین پاره‌ای دیگر از این تحقیقات اثرات احداث مخازن را از لحاظ کمی و کیفی بر منابع آبی موجود در منطقه مورد بررسی قرار می‌دهند (Khoshravesh and Valizade, 2017). اما از آنجایی که تخصیص منابع آب به مصارف شرب، کشاورزی، صنعت و زیست‌محیطی حداقل بر اساس بررسی سوابق تحقیق که برای این پژوهش در این منطقه به عمل آمد با استفاده از مدل PySD، یافت نشد، لذا در این پژوهش توسعه مدل VENSIM با زبان کدنویسی پایتون در شبیه‌سازی تخصیص منابع و مصارف حوضه آبریز تجن، مورد استفاده قرار گرفته تا بتوان کارایی سیستم منابع آب را در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۳ مورد ارزیابی قرار داد.

مواد و روش‌ها

کاربرد PySD: مدیریت پایدار منابع آب با استفاده از رویکرد متن باز در حوضه آبریز تجن

روش‌شناسی ساخت مدل مدیریت پایدار منابع آب با استفاده از رویکرد متن باز در حوضه مورد مطالعه شامل چندین گام اساسی است. گام اول، شناسایی منابع و مصارف در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی شبیه‌سازی است. گام دوم، ساخت مدل ونسیم آن است. یعنی مدیریت تخصیص با چشم‌انداز پایدار منابع و مصارف، پایستی در مدل تحت ویندوز ساخته شود. گام بعدی، توسعه مدل (Development) به زبان پایتون است. زبان برنامه‌نویسی پایتون، زبان برنامه‌نویسی‌ای تفسیری، پویا و شی‌گرا می‌باشد که برای بیان محاسبات در اوایل ۱۹۹۰ در موسسه تحقیقات بین‌المللی ریاضیات و کامپیوتر هلند توسط Guido van Rossum ساخته شد (Van Rossum and Drake). توسعه مدل سیستم دینامیک VENSIM از طریق زبان برنامه‌نویسی پایتون در شکل (۱) نشان داده شد. توسعه مدل‌ها با این رویکرد از سه گام زیر پیروی می‌کند: (۱) کدنویسی (Scripting) (Peck et al (2014)، و Prodanovic و Simonovic (2010). (۲) ترجمه مدل (Translation) (Simonovic و Prodanovic (2010) و Cai et al (2005) و (۳) ایجاد بسته که در واقع هسته مرکزی و موتور شبیه‌سازی مدل به‌شمار می‌رود (Gregersen et al (2007) و در تحقیقات متعدد چگونگی کاربرد آن مورد ارزیابی قرار گرفته است (Shrestha et al., 2013; Bulatewicz et al., 2013; Liao et al., 2012). از طرفی دیگر استفاده از صفحه گسترده (به‌طور خاص Excel) نیز در کنترل استخراج و تبادل داده بین مدل‌های فیزیکی و مدل پویایی سیستم‌ها اجتناب‌ناپذیر است (Inam et al., 2017a).

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز تجن با مساحت تقریبی ۴۰۰۵ کیلومتر مربع که ۳۹۸۰ کیلومتر مربع آن در استان مازندران قرار گرفته، در محدوده‌ای با مختصات جغرافیایی ۱۰°-۵۲° تا ۴۵°-۵۶° طول شرقی و ۴۵°-۳۵° تا ۰۰°-۳۸° عرض شمالی قرار دارد که در شکل (a و b) نشان داده شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود رود تجن با سرشاخه‌های متعددی از جمله ورن، رودخانه سفید، زارم‌رود، شیرین رود، لاجیم و گرم‌رود بوده که با پیوستن این انشعابات به پیکره اصلی تجن، آورد اصلی رودخانه تجن شکل می‌گیرد. سد شهید رجایی، سد فینسک و زارم به ترتیب با ظرفیت ۱۶۱ میلیون مترمکعب، ۱۲ میلیون مترمکعب و ۸۳ میلیون مترمکعب ساخته شده است. در پایین‌دست رودخانه تجن، بند انحرافی تجن با ظرفیت آبیگری ۳۸ مترمکعب بر ثانیه احداث شده که قابلیت تنظیم برای کلیه دبی‌های مورد نیاز را داراست (Hashemi et al., 2020).

در شرایط موجود تخصیص منابع آب حوضه آبریز تجن یک مدل شبیه‌ساز دینامیکی ایجاد شد که متشکل از چهار بخش اساسی است: بخش هیدرولوژیکی که خود برگرفته از سیستم‌های

تامین آب نظیر مخازن اصلی، آب‌بندان، آب زیرزمینی، رودخانه‌ها و ... است، بخش کشاورزی که مبتنی بر الگوی کشت منطقه و عملکرد محصولات کشاورزی است، بخش اقتصادی که مسائل مربوط به درآمد به هزینه را تحت پوشش خود قرار می‌دهد و بخش آخر بخش صنعتی است که مستلزم در نظر گرفتن تقاضای صنعتی است (Hashemi et al., 2021).

در حوضه آبریز تجن، عمده‌ترین نیاز، تأمین تقاضای کشاورزی در منطقه است. لذا نیاز آبی به تفکیک الگوی کشت هر منطقه و بر اساس مدل Cropwat 8 در طی سال ۹۷-۱۳۹۳ محاسبه و به مدل وارد شد. در جدول (۱) الگوی کشت فعلی و سطح زیر کشت آن‌ها آورده شده است. الگوی کشت به‌ترتیب نزولی اولویت تأمین مرتب شده است. بدین صورت که مرکبات و سیاه‌ریشه به‌ترتیب اولویت اول و دوم را دارا بوده و سایر محصولات اولویت‌های بعدی (اولویت هفتم برای گندم در بالادست بند انحرافی تجن و فینسک، اولویت چهارم برای دانه‌های روغنی در بالادست زارم و اولویت ششم برای گندم در بالادست سد شهید رجایی) را تحت پوشش قرار می‌دهند.

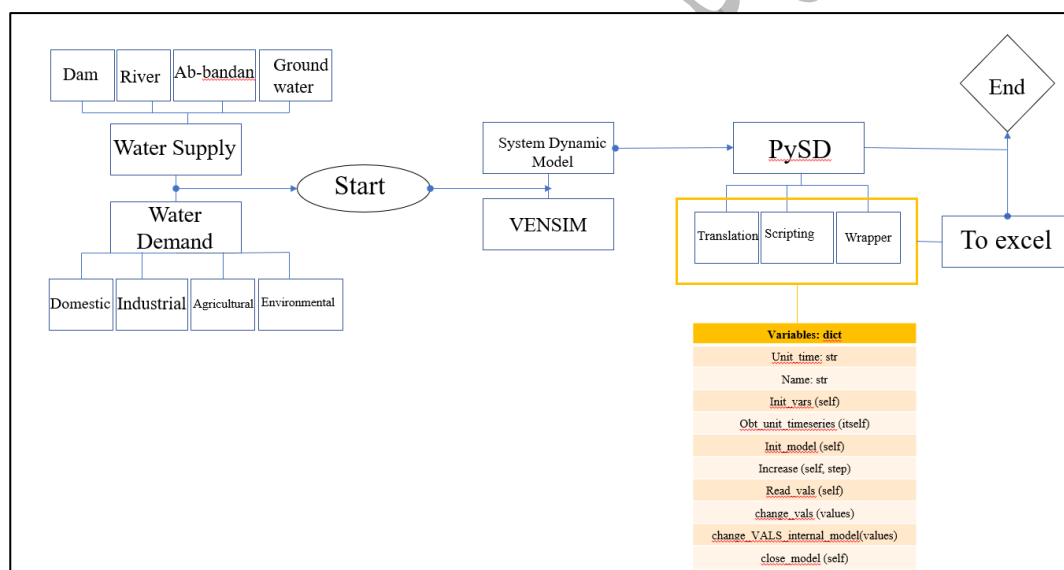


Fig. 1- Flowchart of Developed framework for water resources allocation by Python approach
شکل ۱- فلوچارت چهارچوب توسعه یافته برای تخصیص منابع آب با رویکرد پایتون

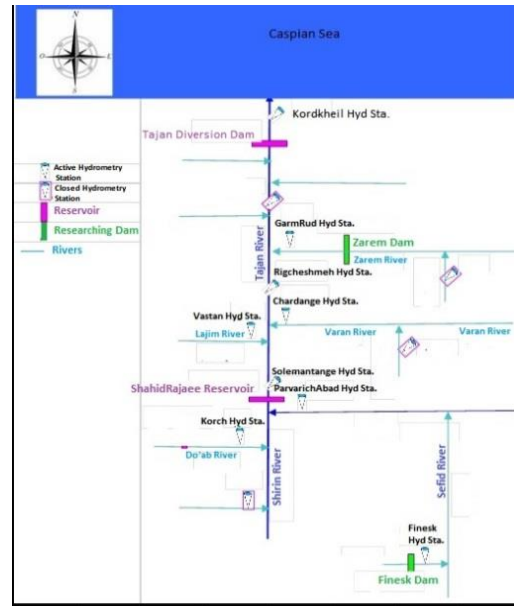
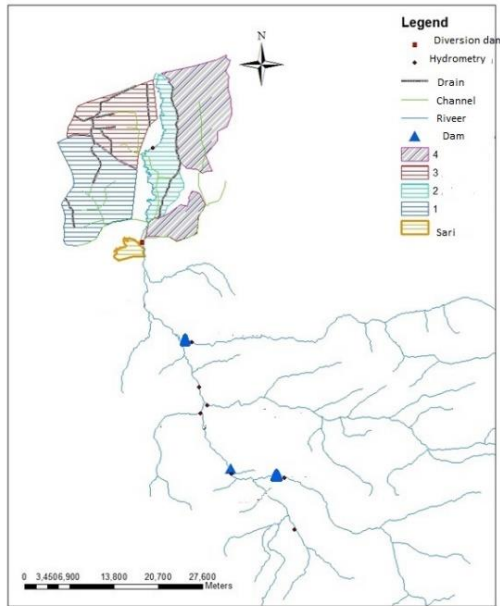


Fig. 2 a)- Water resources and demands diagram in tajan watershed b)- Dams and Rivers locations in tajan watershed

شکل ۲- (a): نمودار منابع و مصارف حوزه آبریز تجن شکل ۲- (b): جانمایی سد ها و رودخانه های حوزه آبریز تجن

جدول ۱- الگوی کشت فعلی محصولات حوزه آبریز تجن به ترتیب نزولی اولویت تأمین

Table 1- Current crop pattern in Tajan watershed in descending order of supply priority

Crop Pattern	Upstream cultivated area (ha)			
	Tajan Diversion Dam	ShahidRajaei Dam	Finesk Dam	Zarem Dam
Citrus	12940	39	96	-
Black root	64026	501	2735	973
Rice	21961	1060	1907	160
Potager garden	23.5	3.5	2783	1.7
Maize	369	-	1	-
Cereals	8.5	-	6.1	-
Oilseeds	435	0.3	13	4157
Wheat	1710	0.8	901	-

حلقه تقویتی را ایجاد میکند (حلقه ورودی به دریا). آب سطحی (جریان آب حاصل از رهاسازی سد و آببندان) و رواناب با میزان آب ورودی به مخازن رابطه مستقیم دارد. علاوه بر این، میزان آب ورودی به مخازن، افزایش سطح زیر کشت و افزایش میزان بهره‌وری و درآمد خواهد شد. با افزایش درآمد، برداشت از آب زیرزمینی زیادتر شده که منجر به کاهش در برداشت از حجم کل آب در دسترس بوده و بدین ترتیب حجم ذخیره سد نیز کاهش می‌یابد که ترکیب تمامی موارد بالا در حلقه، یک حلقه برون‌زا را ایجاد می‌کند. افزایش درآمد، منجر به افزایش فعالیت‌های کشاورزی شده که این دو مورد حلقه تقویتی را به‌منظور تمایل به تغییر الگوی کشت ایجاد می‌کنند. علاوه بر این، هر چه هزینه‌های پمپاژ افزایش یابد بهره‌وری و درآمد کاهش یافته که اساساً یک حلقه برون‌زا را ایجاد می‌کند (حلقه بهره‌وری). همچنین با افزایش

آماده‌سازی داده‌های ورودی مدل VENSIM

فرضیات پویایی و چگونگی تاثیر آن‌ها بر هم در شکل (۳) نشان داده شده است. حلقه‌های قرمز نشان‌دهنده حلقه‌های درآمد به هزینه، حلقه درآمد و حلقه بهره‌وری می‌باشد. باقی حلقه‌ها بیان‌کننده حلقه ورودی به دریا، حلقه آب حاصل از رهاسازی سد و آببندان، حلقه رفاه و حلقه سرریز است. رشد جمعیت منجر به افزایش نیاز صنعت و متعاقباً افزایش در تأمین آب و افزایش نیاز صنعت می‌شود. بر همین اساس این حلقه (رفاه) یک حلقه برون‌زا (تبادل) است. افزایش حجم ذخیره در مخازن، افزایش سرریز از سد ها و تأمین نیازها و کاهش برداشت از آب زیرزمینی منجر به افزایش منابع کلی آب شده و حلقه تقویتی را ایجاد می‌کند (حلقه سرریز). افزایش سرریز، افزایش میزان آب ورودی به دریا، افزایش کمبودها و کاهش میزان کل منابع آب سطحی خواهد شد که یک

جدول ۳- فهرست پارامترهای مورد استفاده در حوضه آبریز تاجن در طی سال‌های ۱۳۹۳-۹۷

Table 3- Applied parameters in Tajan watershed during 2014-2018

Parameter	Description	Value	Unit
CR SH. R	Shahid Rajaee Crest height	138	meter
CR Fnsk	Finesk Crest height	59	meter
CR Zr	Zarem Crest height	78	meter
FCL SH.R	SH.R Flood control level	153	meter
FCL Fnsk	Finesk Flood control level	9.52	meter
FCL Zr	Zarem Flood control level	60	meter
FCL AB	Lagoon Flood control level	92	meter
Max Vol SH.R	SH.R Maximum volume	162	Million Cubic meter
Max Vol Fnsk	Finesk Maximum volume	11.8	Million Cubic meter
Max Vol Zr	Zarem Maximum volume	82.73	Million Cubic meter
Max Vol Ab	Lagoon Maximum volume	102	Million Cubic meter
Min Vol SH.R	SH.R Minimum volume	17.12	Million Cubic meter
Min Vol Fnsk	Finesk Minimum volume	2.27	Million Cubic meter
Min Vol Zr	Zarem Minimum volume	13	Million Cubic meter
Min Vol Ab	Lagoon Minimum volume	25.6	Million Cubic meter
Eva Res	Evaporation	0.9	meter
Ea Agri	Agricultural efficiency	70	Percent
Dom Dem of SH.R	SH.R Domestic demand	2.5	Million Cubic meter / Month
Dom Dem of Fnsk	Finesk Domestic demand	0.6	Million Cubic meter / Month
Dom Dem of Zr	Zarem Domestic demand	3	Million Cubic meter / Month
Ind Dem of SH.R	SH.R Industrial Demand	1	Million Cubic meter / Month
Ind Dem of Zr	Zarem Industrial Demand	0.5	Million Cubic meter / Month
Aquifer Depth	Zarem Industrial Demand	70	Meter

شده برای ضابطه C خواهد بود. اگر $X_t > C$ باشد آنگاه $X_t \in S$ و $Z_t = 1$ در غیر این صورت $X_t \in U$ و $Z_t = 0$ خواهد بود. لیکن شاخص دیگری که تعریف می‌شود W_t است که نشان‌دهنده نوعی انتقال از ناراضی به حالت رضایت بخش است. بنابراین:

$$1; X_t \in U \& X_{t+1} \in S, \text{ If then else (در غیر)} \quad (2)$$

$$W_t = 0; \text{ (این صورت)}$$

که در آن پارامتر مورد ارزیابی (تأمین نیاز) و Z_t شاخص تأمین یا عدم تأمین که مقدار آن یک یا صفر است. اگر دوره‌های ناراضی X_t به صورت J_1, J_2, \dots, J_n تعریف گردد، آنگاه شاخص‌های اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری سیستم به صورت روابط زیر تعریف می‌شود:

$$C_R = \frac{\sum_{t=1}^T Z_t}{T} \quad \text{اعتمادپذیری} \quad (3)$$

$$C_{RS} = \frac{\sum_{t=1}^T W_t}{T - \sum_{t=1}^T Z_t} \quad \text{برگشت‌پذیری} \quad (4)$$

$$C_V = \max \left\{ \sum_{t \in J_i} C - X_i \quad i = 1, \dots, N \right\} \quad \text{آسیب‌پذیری} \quad (5)$$

به منظور واسنجی مدل از آمار و داده‌های ورودی سال ۲۰۱۴ استفاده شده و در ادامه مدل برای همه سال‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون‌های صحت‌سنجی نیز شامل ارزیابی ساختار و آزمون t استیوننت با نرم‌افزار SPSS است. در بررسی این آزمون‌ها نتایج مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی با استفاده از دو روش ترسیمی و شاخص‌های آماری نظیر ضریب همبستگی (R)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطای نرمال (nRMSE)، استفاده می‌شود که در روابط (۶) و (۷) ارایه شده است. بدین ترتیب که ابتدا ضریب اصلاحی مخزن و متعاقباً ضرایب اصلاحی نیاز کشاورزی برای دشت آبخور سد زارم برای مدل وارد شده و در نهایت با مقایسه تراز سطح مخزن زارم با نتایج واقعی در طی سال‌های آماری مدل مورد اعتبارسنجی قرار گرفته و از سویی دیگر می‌توان برای منطقه مورد مطالعه ضریب اصلاحی مخزن و نیاز کشاورزی مطلوبی را نیز ارائه نمود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \quad (6)$$

$$nRMSE = RMSE / \bar{O} \times 100 \quad (7)$$

مدل VENSIM براساس پارامترهای ورودی و بر حسب بازه زمانی ماهانه در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۳ مطابق جدول (۳) به مدل وارد شد. سپس الگوی تخصیص منابع آب به هر بخش از حوضه آبریز با توجه به فرضیات پویا که دربرگیرنده قوانین رهاسازی از سدها، آب‌بندان و آب زیرزمینی توسط مدل VENSIM شبیه‌سازی شد تا بتوان کمبودهای احتمالی را برآورد نمود.

سناریوی وضعیت موجود که در بازه زمانی ماهانه برای سال ۱۳۹۴ در شرایط فعلی و با در نظر گرفتن خصوصیات کمی و کیفی اجزای سیستم با استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی، آب‌بندان و آب زیرزمینی و با در نظر گرفتن نیاز شرب، صنعت، زیست‌محیطی و کشاورزی با استفاده از مدل VENSIM انجام می‌شود. در این مرحله با تعیین تراز آب، کمبودهای احتمالی مورد بررسی قرار می‌گیرد. علاوه بر این می‌توان پتانسیل منابع آب موجود در منطقه را بررسی نمود تا بتوان طرح‌های توسعه‌ای دیگری را نیز در نظر گرفت. این سناریو علاوه بر ارزیابی تراز منابع، مصارف و کمبودها در ساخت بسته پایتون مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تخصیص کارآمد و قابل اطمینان آب به لحاظ زمانی و مکانی و در دو بعد کمیت و کیفیت نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد (Loucks, 2000). بایستی توجه نمود که به دلیل عدم وجود رابطه همگرایی بین شاخص‌های ۲۲ گانه توسعه پایدار، Loucks (2000) شاخص پایداری که ترکیبی از سه شاخص Hashimoto et al. (1982) بود معرفی نمود که بیشتر شاخص پایداری به عنوان گزینه برتر معرفی می‌شود که در رابطه (۱) آورده شده است. ϕ شاخص پایداری، δ شاخص اطمینان‌پذیری (Reliability)، γ شاخص سرعت برگشت‌پذیری (Resiliency) و η شاخص آسیب‌پذیری (Vulnerability) است. محدوده قابل قبول شاخص پایداری تأمین کشاورزی ۰/۸-۱ می‌باشد.

$$\Phi = \delta \gamma (1 - \eta) \quad (1)$$

این شاخص‌ها برای آزمون عملکرد سیستم منابع آب برای سناریوهای مختلف، ارزیابی خروجی سیستم منابع آب با توجه به نیازهای مورد نظر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طوری که یک ضابطه C برای هر منبع تأمین آب در ابتدا تعریف می‌شود که معادل مقدار ناراضی است که در آن منبع قادر به تأمین عملکرد از قبل تعیین شده نمی‌باشد. در این پژوهش ضابطه تعریف شده C تأمین ۸۵ درصد تقاضای آبی در سری زمانی تعریف شده است (Trieu, 2005). این بدان معناست که سطح تأمین متجاوز از چهار سال از پنج سال است (Hashemi and Shahnzari, 2015). سری‌های زمانی مقادیر روزانه شبیه‌سازی تأمین $X(t)$ که برای مدت زمان T ارزیابی می‌گردد. هر منبع تأمین آب دارای یک دامنه رضایت‌بخشی (Satisfactory) (S) و ناراضی (U) تعریف

ساخت مدل PySD - VENSIM

در این پژوهش از محیط مدل VENSIM PLE استفاده شده است. براساس جدول (۳) پارامترهای ورودی بر حسب بازه زمانی ماهانه به مدل وارد شد. داده‌های ماهانه آب و هوا در بین سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ که شامل بر داده‌های بارش، حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی، سرعت میانگین باد و تابش خورشیدی است از ایستگاه هواشناسی دشت ناز که به فاصله ۱۵ کیلومتر از محدوده مورد مطالعه است، برداشت شد. سپس الگوی تخصیص منابع آب به هر بخش از حوضه آبریز با توجه به فرضیات پویا که دربرگیرنده قوانین رهاسازی از سدها، آب‌بندان و آب زیرزمینی در طی دوره زمانی مفروض توسط مدل VENSIM شبیه‌سازی شد تا بتوان کمبودهای احتمالی را برآورد نمود.

PySD که به مدل VENSIM ایجاد شده تحت زبان پایتون اطلاق می‌شود، فایل 'vensim.mdl' را به اجزای تشکیل دهنده آن تجزیه نموده و نتایج را به پایتون برمی‌گرداند که امکان استخراج اجزای وابسته از محیط VENSIM را ایجاد نموده و می‌تواند به سهولت برای ارتباط مدل یا محاسبات توزیع یافته موازی استفاده شود و در نهایت بدون هیچ تغییری در ساختار پویایی سیستم‌ها یا متغیرهای واقعی مدل توسعه یافته، شبیه‌سازی را انجام دهد (Houghton, 2018). در این مرحله و با مشخص شدن روابط اساسی بین اجزای مختلف سیستم و زیر سیستم‌ها، بایستی بسته تحت پایتون را ایجاد نمود. روابط اساسی حاکم بر آن‌ها و فرضیات موجود به زبان برنامه‌نویسی پایتون برگردانده و در بسته قرار می‌گیرد (Hashemi et al., 2020).

مبنای کار PySD تسهیل تلفیق مدل‌های دینامیک سیستم و علم داده می‌باشد. بدین ترتیب که فراخوان مدل‌های ایجاد شده توسط پلت‌فرم‌های سنتی مدل‌سازی SD به سیستم پایتون را طراحی می‌کند. این سیستم‌ها، در واقع بستری را فراهم می‌کند که علاوه بر ایجاد بستری برای تلفیق مدل‌های مختلف، می‌تواند به‌صورت مجزا هم قابل استفاده باشد (Houghton et al., 2014; Houghton and Siegel, 2015; Houghton, 2018; Malard et al., 2017; Inam et al., 2017a,b). علاوه بر این‌ها، امکان گرفتن خروجی به فرمت‌های *.JPEG، *.xlsx یا *.csv در نسخه جدید وجود دارد. این موارد اگرچه برتری نسبی PySD را به نسخه تحت ویندوز آن نشان می‌دهد، ولی یکی از مهم‌ترین برتری‌های نسخه تحت پایتون این است که می‌توان با آگاهی از زبان کدنویسی پایتون، انواع مختلفی از دستورات را تنها با یک خط کد اعمال نمود بدون آنکه در داده‌های ورودی آن تغییرات خاصی اعمال شود. لازم به ذکر است این نسخه تحت زبان پایتون نیاز به نسخه تحت ویندوز نداشته و تنها کافی است اطلاعات ورودی در پوشه‌ای تحت اسامی دلخواه ذخیره شده و سپس از نسخه تحت پایتون، به آن ارجاع داده شود. بر همین اساس و با عنایت به جدول (۴) و توضیحات بالا، در پژوهش حاضر این موارد به‌ترتیب زیر محقق شد: ۱- ایجاد

لغت‌نامه به این ترتیب که تمامی پارامترهای موجود در مدل بایستی در قالب لغت‌نامه نوشته شود تا در صورت لزوم، از طریق همین کتابخانه ایجاد شده فراخوانی شود. ۲- در مرحله دوم، بایستی مدل دینامیک سیستم عیناً از نسخه تحت ویندوز به پایتون ترجمه شود که این بخش مهم‌ترین بخش کار است و نیاز دارد تمامی کتابخانه‌ها و کلاس‌های آن به درستی شناخته شده و فراخوانی شود. از طرفی دیگر، ارتباط بین آن‌ها نیز بایستی به درستی تشخیص داده شود. لذا این مرحله نیاز به تسلط کافی بر مدل ساخته شده دینامیک سیستم و آشنایی با قوانین و رویکردهای اصلی آن دارد. کدهای اولیه توسط Houghton (2018) به‌صورت متن‌باز قرار داده شد که می‌توان برای شبیه‌سازی اولیه از آن استفاده نمود. همچنین می‌توان به تناسب شبیه‌سازی مدل و فرضیاتی که در آن دنبال می‌شود، تغییرات را اعمال و نتایج را بررسی نمود. ۳- در مرحله بعدی، داده‌های ورودی به مدل بایستی آماده شود. این مرحله دقیقاً شبیه به مدل VENSIM است بدین ترتیب که هر دسته از داده‌های ورودی در پوشه مورد نظر خود ذخیره و در روند اجرای شبیه‌سازی فراخوانی می‌شود. ۴- برای کالیبره مدل نیز دستور خاصی نوشته شده است که می‌توان با استفاده از همان دیکشنری نوشته شده در گام، متغیر مربوطه را فراخوانی و هر گونه تغییری را بر آن اعمال نموده و چگونگی تغییرات آن را بر خروجی ارزیابی نمود.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از واسنجی مدل PySD

به‌منظور ارزیابی نتایج مدل، رفتار مدل با رفتار مشاهداتی مقایسه شد. یکی از متغیرهایی که صحت‌سنجی آن بررسی شد و در تحلیل نتایج این تحقیق نسبت به سایر ورودی‌های مدل از اهمیت بسیار زیادی نیز برخوردار است، تراز آب مخزن و چگونگی تغییرات آن در طی تامین مصارف می‌باشد (Hashemi et al., 2021). برای اعتبارسنجی، محدوده سد زارم انتخاب شد و پارامترهای معرفی شده در آن به ازای ضرایبی تغییر نمود و سایر محدوده‌های مورد مطالعه ثابت در نظر گرفته شدند. این مسئله از این حیث قابل تامل است می‌توان مقادیری به‌عنوان ضریب اصلاحی برای نیاز آبی محصولات کشاورزی برای منطقه مورد مطالعه، پیشنهاد و در طی دوره شبیه‌سازی لااقل در این تحقیق مورد ارزیابی قرار داد.

نتایج ارزیابی مدل در جدول (۵) نشان داده شده است. بررسی ارقام RMSE نشان داد این پارامتر در همه موارد پیشنهادی بهترین تطابق بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای وجود دارد و تنها برای $Zr0=0.75$ و $agri\ coe=1.5$ بیشتر به‌دست آمد. از سویی دیگر nRMSE روند معکوسی دارد. به‌طوری‌که در محدوده ۱۴٪-۱۲٪ بوده که آن را در محدوده خوب تا عالی قرار می‌دهد و به جز $Zr0=0.75$ و $agri\ coe=1.5$ که nRMSE برابر با ۲۰٪ برآورد شده، که آنرا در رده خوب جای می‌دهد (Kiani,

2010). به منظور تکمیل ارزیابی‌ها آزمون معناداری انجام شده است که نتایج آزمون t در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داد که تفاوت معناداری بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای وجود ندارد ($T_{test} > 0.05$). البته به جز در $Zr0 = 0.75$ و $agri\ coe = 1.5$ که در سطح ۹۵٪ تفاوت معناداری وجود دارد. این آزمون هم تا حدود زیادی نتایج سایر آماره‌ها را اثبات می‌کند.

در شکل (۴) نمودار یک به یک نقاطی که برای تعیین بهترین ضریب اصلاحی مخزن و نیاز کشاورزی به مدل وارد شد، ارائه شده است. از بین نقاط مختلفی که به عنوان ضرایب اصلاحی به مدل وارد شد، در ضرایب اصلاحی مخزن و نیاز کشاورزی به ترتیب ۱/۸ و ۰/۸ بهترین تطابق بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی وجود دارد که میزان RMSE و nRMSE آن از یک سو به ترتیب ۰/۰۸ متر و ۱۲ درصد و از سویی دیگر میزان Ttest آن ۰/۰۵۱ محاسبه شد. همچنین بیشترین میزان Ttest برای ضریب اصلاحی مخزن و نیاز کشاورزی چهار و چهار، برابر با ۰/۰۷۱ است که نشان‌دهنده تطابق خوب بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای را نشان می‌دهد و بعد از آن، ضرایب اصلاحی مخزن و نیاز کشاورزی به ترتیب ۱/۸ و ۰/۸ دومین مقدار Ttest را به خود اختصاص داده است. سایر نقاط نیز تغییرات اندکی نسبت به این ضرایب پیشنهادی داشته است. ضریب همبستگی (R) محاسبه شده بین حجم مخزن شبیه‌سازی شده و مشاهده شده بین ۰/۰۹ - ۰/۰۶ حاصل شد که کارکرد این مدل را در پیش بینی تراز آب مورد تأیید قرار می‌دهد. $Zr0 = 6$ و $agri\ coe = 6$ با $R = 0.6$ کمترین و $Zr0 = 1.8$ و $agri\ coe = 0.8$ با $R = 0.9$ بیشترین میزان ضریب همبستگی را به خود اختصاص داده است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی تخصیص منابع آب در حوضه آبریز تجن با استفاده از PySD

به منظور بررسی وضعیت منابع و مصارف حوضه آبریز تجن و ارزیابی پتانسیل منابع آب در شبکه مورد مطالعه، بسته PySD اجرا شد که در اجرای مدل مذکور، تمامی مخازن و بالادست آن‌ها در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۳ و به‌طور هم‌زمان لحاظ گردید. انتخاب این دوره آماری از این لحاظ حائز اهمیت است تا بتوان به درستی درک جامعی از تمامی مصارف موجود داشت. این مصارف به‌طور عمده مشتمل بر مصارف شرب، صنعت، زیست محیطی و کشاورزی است.

از آنجایی که شرب و زیست محیطی اولویت بالایی در تامین نیازها دارند، تقریباً نیاز آن‌ها برطرف شده است که در جدول (۶) قابل مشاهده است. به عبارت دیگر قابلیت تامین در این محدوده برای این نیازها ۱۰۰ درصد است. ولی عمده‌ترین کمبودها در بخش کشاورزی مشاهده شده است که لزوم برداشت از سایر منابع را اجتناب‌ناپذیر نموده است. البته بایستی توجه نمود که چاه‌ها بجز محدوده بند انحرافی تجن قابل برداشت نبوده یا حجم بسیار اندکی دارند که در محاسبات لحاظ نمی‌شود. همچنین امکان

برداشت از آب‌بندان نیز فقط در این محدوده وجود دارد. بنابراین علیرغم کمبودهای قابل توجه در این بخش، نیازها به‌صورت تأمین نشده باقی خواهند ماند.

در ادامه تأمین تقاضای کشاورزی در محدوده دشت تجن به تفکیک الگوی کشت در میانگین ۵ ساله (۹۷-۱۳۹۳) مطابق با جدول (۷) ارائه شده است. در توضیح اعداد و ارقام به‌دست آمده بایستی توجه نمود که نحوه تخصیص منابع آب به محصولات با معیار حداکثر سودآوری شرکت آب منطقه‌ای است بدین ترتیب که سیاه‌ریشه اولویت اول و سایر محصولات به ترتیب نزولی اولویت مرتب شده باشند. بدین ترتیب در نحوه تخصیص بایستی اولویت تأمین به گونه‌ی لحاظ شود که ابتدا محصول با اولویت اول تأمین نیاز شده و از حجم باقی مانده تخصیص سایر محصولات.

شده- قبیل از چاپ

Table 4- Description of the major attributes and methods of the major classes in PySD.

جدول ۴- شرح خصوصیات و روش‌های اصلی کلاس‌های مهم در PySD

Class	Method or Attribute	Description
MODEL		Top-level class that represents all models, whether coupled or not (SD model wrappers, physically-based model wrappers, and connected models).
	Variable: dict	A dictionary attribute where each key is a variable name and each value is a dictionary of that variable's properties. The latter has the following keys: "entry" (Boolean; whether the variable is a model input); "exity" (Boolean; whether the variable is a model output); "val" (float or matrix; current variable value); "unit" (string; variable units); and "dims" (tuple; variable dimensions).
	Time-step: str	A string reporting the time step of the model
	Name: str	The name of the model (used in coupling).
	Init_vars (self)	Reads the model input and populates the variables attribute dictionary according to the input file.
	Obt_unit_timesstep (self)	Returns the time step of the model.
	Init_model (self)	Initializes the model run (usually by sending a command to the command line, or by opening *.mdl library).
	Increase (self, step)	Increases the current simulation by paso number of time steps.
	Read_vals (self)	Reads intermediate variable values from the model.
	change_vals (values)	One of the only methods of Model which is not an abstract method, this method reads in new variable values from vals (a dictionary) and stores them in the Model object's variables attribute before calling change_vals_model_internal () to effectuate the change in the external model as well, if necessary.
	change_VALS_internal_model (values)	Given new variable values in vals, takes appropriate action with the external model (often through a *.mdl call or input file modification) to update its internal variable values. .
close_model (self)	Ends the simulation and closes any linked external model.	
Envelope MDS		EnvelopeMDS is a mostly empty abstract class provided as a template for SD model wrappers. The implementation of the abstract methods inherited from Model are left to the SD software-specific wrapper implementations to implement, as these vary from software to software.

Table 5- The results of VENSIM model calibration in Zarem Part using PySD model

جدول ۵- نتایج حاصل از واسنجی مدل VENSIM در منطقه زارم با استفاده از مدل PySD

Year	Statistical tests	Zr0= 0.96 Agri coe= 3	Zr0= 4 Agri coe= 4	Zr0= 3 Agri coe= 4.5	Zr0= 3 Agri coe= 6	Zr0= 0.75 Agri coe= 1.5	Zr0= 1.8 Agri coe= 0.8
2014	RMSE (meter)	0.08	0.09	0.09	0.09	0.21	0.07
	nRMSE (%)	12.17	13	14	14.71	20	12
	P-value	n. s. 0.029	n. s. 0.077	n. s. 0.032	n. s. 0.015	s. 0	n. s. 0.051
	R	0.053	0.68	0.65	0.69	0.59	0.052
2015	RMSE (meter)	0.008	0.010	0.013	0.010	0.009	0.38
	nRMSE (%)	-0.528	-0.772	-1.281	-0.570	-0.34	4
	P-value	n. s. 0.381	n. s. 0.511	n. s. 0.099	n. s. 0.059	s. 0	n. s. 0.057
	R	0.94	0.92	0.92	0.93	0.95	0.93
2016	RMSE (meter)	0.013	0.008	0.011	0.010	0.012	0.01
	nRMSE (%)	-0.899	-0.284	-0.567	-0.338	-0.907	-0.917
	P-value	n. s. 0.124	n. s. 0.247	n. s. 0.309	n. s. 0.785	s. 0.04	0.067
	R	0.91	0.95	0.92	0.94	0.89	0.93
2017	RMSE (meter)	0.009	0.014	0.008	0.009	1.24	0.21
	nRMSE (%)	-0.397	-1.039	-0.197	-0.344	26.6	5.82
	P-value	n. s. 0.102	n. s. 0.364	n. s. 0.752	n. s. 0.094	s. 0	n. s. 0.032
	R	0.98	0.61	0.62	0.63	0.67	0.57
2018	RMSE (meter)	0.85	0.003	1.38	1.24	2.2	0.46
	nRMSE (%)	1.22	-0.231	1.12	1.06	7.01	1.05
	P-value	n. s. 0.347	n. s. 0.247	n. s. 0.506	n. s. 0.264	s. 0.051	n. s. 0.07
	R	0.65	0.76	0.59	0.72	0.61	0.98

* Zr0 و Agri coe :Reservoir correction factor and agricultural need correction factor respectively.

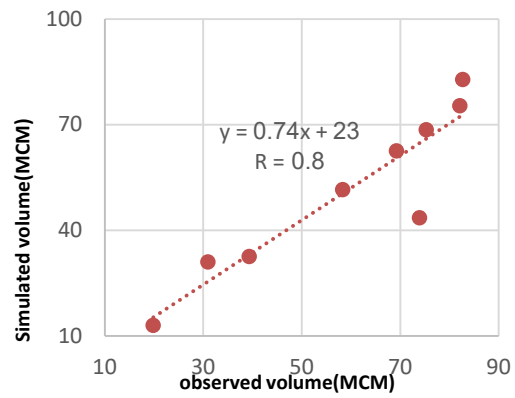
.**m :meter.

*** . S:Significance and n.s.: non-significance at the 5% probability level

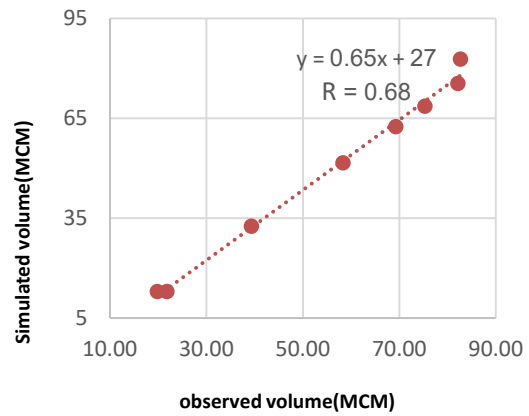
Table 6- summary of water allocation in Tajan Watershed in PySD environment

جدول ۶- خلاصه تخصیص آب در حوضه آبریز تاجن در محیط Pysd

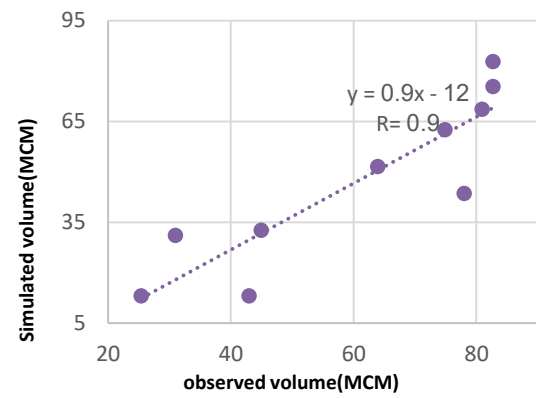
description	Tajan River at Finesk dam Part	Tajan River at ShahidRajae. Reservoir Part	Tajan River at Zarem Part	Tajan River at Tajan diversion Part
upstream	31.78	107	140	447
water requirement supply before Dam	22.07	-	8.03	54.06
water requirement supply before Dam	19.37	-	8.03	54
Inflow to Dam	16.27	182	240.55	432
storage volume in Dam	48	567	454	389
Agricultural demand	31.54	146	52	-
Domestic demand	29.88	51.58	46.8	-
Industrial demand	-	30	28	-
Enviromental demand	29.29	12	6	98.24
Agricultural supply	3.3	88.5	45	-
Domestic supply	8.22	49.37	37	-
Industrial supply	-	11	24	-
Enviromental supply	4.3	30	4.9	98.2
Interflow of dam after supply demand	16	138	73	53.6
Demand after dam	19.05	-	5.05	483
Supply after dam	18.35	-	4.88	376.5
Baseflow of river (before bifurcation node)	110	164	92	443
outflow after Supply and adding other river	182	303	116.83	-
beseflow before sea	-	-	-	333
Exchangeable water to other province	-	-	-	243
Ab- bandan Abstraction	-	-	-	98
Baseflow after Ab-bandan	-	-	-	483
GW abstraction	-	-	-	91.5



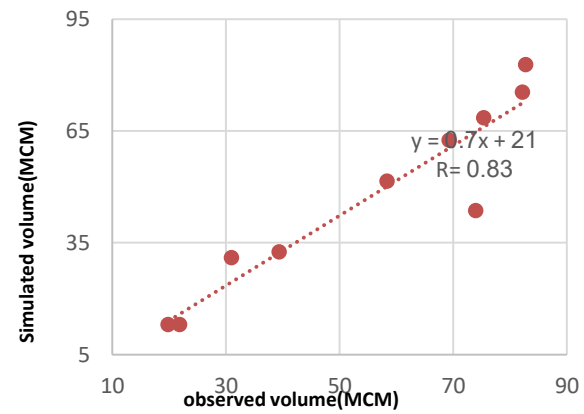
3 =agri coe and 0.96 =Zr0 :a



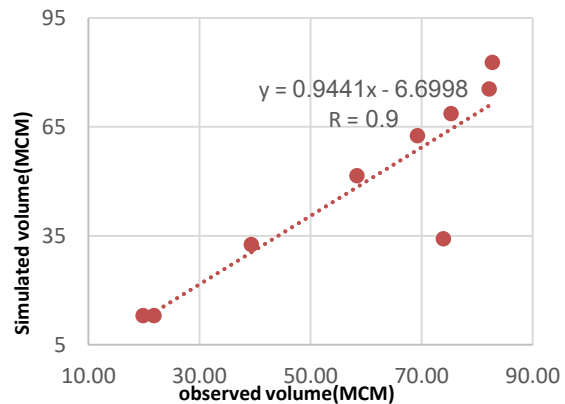
6 =agri coe and 3 =Zr0 :c



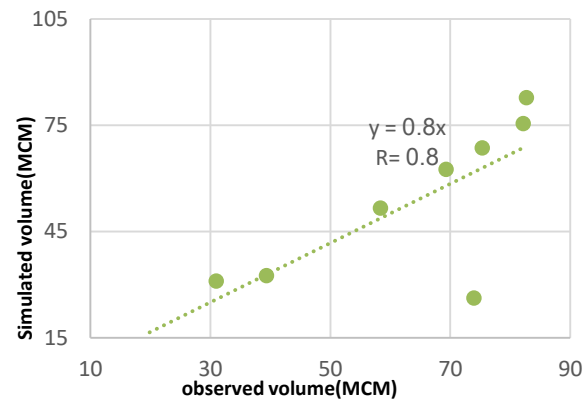
0.8 =agri coe and 1.8 =Zr0 :b



1.75 =agri coe and 0.75 =Zr0 :d



4.5 =agri coe and 3 =Zr0 e



4 =agri coe and 4=Zr0 f

Fig 4. One-to-one graphs of reservoir coefficients and agricultural demand coefficients in Finesk region in the parameters of observed values and simulation of reservoir volume changes (MCM: million m³)

شکل ۴. نمودارهای یک به یک ضرایب مخزن و ضرایب تقاضای کشاورزی در منطقه فینسک در پارامتر مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی تغییرات حجم

مخزن * MCM: میلیون مترمکعب

پایان کارشناسی ارشد - قبیل از چاب

در محدوده فینسک از آن جایی که مرکبات اولویت دوم تأمین را دارد، تمامی نیازهای آن تأمین شده است بدون آنکه سایر محصولات شبکه که سود کمتری برای شرکت آب منطقه‌ای دارند تأمین گردد. همچنین از بررسی جدول (۷) این طور استنباط می‌شود که شالی نیز با میزان دومیلیون متر مکعب کمبود، توانسته بیش از ۸۰ درصد کمبودهای خود را تأمین نماید. از طرفی دیگر بررسی جدول (۷) نشان می‌دهد که گندم نیز در اکثر ماه‌های فصل زراعی با کمبود مواجه بوده به طوری که از مجموع ۱/۵۶ میلیون مترمکعب تقاضای آبی آن تنها ۰/۳ میلیون متر مکعب آن تأمین شده است. همچنین با رعایت اصل قابلیت تأمین‌پذیری نیازهای کشاورزی، تنها برای دو محصول سیاه‌ریشه، شالی و مرکبات بیش از ۸۵ درصد نیازها تأمین شده و باقی محصولات قابلیت تأمین‌پذیری بسیار اندکی دارند. بعبارت دیگر برای محصولاتی که سودآوری بیشینه را برای شرکت آب منطقه‌ای دارند، تمام محصولات با قابلیت اطمینان‌پذیری بیشتر از ۸۵ درصد تأمین شده و سایر محصولات که احتمالا حتی برای تأمین مایحتاج فصلی کشاورزان هستند نظیر جالیز، تأمین بسیار اندک و در حد صفر است.

در محدوده سد شهید رجایی تأمین شالی صفر برآورد شده است. همچنین برای محصولات جالیز و گندم تأمین به‌طور کامل انجام شده است. از این میان برای مرکبات از چهار ماه تخصیص صورت گرفته، تنها یک ماه تأمین نشده و باقی تأمین شده است به طوری که ماه فروردین به میزان ۱/۲۷ میلیون متر مکعب تأمین نشده و ۵/۱۵ میلیون متر مکعب در باقی ماه‌ها تأمین شده است و می‌توان گفت به میزان ۸۰ درصد تأمین حجم آن صورت پذیرفته است. در حالیکه برای محصول سیاه‌ریشه، اگر چه در اولویت تأمین اول قرار دارد، تأمین به میزان بسیار کمی انجام شده است. به طوری که از ۴۴ میلیون مترمکعب تقاضا در این بخش، ۰/۷۲ میلیون مترمکعب آن تأمین شده است که تقریبا دو درصد نیازهای آن تأمین شده است. البته بایستی توجه نمود که اگر چه اولویت تأمین سیاه‌ریشه اول است، ولی نیاز آبی آن نسبت به سایر محصولات این بخش بسیار بیشتر است، که نحوه تخصیص آن براساس سطح زیر کشت و مرکبات ۳۹ هکتار است و همچنین برای شالی نیز که از مجموع ۸ میلیون مترمکعب تقاضا، درصد تأمین آن صفر بوده، سطح زیر کشت آن ۱۰۶۰ هکتار است.

در ادامه می‌توان چنین استنباط نمود که در شرایطی که نیاز آبی محصولات کم باشد، تأمین بهتر صورت می‌پذیرد. برای نمونه دانه‌های روغنی قابلیت اطمینان‌پذیری در تأمین تقاضای کشاورزی صد در صد بوده که بررسی سطح زیر کشت آن (۰/۳ هکتار) این فرضیه را ثابت می‌کند. چنین روندی در مورد گندم و جالیز نیز صادق است. با سطح زیر کشت ۰/۸ و ۳/۵ هکتار، ۰/۳۱ و ۳/۶۲ میلیون مترمکعب تقاضا، تقریبا تمامی آن‌ها تأمین شده است. بررسی اعداد و ارقام جدول (۷) در مورد محصول دانه‌های

روغنی قابلیت تأمین این محصول ۳۲ درصد است به طوری که از ۰/۴ میلیون مترمکعب کل تقاضای این محصول در این منطقه، تنها ۰/۰۲ میلیون مترمکعب آن تأمین شده است. در محدوده سد شهید رجایی تأمین شالی صفر برآورد شده است. همچنین برای محصولات جالیز و گندم تأمین به‌طور کامل انجام شده است. از این میان برای مرکبات از چهار ماه تخصیص صورت گرفته، تنها یک ماه تأمین نشده و باقی تأمین شده است به طوری که ماه فروردین به میزان ۱/۲۷ میلیون متر مکعب تأمین نشده و ۵/۱۵ میلیون متر مکعب در باقی ماه‌ها تأمین شده است و می‌توان گفت به میزان ۸۰ درصد تأمین حجم آن صورت پذیرفته است. در حالیکه برای محصول سیاه‌ریشه، اگر چه در اولویت تأمین اول قرار دارد، تأمین به میزان بسیار کمی انجام شده است. به طوری که از ۴۴ میلیون مترمکعب تقاضا در این بخش، ۰/۷۲ میلیون مترمکعب آن تأمین شده است که تقریبا دو درصد نیازهای آن تأمین شده است. البته بایستی توجه نمود که اگر چه اولویت تأمین سیاه‌ریشه اول است، ولی نیاز آبی آن نسبت به سایر محصولات این بخش بسیار بیشتر است، که نحوه تخصیص آن براساس سطح زیر کشت آن توجیه‌پذیر است. سطح زیر کشت سیاه‌ریشه ۵۰۱ هکتار است و مرکبات ۳۹ هکتار. همچنین برای شالی نیز که از مجموع هشت میلیون مترمکعب تقاضا، درصد تأمین آن صفر بوده، سطح زیر کشت آن ۱۰۶۰ هکتار است. در ادامه می‌توان چنین استنباط نمود که در شرایطی که نیاز آبی محصولات کم باشد، تأمین بهتر صورت می‌پذیرد. برای نمونه دانه‌های روغنی قابلیت اطمینان‌پذیری در تأمین تقاضای کشاورزی صد در صد بوده که بررسی سطح زیر کشت آن (۰/۳ هکتار) این فرضیه را ثابت می‌کند. چنین روندی در مورد گندم و جالیز نیز صادق است. با سطح زیر کشت ۰/۸ و ۳/۵ هکتار، ۰/۳۱ و ۳/۶۲ میلیون مترمکعب تقاضا، تقریبا تمامی آن‌ها تأمین شده است. بررسی اعداد و ارقام جدول زیر در مورد محصول دانه‌های روغنی قابلیت تأمین این محصول ۳۲ درصد است به طوری که از ۰/۴ میلیون مترمکعب کل تقاضای این محصول در این منطقه، تنها ۰/۰۲ میلیون مترمکعب آن تأمین شده است.

Table 7- Simulation of supply and deficit in the 5-year average in the Tajen watershed (MCM) by the PySD model

جدول ۷- شبیه سازی میزان تامین و کمبود در میانگین ۵ ساله در حوضه آبریز تجن (MCM) با استفاده از مدل PySD

Months		April		May		June		July		August		September	
Part	Crops	Deficit	Supply	Deficit	Supply	Deficit	Supply	Deficit	Supply	Deficit	Supply	Deficit	Supply
Black root trees	Finesk Dam.	-	-	1.2	-	0.02	0.07	0.15	0.12	0.26	0.08	0.12	0.02
	ShahidRajae Dam	4.77	-	9.27	0.09	9.58	0.2	9.40	0.3	8.09	0.13	2.85	-
	Zarem Dam	-	-	2.1	10	15	0.6	16	-	8.6	0.24	8.7	1
	Diversion Dam	3.71	0.67	6.6	7.35	0.27	7.53	-	6.40	0.05	2.22	0.01	0.30
Citrus	Finesk Dam.	-	0.06	-	0.02	-	0.04	-	0.03	-	0.01	-	-
	ShahidRajae Dam	1.27	-	-	1.15	-	1.75	-	1.6	-	0.65	-	-
	Zarem Dam	0.03	23	0.24	19.6	0.32	16	0.3	10	0.19	8.85	0.1	11
	Diversion Dam	13.61	4.12	22.70	27.56	0.53	27.8	-	23.6	-	8.20	0.25	1.72
Rice	Finesk Dam.	-	-	0.09	-	0.86	1.34	0.71	2.09	0.26	1.74	0.07	0.68
	ShahidRajae Dam	-	-	1.82	-	2.6	-	2.17	-	0.87	-	-	-
	Zarem Dam	0.32	2.56	2.5	1.3	3.25	0.58	2.45	0.63	1.47	0.57	1.17	0.80
	Diversion Dam	25	-	12.6	39	0.4	52	-	53	-	45	0.35	15
Potager garden	Finesk Dam.	-	-	0.01	-	0.29	-	0.04	-	0.01	-	-	-
	ShahidRajae Dam	-	-	-	0.02	-	0.08	-	0.14	-	0.07	-	-
	Diversion Dam	0.02	-	-	0.24	-	3	-	3.18	0.3	2.65	0.02	1.06
oilseeds	Finesk Dam.	-	-	-	-	0.03	-	0.03	-	0.06	-	0.02	-
	ShahidRajae Dam	-	-	-	-	-	0.01	0.02	-	-	-	-	-
	Zarem Dam	-	-	-	0.01	-	0.02	-	0.02	-	-	-	-
	Diversion Dam	-	0.08	0.54	1.04	1.78	1.1	0.98	0.93	0.07	0.32	-	0.02
Maize	Finesk Dam.	-	-	-	-	-	-	0.03	-	0.02	-	-	-
	Diversion Dam	-	0.23	1.6	3.14	2.91	3.25	0.15	2.76	0.03	0.96	-	0.07
Wheat	Finesk Dam.	-	-	-	-	0.12	-	0.06	0.24	-	0.05	-	-
	ShahidRajae Dam	-	-	-	-	-	0.12	0.06	3.45	-	0.05	-	-
	Diversion Dam	-	0.24	1.65	3.27	3	3.66	1.1	2.85	0.12	1	-	-
Cereals	Finesk Dam.	-	-	-	-	0.02	-	0.01	-	0.02	-	-	-

در محدوده سد زارم برای مرکبات کمبود بسیار کمی نسبت به سایر محصولات وجود دارد. حتی در ماه‌های گرم سال که انتظار می‌رود رهاسازی از سد کافی نباشد. به طوریکه از مجموع ۹۰ میلیون مترمکعب نیاز آبی این محصول، تنها ۱/۵ میلیون مترمکعب آن تأمین نشده و تقریباً بیشتر از ۹۹ درصد تأمین صورت پذیرفته است. البته باید توجه داشت که در بین محصولات این منطقه، بیشترین نیاز آبی به این محصول اختصاص داشته و این محصول وزن زیادی در میزان تقاضای کشاورزی داشته و بدین ترتیب الگوی تخصیص منابع آب در سد زارم توانسته اولویت تأمین آب منطقه‌ای را همراه با اولویت حداکثر تقاضای آبی تأمین نماید. در مورد سیاه‌ریشه مشابه با سد شهید رجایی تخصیص صورت گرفته و با وجود تقاضای زیاد این محصول، تنها به میزان ۲۲ درصد تأمین صورت پذیرفته و باقی به صورت تأمین نشده است. البته می‌توان چنین استنباط نشان داد که عدم تأمین در ماه‌های رخ داده که جریان پایه رودخانه کافی نبوده. از سویی دیگر در مقایسه با مرکبات این احتمال وجود دارد روزهای اوج نیاز آبی برای محصول مرکبات زودتر از سیاه‌ریشه زودتر رخ داده و مدل براساس اولویت تأمین مورد استفاده، ابتدا به سیاه‌ریشه و سپس به مرکبات تخصیص را انجام داده و بدین ترتیب برای دوره اوج تقاضای سیاه‌ریشه منابع آب موجود کاهش یافته است. البته باید توجه داشت که چنین مبنایی برای تخصیص با آنچه که در واقعیت رخ داده مطابقت دارد و مدل توانایی اینکه بتواند کمبود را به دوره بعدی تخصیص دهد، ندارد. در چنین شرایطی حتی با وجود اولویت بالاتر، تخصیص به محصولی کامل خواهد بود که نیاز آبی آن زودتر از سایر محصولات رخ داده است. بررسی تأمین و کمبود مربوط به شالی نیز روندی مشابه با سایر محصولات در این بخش دارد که از مجموع ۱۷ میلیون مترمکعب تقاضای آبی، هفت میلیون متر مکعب آن تأمین شده و ۴۲ درصد آن تأمین نشده است. البته بررسی اعداد تأمین و کمبود در ماه‌های مختلف این محصول نشان‌دهنده این مطلب است که کمبود عمدتاً در ماه‌های گرم سال بوده که جریان پایه و رهاسازی مخزن در این منطقه کاهش یافته و بین ماه‌های اردیبهشت تا شهریور بوده و با توجه به اولویت تأمین کمتر نسبت به دو محصول دیگر از یک سو و تقاضای نسبتاً کمتر این محصول با سیاه‌ریشه و مرکبات، تأمین آن چنین روندی داشته است. در مورد گندم و ذرت دانه‌ای و دانه‌های روغنی روندی کم و بیش متفاوت حاکم است به طوری که برای دانه‌های روغنی قابلیت تأمین تقریباً ۵۰ درصد بوده است. همچنین گندم و ذرت دانه‌ای قابلیت تأمین به ترتیب ۲۰ درصد و ۳۱ درصد است که بعد از شالی، در این منطقه کمترین اولویت تأمین را به خود اختصاص داده‌اند. به طوری که برای گندم ۵/۸۷ میلیون مترمکعب و برای ذرت دانه‌ای ۴/۷ میلیون مترمکعب قابل مشاهده است.

مرکبات که اولویت اول و دوم از لحاظ تخصیص منابع آب را دارا هستند، یکسان است. همچنین بررسی اجمالی اعداد و ارقام نشان می‌دهد که تقاضای آبی محصول شالی در این منطقه بیشترین میزان است. به طوری که از حجم ۳۱۴ میلیون مترمکعب تقاضای آبی آن، تنها ۳۹ میلیون مترمکعب آن تأمین شده که تنها تأمین‌کننده ۱۲٪ از نیازهای این محصول می‌باشد. چنین روندی کم‌وبیش برای محصول جالیز نیز وجود دارد به طوری که از ۱۱ میلیون مترمکعب تنها ۰/۳۴ آن تأمین شده است. البته باید توجه داشت که در بین محصولات این منطقه، بیشترین نیاز آبی به این محصول اختصاص داشته و این محصول وزن زیادی در میزان تقاضای کشاورزی داشته و بدین ترتیب الگوی تخصیص منابع آب در سد فیسنک توانسته اولویت تأمین آب منطقه‌ای را همراه با اولویت حداکثر تقاضای آبی تأمین نماید. بررسی تأمین و کمبود مربوط به شالی نیز روندی مشابه با سایر محصولات در این بخش دارد که از مجموع ۱۷ میلیون مترمکعب تقاضای آبی، هفت میلیون متر مکعب آن تأمین شده و ۴۲ درصد آن تأمین نشده است. البته بررسی اعداد تأمین و کمبود در ماه‌های مختلف این محصول نشان‌دهنده این مطلب است که کمبود عمدتاً در ماه‌های گرم سال که جریان پایه و رهاسازی مخزن در این منطقه کاهش یافته است و بین ماه‌های اردیبهشت تا شهریور بوده و با توجه به اولویت تأمین کمتر نسبت به دو محصول دیگر از یک سو و تقاضای نسبتاً کمتر این محصول با سیاه‌ریشه و مرکبات، تأمین آن چنین روندی داشته است. در مورد گندم و ذرت دانه‌ای و دانه‌های روغنی روندی کم و بیش متفاوت حاکم است به طوری که برای دانه‌های روغنی قابلیت تأمین تقریباً ۵۰ درصد بوده است. همچنین گندم و ذرت دانه‌ای قابلیت تأمین به ترتیب ۲۰ درصد و ۳۱ درصد است که بعد از شالی، در این منطقه کمترین اولویت تأمین را به خود اختصاص داده‌اند. به طوری که برای گندم ۵/۸۷ میلیون مترمکعب و برای ذرت دانه‌ای ۴/۷ میلیون مترمکعب قابل مشاهده است.

در محدوده بند انحرافی تجن برای مرکبات بیشترین میزان تأمین نسبت به سایر محصولات صورت گرفته است. حتی در ماه‌های گرم سال که انتظار می‌رود رهاسازی از سد کافی نباشد. به طوری که از مجموع ۱۳۰ میلیون مترمکعب نیاز آبی این محصول، ۳۷/۰۹ میلیون مترمکعب آن تأمین نشده و تقریباً ۷۲ درصد تأمین صورت پذیرفته است. در مورد سیاه‌ریشه مشابه با سد شهید رجایی تخصیص صورت گرفته و با وجود تقاضای ۳۴/۸۷ میلیون مترمکعب، به میزان ۷۰ درصد تأمین صورت پذیرفته و باقی به صورت تأمین نشده است. در این بین قابلیت تأمین سیاه‌ریشه و

جدول ۸- ارزیابی معیارهای کارآیی حوضه آبریز تجن در تامین مصارف کشاورزی در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۳
 Table 8- Evaluation of the performance criteria of Tajen irrigation and drainage network in supplying agricultural demand during 2014-2018

Parts	Crops	Evaluation criteria			
		Reliability	Resiliency	Vulnerability	Satiability
Finesk	Blackroot trees	0.51	0.41	0.12	0.21
Zarem		0.12	0.03	0.02	0.01
ShahidRajae		0.35	0.17	-	0.06
Diversion Dam		0.67	0.49	0.04	0.36
Finesk	Citrus	0.70	0.55	0.01	0.85
Zarem		0.71	0.43	0.15	0.95
ShahidRajae		0.98	0.66	0.06	0.61
Diversion Dam		0.59	0.43	0.2	0.2
Finesk	Rice	0.73	0.38	0.11	0.68
Zarem		0.43	0.66	-	0.29
Diversion Dam		0.87	0.9	-	0.78
ShahidRajae		1	0.86	-	0.86
Diversion Dam	Potager garden	0.73	0.37	-	0.65
Diversion Dam	Maize	0.71	0.32	0.24	0.18
Zarem	Oilseed	1	1	-	1
Diversion Dam		0.65	0.4	0.2	0.2
Finesk		0.37	0.05	0.05	0.02
ShahidRajae	Wheat	0.9	0.77	0.24	0.52
Diversion Dam		0.66	0.4	-	0.64

نتیجه‌گیری

خروجی‌های هر دو مدل VENSIM و PySD کاملاً بر هم مطابقت دارند که این مسئله یکی از بنیادی‌ترین نتایج حاصل از این تحقیق است. لازم بذکر است که بعد از ساخت اولیه مدل، و تبدیل بسته تحت پایتون آن، می‌توان تنها با کمی آشنایی با زبان پایتون و اجزای مدل ساخته تحت VENSIM، هر گونه تغییری را بدون رجوع به نسخه اصلی آن در محیط پایتون اجرا و نتایج را در زمان بسیار کمی ارزیابی کرد. اگرچه شاید به نظر برسد نسخه PySD تفاوت چندانی با VENSIM ندارد، ولی باید دانست که این توسعه مدل مقدمه‌ای برای تلفیق مدل دینامیک سیستم با مدل‌های بیوفیزیکی است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد در صورت انتخاب ضرایب اصلاحی مخزن و نیاز آبی به ترتیب ۱/۸ و ۰/۸، مدل PySD توانایی بالایی در شبیه‌سازی تخصیص منابع آب در حوضه آبریز تجن دارد. نتایج تراز منابع و مصارف آب در حوضه آبریز تجن در شرایط موجود توسط مدل PySD در طی سال‌های ۹۷-۱۳۹۳ نشان داد که تقاضای کشاورزی در منطقه فینسک، شهید رجایی، زارم و بند انحرافی تجن به ترتیب ۱۸، ۱۴۶، ۹۳ و ۴۷۸ میلیون متر

در ادامه به منظور ارزیابی کارایی سیستم منابع آب در تأمین مصارف کشاورزی حوضه آبریز تجن، معیارهای اعتماد پذیری، برگشت‌پذیری، آسیب‌پذیری و پایداری سیستم مورد محاسبه و بررسی قرار گرفت. بررسی ارقام موجود در جدول (۸) نشان می‌دهد که مرکبات در منطقه فینسک و زارم، جالیز در منطقه شهید رجایی و دانه‌های روغنی در منطقه زارم پایداری در محدوده قابل قبولی قرار دارند (Loucks, 2000). ۰/۰۱، ۰/۰۶ و ۰/۰۲ کمترین میزان پایداری می‌باشند که برای محصولات سیاه‌ریشه در منطقه زارم و شهید رجایی و گندم در منطقه فینسک می‌باشند که مستلزم در نظر گرفتن راهبردهای مدیریتی خاصی است. از سویی دیگر نکته قابل توجه در جدول زیر اعداد و ارقام مربوط به معیار آسیب‌پذیری است که نشان‌دهنده ضابطه رضایتمندی تأمین چهار سال از پنج در این پژوهش است به طوری‌که هر چه به عدد صفر نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده این حقیقت است که ۸۵ درصد نیازها تأمین شده و هر چه به عدد یک نزدیک باشد، معنای معکوس می‌یابد.

همچنین سیاه‌ریشه در منطقه زارم و شهید رجایی و گندم در منطقه فینسک کمترین میزان پایداری در حد صفر را نشان می‌دهند که این مسئله نشان‌دهنده کمبودهای قابل توجه در این حوضه به‌ویژه در تأمین مصارف این محصولات از یک سو و از سویی دیگر کمبود قابل ملاحظه منابع آب در تأمین مصارف آن است که لزوم اقدامات مدیریتی خاص نظیر تغییر الگوی کشت، تعیین عمق بهینه یا استفاده از سایر منابع را ایجاب می‌نماید.

تقدیر و تشکر

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تحت قرارداد شماره ۰۶-۱۳۹۹-۰۲ انجام شد که به این وسیله سپاسگزاری می‌شود.

مکعب است که به‌ترتیب شش میلیون مترمکعب (۳۳ درصد)، ۹۳ میلیون مترمکعب (۶۳ درصد)، ۱۰۰ میلیون مترمکعب (۵۹ درصد) و ۳۸۰ میلیون مترمکعب (۸۰ درصد) تأمین شده است که تنها در منطقه بند انحرافی تجن، قابلیت تأمین ۸۰ درصد رعایت شده و در سایر مناطق کمبودهای قابل ملاحظه‌ای مشاهده شده است. از طرفی دیگر بررسی تراز منابع و مصارف در بخش شرب، صنعت و زیست محیطی در تمامی مناطق نشان می‌دهد که منابع موجود در هر منطقه برای تأمین این مصارف کافی بوده و در اکثر مناطق بیش از ۹۰ درصد این مصارف تأمین شده است. لذا همچنان کمبودهای قابل ملاحظه‌ای در بخش کشاورزی وجود دارد. از طرفی ارزیابی معیار پایداری در تخمین کارایی سیستم منابع آب در تأمین مصارف کشاورزی حوضه آبریز تجن، نشان می‌دهد محصولات کمی در محدوده قابل قبولی قرار دارند، از جمله مرکبات در منطقه فینسک و زارم، جالیز در منطقه شهید رجایی و دانه‌های روغنی در منطقه زارم.

References

- 1- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D. and Wright, J.L., 2005. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 131(1), pp.2-13.
- 2- Al-Zahrani, M.A. and Abo-Monasar, A., 2015. Urban residential water demand prediction based on artificial neural networks and time series models. *Water resources management*, 29, pp.3651-3662.
- 3- Bulatewicz, T., Allen, A., Peterson, J.M., Staggenborg, S., Welch, S.M. and Steward, D.R., 2013. The simple script wrapper for OpenMI: enabling interdisciplinary modeling studies. *Environmental Modelling & Software*, 39, pp.283-294.
- 4- Cai, X. 2008. Water stress, water transfer and social equity in Northern China—Implications for policy reforms. *Journal of Environmental Management*, 87(1), 14-25.
- 5- Cai, X., Langtangen, H. P. and Moe, H. 2005. On the performance of the Python programming language for serial and parallel scientific computations. *Scientific Programming*, 13(1), 31-56.
- 6- Cosgrove, W.J. and Loucks, D.P., 2015. Water management: Current and future challenges and research directions. *Water Resources Research*, 51(6), pp.4823-4839.
- 7- Flinn, J.C. and Guise, J.W., 1970. An application of spatial equilibrium analysis to water resource allocation. *Water Resources Research*, 6(2), pp.398-409.
- 8- Forrester, J.W., 1987. Lessons from system dynamics modeling. *System Dynamics Review*, 3(2), pp.136-149.
- 9- Fu, Z.H., Zhao, H.J., Wang, H., Lu, W.T., Wang, J. and Guo, H.C., 2017. Integrated planning for regional development planning and water resources management under uncertainty: A case study of Xining, China. *Journal of Hydrology*, 554, pp.623-634.
- 10- Gregersen, J.B., Gijssbers, P.J.A. and Westen, S.J.P., 2007. OpenMI: Open modelling interface. *Journal of hydroinformatics*, 9(3), pp.175-191.

- 11- Guo, Y., Tian, X., Fang, G. and Xu, Y.P., 2020. Many-objective optimization with improved shuffled frog leaping algorithm for inter-basin water transfers. *Advances in Water Resources*, 138, p.103531.
- 12- Habibi Davijani, M., Banihabib, M. E., Nadjafzadeh Anvar, A. and Hashemi, S. R. 2016. Multi-objective optimization model for the allocation of water resources in arid regions based on the maximization of socioeconomic efficiency. *Water resources management*, 30, 927-946.
- 13- Hashemi, S.F. and Shahnazari, A., 2015. Evaluating Reliability Index and Determining the Allocation Levels of Water Resources in Water User Association of Alborz Scheme. *Water and Soil*, 29(5), pp.1232-1246. (In Persian)
- 14- Hashemi, S. F., Shahnazari, A., Rayini, M., Shahbazbegian, M. and Adamowski, J. F. 2020. Water Resource Allocation and Crop Yield Simulation in Tajan Plain Watershed by Coupling of WOFOST and VENSIM Models. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. No. 3, Vol. 14. (In Persian)
- 15- Hashemi, S Rayeni, M. and Shahbazbegian, M., 2021. Evaluation of Optimal Cropping Pattern in Tajan Watershed with Systematic Modeling. *Journal of Watershed Management Research*, 12(23), pp.155-168. (In Persian)
- 16- Hashimoto, T., Stedinger, J.R. and Loucks, D.P., 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water resources research*, 18(1), pp.14-20.
- 17- He, L., Bao, J., Daccache, A., Wang, S., and Guo, P. 2020. Optimize the spatial distribution of crop water consumption based on a cellular automata model: a case study of the middle Heihe River basin, China. *Science of the Total Environment*, 720, 137569.
- 18- Honti, G., Dörgő, G. and Abonyi, J., 2019. Review and structural analysis of system dynamics models in sustainability science. *Journal of Cleaner Production*, 240, p.118015.
- 19- Horlemann, L. and Jafari Berenji, P., 2017. Participation in water Management in Iran. *Reviving the Dying Giant: Integrated Water Resource Management in the Zayandeh Rud Catchment, Iran*, pp.51-62.
- 20- Hosseinpur, Z., Menhaj, M.H. and Kavoosi-Kalashami, M., 2016. Assessment Improving and organizing mechanism of water users cooperatives using AHP method in Esfarrayen County, Iran. *International Journal of Agricultural Management and Development (IJAMAD)*, 6(1047-2017-1689), pp.339-351.
- 21- Hou, C., Wen, Y., Liu, X. and Dong, M., 2021. Impacts of regional water shortage information disclosure on public acceptance of recycled water—evidences from China's urban residents. *Journal of Cleaner Production*, 278, p.123965.
- 22- Houghton, J., 2018. PySD Documentation Release 0.9. 0. *Read the Docs*
- 23- Houghton, J. and Siegel, M., 2015. Advanced data analytics for system dynamics models using PySD. *revolution*, 3(4).
- 24- Houghton, J., Siegel, M., Wirsch, A., Moulton, A., Madnick, S.E. and Goldsmith, D., 2014. A survey of methods for data inclusion in System Dynamics models: methods, tools and applications.
- 25- Hu, Y.S. and Modarres, M., 1999. Evaluating system behavior through dynamic master logic diagram (DMLD) modeling. *Reliability Engineering & System Safety*, 64(2), pp.241-269.
- 26- Inam, A., Adamowski, J., Prasher, S., Halbe, J., Malard, J. and Albano, R., 2017a. Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for

- sustainable soil salinity management–Part 1: model development. *Journal of Hydrology*, 551, pp.596-618.
- 27- Inam, A., Adamowski, J., Prasher, S., Halbe, J., Malard, J. and Albano, R., 2017b. Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for sustainable soil salinity management. Part 2: Model coupling and application. *Journal of Hydrology*, 551, pp.278-299.
- 28- Khoshravesh, M. and Valizadeh, M., 2017. The Effects of Constructing Irrigation and Drainage Network of Rajaei Dam on Spatial and Temporal Changes of Groundwater Quality and Quantity. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 21(2), pp.1-14. (In Persian)
- 29- Kiani, A.R., 2010. Optimal irrigation scheduling based on water-yield relations in soybean cultivars. *Journal of Agricultural Engineering Research (Iran)*, 11(1), pp.85-102. (In Persian)
- 30- Liao, Y.P., Lin, S.S. and Chou, H.S., 2012. Integration of urban runoff and storm sewer models using the OpenMI framework. *Journal of Hydroinformatics*, 14(4), pp.884-901.
- 31- Loucks, D.P., 2000. Sustainable water resources management. *Water international*, 25(1), pp.3-10.
- 32- Ma, Y., Li, Y.P., Huang, G.H. and Liu, Y.R., 2020. Water-energy nexus under uncertainty: Development of a hierarchical decision-making model. *Journal of Hydrology*, 591, p.125297.
- 33- Madani, K., 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. *Journal of environmental studies and sciences*, 4, pp.315-328.
- 34- Malard, J.J., Inam, A., Hassanzadeh, E., Adamowski, J., Tuy, H.A. and Melgar-Quiñonez, H., 2017. Development of a software tool for rapid, reproducible, and stakeholder-friendly dynamic coupling of system dynamics and physically-based models. *Environmental modelling & software*, 96, pp.410-420.
- 35- Marin, C.M. and Smith, M.G., 1988. Water resources assessment: A spatial equilibrium approach. *Water Resources Research*, 24(6), pp.793-801.
- 36- Naghdi, S., Bozorg-Haddad, O., Khorsandi, M. and Chu, X., 2021. Multi-objective optimization for allocation of surface water and groundwater resources. *Science of the Total Environment*, 776, p.146026.
- 37- Peck, A., Neuwirth, C. and Simonovic, S.P., 2014. *Coupling System Dynamics with Geographic Information Systems: CCaR Project Report*. University of Western Ontario Department of Civil and Environmental Engineering (No. 086). report.
- 38- Prodanovic, P. and Simonovic, S.P., 2010. An operational model for support of integrated watershed management. *Water resources management*, 24, pp.1161-1194.
- 39- Raman, H. and Sunilkumar, N., 1995. Multivariate modelling of water resources time series using artificial neural networks. *Hydrological Sciences Journal*, 40(2), pp.145-163.
- 40- Read, L., Madani, K. and Inanloo, B., 2014. Optimality versus stability in water resource allocation. *Journal of environmental management*, 133, pp.343-354.
- 41- Shrestha, N.K., Leta, O.T., De Fraine, B., Van Griensven, A. and Bauwens, W., 2013. OpenMI-based integrated sediment transport modelling of the river Zenne, Belgium. *Environmental Modelling & Software*, 47, pp.193-206.

- 42- Sun, S., Wang, Y., Liu, J., Cai, H., Wu, P., Geng, Q. and Xu, L., 2016. Sustainability assessment of regional water resources under the DPSIR framework. *Journal of Hydrology*, 532, pp.140-148.
- 43- Tabari, M. M. R. and Soltani, J. 2013. Multi-objective optimal model for conjunctive use management using SGAs and NSGA-II models. *Water resources management*, 27, 37-53.
- 44- Tennant, D.L., 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. *Fisheries*, 1(4), pp.6-10.
- 45- Trieu T.T. 2005. Water Balance Analysis in Ea Knir Catchment, Dak Lak, Vietnam. Integrated Watershed Management: Studies and Experiences from Asia.
- 46- Van Rossum, G. and Drake Jr, F. L. 2014. The python language reference. *Python Software Foundation: Wilmington, DE, USA*.
- 47- Wei, F., Zhang, X., Xu, J., Bing, J. and Pan, G., 2020. Simulation of water resource allocation for sustainable urban development: An integrated optimization approach. *Journal of cleaner production*, 273, p.122537.
- 48- Yu, S. and Lu, H. 2018. An integrated model of water resources optimization allocation based on projection pursuit model–Grey wolf optimization method in a transboundary river basin. *Journal of Hydrology*, 559, 156-165.

پایان کارشناسی ارشد - قبل از چاپ

EXTENDED ABSTRACT

Development of system dynamics model for sustainable management of water resources by python approach in Tajan catchment

S.F. Hashemi¹, A. Shanazari^{2*}, R. Mustafavi Eshkelak³, S. Sadeghi⁴

- 1- Postdoc Researcher, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
- 2- Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(A.shanazari@Sanru.ac.ir)
- 3- MSc. Student Computer-Software, Lahijan Azad University
- 4- Postdoc Researcher, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Abstract

Open source is a part of the software that is not visible to most users, but in fact, the software can be viewed, edited or developed from its source code. In fact, by writing the source code, the performance of different parts of a software is determined, and it allows to add certain features to it by accessing it. In this way, the performance of the program will also be improved or its problems will be solved. Its documentation is provided through the public repository layer under the EUPL license, which is freely accessible to the public. Also, besides the possibility of integration with different models through open source (Inam et al., 2017), it prevents problems in deciding long-term strategies (Malard et al., 2017). So far, various integrated models have been developed in coding. In most of these researches, the use of these developed models in combination with dynamic system models has been reported (Hashmi et al., 2020, Prodanovic and Simonovic, 2010, Peck et al., 2014, Malard et al., 2017, Inam et al., 2017, Shrestha et al., 2013, Liao et al., 2012, Bulatewicz et al., 2010). For example, Malard et al. (2017) and Inam et al. (a, b 2017) developed the SAHYSMOD groundwater movement model for the Punjab region of Pakistan using the Python coding language. Allocation of drinking, agricultural, industrial and environmental water resources was not found based on the review of research records conducted for this research in this area using the PySD model. Therefore, in this research, the VENSIM model was developed with the Python programming language to simulate the allocation to evaluate the efficiency of the water resources system during the years 2013-2017.

Methods

PySD, which refers to a VENSIM model created in Python, parses the VENSIM '.mdl' file into its components and returns the results to Python, which enables the extraction of dependent components from the VENSIM environment. It can easily be used to model communication or parallel distributed computing and finally perform simulations without changing the dynamic structure of the systems or the real variables of the developed model (Houghton, 2018). At this stage, by identifying the basic relationships between different system components and subsystems, the package under Python should be created. The basic relationships governing them and existing assumptions were translated into the Python programming language and were placed in the package (Hashmi et al., 2020). In the present research, these things were realized in the following order:

1. Creating a dictionary so that all the parameters of the model are written in the majority of the dictionary so that it can be called through the created library if necessary.
2. In the second stage, the dynamic model system was translated from the Windows version to Python, which was the most important part of the work and requires the correct recognition

and calling of all its libraries and classes. This step requires sufficient mastery of the built dynamics system model and familiarity with its main rules and approaches. The initial code was posted by Houghton (2018) which was used for the initial simulation. It is also possible to apply changes and check the results according to the simulation of the model and the assumptions that are followed in it.

3. In the next step, the input data to the model was prepared. This step is exactly the same as the VENSIM model, so that each batch of input data is stored in its desired folder and called in the process of running the simulation.
4. For the calibration of the model, a special command has been written, which can be called the relevant variable using the same dictionary written in the first step, and any changes can be applied to it, and how its changes can be evaluated on the output.

Results and discussions

investigating the RMSE values showed this parameter has the best match between the simulation and observation values in all the proposed cases and it was higher for $Zr0 = 0.75$ and $agri\ coe = 1.5$. On the other hand, nRMSE had the opposite trend. So that it is in the range of 12%-14%, which puts it in the good to excellent range, and except for $Zr0=0.75$ and $agricoe=1.5$, the nRMSE is estimated to be 20%, which makes it in the good range. (Kiani, 2010). In order to complete the evaluations, a significance test was performed and the results of the t test showed that there is no significant difference between the simulated and observed values at the 95% probability level ($T\text{-test}>0.05$). Of course, except for $Zr0 = 0.75$ and $agricoe = 1.5$, which there is a significant difference at the 95% level. This test proves the results of other statistics to a large extent.

Checking the supply and shortage related to rice also has a similar trend with other products of this sector. Out of a total of 17 million cubic meters of required water, 7 million cubic meters have been supplied and 42% of it has not been supplied. Of course, checking the numbers of supply and shortage in different months of this product shows that the shortage is mainly in the hot months of the year, when the base discharge and release of the reservoir in this area are reduced. Due to the lower supply priority compared to the other two products and the relatively lower demand of this product with citrus, its supply has had such a trend.

In the case of wheat, seed corn and oilseeds, there is a more or less different trend, so that this parameter was almost 50% for oilseeds. Also, wheat and grain corn can be supplied by 20% and 31%, respectively, which after rice have the lowest supply priority in this region. The results of the balance of resources and water consumption in the Tajan catchment basin in the existing conditions with the VENSIM model during 2012-2016 showed that the agricultural demand in Finsk, Shahid Rajaei, Zarem and the Tajan diversion dam is 18, 146, 93 and 478 million cubic meters, respectively. 6 million cubic meters (33 percent), 93 million cubic meters (63 percent), 100 million cubic meters (59 percent), and 380 million cubic meters (80 percent) have been provided, respectively, and only in the Tajan diversion dam area, the ability to provide 80 percent has been met. And in other regions, significant deficiencies have been observed. On the other hand, the review of the balance of resources and expenses in the drinking, industry and environment sectors in all regions shows that the resources available in each region are sufficient to meet these needs, and in most regions, more than 90% of these needs are not met. Therefore, there are still significant deficiencies in the agricultural sector.

Conclusion

The evaluation of the sustainability criterion in estimating the efficiency of the water resources system in providing the agricultural needs of the Tajan catchment area shows that few products are in the acceptable range. Including citrus fruits in Finsk and Zarem region, summer crops in Shahid Rajaei region and oilseeds in Zarem region. Also, stone fruit trees in Zarem and Shahid Rajaei region and wheat in Finsk region show the lowest level of stability and zero. This problem shows the

significant deficiencies in this basin, especially in providing the needs of these products and the significant lack of water resources in providing its needs, which requires the need for special management measures such as changing the cultivation pattern, determining the optimal depth or using other sources.

Acknowledgements

This research was carried out with the financial support of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University under contract number 2019-06-02, for which we are grateful.

References

- 1- Malard, J.J., Inam, A., Hassanzadeh, E., Adamowski, J., Tuy, H.A. and Melgar-Quiñonez, H., 2017. Development of a software tool for rapid, reproducible, and stakeholder-friendly dynamic coupling of system dynamics and physically-based models. *Environmental modelling & software*, 96, pp.410-420.
- 2- Inam, A., Adamowski, J., Prasher, S., Halbe, J., Malard, J. and Albano, R., 2017a. Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for sustainable soil salinity management–Part 1: model development. *Journal of Hydrology*, 551, pp.596-618.
- 3- Inam, A., Adamowski, J., Prasher, S., Halbe, J., Malard, J. and Albano, R., 2017b. Coupling of a distributed stakeholder-built system dynamics socio-economic model with SAHYSMOD for sustainable soil salinity management. Part 2: Model coupling and application. *Journal of Hydrology*, 551, pp.278-299.
- 4- Hashemi, S. F., Shahnazari, A., Rayini, M., Shahbazbegian, M. and Adamowski, J. F. 2020. Water Resource Allocation and Crop Yield Simulation in Tajan Plain Watershed by Coupling of WOFOST and VENSIM Models. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. No. 3, Vol. 14. (In Persian)
- 5- Prodanovic, P. and Simonovic, S.P., 2010. An operational model for support of integrated watershed management. *Water resources management*, 24, pp.1161-1194.
- 6- Peck, A., Neuwirth, C. and Simonovic, S.P., 2014. *Coupling System Dynamics with Geographic Information Systems: CCaR Project Report*. University of Western Ontario Department of Civil and Environmental Engineering (No. 086). report.
- 7- Shrestha, N.K., Leta, O.T., De Fraine, B., Van Griensven, A. and Bauwens, W., 2013. OpenMI-based integrated sediment transport modelling of the river Zenne, Belgium. *Environmental Modelling & Software*, 47, pp.193-206.
- 8- Liao, Y.P., Lin, S.S. and Chou, H.S., 2012. Integration of urban runoff and storm sewer models using the OpenMI framework. *Journal of Hydroinformatics*, 14(4), pp.884-901.
- 9- Bulatewicz, T., Yang, X., Peterson, J.M., Staggenborg, S., Welch, S.M. and Steward, D.R., 2010. Accessible integration of agriculture, groundwater, and economic models using the Open Modeling Interface (OpenMI): methodology and initial results. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(3), pp.521-534.
- 10- Houghton, J., 2018. PySD Documentation Release 0.9. 0. *Read the Docs*.
- 11- Kiani, A.R., 2010. Optimal irrigation scheduling based on water-yield relations in soybean cultivars. *Journal of Agricultural Engineering Research (Iran)*, 11(1), pp.85-102. (In Persian)